

Informe Final:

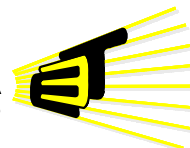
SUBASTAS DE DERECHOS DE TRANSMISIÓN DE ADMITANCIA Y CAPACIDAD COMO ALTERNATIVA PARA LA EXPANSIÓN DE LA RED

Presentado ante:

**Comité de Trabajo de Grado de la Escuela de Ingenierías
Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. – UIS**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA
Y DE TELECOMUNICACIONES**



Bucaramanga, Mayo de 2008

Grupo	Línea	Proyecto	Producto	Consecutivo	Fecha
01	01/04	5521 / 8529	04	01	2008/18
GISEL	Mercados de Energía / Operación, Control y Expansión de Sistemas de Energía Eléctrica	Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión de la Red	Informe (Final)	Primero	Abril de 2008

REGISTRO HISTÓRICO DEL DOCUMENTO

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO
1.0	Abril 2008	Emisión Inicial
2.0	Mayo 2008	Emisión Final

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Jorge H. Cadena Ordóñez <i>Estudiante Ing. Eléctrica</i> Gladys Elena Jerez Paúl <i>Estudiante Ing. Eléctrica</i>	Dr. Rubén Darío Cruz Rodríguez <i>Director del Trabajo de Investigación</i> Ing. Marco Fidel Suarez Sánchez <i>Codirector del Trabajo de Investigación</i>	_____ Dr. _____ <i>Par Evaluador</i>

Universidad Industrial de Santander (UIS) Documento Confidencial

Ni la totalidad ni parte de este documento puede reproducirse, almacenarse o transmitirse por algún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopias, grabación magnética o electrónica o cualquier medio de almacenamiento de información y sistemas de recuperación, sin permiso escrito de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

Este es un documento interno de la UIS. Al recibirlo no podrá pasarlo a persona alguna excepto las que se le indique en la lista de distribución autorizada por la UIS. Cualquier persona externa a la UIS que utilice la información en este documento asume la responsabilidad por su empleo.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios que siempre estuvo conmigo, en los momentos difíciles era mi fiel amigo.

A mi madre querida que sola pudo sacar toda una familia adelante.

A mis hermanos que siempre me apoyaron con consejos y con amor, y a toda mi familia en general.

A todos mis amigos y compañeros, que siempre aportaron un granito de arena creyendo en mi.

A mi grupo de estudio, Christian, Gladys e Iván, Nunca olvidare como estudiábamos.

Jorge H. Cadena

A Dios, por permitirme llegar hasta este momento de cumplir uno de mis objetivos planteados.

A mis padres, por su amor, su apoyo en todo momento, por sus consejos, sus valores y por esa perseverancia que siempre me han infundido.

A mi hermano, por el amor y la confianza que siempre me ha brindado.

A mi sobrino, por ser mi fuerza.

A Ricardo, amigo fiel y sincero.

A Iván, Christian y Jorge, gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino y hasta el momento seguimos siendo amigos.

Ya todas las personas que siempre me acompañaron en esta meta y que directa o indirectamente participaron en la elaboración de este trabajo.

Gladys E. Jerez

Informe Final - 4.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

AGRADECIMIENTOS

Hemos querido expresar nuestros agradecimientos a cada una de las personas que nos apoyaron en la realización de este trabajo.

Agradecemos a Dios, que sin el nada podría llevarse acabo, porque fue una luz guía en nuestro caminar y desarrollo de esta investigación, fue la fuerza que nos motivaba en los momentos que nos sentíamos débiles.

Hemos querido agradecer a nuestro director de trabajo de Grado el Dr. Rubén Darío Cruz, por todo su apoyo, dedicación, aportes, enseñanzas y más que nada por su paciencia y comprensión en este desarrollo, el fue una guía decisoria en la elaboración de este trabajo.

A nuestras familias que siempre estuvieron acompañándonos, que se preocuparon a la vez con nosotros, que nos facilitaron las herramientas que fueron pilares decisorios en nuestro caminar y que nunca nos dejaron caer.

A nuestros amigos Iván y Christian, quienes en la distancia nos colaboraron con todo lo requerido para la legalización y entrega de este trabajo, ellos siempre nos acompañaron también en esta lucha que comenzamos juntos y terminamos juntos.

Informe Final - 5.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

TITULO. SUBASTA DE DERECHOS DE TRANSMISIÓN DE ADMITANCIA Y CAPACIDAD COMO ALTERNATIVA PARA LA EXPANSIÓN DE LA RED.*

Autores:

JORGE HORACIO CADENA ORDONEZ

GLADYS ELENA JEREZ PAUL**

Palabras Clave: Esquema, Admitancia, Capacidad, Liquidación, Asignación.

Resumen

Este proyecto de grado da los primeros pasos para realizar un estudio de los derechos de transmisión de admitancia y capacidad como alternativa para la expansión de la red, por medio de una herramienta informática diseñada para la asignación de estos derechos, por lo tanto con esta herramienta se puede iniciar un estudio para evaluar la viabilidad y desventajas de la implementación de un sistema de subasta de admitancia y capacidad.

Los derechos de transmisión prometen ayudar a solucionar los problemas que emergen de un entorno centralizado en la transmisión y debido a que los derechos de admitancia y capacidad han sido poco estudiados, en este proyecto se establece una estructura de un esquema funcional de estos derechos validándolo desde una perspectiva de liquidación de la red.

Con la ayuda de un sistema de modelado (e.g, GAMS - "General Algebraic Modeling System"), fue posible el diseño de la herramienta informática (HADA) que permite realizar la asignación de los derechos con su respectiva validación y liquidación, puesto que cuenta con diferentes modelos de despacho como son el ideal y el real, los cuales permiten realizar la liquidación y analizar los desbalances que se presentan en la asignación de estos.

Con el prototipo diseñado en este proyecto, se encontró que estos derechos de admitancia y capacidad pueden cubrir el costo de operación de la red, pero se necesita un estudio mas profundo sobre estos derechos y la viabilidad de implementarlos en Colombia.

* Titulo de proyecto de grado en la modalidad de investigación.

** Autores del proyecto de grado, Escuela de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones, Director Dr. Rubén Darío Cruz Rodríguez; Codirector Ing. Marco Fidel Suárez.

Informe Final - 6.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

TITLE. TRANSMISSION RIGHTS AUCTION OF ADMITTANCE AND CAPACITY AS AN ALTERNATIVE FOR THE NETWORK EXPANSION.*

Authors:

JORGE HORACIO CADENA ORDONEZ

GLADYS ELENA JEREZ PAUL. **

Key words: Admittance, Assignment, Capacity, Liquidation, Scheme.

Summary

This graduate project gives the first steps to study the transmission rights of admittance and capacity as an alternative for the network expansion, through of an informatics tool that has been designed to assign those rights, therefore using this tool it is possible to start the study to evaluate the feasibility and the disadvantages that will come from the implementation of an auction's system of admittance and capacity.

The transmission rights promise to help to solve the problems that emerge from a centralized environment at the transmission, and due to the fact that have not been studied deeply, in this project a structure of a functional scheme of these rights has been established validating it from a view of network's liquidation.

With the help of a modeling system (e.g. GAMS – “General Algebraic Modeling System”), it was possible to design an informatics tool (HADA) that makes the assignment of the rights with the validation and liquidation of each one, thanks to the different models of dispatch like the ideal and the real that it brings, that let you make the liquidation and analyze the unbalances that this assignment presents.

With the prototype designed in this project, it was found that this admittance and capacity rights could cover the network operation cost, but it needs a deeper study on these rights and the feasibility of implement these in Colombia.

* Undergraduate Thesis

** Physical-Mechanical Engineering Faculty
Electric, Electronic and Telecommunications Engineering School
Director Dr. Rubén Darío Cruz Rodríguez
Co-Director Eng. Marco Fidel Suarez.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	I
1. DERECHOS DE TRANSMISIÓN DE ADMITANCIA Y CAPACIDAD	I
1.1 DEFINICIÓN	I
1.2 MODELADO MATEMATICO	I
1.2.1 Modelo de Flujo de Carga Antes de la Expansión y Derechos Existentes	I
1.2.2 Modelo de Flujo de Carga Después de la Expansión y Derechos Existentes	I
1.2.3 Subasta de Derechos	I
1.2.4 Definición de Pagos	I
2. SIMULADOR PARA LA ASIGNACIÓN DE DERECHOS DE ADMITANCIA Y CAPACIDAD	I
2.1 MODULO DESPACHO IDEAL	I
2.1.1 Datos de Entrada	I
2.1.2 Descripción del Módulo	I
2.2 MODULO DESPACHO REAL	I
2.2.1 Datos de Entrada	I
2.2.2 Descripción de las Variables de Decisión	I
2.2.3 Descripción de las Ecuaciones que Intervienen en el Modelo	I
2.3 MODULO SUBASTA DE ASIGNACIÓN DE DERECHOS DE ADMITANCIA Y CAPACIDAD	I
2.3.1 Datos de Entrada	I
2.3.2 Descripción de las Variables de Decisión	I
2.3.3 Descripción de las Ecuaciones que Intervienen en el Modelo	I
2.4 MODULO LIQUIDACIÓN	I
2.4.1 Pagos por Concepto de Energía	I
2.4.2 Pagos por Concepto de Asignación de Derechos	I
3. PRUEBAS REALIZADAS AL MODELO	I
3.1 PRUEBAS EJEMPLO GRIBIK DC	I
3.2 PRUEBAS EJEMPLO GRIBIK AC	I
3.3 PRUEBAS EJEMPLO GARVER	I
3.3.1 Caso de estudio Garver con un Modelo de Red DC	I
3.3.2 Caso de estudio Garver con un Modelo de Red DC con pérdidas	I
3.3.3 Caso de estudio Garver con un Modelo de Red AC	I
4. CONCLUSIONES	I
4.1 CONCLUSIONES ACERCA DEL ESQUEMA PROPUESTO	I
4.2 CONCLUSIONES GENERALES ACERCA DE HADA	I
4.3 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	I
4.4 APORTES DE LA INVESTIGACIÓN	I
4.5 LÍNEAS DE DESARROLLO DE ESTA INVESTIGACIÓN	I
5. ANEXOS	I

Informe Final - 8.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

5.1	MODELADO DEL SISTEMA.....	
5.1.1	MODELOS DE RED.....	
5.1.1.1	Modelo AC	1
5.1.1.2	Modelo DC estándar	1
5.1.1.3	Modelo DC con pérdidas	1
5.2	MANUAL DE USUARIO	
5.2.1	<i>Descripción Del Software Aplicado</i>	
5.2.2	<i>Instrucciones Para La Instalación</i>	
5.2.3	<i>Algoritmo Del Prototipo Hada</i>	
5.2.4	<i>Instrucciones Para El Uso De La Herramienta</i>	
5.3	CÓDIGO INFORMÁTICO DEL PROTOTIPO HADA.....	
6.	REFERENCIAS.....	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUCTURA DEL SIMULADOR.	1
FIGURA 2. MODELO GRIBIK 3 DE BARRAS DC.....	1
FIGURA 3. RESULTADOS DEL MODELO DE 3 BARRAS DC.....	1
FIGURA 4. MODELO GRIBIK DE 3 BARRAS AC.....	1
FIGURA 5. MODELO GARVER DE 6 BARRAS AC.....	1
FIGURA 6. EQUIVALENTE π - ASIMÉTRICO DE UN CORREDOR DE TRANSPORTE (MODELO AC).....	1
FIGURA 7. EQUIVALENTE DE UN CORREDOR DE TRANSMISIÓN EN EL FLUJO DE CARGAS DC ESTÁNDAR.....	1
FIGURA 8. CUADRO DE BIENVENIDA A LA INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.....	1
FIGURA 9. CUADRO SELECCIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DEL SOFTWARE.....	1
FIGURA 10. CUADRO DE CONFIRMACIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	1
FIGURA 11. CONFIRMACIÓN DE LA LICENCIA PARA EL SOFTWARE.....	1
FIGURA 12. FICHERO PARA BUSCAR LA LICENCIA DEL SOFTWARE.....	1
FIGURA 13. FICHERO PARA BUSCAR LA LICENCIA DEL SOFTWARE.....	1
FIGURA 14. DATOS DE GENERACIÓN EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 15. DATOS DE PRECIO DE GENERACIÓN EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 16. DATOS DE DEMANDA EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 17. DATOS DEL FACTOR POTENCIA POR NODO EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 18. DATOS DE TENSIÓN (MAX Y MIN) Y COMPENSACIÓN REACTIVA EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 19. DATOS LOS CORREDORES DEL SISTEMA Y ELEMENTOS DE RED EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 20. DATOS CARACTERÍSTICOS DE LOS OFERENTES DE DERECHOS EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 21. DATOS LOS TIEMPOS ON/OFF DE LAS PLANTAS Y POTENCIA BASE EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 22. ESTRUCTURA EN EL PROTOTIPO ENCARGADA DE HALLAR EL PRECIO DE BOLSA.....	1
FIGURA 23. ECUACIONES DE COSTOS (NODO ÚNICO Y NORMAL), DE INGRESOS (PARA LA SUBASTA) Y CONTROL ENCENDIDO APAGADO DE LAS PLANTAS EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 24. ECUACIONES DE BALANCE DE POTENCIA ACTIVA (PARA ASIGNACIÓN Y PARA EL DESPACHO REAL) Y BALANCE POTENCIA REACTIVA PARA EL DESPACHO REAL EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 25. ECUACIONES DE FLUJO PROMEDIO DE POTENCIA ACTIVA (MODELO DC) PARA ASIGNACIÓN Y PARA EL DESPACHO REAL EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 26. ECUACIONES DE FLUJO PROMEDIO DE POTENCIA ACTIVA (PARA EL MODELO AC) PARA EL DESPACHO REAL EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 27. ECUACIONES DE FLUJO PROMEDIO DE POTENCIA REACTIVA (PARA EL MODELO AC) PARA EL DESPACHO REAL EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 28. ECUACIONES DE PÉRDIDAS DE POTENCIA REACTIVA (PARA EL MODELO DC YDCP) EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 29. ECUACIONES DE PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (PARA EL AC) EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 30. ECUACIONES DE PÉRDIDAS DE POTENCIA REACTIVA (PARA EL AC) EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 31. ECUACIONES DE FLUJO PROMEDIO MÁXIMO Y MÍNIMO (MODELOS DC Y DCP) Y DEL FLUJO APARENTE MÁXIMO ENTRANDO AL NODO INICIAL (MODELO AC) EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 32. ECUACIONES DE FLUJO APARENTE MÁXIMO ENTRANDO AL NODO FINAL (MODELO AC) EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 33. ECUACIÓN DE BALANCE DE POTENCIA REACTIVA (MODELO AC) EN EL PROTOTIPO.....	1
FIGURA 34. PAGOS CORRESPONDIENTES A LOS AGENTES POR ENERGÍA E INGRESOS POR DERECHOS.....	1
FIGURA 35. PAGOS REALIZADOS A LOS CORREDORES POR CONCEPTO DE TRANSMISIÓN.....	1

LISTA TABLAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA PARA CADA NODO.....	1
TABLA 2. RESULTADOS DE LA CORRIDA DE ASIGNACIÓN PARA EL CASO DC.....	1
TABLA 3. RESULTADOS DE LA LIQUIDACIÓN PARA EL CASO DC.....	1
TABLA 4. RESULTADOS DE LA LIQUIDACIÓN PARA EL MODELO DE DESPACHO EN EL CASO DC.....	1
TABLA 5. CARACTERÍSTICA DE CADA UNIDAD DE GENERACIÓN PARA EL CASO 1.....	1
TABLA 6. CARACTERÍSTICA DE CADA UNIDAD DE GENERACIÓN PARA EL CASO 2.....	1
TABLA 7. CARACTERÍSTICA DE CADA UNIDAD DE GENERACIÓN PARA EL CASO 3.....	1
TABLA 8. RESULTADOS DE LA CORRIDA DE ASIGNACIÓN DE DERECHOS PARA EL MODELO EN AC.....	1
TABLA 9. RESULTADOS DE LA LIQUIDACIÓN PARA LOS DISTINTOS CASOS DEL MODELO ASIGNACIÓN.....	1
TABLA 10. RESULTADOS DE LA LIQUIDACIÓN PARA LOS DISTINTOS CASOS DEL MODELO DESPACHO.....	1
TABLA 11. DATOS DE LA GENERACIÓN PARA EL CASO GARVER MODIFICADO.....	1
TABLA 12. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS DE RED.....	1
TABLA 13. CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA PARA EL CASO GARVER MODIFICADO.....	1
TABLA 14. CARACTERÍSTICAS DE OFERTA PARA CADA PARTICIPANTE DE LA SUBASTA.....	1
TABLA 15. RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE LA SUBASTA UTILIZANDO UNA RED DC.....	1
TABLA 16. RESULTADOS DE LA LIQUIDACIÓN PARA EL CASO GARVER UTILIZANDO UNA RED DC.....	1
TABLA 17. RESULTADOS DE LA LIQUIDACIÓN PARA EL CASO GARVER, BALANCE UTILIZANDO UNA RED DC.....	1
TABLA 18. RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE LA SUBASTA UTILIZANDO UNA RED DCP.....	1
TABLA 19. RESULTADOS DE LA LIQUIDACIÓN PARA EL CASO GARVER UTILIZANDO UNA RED DCP.....	1
TABLA 20. RESULTADOS DE LA LIQUIDACIÓN PARA EL CASO GARVER, BALANCE UTILIZANDO UNA RED DCP.....	1
TABLA 21. RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE LA SUBASTA UTILIZANDO UNA RED AC.....	1
TABLA 22. RESULTADOS DE LA LIQUIDACIÓN PARA EL CASO GARVER UTILIZANDO UNA RED AC.....	1
TABLA 23. RESULTADOS DE LA LIQUIDACIÓN PARA EL CASO GARVER, BALANCE UTILIZANDO UNA RED AC.....	1

RESUMEN DEL TRABAJO

Título:	Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión de la Red
Director	Dr. Rubén Darío Cruz Rodríguez, rdacruz@uis.edu.co
Equipo de Investigación:	<ul style="list-style-type: none">▪ Ing. Marco Fidel Suárez Sánchez, marcofidelsuarezs@yahoo.com▪ Jorge Horacio Cadena Ordóñez, a_gogo71@hotmail.com▪ Gladys Elena Jeréz Paúl, gladysjerez28@hotmail.com
Tipo de Investigación:	Aplicada
Costo Total:	\$ 39'318.500 [M/C]
Plazo	12 meses
Programa Nacional de Ciencia y Tecnología:	Investigaciones en Energía y Minería
Posibles Entidades Interesadas en los Resultados	Empresas vinculadas al sector eléctrico, tales como la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), la Compañía de Expertos en Mercados XM S.A. E.S.P., empresas generadoras y comercializadoras además del Ministerio de Minas y Energía. En términos generales, las entidades encargadas de la regulación, planeación y control del mercado de energía eléctrica, operadores de mercados y empresas generadoras y comercializadoras. A priori las empresas de transmisión de energía eléctrica podrían no estar interesadas en su desarrollo considerando que la aplicación de los eventuales resultados de este trabajo implicaría la introducción de un esquema de competencia para esta actividad que actualmente opera en la mayor parte del mundo como monopolio regulado.

Breve Reseña del Proyecto:

La falta de un esquema de derechos de transmisión que permita la planeación descentralizada de la expansión basada en las señales del mercado es la razón por la que la mayor parte de los esquemas competitivos implantados en el sector eléctrico a nivel mundial hayan optado por un esquema de expansión centralizado para el sistema de transporte de energía con un mecanismo especial de competencia, en donde se compite por la construcción, operación y mantenimiento de nuevas instalaciones en un sistema con múltiples propietarios que reciben una renta regulada.

Con esta problemática en mente, este trabajo de grado en la modalidad de investigación representa un completo avance dentro del ámbito relacionado con el sistema de transporte de energía eléctrica, debido a que pretende evaluar la viabilidad, ventajas y desventajas de la implementación de un sistema de subastas de derechos de transmisión de admitancia y capacidad como alternativa para la expansión descentralizada del mismo, por lo tanto el problema a solucionar es contribuir a la introducción de esquemas competitivos en la actividad de transmisión.

Este proyecto surgió debido al interés de fortalecer la investigación en ingeniería en el país, motivo por el cual el Instituto Colombiano para el Fomento de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas" (COLCIENCIAS), destino los recursos necesarios para realizar esta

Informe Final - 12.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

investigación, proporcionando un avance en el estudio, diseño y análisis de esquemas de derechos de transmisión los cuales son de suma importancia e interés para el sector eléctrico y la participación de la Universidad Industrial de Santander en este tipo de proyectos de investigación contribuiría aún más en el proceso de perfeccionamiento de las estructuras del mercado de energía.

Objetivos del Proyecto:

Objetivo Propuesto	Resultado Obtenido
1. Establecer la estructura y esquema funcional de un mecanismo de subasta de Derechos de Admitancia y Capacidad.	Este mecanismo de subasta desarrollado, fue tomado y adecuado de los estudios realizados por el Dr. Paul Gribik y su equipo de trabajo [2], para permitir validar la asignación de estos mismos desde una perspectiva de liquidación de la red, además de implementar derechos financieros que dependan de las propiedades eléctricas de la instalación (admitancia y capacidad de transporte de energía) y no exclusivamente de la capacidad de transporte del corredor de transmisión. (Capítulo 2).
2. Desarrollar un prototipo que permita simular el esquema de subastas diseñado utilizando un sistema de modelado (e.g, GAMS – “General Algebraic Modeling System”).	El prototipo diseñado (HADA_Plus), se implementó como una herramienta informática que permite realizar la asignación de los derechos con su respectiva validación y liquidación, puesto que cuenta con diferentes modelos de despacho como son el ideal y el real, los cuales permiten realizar la liquidación y analizar los desbalances que se presenten en la asignación de estos. (Capítulo 3).
3. Evaluar el potencial del esquema de subastas diseñado como alternativa para proporcionar las señales necesarias para una expansión descentralizada de sistemas de transporte de energía eléctrica.	El prototipo brinda la capacidad de analizar la asignación de los derechos por medio de la subasta, junto con la simulación del mercado de energía nos proporciona precios nodales, pagos a los propietarios y las sensibilidades a la expansión de la red, que pueden ser útiles como señales de expansión del sistema eléctrico.

Informe Final - 13.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

Actividades de Difusión Realizadas / Programadas:

Publicación de un artículo donde se resalta los resultados y futuras líneas de investigación que arroja este, debido a que actualmente la investigación en el mismo es muy poca y no concluyente.

Impactos del Proyecto:

Desde la perspectiva tecnológica, se desarrollo el prototipo "HADA_Plus" siendo esta una herramienta lo suficientemente confiable, y de fácil abstracción de conclusiones para cada modelo a ejecutar, de modo que siempre se obtenga los resultados en el menor tiempo posible y con la misma exactitud.

Uno de los principales impactos académicos fue establecer una relación de manera concreta en el prototipo, entre el mercado de derechos de transmisión y el mercado de energía. Por tal motivo este proyecto da los primeros cimientos para resolver muchos interrogantes sobre la implementación de un sistema de subasta de derechos financieros de transmisión, debido a que los trabajos previos son muy pocos y el más importante de ellos, llevado a cabo por el Dr. Paul Gribik [6].

Desde el punto de vista del transporte de energía, los resultados obtenidos son de utilidad para los dueños de las redes de energía eléctrica ya que con este proyecto se inicia un estudio sobre la asignación de los derechos, brindando nuevas características de liquidación de la red eléctrica.

INTRODUCCIÓN

El interés por encontrar un mecanismo para la planeación descentralizada de la expansión del sistema de transmisión de energía eléctrica, ha llevado a plantear un nuevo esquema que permita resolver muchos de los problemas relacionados con la asignación de los derechos de transmisión¹ en un sistema de transporte de energía eléctrica. El Dr. Paul Gribik y su equipo de trabajo propusieron en [1] asignar al dueño de un elemento del sistema de transporte de energía, derechos financieros que dependan de las propiedades eléctricas de la instalación (admitancia y capacidad de transporte de energía) y no exclusivamente de la capacidad de transporte del corredor de transmisión como se había planteado hasta el momento en la mayor parte de esquemas implantados en la práctica (El mercado de Texas y el de California) y como se formalizó en [2].

En este trabajo se ha desarrollado un esquema de asignación de estos derechos de admitancia y capacidad² basado en una subasta³. Esto permite evaluar aspectos como suficiencia de ingresos⁴ y requerimientos computacionales de manera que se puedan formular conclusiones con respecto a las ventajas y desventajas de esta propuesta de derechos de transmisión.

Este trabajo se realizó con el propósito de verificar la viabilidad de un esquema de subastas de acuerdo a lo propuesto por Gribik para la asignación de derechos financieros de transmisión de Admitancia y Capacidad.

Para el diseño del esquema de subastas fue necesario también analizar la operación del mercado de energía eléctrica en Colombia, conjugando lo planteado para el despacho ideal (despacho a nodo único o sin considerar la red, que en Colombia es la referencia para la liquidación de todas las transacciones del mercado) e implantando un simulador de la operación del mercado que permitiera determinar los niveles de generación y un precio estimado de bolsa para liquidar en el corto plazo las transacciones de compra venta de energía y los derechos de transmisión asociados. Esta liquidación o balance de pagos (conciliaciones) es fundamental para poder concluir con respecto a la viabilidad del esquema de derechos de transmisión planteado.

¹ Los Derechos de Transmisión se pueden clasificar ya sea como opción u obligación de transmisión bajo una serie de contratos que establezcan las condiciones de entrega y de cantidad.

² Estos son derechos de transmisión basados en las características eléctricas de un elemento de red visto íntegramente. El nombre "Admitancia y Capacidad" fue propuesto por Gribik para enfatizar que los derechos que se asignaban considerando solo la capacidad de transporte de energía de un elemento de red no son adecuados. Adicionalmente le permite no herir susceptibilidades porque en vez de decir que los derechos basados en capacidad eran incorrectos indicaba que les faltaba por considerar "la admitancia" y de esta forma lograba que los consideraran sin provocar un rechazo defensivo.

³ Las subastas se han considerado como el medio natural de asignación de derechos como se describen en [1] y [2] y en los mercados de energía se utilizan normalmente para la compra-venta de energía en el corto plazo. En Colombia las subastas también son fundamentales para adquirir energía firme que asegure el suministro en condiciones de escasez (carga por confiabilidad)

⁴ Por definición, un sistema tiene ingresos suficientes cuando los ingresos netos recolectados por el operador/administrador del sistema en cualquier período del mercado inmediato ("Spot") son al menos iguales a las obligaciones adquiridas bajo el esquema de derechos de transmisión [2].

Informe Final - 15.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

Los derechos asignados por medio de subasta, junto con la simulación del mercado de energía a corto plazo (bolsa de energía), nos proporciona información como los precios nodales, los pagos realizados a los propietarios de cada uno de los elementos de red existentes y las sensibilidades a la expansión de la red descritas en [3] y [4] que pueden ser útiles como señales de expansión del sistema de transmisión de energía. Estas señales no son solo útiles para el análisis acerca de la construcción de nuevas líneas, sino que puede establecerse como el mecanismo que viabilice la planeación descentralizada de la red de transmisión e incluso la introducción de un esquema de competencia similar al de la generación eléctrica (transmisión mercante) que redunde en una mayor eficiencia en la prestación de este componente del servicio público de suministro de energía eléctrica.

Este trabajo de grado pretende ser el primer paso de una serie de trabajos que exploren en la universidad nuevas opciones de organización y regulación de la actividad de transporte de energía eléctrica con fuertes características de monopolio natural, de manera que se pueda contribuir en aumentar la eficiencia y competitividad del mercado eléctrico colombiano, con menos controles artificiales siempre vulnerables a la influencia de intereses particulares.

El documento se ha estructurado de la siguiente forma:

En el capítulo 1 se presentan el estudio y discusión del trabajo depositado en la literatura internacional (asignación de derechos financieros de admitancia y capacidad del Dr. Paul Gribik) siendo este la principal fuente teórica de nuestro trabajo.

En el capítulo 2 se describe el modelo HADA_Plus haciendo un análisis de sus prestaciones y presentando un bosquejo general de su estructura. Este modelo es uno de los principales aportes de este trabajo y ha sido validado con diferentes sistemas de pruebas.

En el capítulo 3 se realizan distintas pruebas al modelo HADA_Plus de modo que con los datos arrojados se puedan plasmar distintas observaciones y se concluya basándose en resultados concretos que el prototipo genera como variables de salida.

El capítulo 4 recoge las conclusiones, tanto parciales como globales, del trabajo llevado a cabo en este proyecto. Se resumen los aportes y resultados del mismo y se sugieren posibles líneas para continuar investigando.

El anexo 1 se revisan y discuten las opciones de modelado seleccionadas para el sistema interconectado de potencia y su operación.

El anexo 2 se plantea un manual de usuario para un fácil manejo de la herramienta.

El anexo 3 se muestra el código del prototipo HADA.

Finalmente se presentan las referencias bibliográficas utilizadas en este trabajo.

1. DERECHOS DE TRANSMISIÓN DE ADMITANCIA Y CAPACIDAD

En este capítulo se describen los derechos de transmisión propuestos por Gribik [1] para remunerar/incentivar los proyectos de expansión del sistema de transporte de energía eléctrica, además del esquema de subasta planteado para su asignación. Como se comentó en la introducción, lo novedoso de estos derechos con respecto a los utilizados hasta el momento, es que dependen de las propiedades eléctricas (admitancia y capacidad) de la red y no solo de su capacidad de transporte de energía eléctrica. Aunque esto es novedoso dentro del ámbito de los derechos de transmisión, podría no serlo para los lectores familiarizados con la planeación de la expansión de la red. Estos derechos de transmisión de admitancia y capacidad coinciden con las sensibilidades utilizadas desde hace ya mucho tiempo en la planeación de la red donde es un hecho reconocido que no solo la capacidad de un elemento de red debe considerarse al momento de tomar decisiones de expansión.

Un procedimiento heurístico bastante común para resolver el problema de planeación de la expansión de la red es determinar los nuevos circuitos a instalar utilizando un análisis de sensibilidades [6] y [7]. Estas sensibilidades, además de ser una muy buena guía en la búsqueda del plan de expansión “óptimo”, proporcionan al planeador información muy valiosa. Las expresiones para las sensibilidades de la función objetivo con respecto a las variables de expansión cuando se utiliza un modelo de red DC han sido propuestas en [6] y [8] y fueron extendidas (considerando las pérdidas por la red de transmisión de forma simplificada para operación tanto en condiciones normales como de contingencias) en [9] y [10]. Una demostración matemática de esas sensibilidades en DC puede encontrarse en [11]. Una extensión de estas sensibilidades utilizando las ecuaciones del flujo de cargas AC ha sido propuesta por [12], [13] y [14] e incluso han sido descompuestas en cada uno de los parámetros que caracterizan de forma genérica a un elemento de red (conductancia serie, susceptancia serie, susceptancia paralelo y capacidad) por [3].

1.1 DEFINICIÓN

En pocas palabras, los derechos de transmisión son contratos, utilizados fundamentalmente en mercados con tarificación nodal⁵, cuyo principal objetivo es asegurar que la red de transmisión no sea limitante para determinada transacción de compra-venta de energía eléctrica (inyectar potencia en un nodo U y extraer en un nodo W). Esto, claro está, satisfaciendo todas las restricciones de seguridad, confiabilidad y calidad impuestas por el operador del sistema de acuerdo a lo establecido por el marco regulatorio [18].

⁵ A finales de los 80 Fred Scheppe junto con varios de sus colegas del MIT [15], [16] y [17], desarrollaron un modelo de tarificación para la energía eléctrica basado en precios nodales. En este modelo a cada nodo le corresponde un precio específico de la energía basado en lo que realmente cuesta suministrar energía en ese punto y por lo tanto considerando todas las características relevantes del sistema interconectado de potencia (capacidad, pérdidas, confiabilidad, calidad, etc.). A este tipo de tarificación se le conoció más tarde como tarificación nodal o LMP (por sus siglas en inglés Locational Marginal Pricing).

Informe Final - 17.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

Los derechos de transmisión de admitancia y capacidad se asignan mediante una subasta paralela a la de compra-venta de energía. Esto para evitar la injerencia directa de los propietarios de la red en el mercado de energía ya que cuando se utiliza un esquema de tarificación basado en precios nodales se pueden presentar “Incentivos Perversos” debido a que entre mayores restricciones imponga la red a la operación del mercado, mayor será la diferencia entre los precios nodales y por tanto mayor será el “beneficio” o “valor” (costo de oportunidad) de transportar la energía de un nodo a otro. En esta subasta de derechos se busca maximizar los ingresos recolectados por la red. Si los participantes en esta subasta son racionales y existe competencia perfecta, el valor recogido en la subasta representará lo que el mercado está dispuesto a pagar por hacer uso de la red de transmisión, esto es, el costo de oportunidad del sistema de transporte de energía. Nótese que los oferentes en la subasta son los usuarios de la red (por eso se maximiza) y no los propietarios ya que esto último representaría el riesgo de que se ejerciera poder del mercado o colusión entre los transportadores [18].

Estos derechos fueron planteados con la intención de brindar incentivos para la expansión de la red y la transmisión mercante⁶ por lo que se calculan a largo plazo.

El problema de optimización que representa la subasta de asignación de derechos de admitancia y capacidad se puede declarar de forma muy simplificada como:

$$\max_{x,r} \{c(r)\} \quad (1.1)$$

Sujeto a:

$$(W - U) \cdot r + L(r, x) = 0 \quad (1.2)$$

$$F(r, x) \leq R \quad (1.3)$$

Donde

$c(r)$ Es el ingreso de la red.

x Es el vector de los parámetros de control del sistema (i.e., tap de transformadores, ángulo de transformadores desfasadores y flujo de reactiva entre otros).

r Es el vector de derechos de transmisión en MW adjudicados a cada participante de la subasta.

W Es la matriz de incidencia, nodo-derecho de transmisión para los nodos sumidero ($W_{n,r} = 1$, si el nodo n es el nodo sumidero o salida de potencia para el derecho r).

⁶ Este término hace referencia a proyectos de transmisión que se adelanta a riesgo por iniciativa de inversionistas aprovechando señales/incentivos que provea el marco regulatorio o contratos particulares negociados con agentes específicos del mercado. Estos proyectos no se remuneran como el resto de la red, por ejemplo, por cargos por uso. Este tipo de proyectos no son factibles en Colombia donde los proyectos de expansión son determinados por la UPME y luego adjudicados en una convocatoria pública.

Informe Final - 18.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

U Es la matriz de incidencia, nodo-derecho de transmisión para los nodos fuente ($U_{n,r} = 1$, si el nodo n es el nodo fuente o de inyección de potencia para el derecho r).

$L(r, x)$ Son las pérdidas en el sistema.

$F(r, x)$ Es el flujo por cada elemento de red.

R Es la restricción de transmisión de potencia de cada elemento de red.

El problema de optimización que se acaba de presentar es bastante simple para permitir la discusión de los aspectos fundamentales.

Resolviendo de manera general el problema de optimización con ayuda del método de los multiplicadores de LaGrange se encuentra que:

$$\nabla c(r) = \lambda [\nabla L(r, x) + (W - U)] + \eta' \nabla F(r, x) \quad (1.4)$$

Donde

λ, η Son las variables duales, precios sombra o multiplicadores de LaGrange asociados a cada grupo de restricciones.

λ Está asociada a la restricción de balance de potencia en cada nodo (primera ley de Kirchhoff o LCK).

η Asociada a la expresión de la potencia máxima en cada elemento de red (segunda ley de Kirchhoff o LVK).

Como el valor de cada multiplicador de LaGrange representa el cambio de la función objetivo $c(r)$ al variar el límite de una restricción entonces λ representaría el precio de 1 MW adicional (precio de la energía) y η el de poder transmitir 1 MW adicional (precio de la congestión de la red).

La mayoría de los esquemas de derechos de transmisión existentes fueron diseñados considerando que la contribución de la red al mercado estaba dada únicamente por su capacidad de transportar energía y que por esto se incurría en unas pérdidas, entonces asignaban/remuneraban los derechos de transmisión considerando únicamente a η . Estos esquemas limitados han presentado muchos problemas en la práctica por esta errada suposición y fue entonces cuando Gribik desarrolló este esquema de derechos cuyas expresiones resultaron totalmente coincidentes con las de las sensibilidades utilizadas en el problema de planeación de la expansión de la red [8], [19], [9], [10], [11], [4] y [3]. Entonces, Gribik en [1] y [14] propuso que los derechos de transmisión fueran remunerados:

$$\pi_{red_{i,j}} = \lambda_i f_{ij} + \lambda_j f_{ji} + \lambda_{Q_i} f_{Q_{ij}} + \lambda_{Q_j} f_{Q_{ji}} \quad (1.5)$$

Donde

$\pi_{red_{i,j}}$ Es el valor de la contribución (\$) al mercado del elemento de red conectado entre los nodos i y j .

λ_i Es el valor de la energía activa en el nodo i.

λ_{Q_i} Es el valor de la energía reactiva en el nodo i.

f_{ij} Es el flujo de potencia activa del nodo i al nodo j.

$f_{Q_{ij}}$ Es el flujo de potencia reactiva del nodo i al nodo j.

En esta expresión están considerados simultáneamente la contribución de todos los parámetros que definen un corredor (admitancia, capacidad, etc.) por lo que recibieron el derechos de admitancia y capacidad. En [1] y [3] se demuestra que en esta expresión está considerada η (precio sombra de la capacidad de transporte de energía) aunque no aparezca explícitamente.

1.2 MODELADO MATEMATICO

En este apartado se muestra el modelado del flujo de carga antes y después de la expansión, además del esquema de subasta propuesto, estos fueron considerados con un modelo de red simplificado (modelo de red DC), facilitando el manejo de las ecuaciones, brindando mayor énfasis en la definición y uso de este mecanismo y no en el detalle del modelo de red, especificado en el anexo 1.

1.2.1 Modelo de Flujo de Carga Antes de la Expansión y Derechos Existentes

Antes de que un propietarios añada una nueva línea al sistema, se puede haber adjudicado algunos derechos de obligación punto a punto a través de una subasta de derechos previa. Si se consideran las inyecciones y los retiros que ocurrirían si este grupo de derechos fuera físicamente programado, los flujos de potencia resultantes a esto deben ser factibles asegurar que se recogerán los suficientes ingresos y que cumplirán los test simultáneos de factibilidad⁷.

Del flujo de potencia DC las ecuaciones para el sistema preexistente son:

$$\bar{B}^{pre} \bar{\delta} = \bar{P} - \bar{D} \quad (1.6)$$

Donde:

$\bar{\delta}$ Denota el vector de ángulo de las tensiones.

\bar{P} Denota el vector de inyecciones de potencia real.

\bar{D} Denota la demanda de potencia real en los nodos del sistema⁸

⁷ Son aquellas condiciones técnicas que el sistema debe cumplir, como son las leyes de kirchhoff.

⁸ Para formar las ecuaciones de flujo de potencia DC, nosotros asumimos que las diferencia de ángulo de las tensiones entre dos nodos adyacentes i y j son suficientemente pequeñas de modo que $\sin(\delta_i - \delta_j) \approx \delta_i - \delta_j$.

Informe Final - 20.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

En la formulación del modelo se utilizan algunos índices que se especifican a continuación:

- pre* Designa el flujo de potencia modelo y los derechos asignados antes de añadir una nueva línea.
- 0 Designa los derechos, flujo de potencia, tensiones y ángulos, asociados con la solución a las ecuaciones del flujo de potencia en una red con las nuevas líneas agregadas pero que consideran solamente los grupos de derechos asignados inicialmente.
- k* Designa a la línea de transmisión que se encuentra conectada entre los nodos *i* y *j*.
- y_k* Admitancia de la línea *k*.
- Matriz de admitancias del sistema del sistema preexistente.

$$\bar{B}^{pre} \quad \bar{B}^{pre} = \begin{cases} \bar{B}^{pre} = -b_k & \text{nodo } i \text{ y } j \text{ no conectado} \\ \bar{B}^{pre} = 0 & \text{nodo } i \text{ y } j \text{ no conectado} \\ B_{i,i}^{pre} = \sum_{\text{linea } k \text{ adyacente al nodo } i} y_k & \end{cases} \quad (1.7)$$

Se selecciona un nodo, llamado *n*, como el de compensación y se elimina δ_n , P_n y D_n . Finalmente, eliminamos la *n*th columna y la *n*th fila de la matriz \bar{B}^{pre} para formar la matriz B^{pre} . Ahora se puede escribir las ecuaciones de flujo de potencia DC como:

$$B^{pre} \delta = P - D \quad (1.8)$$

Los límites de potencia en la línea *k* en el sistema preexistente están dados por:

$$f_k^{\min,pre} \leq y_k (\delta_i - \delta_j) \leq f_k^{\max,pre} \quad (1.9)$$

Se denotara el flujo límite en todas las líneas para el sistema preexistente de la siguiente manera⁹:

$$f^{\min,pre} \leq H^{pre} \delta \leq f^{\max,pre} \quad (1.10)$$

El test simultáneo de factibilidad que debe cumplir un grupo de derechos que fueron físicamente programados se muestra a continuación, en este se encuentra un δ^{pre} que satisface:

⁹ Observamos que la fila *k*th de **H** corresponde a la línea *k* desde el nodo *i* hasta el nodo *j* con la dirección positiva definida de *i* a *j*. Se define $H_{k,i} = y_k$, $H_{k,j} = -y_k$, and $H_{k,m} = 0$ para $m \neq i$ y $m \neq j$.

$$\begin{aligned} B^{\text{pre}} \delta^{\text{pre}} + (W^{\text{pre}} - U^{\text{pre}}) R^{\text{pre}} &= 0 \\ f^{\text{min,pre}} \leq H^{\text{pre}} \delta^{\text{pre}} \leq f^{\text{max,pre}} \end{aligned} \quad (1.11)$$

1.2.2 Modelo de Flujo de Carga Después de la Expansión y Derechos Existentes

Después de que se añada la nueva línea, la matriz de admitancia y las desigualdades del flujo de la línea cambiarán, por lo tanto es posible que los derechos asignados inicialmente no satisfagan el test simultaneo de factibilidad, pero una vez añadida la nueva línea al sistema, se requiere que el propietario de la nueva línea agregue o compre los suficientes derechos a los adjudicados inicialmente de tal modo que el sistema resultante de derechos, satisfaga la prueba simultanea de factibilidad una vez añadida la línea.

Ahora se puede escribir las ecuaciones de flujo de potencia DC como:

$$B\delta = P - D \quad (1.12)$$

Se denotara el flujo límite en todas las líneas de la siguiente manera:

$$f^{\text{min}} \leq H\delta \leq f^{\text{max}} \quad (1.13)$$

El test simultáneo de factibilidad que debe cumplir un grupo de derechos en el sistema con la línea añadida se muestran a continuación, en este se encuentra un δ^0 que satisface:

$$\begin{aligned} B\delta^0 + (W^0 - U^0) R^0 &= 0 \\ f^{\text{min}} \leq H\delta^0 \leq f^{\text{max}} \end{aligned} \quad (1.14)$$

En estas ecuaciones, se define la matriz fuente U^0 y la matriz sumidero W^0 en una forma similar a la mencionada anteriormente.

En la ecuación 1.15 se denota el vector de flujo de la línea que podría resultar si los derechos fueron físicamente programados.

$$s^0 (s^0 = H\delta^0) \quad (1.15)$$

1.2.3 Subasta de Derechos

En la subasta de derechos existirá un vector que representa las ofertas para comprar hasta una cierta cantidad de MW de derechos de obligación desde el nodo i hasta el

Informe Final - 22.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

nodo j con un determinado precio por cada MW¹⁰ La función objetivo que determina la subasta es la de maximizar los ingresos de los derechos, esta función tiene una ciertas restricciones las cuales poseen unas variables duales, que se especificaran a continuación:

λ Corresponde al balance del flujo de potencia es decir el cumplimiento de las leyes de Kirchhoff en cada nodo.

μ^{\max} Corresponde al flujo máximo incremental de potencia para cada línea.

μ^{\min} Corresponde al flujo mínimo incremental de potencia para cada línea

ξ Corresponde al máximo valor de los derechos adjudicados.

ν Corresponde al máximo valor de los derechos adjudicados.

Al final con la función objetivo y las restricciones especificadas anteriormente, se obtendrán los derechos adjudicados, precios, además del valor de las perdidas en dinero que podrían cambiar la liquidación que se realiza en los modelos.

A continuación se especifica el modelo de subasta propuesto, Gribik con un modelo de red DC:

$$\begin{aligned}
 v^* &\equiv \max c^T R && \text{Variables Duales} \\
 \text{Sujeto a:} &&& \text{para las Restricciones} \\
 (W - U)R + B\delta &= (U^0 - W^0)R^0 && \lambda \\
 F\delta &\leq f^{\max} && \mu^{\max} \\
 -F\delta &\leq -f^{\min} && \mu^{\min} \\
 R &\leq R^{\max} && \xi \\
 R &\geq 0 &&
 \end{aligned} \tag{1.16}$$

Donde

Define los nodos fuente de los derechos de R^0 con excepción de la barra de compensación n .

$$U^0_{i,l} = \begin{cases} 1 & \text{si el nodo } i \text{ es la fuente para el FTR } R_l^0 \text{ y } i \neq n \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \tag{1.17}$$

¹⁰ Puesto que estamos tratando con derechos de obligación punto a punto, un grupo que gana derechos desde j hasta i puede ofertar para vender R_i^{\max} de estos derechos a un precio c_i o comprar R_i^{\max} derechos desde el nodo i hasta el nodo j a un precio $-c_j$.

Matriz que muestra los nodos sumideros para los derechos descritos en R^0 con la excepción de la barra de compensación n .

$$W^0 \quad W_{i,l}^0 = \begin{cases} 1 & \text{si el nodo } i \text{ es el sumidero para el FTR } R_l^0 \text{ y } i \neq n \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (1.18)$$

Matriz de admitancias del sistema del sistema preexistente.

$$\bar{B} \quad \bar{B} = \begin{cases} \bar{B} = -b_k & \text{nodo } i \text{ y } j \text{ no conectado} \\ \bar{B} = 0 & \text{nodo } i \text{ y } j \text{ no conectado} \\ B_{i,i} = \sum_{\text{linea } k \text{ adyacente al nodo } i} b_k & \end{cases} \quad (1.19)$$

Matriz de susceptancias de la línea k del nodo i al nodo j .

$$F \quad F = \begin{cases} F_{k,i} = -b_k \\ F_{k,j} = b_k \\ F_{k,m} = 0 & m \neq i \text{ y } m \neq j \end{cases} \quad (1.20)$$

R Vector de ofertas de derechos asignados.

f^{\max} Vector de flujo de potencia máximo de cada línea.

f^{\min} Vector de flujo de potencia mínimo de cada línea.

El vector λ incluye una variable dual para el balance de potencia en cada nodo excepto el de compensación n . Similarmente, los elementos del vector δ incluyen cambios en los ángulos de las tensiones en cada nodo excepto en la barra de compensación. Por lo tanto se define $\lambda_n = 0$ y $\delta_n = 0$ en la barra de compensación.

1.2.4 Definición de Pagos

Se tiene una línea de transmisión k conectada entre los nodos i y j con la dirección del flujo positivo definida de i a j . El valor marginal de la capacidad en la línea de transmisión K en la dirección positiva es $\mu_k^{\max*}$, mientras el valor marginal de la capacidad en la dirección negativa es $\mu_k^{\min*}$, por lo tanto el pago al dueño de la línea k , la cual no fue adjudicada para soportar los derechos preexistentes iniciales se muestra a continuación:

$$\mu_k^{\max*} \cdot (f_k^{\max} - s_k^0) - \mu_k^{\min*} \cdot (f_k^{\min} - s_k^0) \quad (1.27)$$

Simplificando tenemos que:

$$\mu_k^{\max*} \cdot (f_k^{\max} - s_k^0 + b_k (\Delta\delta_i^* - \Delta\delta_j^*)) = 0 \text{ y } \mu_k^{\min*} \cdot (f_k^{\min} - s_k^0 + b_k (\Delta\delta_i^* - \Delta\delta_j^*)) = 0 \quad (1.28)$$

Informe Final - 24.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

Usando estas relaciones, se puede escribir los pagos de capacidad al dueño de la línea k como:

$$-b_k (\mu_k^{\max*} - \mu_k^{\min*}) \cdot (\Delta\delta_i^* - \Delta\delta_j^*) \quad (1.29)$$

El valor marginal de la susceptancia de la línea de transmisión k es:

$$\frac{\partial v^*}{\partial b_k} = (\lambda_j^* - \lambda_i^* - \mu_k^{\max*} + \mu_k^{\min*}) \cdot (\delta_i^* - \delta_j^*) \quad (1.30)$$

Usando estas relaciones nosotros podemos escribir el valor marginal de la admitancia de la línea k como:

$$-(\lambda_i^* - \lambda_j^* + \mu_k^{\max*} - \mu_k^{\min*}) \cdot (\delta_i^* - \delta_j^*) \quad (1.31)$$

Por lo tanto el pago al dueño de la línea k por la admitancia de la línea a partir de las ganancias de la subasta de derechos, se representa por la siguiente expresión:

$$-(\lambda_i^* - \lambda_j^* + \mu_k^{\max*} - \mu_k^{\min*}) \cdot (\delta_i^* - \delta_j^*) \cdot y_k \quad (1.32)$$

Se puede encontrar que el pago total al dueño de la línea k basado en los valores marginales de la capacidad y admitancia de su línea es:

$$-y_k (\delta_i^* - \delta_j^*) \cdot (\lambda_i^* - \lambda_j^*) \quad (1.33)$$

Si se indica el cambio en el flujo¹¹ en la línea k desde el nodo i hasta el nodo k como un resultado de la subasta como Δs_k^* , se puede escribir el pago total al dueño de la línea k como:

$$-(\Delta s_k^*) \cdot (\lambda_i^* - \lambda_j^*) \quad (1.34)$$

¹¹ Cuando discutimos el cambio en el flujo en una línea se hace mención al cambio entre el flujo que resultaría si solamente los derechos preexistentes R^0 fueran físicamente programados y el flujo que resultaría si los nuevos derechos R^* y los derechos preexistentes R^0 fueran físicamente programados.

2. SIMULADOR PARA LA ASIGNACIÓN DE DERECHOS DE ADMITANCIA Y CAPACIDAD

Este capítulo presenta el modelo HADA (Herramienta para la Asignación de Derechos de Admitancia y capacidad). HADA es un código desarrollado como una de las principales aportaciones de esta investigación.

El simulador está diseñado para correr dos modelos, el primero es el modelo de despacho real que en GAMS es representado por ModDes, en éste se tomara un despacho realizado para un tiempo específico, este constituye un dato de entrada al modelo para realizar la operación real con los datos de generación (Encendido y apagado de las plantas) especificadas, el segundo modelo es la subasta de derechos de admitancia y capacidad que en el prototipo se representa por ModAuc, la cual tendrá en cuenta las restricciones del sistema, al final arrojará los derechos adjudicados, precios y sensibilidades, a continuación se presenta un esquema del simulador en GAMS.

Como se puede ver en la figura 1, se presenta la estructura del modelo HADA, éste es de fácil manejo y muy flexible en su modelado, de modo que se obtengan los resultados en el menor tiempo posible y con la mayor confiabilidad.

El módulo de datos de entrada toma la información que será importante en la simulación de los modelos; mientras que los módulos de despacho ideal y real, resuelvan los problemas sobre la referencia para la liquidación de todas las transacciones del mercado y la determinación de los niveles de generación y precio respectivamente.

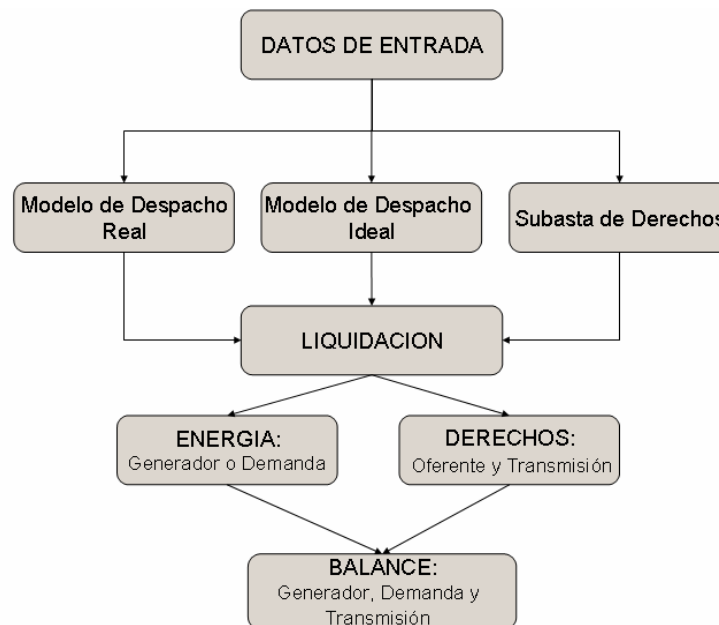


Figura 1. Estructura del simulador.

2.1 MODULO DESPACHO IDEAL

El despacho ideal es un proceso que consiste en encontrar el precio más eficiente del mercado, por medio de ofertas planas y diarias de disponibilidad y precio por parte de los generadores, estos precios deben reflejar los costos variables de generación que esperan incurrir más una componente de riesgo, la metodología consiste en ordenar los precios de las ofertas de menor a mayor, para determinar los generadores que atenderán la demanda.

2.1.1 Datos de Entrada

Los datos de entrada para el modulo ideal son la generación de cada unidad en MW, su respectivo precio de generación por unidad y la demanda total del sistema por periodo en cierto día de estudio.

2.1.2 Descripción del Módulo

Este módulo no realiza ningún tipo de optimización, se encarga únicamente de ordenar las ofertas de cada unidad generadora por orden de mérito y hallar el intercepto con la demanda para el cálculo del precio de bolsa.

2.2 MODULO DESPACHO REAL

El despacho real es un proceso que consiste en encontrar los generadores que se necesitan para un determinado tiempo, usando los recursos de menor precio y cumpliendo con las condiciones límites del sistema en cuanto a reservas rodantes, inflexibilidades de las plantas y restricciones del sistema. En este módulo se realiza una minimización de costos de generación, en el cual se tomará unos datos de entrada al modelo para realizar la operación real con los datos de generación especificados, pero no se analizara las inflexibilidades de las plantas, ni una distinción entre tecnologías.

2.2.1 Datos de Entrada

La información básica de entrada al modelo consistirá en los pronósticos estimados de la demanda, característica técnicas de la red y características de los generadores del sistema. A continuación se describen los datos que entraran al modelo.

- **Factor de Potencia de la Demanda de cada nodo del sistema:** Tabla que indica el factor de potencia de la demanda en cada nodo dependiendo del periodo (Hora) de operación.
- **Voltaje Máximo y Mínimo:** Esta es una tabla que me indica los niveles de tensión máximo y mínimo en cada nodo en p.u.
- **Compensación Reactiva:**
 - Tabla que me indica los niveles de potencia reactiva (Máxima y Mínima) en cada nodo en MVAR.

Informe Final - 27.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

- Indica los niveles de susceptancia máxima y mínima por cada nodo en p.u.
- **Demanda de cada nodo del sistema:** Tabla que indica la demanda en cada nodo del sistema (en MW) para los distintos periodos de operación y en cada día de estudio.
- **Corredores de Transporte:** Tabla con los datos de nodo inicial, nodo final, ángulo de desfase máximo, ángulo de desfase mínimo y el nodo adyacente al tap de cada corredor de transporte del sistema.
- **Elementos de Red Existentes:** Es una tabla que tiene en cuenta cada uno de los siguientes componentes para cada uno de los elementos de red del sistema.
 - Numero del corredor.
 - Resistencia serie (En p.u.).
 - Reactancia serie (En p.u.).
 - Susceptancia paralelo en el nodo inicial (En p.u.).
 - Susceptancia paralelo en el nodo final (En p.u.).
 - Potencia aparente máxima en el nodo inicial.
 - Potencia aparente máxima en el nodo final.
 - Resistencia variable serie máxima.
 - Reactancia variable serie máxima.
 - Reactancia variable serie mínima.
 - Susceptancia Paralelo variable máxima nodo inicial.
 - Susceptancia Paralelo variable mínima nodo inicial.
 - Susceptancia Paralelo variable máxima nodo final.
 - Susceptancia Paralelo variable mínima nodo final.
 - Posición máxima del Tap.
 - Posición mínima del Tap.
 - Nodo adyacente al Tap.
 - Coeficiente de seguridad.
 - Conductancia variable serie máxima.
 - Susceptancia variable serie máxima.
 - Susceptancia variable serie mínima.
- **Escenario de Precios de Oferta:** Es una tabla con los precios de oferta en cada unidad de generación.
- **Datos de las Plantas:** Tabla que relaciona los siguientes datos de las plantas de generación.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

- Generación máxima de potencia activa en cada día de estudio para cada unidad.
- Generación máxima de potencia reactiva en cada día de estudio para cada unidad.
- Generación mínima de potencia reactiva en cada día de estudio para cada unidad.
- **Tiempos On Off de las plantas:** Es una tabla con el tiempos de encendido y el tiempo de apagado de cada unidad de generación.
- **Valor Base de Potencia:** Es el valor escalar que representa la cantidad de MVA bases del sistema.

2.2.2 Descripción de las Variables de Decisión

- **costo:** Costo económico total de operación
- **gt:** Generación de cada unidad por periodo de operación de cierto día de estudio en MW.
- **racnu:** Racionamiento de la demanda a nodo único por periodo de operación de cierto día de estudio en MW.
- **ffpp:** Flujo promedio de potencia activa por los elementos de red por periodo de operación de cierto día de estudio en MW.
- **pdp:** Pérdidas de potencia activa en los elementos de red por periodo de operación de cierto día de estudio en MW.
- **delta:** Angulo de fase de la tensión en cada nodo por periodo de operación de cierto día de estudio en rad.
- **alfa:** Angulo de desfase adicional de la tensión en cada corredor por periodo de operación de cierto día de estudio en rad.
- **rac:** Racionamiento de potencia activa en cada nodo por periodo de operación de cierto día de estudio en MW.
- **gtq:** Generación de potencia reactiva por periodo de operación de cierto día de estudio en MVAR.
- **ffpq:** Flujo promedio de potencia reactiva por los elementos de red por periodo de operación de cierto día de estudio en MVAR.
- **pdq:** Pérdidas de potencia reactiva en los elementos de red por periodo de operación de cierto día de estudio en MVAR.
- **v:** Voltaje en cada nodo por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.
- **mvr:** Compensación de potencia reactiva en cada nodo por periodo de operación de cierto día de estudio en MVAR.
- **rx:** Resistencia serie variable de cada elemento de red por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.

- **xx**: Reactancia serie variable de cada elemento de red periodo de operación de cierto día de estudio en pu.
- **bsxi**: Susceptancia paralelo variable nodo inicial de cada elemento de red por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.
- **bsxf**: Susceptancia paralelo variable nodo final de cada elemento de red por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.
- **bsn**: Compensación susceptancia shunt (paralelo) en cada nodo por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.
- **tp**: Posición del tap de cada elemento de red por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.
- **gx**: Conductancia serie variable de cada elemento de red por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.
- **bx**: Susceptancia serie variable de cada elemento de red por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.

2.2.3 Descripción de las Ecuaciones que Intervienen en el Modelo

- **costobjnu**: Costo total de operación (N. Único), función objetivo.

$$\text{costo} = \sum_{t=A_1}^{A_N} \left(\left(\sum_{op=00}^{23} \sum_{et=T_1}^{T_N} prt_{et} \cdot gt_{et,t,op} \right) + \left(\sum_{op=00}^{23} \sum_{r=R_1}^{R_N} cr_r \cdot racnu_{r,t,op} \right) \right) \quad (2.1)$$

Donde

- prt_{et} Vector de ofertas de derechos asignados.
- $gt_{et,t,op}$ Vector de flujo de potencia máximo de cada línea.
- cr_r Costo de racionamiento por índice
- $racnu_{r,t,op}$ MW racionados por índice de racionamiento en cierto periodo para un día de estudio.
- R_N Cantidad de índices de racionamiento.
- T_N Cantidad de unidades generadoras.
- A_N Cantidad de días de estudio.

- **Costobj**: Costo total de operación, función objetivo.

$$\text{costo} = \sum_{t=A_1}^{A_N} \left(\left(\sum_{op=00}^{23} \sum_{et=T_1}^{T_N} prt_{et} \cdot gt_{et,t,op} \right) + \sum_{n=n_1}^{n_N} \left(\sum_{op=00}^{23} \sum_{r=R_1}^{R_N} cr_r \cdot rac_{n,r,t,op} \right) \right) \quad (2.2)$$

Donde

Informe Final - 30.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

$rac_{n,r,t,op}$ MW racionados por nodo por índice de racionamiento en cierto periodo para un día de estudio.

n_N Cantidad de Barras en el sistema.

- **EncAct:** Control de encendido y apagado de las unidades para flujo de potencia activa.

$$gt_{et,t,op} = \begin{cases} 0, op < tiemp_1 \\ 0, op > tiemp_2 \end{cases} \quad (2.3)$$

Donde

$tiemp_1$ Tiempo de encendido de cada unidad de generación.

$tiemp_2$ Tiempo de apagado de cada unidad de generación.

- **EncRact:** Control de encendido y apagado de las unidades para flujo de potencia Reactiva.

$$gtq_{et,t,op} = \begin{cases} 0, op < tiemp_1 \\ 0, op > tiemp_2 \end{cases} \quad (2.4)$$

Donde

$gtq_{et,t,op}$ MVAR generados por unidad en cierto periodo para un día de estudio.

- **balpnu:** Ecuación de balance de potencia a nodo único (1a Ley de Kirchhoff).

$$ldnu_{t,op} = \sum_{et=T_1}^{T_N} gt_{et,t,op} + \sum_{r=R_1}^{R_N} racnu_{r,t,op} \quad (2.5)$$

Donde

$ldnu_{t,op}$ Demanda total para un periodo de operación y en un día de estudio.

- **balp:** Ecuación de balance de potencia activa (1a Ley de Kirchhoff).

$$\vec{T} \times \vec{gt}_{et,t,op} + rac_{n,r,t,op} - \vec{A}^T \times \vec{ffpp}_{el,t,op} - \frac{1}{2} |\vec{A}^T| \times \vec{pdp}_{el,t,op} = lddatos_{n,t,op} \quad (2.6)$$

Donde

$\vec{gt}_{et,t,op}$ Vector MW generados por unidad en cierto periodo para un día de estudio.

Informe Final - 31.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

$$\vec{gt}_{el,t,op} = \left[\begin{array}{l} T_1 \rightarrow g_{P_{T1}} \\ T_2 \rightarrow g_{P_{T2}} \\ T_3 \rightarrow g_{P_{T3}} \\ \vdots \\ T_N \rightarrow g_{P_{TN}} \end{array} \right]_{t=A_1 \wedge op=00}$$

Matriz incidencia nodos generador, de T_N columnas y n_N filas.

$$\vec{T} = \left[\begin{array}{cccc} & g_{T1} & g_{T2} & g_{T3} & g_{TN} \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \dots \downarrow \\ n_1 \rightarrow & 1 & 0 & 1 & \dots 0 \\ n_2 \rightarrow & 0 & 1 & 0 & \dots 0 \\ n_3 \rightarrow & 0 & 0 & 0 & \dots 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ n_N \rightarrow & 0 & 0 & 0 & 0 \ 1 \end{array} \right]$$

Matriz incidencia corredores.

$$\vec{A} = \vec{A}_{C,n} = \begin{cases} 1, \text{ si } n \text{ es nodo inicial de } C \\ -1, \text{ si } n \text{ es nodo final de } C \\ 0, \text{ otros casos} \end{cases} = \left[\begin{array}{cccc} & n_1 & n_2 & n_3 & n_N \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \dots \downarrow \\ C_1 = C_{12} \rightarrow & 1 & -1 & 0 & \dots 0 \\ C_2 = C_{23} \rightarrow & 0 & 1 & -1 & \dots 0 \\ C_3 = C_{3N} \rightarrow & 0 & 0 & 1 & \dots -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_{NC} = C_{2N} \rightarrow & 0 & 1 & 0 & \dots -1 \end{array} \right]$$

Vector MW racionados por nodo por índice de racionamiento en cierto periodo para un día de estudio.

$$\vec{rac}_{n,r,t,op} = \left[\begin{array}{l} n_1 \rightarrow rac_{n_1} \\ n_2 \rightarrow rac_{n_2} \\ n_3 \rightarrow dem_{n_3} \\ \vdots \\ n_N \rightarrow rac_{n_N} \end{array} \right]_{r=R1, \dots, \wedge t=A_1 \wedge op=00}$$

$\vec{ffpp}_{el,t,op}$ Vector de flujo promedio de potencia activa por los elementos.

Informe Final - 32.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

$$\vec{ffpp}_{el,t,op} = \begin{bmatrix} C_1 = C_{12} \rightarrow ffp_{12} \\ C_2 = C_{23} \rightarrow ffp_{23} \\ C_3 = C_{3N} \rightarrow ffp_{3N} \\ \vdots \\ C_{NC} = C_{2N} \rightarrow ffp_{2N} \end{bmatrix}_{t=A_1 \wedge op=00}$$

Vector de pérdidas de potencia activa por los elementos.

$$\vec{pdp}_{el,t,op} = \begin{bmatrix} C_1 = C_{12} \rightarrow pdp_{12} \\ C_2 = C_{23} \rightarrow pdp_{23} \\ C_3 = C_{3N} \rightarrow pdp_{3N} \\ \vdots \\ C_{NC} = C_{2N} \rightarrow pdp_{2N} \end{bmatrix}_{t=A_1 \wedge op=00}$$

Vector de demanda por nodo en un periodo de operación para un día de estudio.

$$\vec{lddatos}_{n,t,op} = \begin{bmatrix} n_1 \rightarrow dem_{n_1} \\ n_2 \rightarrow dem_{n_2} \\ n_3 \rightarrow dem_{n_3} \\ \vdots \\ n_N \rightarrow dem_{n_N} \end{bmatrix}_{t=A_1 \wedge op=00}$$

NC Cantidad de corredores (es el mismo que el de elementos).

- **balq:** Ecuación de balance de potencia reactiva (1a Ley de Kirchoff).

$$\vec{T} \times \vec{gtq}_{el,t,op} + S_{base} \cdot \vec{bsn}_{n,t,op} \cdot \vec{v}_{n,t,op}^2 + mvr_{n,t,op} + \sqrt{1 - FP_{n|n=n_1, n_2, \dots, n_N}^2} \cdot \frac{\vec{rac}_{n,r,t,op}}{FP_{n|n=n_1, n_2, \dots, n_N}} - \vec{A}^T \times \vec{ffpq}_{el,t,op} - \frac{1}{2} |\vec{A}^T| \times \vec{pdq}_{el,t,op} = \sqrt{1 - FP_{n|n=n_1, n_2, \dots, n_N}^2} \cdot \frac{\vec{lddatos}_{n,t,op}}{FP_{n|n=n_1, n_2, \dots, n_N}} \quad (2.7)$$

Donde

$\vec{gtq}_{el,t,op}$ Vector MVAR generados por unidad en cierto periodo para un día de estudio.

Informe Final - 33.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

$$\vec{gtq}_{et,t,op} = \begin{bmatrix} T_1 \rightarrow g_{Q_{T1}} \\ T_2 \rightarrow g_{Q_{T2}} \\ T_3 \rightarrow g_{Q_{T3}} \\ \vdots \\ T_N \rightarrow g_{Q_{TN}} \end{bmatrix} \Big|_{t=A_1 \wedge op=00}$$

Vector de compensación susceptancia shunt (paralelo) por nodo en cada periodo de operación para unos días de estudio.

$$\vec{bsn}_{n,t,op} = \begin{bmatrix} n_1 \rightarrow b_{shnt_{n1}} \\ n_2 \rightarrow b_{shnt_{n2}} \\ n_3 \rightarrow b_{shnt_{n3}} \\ \vdots \\ n_N \rightarrow b_{shnt_{nN}} \end{bmatrix} \Big|_{t=A_1 \wedge op=00}$$

Vector de tensiones por nodo en cada periodo de operación para unos días de estudio.

$$\vec{v}_{n,t,op} = \begin{bmatrix} n_1 \rightarrow v_{n1} \\ n_2 \rightarrow v_{n2} \\ n_3 \rightarrow v_{n3} \\ \vdots \\ n_N \rightarrow v_{nN} \end{bmatrix} \Big|_{t=A_1 \wedge op=00}$$

Vector de compensación de potencia reactiva por nodo en cada periodo de operación para unos días de estudio.

$$\vec{mvr}_{n,t,op} = \begin{bmatrix} n_1 \rightarrow q_{n1} \\ n_2 \rightarrow q_{n2} \\ n_3 \rightarrow q_{n3} \\ \vdots \\ n_N \rightarrow q_{nN} \end{bmatrix} \Big|_{t=A_1 \wedge op=00}$$

Vector de flujo promedio de potencia reactiva por los elementos en cada periodo de operación para unos días de estudio.

$$\vec{ffpq}_{el,t,op}$$

Informe Final - 34.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

$$\vec{ffpq}_{el,t,op} = \left[\begin{array}{l} C_1 = C_{12} \rightarrow ffpq_{12} \\ C_2 = C_{23} \rightarrow ffpq_{23} \\ C_3 = C_{3N} \rightarrow ffpq_{3N} \\ \vdots \\ C_{NC} = C_{2N} \rightarrow ffpq_{2N} \end{array} \right]_{t=A_1 \wedge op=00}$$

Vector de pérdidas de potencia reactiva por los elementos en cada periodo de operación para unos días de estudio.

$$\vec{pdq}_{el,t,op} = \left[\begin{array}{l} C_1 = C_{12} \rightarrow pdq_{12} \\ C_2 = C_{23} \rightarrow pdq_{23} \\ C_3 = C_{3N} \rightarrow pdq_{3N} \\ \vdots \\ C_{NC} = C_{2N} \rightarrow pdq_{2N} \end{array} \right]_{t=A_1 \wedge op=00}$$

S_{base} MVA base para el sistema.

$FP_{n,t,op}$ Es el factor de potencia de la demanda en cada nodo dependiendo del periodo (Hora) de operación y del día de estudio.

- **fluppd**: Flujo promedio de potencia activa por elemento de red (Modo. DC y DCp).

$$\vec{ffpp}_{el,t,op} = -S_{base} \cdot \left(\vec{bx}_{el,t,op} - \frac{(\vec{X}_{el} + \vec{xx}_{el,t,op})}{(\vec{R}_{el} + \vec{rx}_{el,t,op})^2 + (\vec{X}_{el} + \vec{xx}_{el,t,op})^2} \right) \cdot \left(\vec{A} \times \vec{\delta}_{n,t,op} + \vec{B} \times \vec{\alpha}_{el,t,op} \right)^{12} \quad (2.8)$$

Donde

Vector de ángulos de fase de las tensiones en cada nodo por periodo de operación de cierto día de estudio en rad.

$$\vec{\delta}_{n,t,op} = \left[\begin{array}{l} n_1 \rightarrow \delta_{n_1} \\ n_2 \rightarrow \delta_{n_2} \\ n_3 \rightarrow \delta_{n_3} \\ \vdots \\ n_N \rightarrow \delta_{n_N} \end{array} \right]_{t=A_1 \wedge op=00}$$

\vec{B} Matriz de incidencia de control nodal (Inicial o final) del ángulo alfa.

¹² En esta ecuación la división de los vectores es punto a punto al igual que su producto (\cdot), el resultado es un vector de un columna y NC (cantidad de corredores) filas.

$$\vec{B}_{C,n} = \begin{cases} 1, \text{ si pos. tap esta en nodo final de C} \\ -1, \text{ si pos. tap esta en nodo inicial de C} \\ 0, \text{ otros casos} \end{cases} = \begin{bmatrix} & n_1 & n_2 & n_3 & \dots & n_N \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \dots & \downarrow \\ C_1 = C_{12} \rightarrow & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ C_2 = C_{23} \rightarrow & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ C_3 = C_{3N} \rightarrow & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_{NC} = C_{2N} \rightarrow & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Vector de ángulos de desfase adicional de las tensiones en cada corredor por periodo de operación de cierto día de estudio en rad.

$$\vec{alfa}_{ct,t,op} = \begin{bmatrix} C_{12} \rightarrow \alpha_{C_{12}} \\ C_{23} \rightarrow \alpha_{C_{23}} \\ C_{3N} \rightarrow \alpha_{C_{3N}} \\ \vdots \\ C_{2N} \rightarrow \alpha_{C_{2N}} \end{bmatrix}_{t=A_i \wedge op=00}$$

$\vec{bx}_{el,t,op}$ Vector de susceptancias serie variable de los elementos de red por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.

\vec{X}_{el} Vector de reactancias serie de los elementos de red.

$\vec{xx}_{el,t,op}$ Vector de reactancias serie variable de los elementos de red periodo de operación de cierto día de estudio en pu.

\vec{R}_{el} Vector de resistencias serie de los elementos de red.

$\vec{rx}_{el,t,op}$ Vector de resistencias serie variable de los elementos de red por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.

- **fluppac:** Flujo promedio de potencia activa por elemento de red (Modelo AC).

$$\vec{ffpp}_{el,t,op} = \frac{S_{base}}{tp_{el,t,op}} \cdot \left(\begin{aligned} & \left(\frac{1}{2} \vec{gx}_{el,t,op} + \frac{(\vec{R}_{el} + \vec{rx}_{el,t,op})}{(\vec{R}_{el} + \vec{rx}_{el,t,op})^2 + (\vec{X}_{el} + \vec{xx}_{el,t,op})^2} \right) \cdot \vec{C} \times \vec{v}_{n,t,op}^2 \\ & - \left(\vec{bx}_{el,t,op} - \frac{(\vec{X}_{el} + \vec{xx}_{el,t,op})}{(\vec{R}_{el} + \vec{rx}_{el,t,op})^2 + (\vec{X}_{el} + \vec{xx}_{el,t,op})^2} \right) \\ & \cdot (\vec{D} \times \vec{v}_{n,t,op}) \cdot (\vec{E} \times \vec{v}_{n,t,op}) \\ & \cdot \sin \left(\vec{A} \times \vec{\delta}_{n,t,op} + \vec{B} \times \vec{\alpha}_{ct,t,op} \right) \end{aligned} \right)_{t=A_i \dots \wedge op=00...} \quad (2.9)$$

Donde

Matriz de incidencia de control del cambiador de tap.

$$\bar{C}_{C,n} = \begin{cases} \frac{1}{-2tp_{el,t,op}}, & \text{si el nodo inicial de C = pos. tap} \\ 1, & \text{si el nodo inicial de C} \neq \text{pos. tap} \\ -\frac{1}{-2tp_{el,t,op}}, & \text{si el nodo final de C = pos. tap} \\ 1, & \text{si el nodo final de C} \neq \text{pos. tap} \end{cases}$$

Matriz de incidencia de control nodal (Inicial) del corredor.

$$\bar{D}_{C,n} = \begin{cases} 1, & \text{si n es el nodo inicial de C} \\ 0, & \text{otro caso} \end{cases} = \begin{bmatrix} & n_1 & n_2 & n_3 & n_N \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \dots \downarrow \\ C_1 = C_{12} \rightarrow & 1 & 0 & 0 & \dots 0 \\ C_2 = C_{23} \rightarrow & 0 & 1 & 0 & \dots 0 \\ C_3 = C_{3N} \rightarrow & 0 & 0 & 1 & \dots 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_{NC} = C_{2N} \rightarrow & 0 & 1 & 0 & \dots 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de incidencia de control nodal (Final) del corredor.

$$\bar{E}_{C,n} = \begin{cases} 1, & \text{si n es el nodo final de C} \\ 0, & \text{otro caso} \end{cases} = \begin{bmatrix} & n_1 & n_2 & n_3 & n_N \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \dots \downarrow \\ C_1 = C_{12} \rightarrow & 0 & 1 & 0 & \dots 0 \\ C_2 = C_{23} \rightarrow & 0 & 0 & 1 & \dots 0 \\ C_3 = C_{3N} \rightarrow & 0 & 0 & 0 & \dots 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_{NC} = C_{2N} \rightarrow & 0 & 0 & 0 & \dots 1 \end{bmatrix}$$

$\overline{tp}_{el,t,op}$ Vector de posiciones del tap de los elementos de red por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.

$\overline{gx}_{el,t,op}$ Conductancia serie variable de cada elemento de red por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.

- **flupqac:** Flujo promedio de potencia reactiva por elemento de red (Modelo AC).

Informe Final - 37.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

$$\vec{f}p_{el,t,op} = -\frac{S_{base}}{ip_{el,t,op}} \cdot \left(\begin{array}{l} \left(\vec{D}^T \times \overline{Bsi}_{el} + \left(\vec{D}^T \times \vec{bsxi}_{el,t,op} \right) - \vec{E}^T \times \overline{Bsf}_{el} + \right)^T \cdot \vec{v}_{n,t,op}^2 \\ \frac{1}{2} \cdot \left(\vec{E}^T \times \vec{bsxf}_{el,t,op} \right) \\ + \left(\overline{bx}_{el,t,op} - \frac{(\overline{X}_{el} + \overline{xx}_{el,t,op})}{(\overline{R}_{el} + \overline{rx}_{el,t,op})^2 + (\overline{X}_{el} + \overline{xx}_{el,t,op})^2} \right) \cdot \overline{C} \times \vec{v}_{n,t,op}^2 \\ + \left(\overline{gx}_{el,t,op} - \frac{(\overline{R}_{el} + \overline{rx}_{el,t,op})}{(\overline{R}_{el} + \overline{rx}_{el,t,op})^2 + (\overline{X}_{el} + \overline{xx}_{el,t,op})^2} \right) \\ \cdot (\vec{D} \times \vec{v}_{n,t,op}) \cdot (\vec{E} \times \vec{v}_{n,t,op}) \\ \cdot \sin \left(\vec{A} \times \vec{\delta}_{n,t,op} + \vec{B} \times \vec{\alpha}_{ct,t,op} \right) \end{array} \right) \Big|_{t=A_1 \dots \wedge op=00\dots} \quad (2.10)$$

Donde

- \overline{Bsi}_{el} Vector de susceptancias paralelo en el nodo inicial de los elementos.
- $\vec{bsxi}_{el,t,op}$ Vector susceptancias paralelo variable nodo inicial de cada elemento de red por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.
- \overline{Bsf}_{el} Vector de Susceptancias paralelo en el nodo final de los elementos.
- $\vec{bsxf}_{el,t,op}$ Vector susceptancias paralelo variable nodo final de cada elemento de red por periodo de operación de cierto día de estudio en pu.

perdpdc: Pérdidas de potencia activa por elemento de red (Modelo DC). $\vec{pdp}_{el,t,op} = 0$ (2.11)

- **perdpdcp:** Pérdidas de potencia activa por elemento de red (Modelo DCp).

$$\vec{pdp}_{el,t,op} = S_{base} \cdot \left(\begin{array}{l} \left(\overline{gx}_{el,t,op} + \frac{(\overline{R}_{el} + \overline{rx}_{el,t,op})}{(\overline{R}_{el} + \overline{rx}_{el,t,op})^2 + (\overline{X}_{el} + \overline{xx}_{el,t,op})^2} \right) \\ \cdot \left(\vec{A} \times \vec{\delta}_{n,t,op} + \vec{B} \times \vec{\alpha}_{ct,t,op} \right)^2 \end{array} \right) \Big|_{t=A_1 \dots \wedge op=00\dots} \quad (2.12)$$

- **perdpac:** Pérdidas de potencia activa por elemento de red (Modelo AC).

$$\vec{pd}p_{el,t,op} = \frac{S_{base}}{tp_{el,t,op}} \cdot \left(\begin{array}{l} \left(\vec{g}x_{el,t,op} + \frac{(\vec{R}_{el} + r\vec{x}_{el,t,op})}{(\vec{R}_{el} + r\vec{x}_{el,t,op})^2 + (\vec{X}_{el} + \vec{x}x_{el,t,op})^2} \right) \cdot \vec{C} \times \vec{v}_{n,t,op}^2 \\ -2 \cdot (\vec{D} \times \vec{v}_{n,t,op}) \cdot (\vec{E} \times \vec{v}_{n,t,op}) \\ \cdot \cos(\vec{A} \times \vec{\delta}_{n,t,op} + \vec{B} \times \vec{\alpha}_{ct,t,op}) \end{array} \right) \quad (2.13)$$

$|t=A_1 \dots \wedge op=00\dots$

- **perdqac:** Pérdidas de potencia reactiva por elemento de red (Modelo AC).

$$\vec{pd}q_{el,t,op} = -\frac{S_{base}}{tp_{el,t,op}} \cdot \left(\begin{array}{l} \left(\left(\vec{D}^T \times \vec{B}si_{el} + \left(\vec{D}^T \times \vec{bsxi}_{el,t,op} \right) - \vec{E}^T \times \vec{Bsf}_{el} + \right)^T \right. \\ \left. \left(\vec{E}^T \times \vec{bsxf}_{el,t,op} \right) \right) \cdot \vec{v}_{n,t,op}^2 \\ + \vec{C} \times \vec{v}_{n,t,op}^2 \\ -2 \cdot (\vec{D} \times \vec{v}_{n,t,op}) \cdot (\vec{E} \times \vec{v}_{n,t,op}) \\ \cdot \cos(\vec{A} \times \vec{\delta}_{n,t,op} + \vec{B} \times \vec{\alpha}_{ct,t,op}) \end{array} \right) \quad (2.14)$$

$|t=A_1 \dots \wedge op=00\dots$

- **ffppdcmx:** Flujo promedio máximo de potencia activa por elemento de red (Mod. DC, DCp).

$$\vec{ff}pp_{el,t,op} \leq CSEG \cdot \vec{S}_{mxi} - \frac{1}{2} \cdot \vec{pd}p_{el,t,op} \quad (2.15)$$

Donde

$CSEG$ Coeficiente de seguridad.

\vec{S}_{mxi} Vector de potencia aparente máxima en el nodo inicial de los elementos.

- **ffppdcmn:** Flujo promedio mínimo de potencia activa por elemento de red (Mod. DC, DCp).

$$\vec{ff}pp_{el,t,op} \geq CSEG \cdot \vec{S}_{mxf} - \frac{1}{2} \cdot \vec{pd}p_{el,t,op} \quad (2.16)$$

Donde

\vec{S}_{mxf} Vector de potencias aparente máxima en el nodo final de los elementos.

- **ffsaci:** Flujo aparente máximo entrando a cada elemento de red, NI-NF (Mod. AC).

$$\sqrt{\left(\vec{ffpp}_{el,t,op} + \frac{1}{2} \cdot \vec{pdp}_{el,t,op}\right)^2 + \left(-\vec{ffpq}_{el,t,op} + \frac{1}{2} \cdot \vec{pdq}_{el,t,op}\right)^2} \leq CSEG \cdot \vec{S}_{mxi} \quad (2.17)$$

- **ffsacf:** Flujo aparente máximo. entrando. a cada elemento de red, NF-NI (Mod. AC).

$$\sqrt{\left(-\vec{ffpp}_{el,t,op} + \frac{1}{2} \cdot \vec{pdp}_{el,t,op}\right)^2 + \left(-\vec{ffpq}_{el,t,op} + \frac{1}{2} \cdot \vec{pdq}_{el,t,op}\right)^2} \leq CSEG \cdot S_{mxf} \quad (2.18)$$

2.3 MODULO SUBASTA DE ASIGNACIÓN DE DERECHOS DE ADMITANCIA Y CAPACIDAD

En el modulo de subasta de derechos de admitancia y capacidad, se hace un análisis de la sensibilidades de la red, por medio de las restricciones del sistema y las ofertas de los derechos por parte de las demandas, para realizar una simulación de la corrida de una subasta por medio de un ente encargado del control del sistema que se delegara a maximizar los ingresos de los derechos adjudicar, para encontrar los resultados más óptimos en cuanto a los derechos otorgar y los precios de oferta de estos.

2.3.1 Datos de Entrada

Los datos de entrada para este modulo serán los mismos descritos en el modulo de despacho real mas lo concerniente a los derechos de transmisión propiamente.

A continuación se describen todos los datos de entrada del modelo, los datos que sean iguales para ambos modelos solo se mencionarán mas no se especificarán de nuevo pero los nuevos elementos si se describirán tal y como se realizó en el inciso anterior.

- **Datos oferentes derechos de transmisión:** Tabla que relaciona los siguientes datos de los distintos oferentes de derechos.
 - Numero de derecho.
 - Nodo inicial (Fuente).
 - Nodo Final (Sumidero).
 - MW máximos posibles a asignar.
 - MW mínimos posibles a asignar.

2.3.2 Descripción de las Variables de Decisión

- **Ingreso:** Ingresos recolectados por la subasta derechos de transmisión.
- **ftr:** Derechos de transmisión asignados por la subasta, (MW).

2.3.3 Descripción de las Ecuaciones que Intervienen en el Modelo

- **ingobj:** Ingreso total de la subasta, función objetivo.

Informe Final - 40.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

$$ingreso = \sum_{t=A_1}^{A_N} \left(\left(\sum_{op=00}^{23} \sum_{rt=R_1}^{R_N} prftr_{rt} \cdot ftr_{rt,t,op} \right) - \left(\sum_{op=00}^{23} \sum_{et=T_1}^{T_N} prt_{et} \cdot gt_{et,t,op} \right) \right) - \sum_{n=n_1}^{n_N} \left(\sum_{op=00}^{23} \sum_{r=r_1}^{r_N} cr_r \cdot rac_{n,r,t,op} \right) \quad (2.19)$$

Donde:

$prftr_{rt}$ Precio ofertado por derecho de transmisión.

$ftr_{rt,t,op}$ MW en derechos asignados por la subasta.

R_N Cantidad de Barras en el sistema.

- **balpSub:** Ecuación de balance de potencia activa en la subasta (1a Ley de Kirchhoff).

$$(\vec{W} - \vec{U}) \times \vec{ftr}_{rt,t,op} - \vec{T} \times \vec{gt}_{et,t,op} - \vec{rac}_{n,r,t,op} + \vec{A}^T \times \vec{ffpp}_{el,t,op} + \frac{1}{2} |\vec{A}^T| \times \vec{pdp}_{el,t,op} = 0 \quad (2.20)$$

Donde:

Matriz incidencia nodos fuentes para los derechos.

$$\vec{U}_{n,rt} \quad \vec{U}_{n,rt} = \begin{cases} 1, \text{ si } n \text{ es fuente para } rt \\ 0, \text{ en otro caso} \end{cases} = \begin{bmatrix} & R_1 = R_{12} & R_2 = R_{13} & R_3 = R_{2N} & R_N = R_{3N} \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \dots & \downarrow \\ n_1 \rightarrow & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ n_2 \rightarrow & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ n_3 \rightarrow & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ n_N \rightarrow & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz incidencia nodos sumideros para los derechos.

$$\vec{W}_{n,rt} \quad \vec{W}_{n,rt} = \begin{cases} 1, \text{ si } n \text{ es sumidero para } rt \\ 0, \text{ en otro caso} \end{cases} = \begin{bmatrix} & R_1 = R_{12} & R_2 = R_{13} & R_3 = R_{2N} & R_N = R_{3N} \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \dots & \downarrow \\ n_1 \rightarrow & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ n_2 \rightarrow & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ n_3 \rightarrow & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ n_N \rightarrow & 0 & 0 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

$\vec{l}ddatos_{n,t,op}$ Vector de demanda por nodo en un periodo de operación para un día de estudio.

$$\vec{f}ir_{rt,t,op} = \begin{bmatrix} R_1 \rightarrow R_{12} \\ R_2 \rightarrow R_{13} \\ R_3 \rightarrow R_{2N} \\ \vdots \\ R_N \rightarrow R_{3N} \end{bmatrix}_{t=A_1, \dots, \wedge op=00, \dots}$$

- **balqSub:** Ecuación de balance de potencia reactiva para la subasta (1a Ley de Kirchhoff).

$$\vec{T} \times \vec{gt}q_{et,t,op} + S_{base} \cdot \vec{bs}n_{n,t,op} \cdot \vec{v}_{n,t,op}^2 + mvr_{n,t,op} + \sqrt{1 - FP_{n|n=n_1, n_2, \dots, n_N}^2} \cdot \frac{rac_{n,r,t,op}}{FP_{n|n=n_1, n_2, \dots, n_N}} \quad (2.21)$$

$$-\vec{A}^T \times \vec{ff}pq_{el,t,op} - \frac{1}{2} |\vec{A}^T| \times \vec{pd}q_{el,t,op} = 0$$

Las ecuaciones de la (2.3) a la (2.4) y de la (2.8) a la (2.18) Son iguales a las que se describieron en el modulo anterior de despacho real.

2.4 MODULO LIQUIDACIÓN

El modulo de liquidación integra los resultados de la simulación del despacho real y de la subasta, el proceso compara los pagos que se deben efectuar en el mercado de energía y los pagos correspondientes a la subasta, los cuales según la teoría propuesta se relacionan con las pérdidas de potencia y el derecho a usar la red de transmisión. a continuación se describen como se obtienen estos pagos en el simulador.

2.4.1 Pagos por Concepto de Energía

Los pagos correspondientes a la energía se realizan para la generación y para la demanda al precio de bolsa obtenido, como se muestra a continuación.

- **EnerGen:** Pagos al generador por conceptos de energía.

$$EnerGen(et, t, op) = gt.l_{et,t,op} \cdot markprice_{t,op} \quad (2.22)$$

Donde:

$markprice_{t,op}$ Precio de bolsa.

$gt.l_{et,t,op}$ Generación.

- **EnerDem:** Pagos a la demanda por conceptos de energía.

$$EnerDem(n, t, op) = -lddatos_{n,t,op} \cdot markprice_{t,op} \quad (2.23)$$

Donde:

$l_{ddatos_{n,t,op}}$ Demanda por nodo.

2.4.2 Pagos por Concepto de Asignación de Derechos

Los pagos correspondientes a los derechos de transmisión se realizan a los oferentes que pueden ser generación o demanda y al transmisor cumpliendo con la teoría del Dr. Paul Gribik:

- **DerCap:** Pagos por derechos de capacidad al transmisor.

$$DerTranCap(el, t, op) = \left(\begin{array}{l} fpp.l_{el,t,op} \cdot (ffsaci.m_{el,t,op} - ffsacf.m_{el,t,op}) \\ + \frac{1}{2} pdp.l_{el,t,op} \cdot (ffsaci.m_{el,t,op} + ffsacf.m_{el,t,op}) \end{array} \right) \quad (2.24)$$

Donde:

$ffpp.l_{el,t,op}$ Potencia promedio por el elemento en liquidación estudio (el).

$ffsaci.m_{el,t,op}$ Variable equivalente a $\mu_{el,t,op}^{\max}$, y es la variable dual de la ecuación de transmisión máxima de potencia por el elemento de red, el .

$ffsacf.m_{el,t,op}$ Variable equivalente a $\mu_{el,t,op}^{\min}$, y es la variable dual de la ecuación de transmisión mínima de potencia por el elemento de red, el .

$pdp.l_{el,t,op}$ Pérdidas de potencia en el elemento en liquidación (el)

- **DerTranAdm:** Pagos por derechos de admitancia al transmisor.

$$DerTranAdm(el, t, op) = \left(\begin{array}{l} -ffpp.l_{el,t,op} \cdot \left(balp.m_{n=NF,t,op} - balp.m_{n=NI,t,op} + ffsaci.m_{el,t,op} \right) \\ - ffsacf.m_{el,t,op} \\ - \frac{1}{2} pdp.l_{el,t,op} \cdot \left(balp.m_{n=NF,t,op} + balp.m_{n=NI,t,op} + ffsaci.m_{el,t,op} \right) \\ + ffsacf.m_{el,t,op} \end{array} \right) \quad (2.25)$$

Donde:

$balp.m_{n=NF,t,op}$ Variable equivalente a $\lambda_{n=NF,t,op}$, y es la variable dual de la ecuación de balance de potencia por nodo, y equivale al precio nodal del nodo final para el corredor el .

$balp.m_{n=NI,t,op}$ Variable equivalente a $\lambda_{n=NI,t,op}$, y es la variable dual de la ecuación de balance de potencia por nodo, y equivale al precio nodal del nodo inicial para el corredor el .

- **DerTranTot:** Pagos totales al transmisor, correspondientes a la asignación de los derechos.

$$DerTranTot(el, t, op) = DerTranCap(el, t, op) + DerTranAdm(el, t, op) \quad (2.26)$$

- **DerGenPdP:** Pagos totales al generador, correspondientes a la asignación de los derechos, para suplir las pérdidas de la red.

$$DerGenPdP(et, t, op) = gt.l_{et, t, op} \cdot (balp.m_{n=net(et), t, op}) \quad (2.27)$$

- **BalGen:** Balance de pagos al generador (NETO).

$$BalGen(et, t, op) = EnerGen(et, t, op) + DerOfGen(et, t, op) + DerGenPdP(et, t, op) \quad (2.28)$$

- **BalDem:** Balance de pagos a la demanda (NETO).

$$BalDem(n, t, op) = EnerDem(n, t, op) + DerOfDem(n, t, op) \quad (2.29)$$

- **BalTran:** Balance de pagos al transmisor (NETO).

$$BalTran(el, t, op) = DerTranTot(el, t, op) \quad (2.30)$$

3. PRUEBAS REALIZADAS AL MODELO

En este capítulo se le realizan las diferentes pruebas al prototipo con distintos modelos de red, para evaluar las prestaciones del modelo HADA. En ellos se presentan diferentes combinaciones de sistemas y situaciones iniciales de derechos adjudicados.

Inicialmente se muestran algunos resultados representativos con los diferentes casos de prueba, el primer caso analizado es el propuesto por Gribik de tres barras en DC, DCp y AC, los cuales tienen adjudicaciones iniciales diferentes, y en el caso AC se simula con diferentes escenarios de generación, para ver la viabilidad del diseño del prototipo. Por último se muestran los resultados obtenidos con la utilización de HADA con el sistema de seis nodos utilizado originalmente por Garver [21], este caso de estudio se trabaja para el tipo de modelado de red AC, con diferentes características de los oferentes, para verificar la viabilidad del diseño de la subasta, y por tanto poder sacar observaciones importantes de este prototipo informático.

3.1 PRUEBAS EJEMPLO GRIBIK DC

En este apartado se considera un caso de un sistema de potencia de tres nodos, en el cual se usa un modelo de potencia DC, como se describe en la figura 2.

Se asume que existe un derecho financiero de transmisión de C hasta B de 100 MW que fueron previamente adjudicados a través de una subasta inicial, los cuales permanecerán vigentes durante el periodo cubierto por la actual subasta. En el planteamiento del problema se asume el nodo C como la barra de compensación en el caso de estudio.

En este caso se desea realizar la asignación de derechos financieros de transmisión de admitancia y capacidad, en los cuales se presentan las siguientes ofertas de compra.

- Oferta 1: \$8000/MW por hasta 125MW de A hasta C.
- Oferta 2: \$8500/MW por hasta 75MW de B hasta C.
- Oferta 3: -\$3500/MW por hasta 50MW de C hasta B.

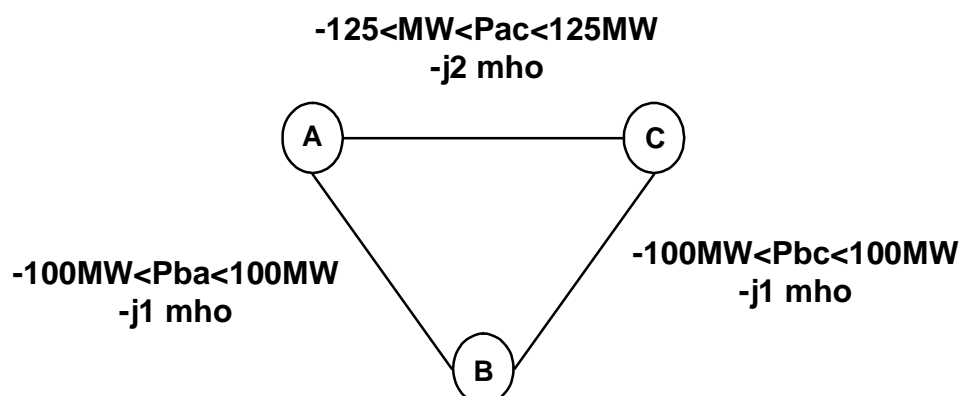


Figura 2. Modelo Gribik 3 de barras DC.

La tabla 1 describe las características de la demanda en cada nodo del caso en estudio.

Tabla 1. Características de la demanda para cada nodo.

Nodo	Demanda [MW]	FP
N_1	146.596	0.88
N_2	252.715	1.00
N_3	95.1415	0.92

La tabla 2 presenta los resultados de la subasta de asignación de derechos para el caso DC.

Tabla 2. Resultados de la corrida de asignación para el caso DC.

	Caso DC
Ingresos [\$]	45.833333E+6
R_{13}^* [MW]	93.750
R_{23}^* [MW]	75
R_{32}^* [MW]	50
δ_A^* [°]	1.79221
δ_B^* [°]	2.69290
δ_C^* [°]	0
P_{promAB} [MW]	-31.250
P_{promAC} [MW]	125
P_{promBC} [MW]	93.750
P_{perdAB} [MW]	0
P_{perdAC} [MW]	0
P_{perdBC} [MW]	0
λ_A^* [\$/MW]	-8000
λ_B^* [\$/MW]	-4000

Informe Final - 46.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

λ_c^* [\$/MW]	0
$\mu_{A \rightarrow B}^{\min*}$ [\$/MW]	0
$\mu_{A \rightarrow B}^{\max*}$ [\$/MW]	0
$\mu_{A \rightarrow C}^{\min*}$ [\$/MW]	0
$\mu_{A \rightarrow C}^{\max*}$ [\$/MW]	10000
$\mu_{B \rightarrow C}^{\min*}$ [\$/MW]	0
$\mu_{B \rightarrow C}^{\max*}$ [\$/MW]	0

La tabla 3 presentan los resultados de la liquidación de la subasta para el caso DC, en ella se observa que los ingresos totales de la subasta de derechos se igualan a los pagos totales realizados a la línea¹³.

Tabla 3. Resultados de la liquidación para el caso DC.

	Caso DC
Ingreso por R_{13} [\$]	750000
Ingreso por R_{23} [\$]	300000
Ingreso por R_{32} [\$]	-200000
Ingresos de la subasta [\$]	850000
Pago a la línea AB [\$]	35000
Pago a la línea AC [\$]	680000
Pago a la línea BC [\$]	135000
Pago cap. línea AB [\$]	0
Pago cap. línea AC [\$]	850000
Pago cap. línea BC [\$]	0
Pago adm. línea AB [\$]	35000
Pago adm. línea AC[\$]	-170000
Pago adm. línea BC[\$]	135000
Pagos totales [\$]	850000
Ingresos - pagos [\$]	≈ 0

¹³ En este pago se incluye los pagos realizados a los corredores, además del abastecimiento de las pérdidas de generación que se hayan presentado en la subasta.

La tabla 4 presentan los resultados de la liquidación para el modelo de despacho en el caso DC, en ella se observa que los ingresos de las demandas y los pagos de los generadores son cero debido a que el precio del mercado es nulo, porque todos los generadores tenían un costo marginal despreciable.

Tabla 4. Resultados de la liquidación para el modelo de despacho en el caso DC.

	Caso DC
Ingreso por Dem_{N_1} [\$]	0
Ingreso por Dem_{N_2} [\$]	0
Ingreso por Dem_{N_3} [\$]	0
Ingreso Total por Demandas [\$]	0
Pago a G_A	0
Pago a G_B	0
Pago a G_C	0
Pago total por Generación	0
Ingresos - pagos	0

La figura 3 presenta los resultados obtenidos del caso de 3 nodos en DC.

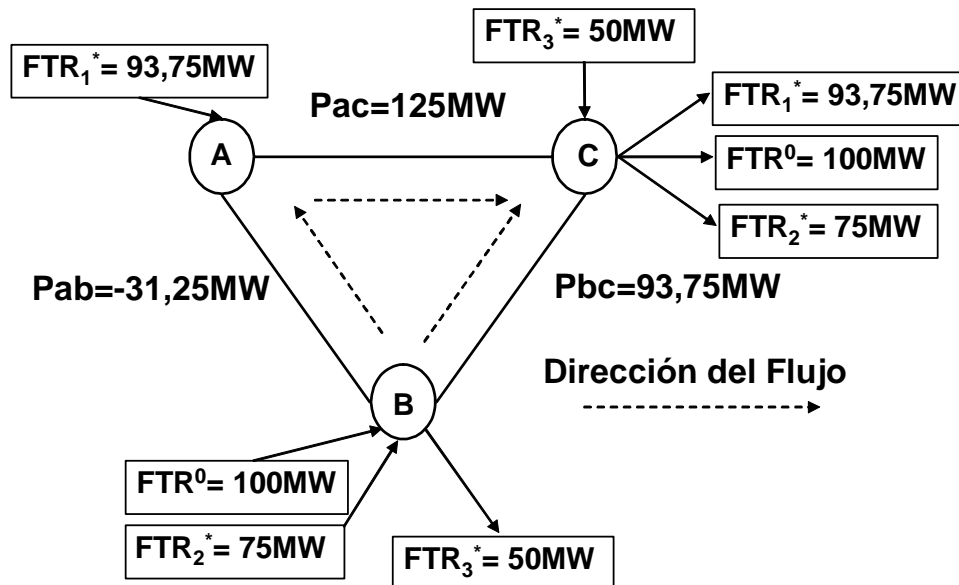


Figura 3. Resultados del Modelo de 3 barras DC.

3.2 PRUEBAS EJEMPLO GRIBIK AC

En este apartado se considera un caso de un sistema de potencia de tres nodos, en el cual se usa un modelo de potencia AC, como se describe en la figura 4.

En el planteamiento del problema se asume el nodo C como la barra de compensación en el caso de estudio.

En este caso se desea realizar la asignación de derechos financieros de transmisión de admitancia y capacidad para un modelo AC, en los cuales se presentan las siguientes ofertas de compra.

- Oferta 1: \$6000/MW por hasta 8000MW de A hasta C.
- Oferta 2: \$5000/MW por hasta 500MW de A hasta B.

El desarrollo de las pruebas en este caso en particular brinda señales claras de la viabilidad de la subasta para redes eléctricas más complejas. Este caso se prueba en distintos escenarios de generación ofrecidos para asumir las pérdidas como se muestran en las tablas 5, 6 y 7.

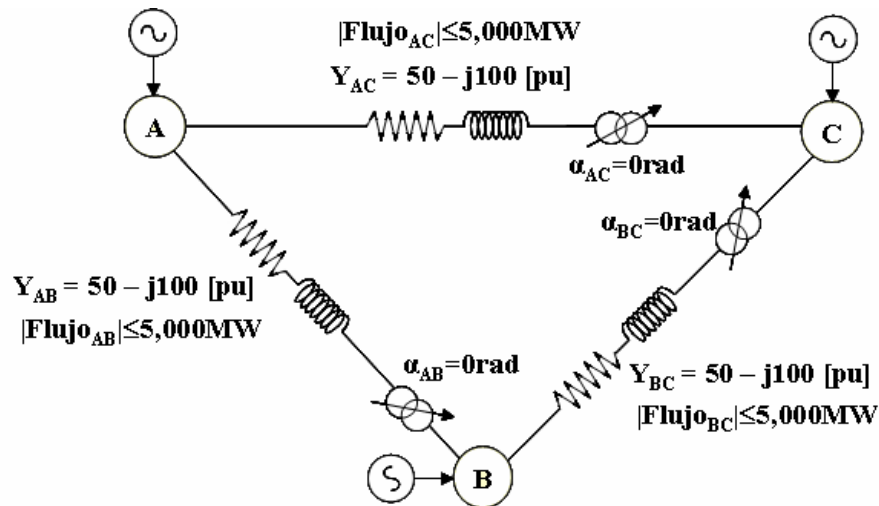


Figura 4. Modelo Gribik de 3 barras AC.

En la tabla 5, 6, y 7, se describen los costos y las características de generación de cada unidad para los casos 1, 2, y 3.

Tabla 5. Característica de cada unidad de generación para el caso 1.

Generador	Costo [\$/MW]	Gpmax [MW]	Gqmax [MW]	Gqmin [MVAR]
G_A	0	10000	300	-300
G_B	0	10000	550	-550
G_C	0	10000	150	-150

Tabla 6. Característica de cada unidad de generación para el caso 2.

Generador	Costo [\$/MW]	Gpmax [MW]	Gqmax[MW]	Gqmin [MVAR]
G_A	1400	400	300	-300
G_B	4000	600	550	-550
G_C	7400	800	150	-150

Tabla 7. Característica de cada unidad de generación para el caso 3.

Generador	Costo [\$/MW]	Gpmax [MW]	Gqmax[MW]	Gqmin [MVAR]
G_A	1400	600	300	-300
G_B	4000	800	550	-550
G_C	7400	1000	150	-150

La tabla 8 presenta los resultados que se obtienen al ejecutar el prototipo HADA para el modelo de red AC.

Tabla 8. Resultados de la corrida de asignación de derechos para el modelo en AC.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Ingresos [\$]	45.833333E+6	40.943160E+6	42.818602E+6
R_{12}^* [MW]	500	500	500
R_{13}^* [MW]	7147.517	6407.210	6095.512
$G_{Aperdidas}$ [MW]	0	400	600
$G_{Bperdidas}$ [MW]	0	600	800
$G_{Cperdidas}$ [MW]	1521.257	507.016	106.467
δ_A^* [°]	25.8404	25.8404	25.8404
δ_B^* [°]	10.6570	12.4904	13.0634
δ_C^* [°]	0	0	0
P_{promAB} [MW]	2614.679	2312.753	2212.678
P_{promAC} [MW]	4358.899	4358.899	4358.899

Informe Final - 50.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

P_{promBC} [MW]	1854.051	2159.245	2259.445
P_{perdAB} [MW]	347.878	271.116	247.869
P_{perdAC} [MW]	1000	1000	1000
P_{perdBC} [MW]	173.378	235.899	258.598
λ_A^* [\$/MW]	-6000	1400	1400
λ_B^* [\$/MW]	-3443.046	4094.745	4044.096
λ_C^* [\$/MW]	0	7400	7400
$\mu_{A \rightarrow B}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{A \rightarrow B}^{\max*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{A \rightarrow C}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{A \rightarrow C}^{\max*}$ [\$/MW]	9553.054	5018.121	5008.916
$\mu_{B \rightarrow C}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{B \rightarrow C}^{\max*}$ [\$/MW]	0	0	0

Las tablas 9 y 10 presentan los distintos resultados correspondientes a las liquidaciones de la red para los diferentes casos de estudio que se desean analizar. La tabla 9 especifica los datos de liquidación para la parte de asignación de derechos (La subasta) y la tabla 10 lo correspondiente a los balances energéticos (Despacho).

Tabla 9. Resultados de la liquidación para los distintos casos del modelo asignación.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Ingreso por R_{12} [\$]	1.27848E+6	1.34737E+6	1.32205E+6
Ingreso por R_{13} [\$]	4.28851E+7	3.84433E+7	3.65731E+7
Ingresos de la subasta [\$]	4.41636E+07	3.97907E+07	3.78952E+07
Pago a G_A [\$]	0	560000	840000
Pago a G_B [\$]	0	2456846.736	3235277.016
Pago a G_C [\$]	0	3751916.481	787858.820
Pago total por perdidas [\$]	0	6.768763E+6	4.863135E+6

Informe Final - 51.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

Pago a la línea AB [\$]	8328130.555	5487419.665	5175822.68
Pago a la línea AC [\$]	2.9153430E+07	2,1753390E+07	2.17534E+07
Pago a la línea BC [\$]	6682057.094	5781054.168	6102767.71
Pago cap. línea AB [\$]	0	0	0
Pago cap. línea AC [\$]	4.641733E+7	2.438254E+7	2.433782E+7
Pago cap. línea BC [\$]	0	0	0
Pago adm. línea AB [\$]	8328130.555	5487419.665	5175822.683
Pago adm. línea AC[\$]	-1.72639E+7	-2.62915E+6	-2.58442E+6
Pago adm. línea BC[\$]	6682057.094	5781054.168	6102767.710
Pagos totales [\$]	4.41636E+07	3.979063E+07	3.7895116E7
Ingresos - pagos [\$]	≈ 0	≈ 0	≈ 0

Tabla 10. Resultados de la liquidación para los distintos casos del modelo despacho.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Ingreso por Dem_{N_1} [\$]	0	586384	205234.400
Ingreso por Dem_{N_2} [\$]	0	1.01086E+6	353801
Ingreso por Dem_{N_3} [\$]	0	380566.000	133198.100
Ingreso Total por Demandas [\$]	0	1.977810E+6	6.922335E+5
Pago a G_A	0	1351136.696	472897.844
Pago a G_B	0	630311.311	220608.959
Pago a G_C	0	0	0
Pago total por Generación	0	1.981448E+6	6.93507E+5
Ingresos - pagos	0	-3638	-1273.303

3.3 PRUEBAS EJEMPLO GARVER

En este apartado se considera un caso de un sistema de potencia de seis nodos como se muestra en la figura 5. Este sistema ha sido para que modelara un sistema de tres generadoras sin distinción de tipo, con un horizonte de trabajo diario dividido en las veinticuatro horas de operación, con dos diferentes escenarios de precios a las generadoras que ofertan tanto en el despacho como en la asignación de derechos

Informe Final - 52.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

(asumen pérdidas de transmisión). El nodo uno es el encargado de funcionar como nodo de referencia para efectos del análisis.

El objetivo de la prueba radica en la asignación de derechos financieros de transmisión de admitancia y capacidad. Este tipo de sistema de prueba es muy usado para pruebas de expansión de red. A continuación se presentan los datos del ejemplo tanto para el despacho de potencia como también las ofertas de derechos de transmisión.

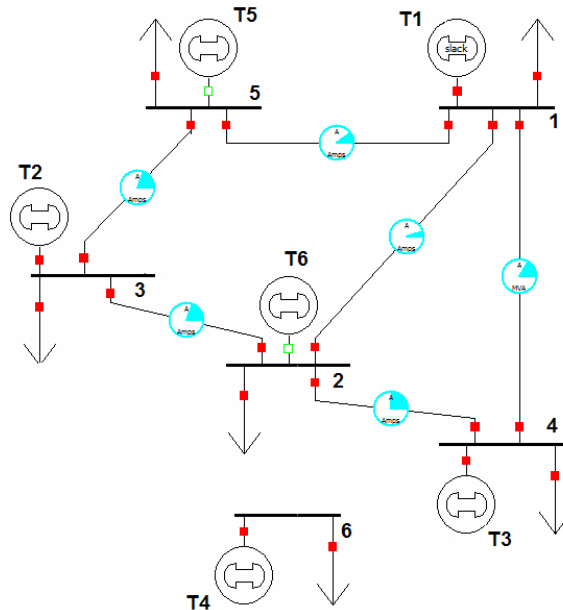


Figura 5. Modelo Garver de 6 barras AC.

En las tabas 11, 12 y 13 se encuentran consignados los datos bases de trabajo para el análisis energético, estos se utilizan para la simulación del modelo de despacho.

Tabla 11. Datos de la generación para el caso Garver modificado.

Nodo	Unidad	Capacidad		Tipo	Tasa de fallas al año	Duración promedio o falla [H]	Disponibilidad promedio [MW]	Precio Oferta Usd/MW		
		MW	MVAR					PR1	PR2	
1	Blanco	T1	431	±300	Term	1.8	72	400	30	36
2	Rojo	T2	211	±150	Term	1.8	72	200	24	29
3	Verde	T3	770	±550	Term	1.8	72	700	35	42
4	Azul	T4	211	±150	Term	1.8	72	200	28	34
5	Amarillo	T5	211	±150	Term	1.8	72	200	26	31
6	Gris	T6	307	±250	Hidr	0.4	96	300	***	***

Tabla 12. Características técnicas de los elementos de red.

	Nodo Inicial		Nodo Final	Tensión [kV]	Long. [km]	Resistencia [pu]	Reactancia [pu]	Capa. [MVA]	Tasa de Fallas al año
1	Blanco	2	Rojo	220	64	0.10	0.40	100	2
1	Blanco	4	Azul	220	97	0.15	0.60	80	3
1	Blanco	5	Amarillo	220	32	0.05	0.20	100	1
2	Rojo	3	Verde	220	32	0.05	0.20	100	1
2	Rojo	4	Azul	220	64	0.10	0.40	100	2
3	Verde	5	Amarillo	220	32	0.05	0.20	100	1

Tabla 13. Características de la demanda para el caso Garver modificado.

Nodo	Demanda [MW]	FP
N_1	146.596	0.88
N_2	252.715	1.00
N_3	95.1415	0.92
N_4	233.687	0.92
N_5	287.039	1.00
N_6	25.0333	0.92

La tabla 14 presenta las características de ofertas para cada participante en la subasta de asignación de derechos, en esta se observa los tres casos que se analizarán con diferentes ofertas de derechos, los cuales ayudarán a prestar mayor atención a características de la subasta desde distintos escenarios de oferta. También se analiza el problema desde los distintos modelos de red (DC, DC con pérdidas y AC) como se ilustran en los siguientes numerales de este capítulo.

Tabla 14. Características de oferta para cada participante de la subasta.

Oferta	Nodo Inicial		Nodo Final		Caso 1		Caso 2		Caso 3	
					Rmax	Precio	Rmax	Precio	Rmax	Precio
1	1	Blanco	2	Rojo	500	60	300	10	900	1
2	1	Blanco	4	Azul	400	45	300	15	50	5
3	2	Rojo	3	Verde	350	40	300	20	600	10
4	3	Verde	5	Amarillo	200	70	141	25	350	1

3.3.1 Caso de estudio Garver con un Modelo de Red DC

Después de realizar las distintas ejecuciones del prototipo HADA, para un modelo de red en DC, cambiando los datos de entrada correspondientes a los oferentes como se indico en la tabla 14, se obtuvieron los datos que se consignaron en la tabla 15.

Tabla 15. Resultados de la optimización del modelo de la subasta utilizando una red DC.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Ingresos [\$]	25700	9307.495	2450
R_{12}^* [MW]	20	0	0
R_{14}^* [MW]	180	118.833	50
R_{23}^* [MW]	60	200	200
R_{35}^* [MW]	200	141	200
G_{T1} [MW]	0	0	0
G_{T2} [MW]	0	0	0
G_{T3} [MW]	0	0	0
G_{T4} [MW]	0	0	0
δ_1^* [°]	0	0	0
δ_2^* [°]	-4.8701	4.9847	12.2040
δ_3^* [°]	0	-7.1620	0
δ_4^* [°]	-29.2209	-14.3812	0
δ_5^* [°]	-12.2040	-12.2040	-12.2040
P_{prom12} [MW]	20	-20.500	-50
P_{prom14} [MW]	80	39.333	0
P_{prom15} [MW]	100	100	100
P_{prom23} [MW]	-40	100	100
P_{prom24} [MW]	100	79.5	50
P_{prom35} [MW]	100	41	100

Informe Final - 55.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

P_{perd12} [MW]	0	0	0
P_{perd14} [MW]	0	0	0
P_{perd15} [MW]	0	0	0
P_{perd23} [MW]	0	0	0
P_{perd24} [MW]	0	0	0
P_{perd35} [MW]	0	0	0
λ_1^* [\$/MW]	-85	-30	4
λ_2^* [\$/MW]	-25	-5	5
λ_3^* [\$/MW]	15	15	15
λ_4^* [\$/MW]	-40	-15	4.6
λ_5^* [\$/MW]	85	32.5	16
$\mu_{1 \rightarrow 2}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 2}^{\max*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 4}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 4}^{\max*}$ [\$/MW]	15	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 5}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 5}^{\max*}$ [\$/MW]	210	80	12.7
$\mu_{2 \rightarrow 3}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{2 \rightarrow 3}^{\max*}$ [\$/MW]	0	2.5	9.3
$\mu_{2 \rightarrow 4}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{2 \rightarrow 4}^{\max*}$ [\$/MW]	5	0	0
$\mu_{3 \rightarrow 5}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{3 \rightarrow 5}^{\max*}$ [\$/MW]	30	0	0.3

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

El prototipo cuenta con un módulo de liquidación (ver capítulo 1), encargado de realizar los pagos correspondientes a cada agente que intervino en la subasta bajo criterios establecidos (ver capítulo 1). En la tabla 16 se muestran estos valores correspondientes a la fase de asignación, en la que se observan los resultados de la liquidación de la subasta para el caso Garver, en ella se analizó que los ingresos totales de la subasta de derechos se igualan a los pagos totales realizados a la línea¹⁴ y a los generadores que sirven para suplir las pérdidas.

Tabla 16. Resultados de la liquidación para el caso Garver utilizando una red DC.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Ingreso por R_{12} [\$]	1200	0	0
Ingreso por R_{14} [\$]	8100	1782.5	30
Ingreso por R_{23} [\$]	2400	4000	2000
Ingreso por R_{35} [\$]	14000	2467.5	200
Ingresos de la subasta [\$]	25700	8250	2230
Pago perd. a G_{T1} [MW]	0	0	0
Pago perd. a G_{T2} [MW]	0	0	0
Pago perd. a G_{T3} [MW]	0	0	0
Pago perd. a G_{T4} [MW]	0	0	0
Pago total por pérdidas [\$]	0	0	0
Pago a la línea 12 [\$]	1200	-512.5	-50
Pago a la línea 14 [\$]	3600	590	0
Pago a la línea 15 [\$]	17000	6250	1200
Pago a la línea 23 [\$]	-1600	2000	1000
Pago a la línea 24 [\$]	-1500	-795	-20
Pago a la línea 35 [\$]	7000	717.5	100
Pago cap. línea 12 [\$]	1200.000	0	0
Pago cap. línea 14 [\$]	21000.000	0	0
Pago cap. línea 15 [\$]	500.000	8000	1270
Pago cap. línea 23 [\$]	0	250	930

¹⁴ En este pago se incluye los pagos realizados a los corredores, además del abastecimiento de las pérdidas de generación que se hayan presentado en la subasta.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

Pago cap. línea 24 [\$]	500	0	0
Pago cap. línea 35 [\$]	3000	0	930
Pago adm. línea 12 [\$]	1200	-512.5	-50
Pago adm. línea 14 [\$]	2400	590	0
Pago adm. línea 15 [\$]	-4000	-1750	-70
Pago adm. línea 23 [\$]	-1600	1750	70
Pago adm. línea 24 [\$]	-2000	-795	-20
Pago adm. línea 35 [\$]	4000	717.5	70
Pagos totales [\$]	25700	8250	2230
Ingresos - pagos [\$]	≈ 0	≈ 0	≈ 0

En la tabla 16 se presentan algunos valores negativos de pagos a los propietarios de algunas líneas. Esta característica se presenta únicamente en casos de un flujo de potencia en redes anillados y se debe al flujo de potencia desde un nodo con alto precio sombra hasta un nodo con un precio sombra menor. La importancia se ve reflejada en los incentivos que se darían a los propietarios de líneas en mantener un control de flujos de potencia mucho más favorable para un mejor funcionamiento del sistema eléctrico.

La tabla 17 muestran los valores correspondientes a la parte energética, en esta se puede percibir un aparente desbalance entre lo que se recoge y lo que se debe pagar, esto se debe prácticamente a que el costo que están asumiendo las demandas en el modelo real del sistema no incluye las pérdidas de la red (El sistema interconectado), estas pérdidas deben ser asumidas por las demandas (empresas comercializadoras, distribuidoras, etc.), también los costos de racionalización (potencia generada en nodos de generación ficticia) que el modelo cobra a precio de racionamiento (este precio es mucho más significativo que el precio del mercado, es por este motivo, que el desbalance parece considerable).

Tabla 17. Resultados de la liquidación para el caso Garver, balance utilizando una red DC.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Ingreso por Dem_{N_1} [\$]	2198.940	2198.940	2198.940
Ingreso por Dem_{N_2} [\$]	3790.725	3790.725	3790.725
Ingreso por Dem_{N_3} [\$]	1427.123	1427.123	1427.123
Ingreso por Dem_{N_4} [\$]	3505.305	3505.305	3505.305
Ingreso por Dem_{N_5} [\$]	4305.585	4305.585	4305.585
Ingreso por Dem_{N_6} [\$]	375.500	375.500	375.500

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

Ingreso Total por Demandas [\$]	15603.178	15603.178	15603.178
Pago a \bar{G}_{T1} [\$]	3948.940	3948.940	3948.940
Pago a \bar{G}_{T2} [\$]	4427.123	4427.123	4427.123
Pago a \bar{G}_{T3} [\$]	5505.305	5505.305	5505.305
Pago a \bar{G}_{T4} [\$]	375.500	375.500	375.500
Pago por Rac_{N_1} [\$]	0	0	0
Pago por Rac_{N_2} [\$]	407.25	407.25	407.25
Pago por Rac_{N_3} [\$]	0	0	0
Pago por Rac_{N_4} [\$]	0	0	0
Pago por Rac_{N_5} [\$]	13055.85	13055.85	13055.85
Pago por Rac_{N_6} [\$]	0	0	0
Pago total por Generación	27719.968	27719.968	27719.968
Ingresos - pagos	-12116.79	-12116.79	-12116.79

3.3.2 Caso de estudio Garver con un Modelo de Red DC con pérdidas

Después de realizar las distintas ejecuciones del prototipo HADA, para un modelo de red en DCp, cambiando los datos de entrada correspondientes a los oferentes como se indico en la tabla 14, se obtuvieron los datos que se consignaron en la tabla 18.

Tabla 18. Resultados de la optimización del modelo de la subasta utilizando una red DCp.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Ingresos [\$]	26099.74	8714.595	2.38521E+3
R_{12}^* [MW]	36.881	51.171	70.650
R_{14}^* [MW]	161.298	154.599	50
R_{23}^* [MW]	83.378	117.945	201.639
R_{35}^* [MW]	189.905	141	94.941
G_{T1} [MW]	0	0	0

Informe Final - 59.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

G_{T2} [MW]	29.831	24.150	11.741
G_{T3} [MW]	0	0	0
G_{T4} [MW]	0	0	0
δ_1^* [°]	0	0	0
δ_2^* [°]	-4.4118	-6.1879	0
δ_3^* [°]	0	-6.1879	-11.8602
δ_4^* [°]	-27.5593	-27.5593	-7.4485
δ_5^* [°]	-11.8602	-11.8602	-11.8602
P_{prom12} [MW]	18.007	25.426	-0.001
P_{prom14} [MW]	75.462	75.462	20.329
P_{prom15} [MW]	97.476	97.476	97.469
P_{prom23} [MW]	-36.013	-0.002	97.476
P_{prom24} [MW]	95.187	87.767	30.494
P_{prom35} [MW]	97.476	46.625	-0.005
P_{perd12} [MW]	0.345	0.687	0
P_{perd14} [MW]	9.076	9.076	0.659
P_{perd15} [MW]	5.048	5.048	5.047
P_{perd23} [MW]	0.689	0	5.048
P_{perd24} [MW]	9.627	8.184	0.988
P_{perd35} [MW]	5.048	1.155	0
λ_1^* [\$/MW]	-85	-15	4
λ_2^* [\$/MW]	-25	-5	5
λ_3^* [\$/MW]	15	15	15
λ_4^* [\$/MW]	-40	0	4.908

Informe Final - 60.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

λ_5^* [\$/MW]	85	18.363	16
$\mu_{1 \rightarrow 2}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 2}^{\max*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 4}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 4}^{\max*}$ [\$/MW]	30.139	22.319	0
$\mu_{1 \rightarrow 5}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 5}^{\max*}$ [\$/MW]	199.479	33.967	0
$\mu_{2 \rightarrow 3}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{2 \rightarrow 3}^{\max*}$ [\$/MW]	0	0	18.948
$\mu_{2 \rightarrow 4}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{2 \rightarrow 4}^{\max*}$ [\$/MW]	8.252	0	0
$\mu_{3 \rightarrow 5}^{\min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{3 \rightarrow 5}^{\max*}$ [\$/MW]	23.781	0	0

El prototipo cuenta con un modulo de liquidación (ver capítulo 1), encargado de realizar los pagos correspondientes a cada agente que intervino en la subasta bajo criterios establecidos (ver capítulo 1). En la tabla 19 se muestran estos valores correspondientes a la fase de asignación, en la que se observa los resultados de la liquidación de la subasta para el caso Garver, en ella se observa que los ingresos totales de la subasta de derechos se igualan a los pagos totales realizados a la línea y a los generadores que sirven para suplir las perdidas.

Tabla 19. Resultados de la liquidación para el caso Garver utilizando una red DCp.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Ingreso por R_{12} [\$]	2212.880	511.706	70.650
Ingreso por R_{14} [\$]	7258.390	2318.986	45.403
Ingreso por R_{23} [\$]	3335.127	2358.910	2016.394
Ingreso por R_{35} [\$]	13293.319	474.243	94.941
Ingresos de la subasta [\$]	26099.716	5663.845	2227.388

Informe Final - 61.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

Pago perd. a G_{T1} [MW]	0	0	0
Pago perd. a G_{T2} [MW]	447.471	362.245	176.121
Pago perd. a G_{T3} [MW]	0	0	0
Pago perd. a G_{T4} [MW]	0	0	0
Pago total por perdidas [\$]	447.471	362.245	176.121
Pago a la línea 12 [\$]	1099.346	261.132	-0.001
Pago a la línea 14 [\$]	3963.027	1200	15.526
Pago a la línea 15 [\$]	16570.943	3243.649	1119.160
Pago a la línea 23 [\$]	-1437.086	-0.031	924.284
Pago a la línea 24 [\$]	-1114.929	459.296	-7.698
Pago a la línea 35 [\$]	6570.943	137.555	-0.005
Pago cap. línea 12 [\$]	0	0	0
Pago cap. línea 14 [\$]	2411.154	1785.531	0
Pago cap. línea 15 [\$]	19947.883	3396.730	0
Pago cap. línea 23 [\$]	0	0	1894.752
Pago cap. línea 24 [\$]	825.210	0	0
Pago cap. línea 35 [\$]	2378.140	0	0
Pago adm. línea 12 [\$]	1099.346	261.132	-0.001
Pago adm. línea 14 [\$]	1551.873	-585.531	15.526
Pago adm. línea 15 [\$]	-3376.939	-153.082	1119.160
Pago adm. línea 23 [\$]	-1437.086	-0.031	-970.468
Pago adm. línea 24 [\$]	-1940.139	459.296	-7.698
Pago adm. línea 35 [\$]	4192.803	137.555	-0.005
Pagos totales [\$]	26099.715	5663.846	2227.392
Ingresos - pagos [\$]	≈ 0	≈ 0	≈ 0

En la tabla 19 se presentan algunos valores negativos de pagos a los propietarios de algunas líneas. Esta característica se presenta únicamente en casos de un flujo de potencia en redes anillados y se debe al flujo de potencia desde un nodo con alto precio sombra hasta un nodo con un precio sombra menor. La importancia se ve reflejada en los incentivos que se darían a los propietarios de líneas en mantener un control de flujos de potencia mucho más favorable para un mejor funcionamiento del sistema eléctrico.

Informe Final - 62.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

La tabla 20 muestran los valores correspondientes a la parte energética, en esta se puede percibir un aparente desbalance entre lo que se recoge y lo que se debe pagar, esto se debe prácticamente a que el costo que están asumiendo las demandas en el modelo real del sistema no incluye las pérdidas de la red (El sistema interconectado), estas pérdidas deben ser asumidas por las demandas (empresas comercializadoras, distribuidoras, etc.).

Tabla 20. Resultados de la liquidación para el caso Garver, balance utilizando una red DCp.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Ingreso por Dem_{N_1} [\$]	2198.940	2198.940	2198.940
Ingreso por Dem_{N_2} [\$]	3790.725	3790.725	3790.725
Ingreso por Dem_{N_3} [\$]	1427.123	1427.123	1427.123
Ingreso por Dem_{N_4} [\$]	3505.305	3505.305	3505.305
Ingreso por Dem_{N_5} [\$]	4305.585	4305.585	4305.585
Ingreso por Dem_{N_6} [\$]	375.500	375.500	375.500
Ingreso Total por Demandas [\$]	15603.178	15603.178	15603.178
Pago a G_{T1} [\$]	4948.946	4948.946	4948.946
Pago a G_{T2} [\$]	4427.122	4427.122	4427.122
Pago a G_{T3} [\$]	3030.531	3030.531	3030.531
Pago a G_{T4} [\$]	375.500	375.500	375.500
Pago por Rac_{N_1} [\$]	0	0	0
Pago por Rac_{N_2} [\$]	16543.05	16543.05	16543.05
Pago por Rac_{N_3} [\$]	0	0	0
Pago por Rac_{N_4} [\$]	0	0	0
Pago por Rac_{N_5} [\$]	14570.1	14570.1	14570.1
Pago por Rac_{N_6} [\$]	0	0	0
Pago total por Generación	43895.249	43895.249	43895.249
Ingresos - pagos	-28292.07	-28292.07	-28292.07

3.3.3 Caso de estudio Garver con un Modelo de Red AC

Después de realizar las distintas ejecuciones del prototipo HADA, para un modelo de red en AC, cambiando los datos de entrada correspondientes a los oferentes como se indico en la tabla 14, se obtuvieron los datos que se consignaron en la tabla 21.

Tabla 21. Resultados de la optimización del modelo de la subasta utilizando una red AC.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Ingresos [\$]	2.590449E+4	9.7166E+3	2.38521E+3
R_{12}^* [MW]	37.155	0	61.694
R_{14}^* [MW]	160.272	136.308	50
R_{23}^* [MW]	84.854	207.348	201.982
R_{35}^* [MW]	186.697	141	115.39
G_{T1} [MW]	0	0	0
G_{T2} [MW]	29.461	24.762	11.574
G_{T3} [MW]	0	0	0
G_{T4} [MW]	0	0	0
δ_1^* [°]	0	0	0
δ_2^* [°]	-4.2399	4.0107	0.6875
δ_3^* [°]	-0.7448	-6.6463	-9.6830
δ_4^* [°]	-28.07494	-19.0222	-6.5890
δ_5^* [°]	-11.2300	-11.4019	-11.4019
P_{prom12} [MW]	18.650	-17.487	-6.060
P_{prom14} [MW]	74.929	51.475	17.318
P_{prom15} [MW]	96.661	97.513	97.597
P_{prom23} [MW]	-33.949	90.878	97.802
P_{prom24} [MW]	94.895	91.860	33.604

Informe Final - 64.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

P_{prom35} [MW]	94.750	46.495	20.401
P_{perd12} [MW]	0.341	0.306	0.144
P_{perd14} [MW]	9.227	4.500	0.729
P_{perd15} [MW]	4.806	4.806	4.806
P_{perd23} [MW]	0.588	4.385	4.385
P_{perd24} [MW]	9.877	9.555	1.115
P_{perd35} [MW]	4.623	1.210	0.396
λ_1^* [\$/MW]	-85	-34.003	4
λ_2^* [\$/MW]	-25	-5	5
λ_3^* [\$/MW]	15	15	15
λ_4^* [\$/MW]	-40	-19.003	4.888
λ_5^* [\$/MW]	85	36.463	16
$\mu_{1 \rightarrow 2}^{min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 2}^{max*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 4}^{min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 4}^{max*}$ [\$/MW]	27.992	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 5}^{min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{1 \rightarrow 5}^{max*}$ [\$/MW]	197.757	86.531	11.152
$\mu_{2 \rightarrow 3}^{min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{2 \rightarrow 3}^{max*}$ [\$/MW]	0	0	8.025
$\mu_{2 \rightarrow 4}^{min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{2 \rightarrow 4}^{max*}$ [\$/MW]	10.559	1.741	0
$\mu_{3 \rightarrow 5}^{min*}$ [\$/MW]	0	0	0
$\mu_{3 \rightarrow 5}^{max*}$ [\$/MW]	16.288	0	0

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

El prototipo cuenta con un modulo de liquidación (ver capítulo 1), encargado de realizar los pagos correspondientes a cada agente que intervino en la subasta bajo criterios establecidos (ver capítulo 1). En la tabla 22 se muestran estos valores correspondientes a la fase de asignación, en la que se observa los resultados de la liquidación de la subasta para el caso Garver, en ella se observa que los ingresos totales de la subasta de derechos se igualan a los pagos totales realizados a la línea y a los generadores que sirven para suplir las perdidas.

Tabla 22. Resultados de la liquidación para el caso Garver utilizando una red AC.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Ingreso por R_{12} [\$]	2229.287	0	61.694
Ingreso por R_{14} [\$]	7212.234	2044.617	44.389
Ingreso por R_{23} [\$]	3394.145	4146.963	2019.820
Ingreso por R_{35} [\$]	13068.781	3026.230	115.397
Ingresos de la subasta [\$]	2.5904E+4	9.2178E+3	2.2413E+3
Pago perd. a G_{T1} [MW]	0	0	0
Pago perd. a G_{T2} [MW]	441.922	371.436	173.617
Pago perd. a G_{T3} [MW]	0	0	0
Pago perd. a G_{T4} [MW]	0	0	0
Pago total por perdidas [\$]	441.922	371.436	173.617
Pago a la línea 12 [\$]	1137.735	-501.203	-6.708
Pago a la línea 14 [\$]	3948.503	891.407	12.137
Pago a la línea 15 [\$]	16432.350	6865.418	1123.106
Pago a la línea 23 [\$]	-1355.020	1795.633	934.167
Pago a la línea 24 [\$]	-1102.425	-1171.654	-9.283
Pago a la línea 35 [\$]	6401.382	966.772	14.262
Pago cap. línea 12 [\$]	0	0	0
Pago cap. línea 14 [\$]	2226.518	0	0
Pago cap. línea 15 [\$]	19590.544	8645.833	1115.181
Pago cap. línea 23 [\$]	0	0	802.507
Pago cap. línea 24 [\$]	1054.143	168.263	0
Pago cap. línea 35 [\$]	1580.909	0	0

Informe Final - 66.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

Pago adm. línea 12 [\$]	1137.735	-501.203	-6.708
Pago adm. línea 14 [\$]	1721.985	891.407	12.137
Pago adm. línea 15 [\$]	-3158.195	-1780.415	7.925
Pago adm. línea 23 [\$]	-1355.020	1795.633	131.661
Pago adm. línea 24 [\$]	-2156.568	-1339.916	-9.283
Pago adm. línea 35 [\$]	4820.473	966.772	14.262
Pagos totales [\$]	2.590445	9.21781E+3	2.241298E+3
Ingresos - pagos [\$]	≈ 0	≈ 0	≈ 0

En la tabla 22 se presentan algunos valores negativos de pagos a los propietarios de algunas líneas. Esta característica se presenta únicamente en casos de un flujo de potencia en redes anillados y se debe al flujo de potencia desde un nodo con alto precio sombra hasta un nodo con un precio sombra menor. La importancia se ve reflejada en los incentivos que se darían a los propietarios de líneas en mantener un control de flujos de potencia mucho más favorable para un mejor funcionamiento del sistema eléctrico.

La tabla 23 muestran los valores correspondientes a la parte energética, en esta se puede percibir un aparente desbalance entre lo que se recoge y lo que se debe pagar, esto se debe prácticamente a que el costo que están asumiendo las demandas en el modelo real del sistema no incluye las pérdidas de la red (El sistema interconectado), estas pérdidas deben ser asumidas por las demandas (empresas comercializadoras, distribuidoras, etc.).

Tabla 23. Resultados de la liquidación para el caso Garver, balance utilizando una red AC.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Ingreso por Dem_{N_1} [\$]	2198.940	2198.940	2198.940
Ingreso por Dem_{N_2} [\$]	3790.725	3790.725	3790.725
Ingreso por Dem_{N_3} [\$]	1427.123	1427.123	1427.123
Ingreso por Dem_{N_4} [\$]	3505.305	3505.305	3505.305
Ingreso por Dem_{N_5} [\$]	4305.585	4305.585	4305.585
Ingreso por Dem_{N_6} [\$]	375.500	375.500	375.500
Ingreso Total por Demandas [\$]	15603.178	15603.178	15603.178
Pago a G_{T1} [\$]	4004.494	4004.494	4004.494

Informe Final - 67.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

Pago a G_{T2} [\$]	4336.472	4336.472	4336.472
Pago a G_{T3} [\$]	5379.286	5379.286	5379.286
Pago a G_{T4} [\$]	375.500	375.500	375.500
Pago por Rac_{N_1} [\$]	0	0	0
Pago por Rac_{N_2} [\$]	3906	3906	3906
Pago por Rac_{N_3} [\$]	0	0	0
Pago por Rac_{N_4} [\$]	0	0	0
Pago por Rac_{N_5} [\$]	15051.3	15051.3	15051.3
Pago por Rac_{N_6} [\$]	0	0	0
Pago total por Generación	33053.052	33053.052	33053.052
Ingresos - pagos	-17449.87	-17449.87	-17449.87

4. CONCLUSIONES

La motivación principal para la realización de esta investigación, fue avanzar en la búsqueda por encontrar un mecanismo para la planeación descentralizada de la expansión del sistema de transmisión de energía eléctrica: ¿cómo plantear adecuadamente un nuevo esquema que permita resolver muchos de los problemas relacionados con la asignación de los derechos de transmisión en un sistema de transporte de energía eléctrica?

La respuesta a esta cuestión no resulta sencilla debido, entre otras razones, a la propia naturaleza del transporte de energía eléctrica, que hace de la industria de suministro de electricidad el sistema dinámico más grande y complejo que haya creado el ser humano.

Como ocurre muchas veces, la teoría ha tenido que irse desarrollando en este terreno por detrás de la práctica. Por ello esta investigación es el fruto de la implantación de una teoría de asignación nueva, y que presenta unas características interesantes como se presenta en [1].

A continuación se citan en primer lugar conclusiones generales acerca de HADA, luego conclusiones generales sobre el esquema propuesto, posteriormente los resultados de la investigación, seguidamente los aportes de la investigación y finalmente las líneas de desarrollo de esta investigación.

4.1 CONCLUSIONES ACERCA DEL ESQUEMA PROPUESTO

El diseño de este esquema de asignación de derechos financieros de transmisión, cuenta con la capacidad de incluir los proyectos existentes, de tal manera que ellos no se vean afectados al momento de asignaciones nuevas. Debido a esta característica el esquema cuenta con una opción importante debido a que la mayoría de proyectos de infraestructura de transmisión de energía eléctrica son a largo plazo (veinticinco años), y por tal razón se podría ver afectada la remuneración del activo para la recuperación de la inversión.

Estos derechos permiten dar señales de expansión de la red, pero debido a que el propósito de este trabajo era la implementación de una herramienta informática para la asignación y liquidación de derechos de admitancia y capacidad, se necesita un estudio más profundo a largo plazo sobre el comportamiento y eficiencia de estos derechos, además de las sensibilidades a la expansión de la red que puedan ser útiles para lograr este objetivo.

Los derechos de admitancia y capacidad podrían llegar a pagar los costos correspondientes a la inversión del activo de transmisión y cubrir los costos de operación en vista de que se percibe un ingreso de la subasta superior a los pagos realizados por las pérdidas de potencia en la red para el mercado SPOT, pero para llegar a un análisis más completo se necesita realizar un estudio más detallado de las señales que brindaría este esquema, contrastándolo con la regulación del cargo por uso de la red que se tiene en este momento en Colombia.

La metodología descrita brinda un paso abrumador debido a que si se llega a un resultado óptimo en la búsqueda de un pago de operación de la red, se podría realizar una forma de liquidación mixta para los transmisores en Colombia, brindando una

metodología de pago de operación desregulado e implantando un mecanismo igual o diferente al que se tiene para la inversión.

4.2 CONCLUSIONES GENERALES ACERCA DE HADA

En relación con los módulos del prototipo:

El nivel de detalle del modelo de despacho real se considera aceptable para su utilización en la herramienta, debido a que el propósito de este trabajo es la asignación y liquidación de derechos de admitancia y capacidad. Dado el carácter modular de este modelo, las eventuales modificaciones que se quisieran realizar podrían incorporarse sin afectar al resto del código informático.

En relación con la subasta y asignación de derechos:

El implementar esta herramienta en corto plazo se considera aceptable para la verificación de la asignación de derechos, debido a que se logra el propósito de este trabajo. Dada la fácil operación de la herramienta, permite incorporarse a largo plazo con solo afectar los horizontes de estudio y algunas restricciones del prototipo.

Las pruebas realizada demuestran que el algoritmo es bastante versátil, pudiéndose llegar a la solución óptima partiendo de diversas situaciones planteadas todas ellas distintas entre sí (por ejemplo: partir de no tener derechos asignados previamente, teniendo derechos asignados previamente y que el oferente de los derechos financieros sea un agente comercializador o un agente generador)

En relación con la liquidación:

Esta nueva metodología presenta un balance económico, aspecto importante en la búsqueda de una futura implementación de este mecanismo en la asignación de los derechos y en la liquidación (remuneración) de la red eléctrica en Colombia, aunque este balance se presenta de manera individual entre modelos (despacho real y subasta), no se pueden relacionar de una manera directa, debido a que Colombia no cuenta con un mercado en el que exista una remuneración de la red a base de cargos por congestión, a causa de la no existencia de tarificación nodal, característica importante cuando se trabaja con derechos financieros de transmisión de admitancia y capacidad, mientras que en Colombia el pago por el uso de la red de energía eléctrica es un aspecto muy regulado, reuniendo una serie de parámetros en los que el conjunto de activos del propietario y sus características inciden en el pago final.

En relación con el modelo de la red:

HADA puede resolver eficientemente el problema de asignación de derechos de admitancia y capacidad, independientemente del modelo de red utilizado. Lógicamente, en la medida en que el modelo de red va siendo más detallado, los requerimientos computacionales van incrementando.

En relación con los tiempos de cálculo:

El tiempo empleado por HADA es prácticamente el empleado en realizar las asignaciones de derechos para cada tipo de modelo de red. En consecuencia, el tiempo de cálculo depende principalmente del tipo de modelo de red y del tamaño del sistema analizar.

4.3 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

- **Esquema de subasta de asignación de derechos financieros de admitancia y capacidad.** Se realizó un estudio detallado del esquema de subastas de asignación de derechos financieros de Admitancia y Capacidad propuesto en la literatura, de modo que establezca una estructura y esquema funcional de un nuevo mecanismo de subasta que relacione el mercado de derechos de transmisión y el mercado de energía eléctrica, permitiendo validar la asignación de los derechos desde una perspectiva de liquidación de la red.

Éste esquema de asignación es una alternativa en la que el beneficio social predomina, buscando opciones de asignación viables. En mercados que permitan la implantación de estos derechos modelarían una nueva estructura de liquidación de la red desde una perspectiva de pago por uso de la red desde el punto de vista de tarificación nodal.

- **Modelado Detallado del Sistema de Potencia y su Operación.** Se planteó un modelo que admite las mejores opciones de los modelos existentes y da una confiabilidad y exactitud del modelado. Además, de cumplir con los requerimientos computacionales, con las condiciones de operación y la representación de las incertidumbres.
- **Prototipo del Programa “HADA_Plus” (Herramienta Informática para la asignación y liquidación de derechos de admitancia y capacidad).** Se implementó una herramienta informática para la asignación de los derechos con su respectiva validación y liquidación, analizando los desbalances que se presenten en la asignación de estos. Este prototipo cuenta con distintos tipos de modelos de red (Ver Anexos), por esta razón la herramienta es lo suficientemente confiable y de fácil abstracción de conclusiones.

“HADA_Plus” cuenta con dos módulos, el primero es el modelo de despacho ideal, este modelo sirve en gran medida para realizar la liquidación de los generadores y las demandas que están interviniendo en la parte eléctrica como tal (esta parte ayuda en el cálculo del precio de bolsa con el que se debe liquidar la parte energética). El segundo modelo es el despacho real el cual se encarga de simular el mercado “SPOT” para asumir los desbalances. Este módulo es de vital importancia para calcular la cantidad de potencia que se generó para suplir la demanda en cada periodo de estudio.

El prototipo cuenta con una etapa de asignación de derechos, los cuales se llevan a cabo al cumplir con la maximización de los ingresos de la subasta menos los gastos de generación de pérdidas para transmitir esa energía de un punto a otro. Después de la asignación por medio de la subasta los ingresos recogidos son usados para realizar los respectivos pagos correspondientes al uso de la red (Transmisores del sistema eléctrico) y a los generadores que suplen estas pérdidas.

- **Artículos Técnicos.** “Prototipo Informático para la Asignación de Derechos Financieros de Admitancia y Capacidad”

4.4 APORTES DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo de grado en la modalidad de investigación representa un completo avance dentro del ámbito relacionado con el sistema de transporte de energía eléctrica, debido a que evalúa la viabilidad, ventajas y desventajas de la implementación de un sistema de subastas de derechos de transmisión de admitancia y capacidad como alternativa para la expansión descentralizada del mismo, por lo tanto el problema a solucionar es contribuir a la introducción de esquemas competitivos en la actividad de transmisión.

4.5 LÍNEAS DE DESARROLLO DE ESTA INVESTIGACIÓN

A partir de la investigación realizada y de los resultados obtenidos en este trabajo, se proponen las siguientes líneas de continuación de la labor efectuada:

- Continuar con la implantación del prototipo (interfaces, manejo de grandes volúmenes de datos, etc.).
- Incluir un módulo de despacho real más robusto que relacione tipos de generadoras, funciones de costo de las generadoras, balances hídricos (para el caso de generadoras hidráulicas), costos de combustible (para el caso de generadoras térmicas), entre otras cosas y no tomarlo desde un histórico como dato de entrada. La realización del despacho descrito anteriormente se saldría de los objetivos trazados con esta investigación y por tanto se sale del alcance del proyecto en cuestión. Es por tal motivo que se propone este como una línea de desarrollo para dar continuidad al proyecto, generando cada vez nuevas etapas al prototipo original hasta llegar a uno lo suficientemente desarrollado y sensible que brinde mejores señales y que contemple una gran variedad de aspectos.
- Extender el estudio del impacto que ocasionaría estos derechos, para analizar la posible implementación en Colombia, debido a que los derechos financieros de transmisión de energía en Colombia tiene un trabajo mucho más complejo y necesitan de una estructura de mercado de energía distinta.
- El prototipo (HADA) cuenta con la capacidad de brindar características de precios nodales del sistema, este factor se puede usar en un futuro como herramienta que permita el desarrollo de señales de expansión para la red. Con el uso de estos valores es que se está liquidando a los propietarios de las líneas (Pago por capacidad y pago por admitancia), según esta nueva propuesta de pago por el uso de la redes al transmitir la energía correspondiente a los derechos. Esta nueva metodología de liquidación es algo innovadora e interesante, aunque en miras a una implantación en el sistema colombiano tendría sus inconvenientes como los activos que ya se encuentran en uso y que fueron asignados bajo otras metodologías, aspecto que influiría si la nueva línea perjudica el flujo de potencia por los activos antiguos, esto significaría menos ingresos para ellos si se está liquidando bajo la connotación propuesta por el Dr. Gribik, aunque la función por la que ellos entraron fuera para darle estabilidad al sistema eléctrico. Esto se debería estudiar con mayor detalle para poder proponer una metodología de liquidación que contemple más aspectos si se desea que en un futuro se aplique al sistema eléctrico colombiano.

5. ANEXOS

5.1 MODELADO DEL SISTEMA

En este capítulo se presentan diferentes modelos de sistemas analizados, el resultante será la mejor opción para simular el mercado. En consecuencia, el análisis del modelo a utilizar es de gran importancia para examinar los datos de entrada que requiere dicho modelo, además de indagar las restricciones de la red del sistema eléctrico.

5.1.1 MODELOS DE RED

Estos modelos se realiza basándose en [3], se efectúan las siguientes suposiciones extras que van acordes con el problema que se desea resolver el cual es una asignación de derechos financieros y un despacho diario para las perdidas por la transmisión.

- Los escenarios de operación s corresponden a los periodos del día en los que se realiza el despacho horario, ej. P01, P02, ..., P24.
- Para todos los modelos se considerara un solo día de operación.
- La tensión y el ángulo de tensión en las barras son dependientes del periodo de operación que se esté analizando, al igual que el ajuste del tap para el transformador (para el caso en que el corredor modele un transformador).

5.1.1.1 Modelo AC

En el modelo de red AC, cada corredor l de transporte de energía se representa mediante el equivalente π que se indica en la figura 6.

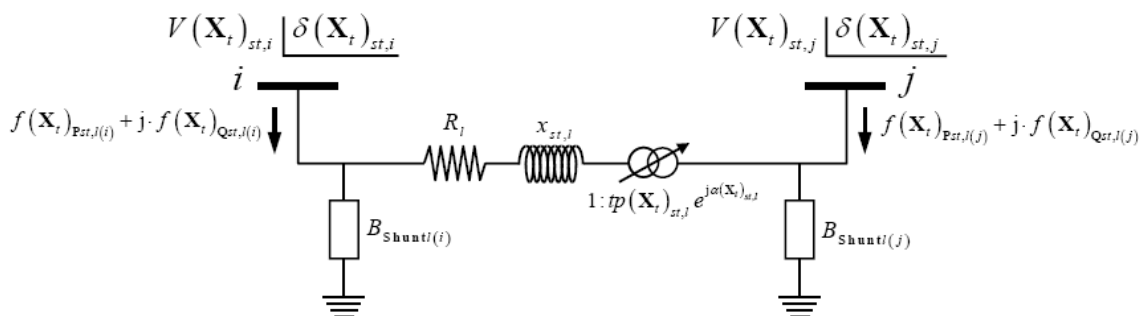


Figura 6. Equivalente π - asimétrico de un corredor de transporte (Modelo AC).

Donde la notación utilizada para este modelo es la siguiente:

- i Nodo inicial del corredor de transporte l (Opuesto al nodo j).
- j Nodo final del corredor de transporte l (Opuesto al nodo i).
- R_l Resistencia serie del corredor de transporte l [p.u], $R_l \geq 0$.

Informe Final - 73.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

$X_{st,l}$	Reactancia serie del corredor de transporte l para el escenario de operación s en el día t .
$B_{shuntl(i)}$	Susceptancia paralelo del corredor de transporte l en el nodo i [p.u].
$V(X_t)_{st,i}$	Magnitud de la tensión en el nodo i para el escenario de operación s en el día t [p.u].
$\delta(X_t)_{st,i}$	Ángulo de tensión en el nodo i para el escenario de operación s en el día t [radianes].
$f(X_t)_{Pst,l(i)}$	Flujo de potencia activa entrando al corredor de transporte l por el nodo i para el escenario de operación s en el día t .
$f(X_t)_{Qst,l(i)}$	Flujo de potencia reactiva entrando al corredor de transporte l por el nodo i para el escenario de operación s en el día t [MVAR].
$tp(X_t)_{st,l}$	Posición del tap del corredor de transporte l (si el corredor de transporte modela un transformador, si no $tp(X_t)_{st,l}=1$) para el escenario de operación s en el día t [p.u].
	$sq\left(tp(X_t)_{st,l} i\right) = \begin{cases} 1 & \text{si el tap esta situado en el lado opuesto del nodo } i \\ tp(X_t)_{st,l}^2 & \text{si el tap esta en el mismo lado del nodo } i \end{cases}$
$\alpha(X_t)_{st,l}$	Ángulo de desfase del corredor de transporte l (si el corredor de transporte modela un transformador desfasador, si no $\alpha(X_t)_{st,l}=0$) para el escenario de operación s en el día t [radianes].
	$sp\left(\alpha(X_t)_{st,l} i\right) = \begin{cases} -\alpha(X_t)_{st,l} & \text{si el tap esta en el lado del nodo } i \\ \alpha(X_t)_{st,l} & \text{si el tap esta en el lado puesto al del nodo } i \end{cases}$

Realizando un análisis de flujo de potencia a.c como el que describe Grainger y Stevenson en [20], se obtienen las siguientes constantes.

$$\vec{A} = 1 + (jB_{shuntl(j)})(R_l + jX_{st,l}) = 1 + (jB_{shuntl(j)})\vec{B} = |A| \angle \alpha \quad (5.1)$$

$$\vec{B} = (R_l + jX_{st,l}) = |B| \angle \beta \quad (5.2)$$

$$\vec{C} = (jB_{shuntl(i)} + jB_{shuntl(j)}) + (R_l + jX_{st,l})(jB_{shuntl(i)})(jB_{shuntl(j)}) \quad (5.3)$$

$$\vec{C} = (jB_{shuntl(i)} + jB_{shuntl(j)}) + \vec{B}(jB_{shuntl(i)})(jB_{shuntl(j)}) = |C| \angle \chi$$

$$\vec{D} = 1 + (jB_{shuntl(i)})(R_l + jX_{st,l}) = 1 + (jB_{shuntl(i)})\vec{B} = |D| \angle \varepsilon \quad (5.4)$$

De [20] se sabe que,

Informe Final - 74.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \vec{V}(X_t)_{st,i} \\ \vec{I}_i \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{B} \\ \bar{C} & \bar{D} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \vec{V}(X_t)_{st,j} \\ \vec{I}_j \end{bmatrix} \\ \zeta &= \det \left(\begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{B} \\ \bar{C} & \bar{D} \end{bmatrix} \right) = \bar{A}\bar{D} - \bar{B}\bar{C} \\ \zeta &= \left(\begin{aligned} & \left(1 + (jB_{shunt(j)})\bar{B} \right) \left(1 + (jB_{shunt(i)})\bar{B} \right) \\ & - (\bar{B}) \left((jB_{shunt(i)}) + (jB_{shunt(j)}) + \bar{B}(jB_{shunt(i)})(jB_{shunt(j)}) \right) \end{aligned} \right) \\ \zeta &= \left(\begin{aligned} & \left(1 + (jB_{shunt(j)})\bar{B} \right)^2 - (\bar{B})(jB_{shunt(i)}) - (\bar{B})(jB_{shunt(j)}) \\ & + |B|^2 (jB_{shunt(i)})(jB_{shunt(j)}) \end{aligned} \right) \\ \zeta &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \vec{V}(X_t)_{st,j} \\ \vec{I}_j \end{bmatrix} = \frac{1}{\zeta} \begin{bmatrix} \bar{D} & -\bar{B} \\ -\bar{C} & \bar{A} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \vec{V}(X_t)_{st,i} \\ \vec{I}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{D} & -\bar{B} \\ -\bar{C} & \bar{A} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \vec{V}(X_t)_{st,i} \\ \vec{I}_i \end{bmatrix}$$

La potencia entonces i a j se puede expresar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \vec{S}_i &= f(X_{Pst,l(i)}) + jf(X_{Qst,l(i)}) \\ \vec{S}_i &= \vec{V}(X_t)_{st,i} \vec{I}_i^* \\ \vec{V}(X_t)_{st,j} &= \bar{D}\vec{V}(X_t)_{st,i} - \bar{B}\vec{I}_i \\ \vec{I}_i &= \frac{\bar{D}\vec{V}(X_t)_{st,i} - \vec{V}(X_t)_{st,j}}{\bar{B}} \\ \vec{S}_i &= \vec{V}(X_t)_{st,i} \left(\frac{\bar{D}\vec{V}(X_t)_{st,i} - \vec{V}(X_t)_{st,j}}{\bar{B}} \right)^* \\ \vec{S}_i &= \vec{V}(X_t)_{st,i} \frac{\bar{D}^* \vec{V}^*(X_t)_{st,i} - \vec{V}^*(X_t)_{st,j}}{\bar{B}^*} \\ \vec{S}_i &= \left(\begin{aligned} & \frac{|D| \times |V(X_t)_{st,i}|^2}{|B|} \angle (\beta - \varepsilon) \\ & - \frac{|V(X_t)_{st,i}| \times |V(X_t)_{st,j}|}{|B|} \angle (\beta + \delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j}) \end{aligned} \right) \end{aligned}$$

Expresando de forma sinusoidal el flujo de potencia activa y reactiva queda dado de la siguiente manera:

Informe Final - 75.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

$$f(X_{Pst,l(i)}) = \left(\begin{array}{c} \frac{|D| \times |V(X_t)_{st,i}|^2}{|B|} \cos(\beta - \varepsilon) \\ - \frac{|V(X_t)_{st,i}| \times |V(X_t)_{st,j}|}{|B|} \cos(\beta + \delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j}) \end{array} \right) \quad (5.7)$$

$$f(X_{Qst,l(i)}) = \left(\begin{array}{c} \frac{|D| \times |V(X_t)_{st,i}|^2}{|B|} \sin(\beta - \varepsilon) \\ - \frac{|V(X_t)_{st,i}| \times |V(X_t)_{st,j}|}{|B|} \sin(\beta + \delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j}) \end{array} \right) \quad (5.8)$$

Reemplazando los valores de las constantes y realizando el análisis con el transformador que se ilustra en el modelo propuesto queda el flujo de la siguiente manera:

$$f(X_{Pst,l(i)}) = S_{base} \left(\begin{array}{c} G_{st,l} \left(\begin{array}{c} \frac{V(X_t)_{st,i}^2}{sq(tp(X_t)_{st,l} | i)} \\ - \frac{V(X_t)_{st,i} \cdot V(X_t)_{st,j}}{tp(X_t)_{st,l}} \cos \left(\begin{array}{c} \delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j} \\ + sp(\alpha(X_t)_{st,l} | i) \end{array} \right) \end{array} \right) \\ - B_{st,l} \left(\begin{array}{c} \frac{V(X_t)_{st,i} \cdot V(X_t)_{st,j}}{tp(X_t)_{st,l}} \sin \left(\begin{array}{c} \delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j} \\ + sp(\alpha(X_t)_{st,l} | i) \end{array} \right) \end{array} \right) \end{array} \right) \quad (5.9)$$

$$f(X_{Qst,l(i)}) = -S_{base} \left(\begin{array}{c} B_{shunt(i)} \cdot V(X_t)_{st,i}^2 \\ + B_{st,l} \left(\begin{array}{c} \frac{V(X_t)_{st,i}^2}{sq(tp(X_t)_{st,l} | i)} \\ - \frac{V(X_t)_{st,i} \cdot V(X_t)_{st,j}}{tp(X_t)_{st,l}} \cos \left(\begin{array}{c} \delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j} \\ + sp(\alpha(X_t)_{st,l} | i) \end{array} \right) \end{array} \right) \\ + G_{st,l} \left(\begin{array}{c} \frac{V(X_t)_{st,i} \cdot V(X_t)_{st,j}}{tp(X_t)_{st,l}} \sin \left(\begin{array}{c} \delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j} \\ + sp(\alpha(X_t)_{st,l} | i) \end{array} \right) \end{array} \right) \end{array} \right) \quad (5.10)$$

$$G_{st,l} = \frac{R_l}{R_l^2 + x_{st,l}^2} \quad (5.11)$$

$$B_{st,l} = \frac{-x_{st,l}}{R_l^2 + x_{st,l}^2} \quad (5.12)$$

Donde:

$G_{st,l}$ Es la conductancia serie del conductor l para el escenario de operación s en el año t en [p.u].

$B_{st,l}$ Es la susceptancia serie del conductor l para el escenario de operación s en el año t en [p.u].

S_{base} Valor base o de referencia para la potencia [MVA].

Con estas ecuaciones queda caracterizado el flujo de potencia AC, más adelante se analizará el modelo DC y DC con pérdidas en los cuales se examinara las características propias de estos modelos y las consideraciones para llegara a su caracterización.

5.1.1.2 Modelo DC estándar

Este modelo de red se basa en el equivalente π de la figura 6 y de las ecuaciones de flujo del modelo AC.

En este modelo DC se realizan las siguiente consideraciones para hacer una linealización del flujo de cargas normal AC, esto convierte en este modelo en un análisis lineal de circuitos. Las consideraciones realizadas fueron tomadas de [3]:

- El flujo de potencia por los corredores de transporte corresponde a potencia puramente activa, de tal forma que la potencia reactiva se supone compensada en cada nodo aislado (individualmente genera la mitad de las pérdidas de energía reactiva de todas las líneas conectadas a él) siendo su balance total reactivo nulo. Esto implica que el módulo de la tensión es el mismo para todos los nodos e igual a su valor nominal, 1 pu¹⁵. Entre los distintos nodos, por tanto la única distinción está dada por una diferencia angular de fase (análoga a una diferencia de potencial).

$$V(X_t)_{st,i} \cong V(X_t)_{st,j} \cong 1 \quad (5.13)$$

- La admitancia (en este caso la susceptancia) a tierra de los elementos de red se considera siempre nula, esto es, no existen efectos a tierra.

$$B_{shunt(i)} = B_{shunt(j)} \cong 0 \quad (5.14)$$

- Implícitamente se ignoran las pérdidas al no considerar la resistencia serie de las líneas¹⁶. $X_{st,l} \gg R_l \quad (R_l \cong 0), entonces :$

¹⁵ En esta suposición impide modelar, entre otros detalles, la posición del tap de los transformadores, esto es, $tp(X_t)_{st,l} = 1$.

¹⁶ Se considera que la conductancia serie es aproximadamente cero. Esto implica que se considera la resistencia en el cálculo de la susceptancia serie de un corredor de transporte de energía.

$$G_{st,l} = \frac{R_l}{R_l^2 + x_{st,l}^2} \cong 0 \quad (5.15)$$

$$B_{st,l} = \frac{-x_{st,l}}{R_l^2 + x_{st,l}^2} \cong -\frac{1}{x_{st,l}} \quad (5.16)$$

- Las diferencias entre los ángulos de las tensiones de dos nodos conectados a través de un corredor se consideran pequeñas¹⁷ (sistema fuertemente acoplado eléctricamente).

$$\cos(\delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j}) \cong 1 \quad (5.17)$$

$$\sin(\delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j}) \cong (\delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j}) \quad (5.18)$$

Con las hipótesis 5.13 a 5.18, en las ecuaciones 5.9 y 5.10 se obtienen las ecuaciones de flujo de potencia para los corredores en este modelo. A continuación se muestra las ecuaciones de flujo de potencia y el circuito equivalente para un corredor.

$$f(X_t)_{Pst,l(i)} = -B_{st,l}(\delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j})S_{base} = \frac{1}{x_{st,l}}(\delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j})S_{base} \quad (5.19)$$

$$f(X_t)_{Qst,l(i)} = 0 \quad (5.20)$$

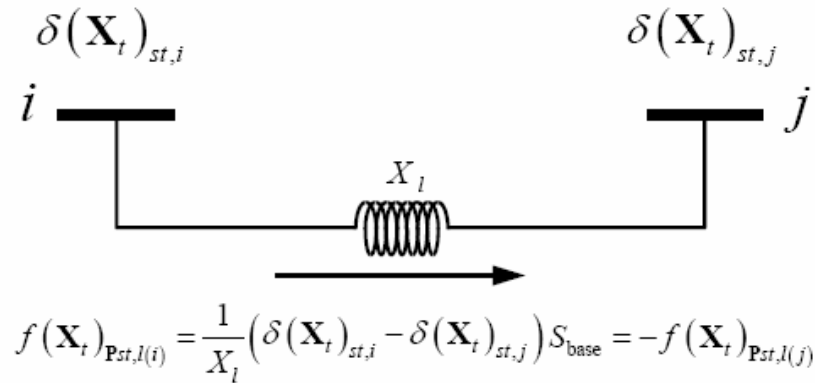


Figura 7. Equivalente de un corredor de transmisión en el flujo de cargas DC estándar.

5.1.1.3 Modelo DC con pérdidas

Para adquirir las ecuaciones de flujo de potencia para los corredores en este modelo se utilizó la consideración (a) realizada en el modelado DC y las hipótesis de 5.13 a 5.18. En [3] se obtiene las siguientes expresiones para los flujos de potencia en los corredores:

¹⁷ Esta suposición imposibilita el modelamiento de transformadores desfasadores, esto es, $\alpha(X_t)_{st,l} = 0$.

Informe Final - 78.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

$$f(X_t)_{Pst,J(i)} = -S_{base} \begin{pmatrix} B_l \sin(\delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j}) \\ -G_l \cos(1 - (\delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j})) \end{pmatrix} \quad (5.21)$$

$$f(X_t)_{Qst,J(i)} = 0 \quad (5.22)$$

Si se incluye la hipótesis de la diferencia entre los ángulos de las tensiones, se puede considerar sólo el término (K=1) de la expansión de Taylor para las funciones seno y coseno¹⁸, entonces que la ecuación 5.21 queda:

$$f(X_t)_{X_{Pst,J(i)}} = -S_{base} \begin{pmatrix} B_l (\delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j}) \\ -\frac{G_l}{2} (\delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j}) \end{pmatrix} \quad (5.23)$$

La anterior ecuación se puede expresarse en términos del flujo promedio del corredor y las pérdidas de potencia como sigue:

$$f(X_t)_{Pst,J(i)} = \tilde{f}(X_t)_{Pst,J(i)} + \frac{1}{2} \lambda(X_t)_{Pst,J(i)} \quad (5.24)$$

Donde:

Flujo promedio de potencia activa en el corredor *l* dirigido en la dirección opuesta al nodo *i* en el escenario de operación *s* del año *t* considerando la inversión realizada en ese año [MW].

$$\begin{aligned} \tilde{f}(X_t)_{Pst,J(i)} &= \frac{f(X_t)_{Pst,J(i)} - f(X_t)_{Pst,J(j)}}{2} \\ &= -B_l (\delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j}) S_{base} = -\tilde{f}(X_t)_{Pst,J(j)} \end{aligned}$$

Pérdidas de potencia activa en el corredor *l* en el escenario de operación *s* del año *t* considerando la inversión realizada en ese año [MW].

$$\begin{aligned} \lambda(X_t)_{Pst,J(i)} &= f(X_t)_{Pst,J(i)} + f(X_t)_{Pst,J(j)} \\ &= -G_l (\delta(X_t)_{st,i} - \delta(X_t)_{st,j})^2 S_{base} \end{aligned}$$

¹⁸ $\cos(x) = 1 + \sum_{K=1}^{\infty} \frac{(-1)^K x^{2K}}{(2K)!}, \quad \text{sen}(x) = x + \sum_{K=1}^{\infty} \frac{(-1)^{K-1} x^{2K-1}}{(2K-1)!}$

5.2 MANUAL DE USUARIO

En este apartado se presenta el manual de usuario de el prototipo diseñado (HADA_Plus), se describe el software que se utilizo para la implementación de éste y se hace una descripción de los pasos a seguir para el manejo de la herramienta diseñada, de modo que se aporte criterios e instrucciones para el trabajo autónomo de las personas que necesiten recurrir a éste.

5.2.1 Descripción Del Software Aplicado

El programa GAMS (General Algebraic Modeling System) es un software desarrollado por A. Brooke, D. Kendrick y A. Meeraus. A diferencia de otros paquetes de software de implementación de algoritmos matemáticos que permiten resolver los problemas de optimización, el programa GAMS presenta la ventaja de plantear un lenguaje de modelización que permite el poder escribir en un editor la formulación matemática del problema y posteriormente aplicarle una serie de “solvers” o programas de resolución.

Este programa fue desarrollado a finales de la década de los años 80 en el World Bank por un grupo de economistas, aprovechando la experiencia de su trabajo sobre programas de desarrollo económico, que requieren en primer lugar una modelización exhaustiva y posteriormente la aplicación de los correspondientes programas de optimización para poder hallar la solución numérica a los modelos propuestos.

Para el desarrollo del prototipo usamos una de las últimas versiones de GAMS (versión 22.3-146). Se trata de una versión LICENCIADA (G061207:1834AP-WIN) a la Universidad Industrial de Santander bajo la representación de Rubén Darío Cruz, la licencia tiene disponibles los solvers: BDLMP, CoinCbc, CoinGlpk, DEA, MINOS, MPSWRITE, MSNLP, disponibles sin limitaciones.

5.2.2 Instrucciones Para La Instalación

Para poder instalar esta versión se necesita de un ordenador con sistema operativo Windows 95 o superior, con 40 Mb. libres en el disco duro, y se recomienda al menos 32 Mb. de memoria RAM para ejecutar modelos de tamaño medio.

En el CD se puede obtener el programa de instalación (GAMS 22.3). La dirección es: D:\GAMS\systemswin\setup.exe. Ejecutando este fichero se ejecuta un programa de autoinstalación, que sirve de guía durante todo el proceso, ver figura 8.

Informe Final - 80.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



Figura 8. Cuadro de bienvenida a la instalación del software.

A continuación el asistente de instalación pregunta en que directorio del disco se desea instalar el programa: (por ejemplo, en C:\Archivos de programas\GAMS22.3), ver figura 9.

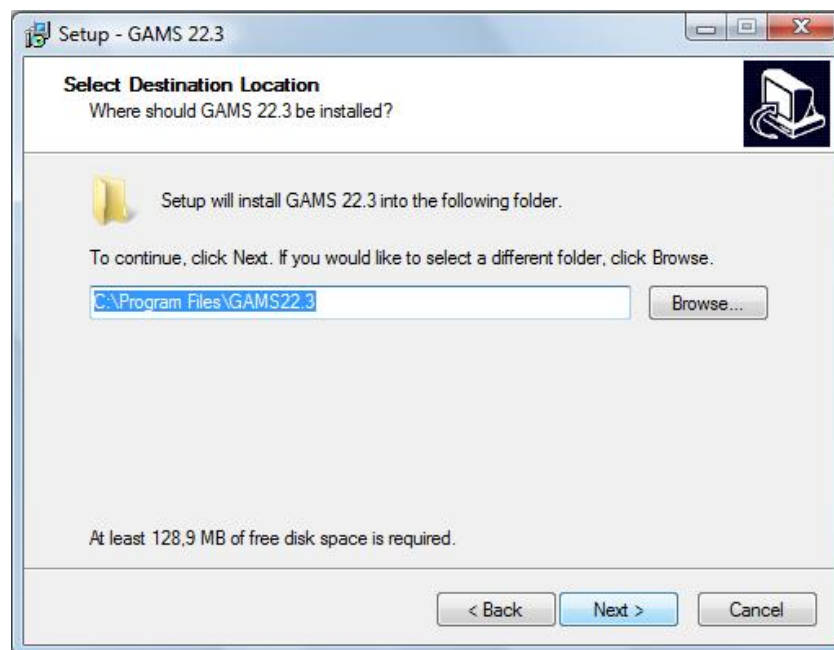


Figura 9. Cuadro selección de la localización del software.

Informe Final - 81.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

Después de confirmar el directorio donde quedará el software, el asistente pregunta si está listo para continuar con la instalación, ver figura 10

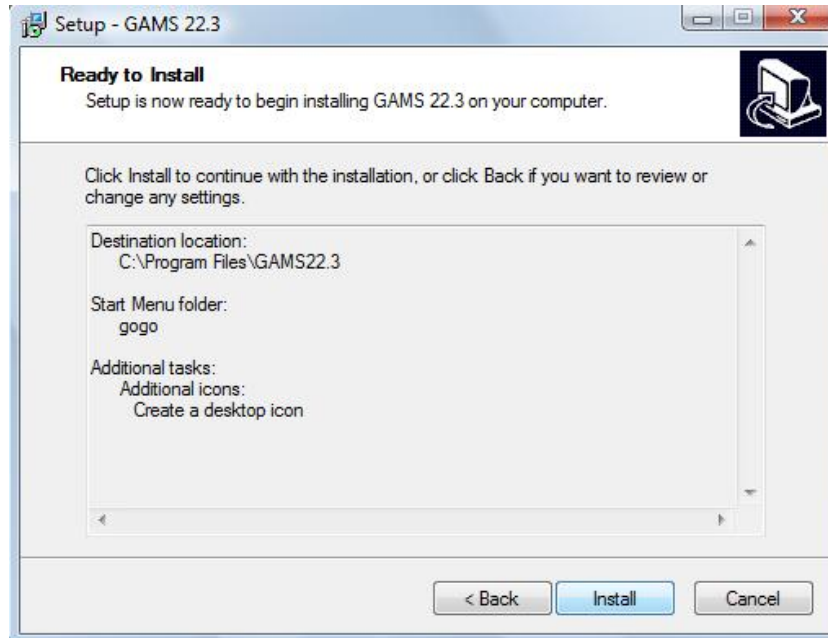


Figura 10. Cuadro de confirmación de la instalación.

Posteriormente el asistente pregunta dónde encontrar una licencia de GAMS (como se tiene una versión profesional de GAMS), entonces se le indica sí, ver figura 11.

Informe Final - 82.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

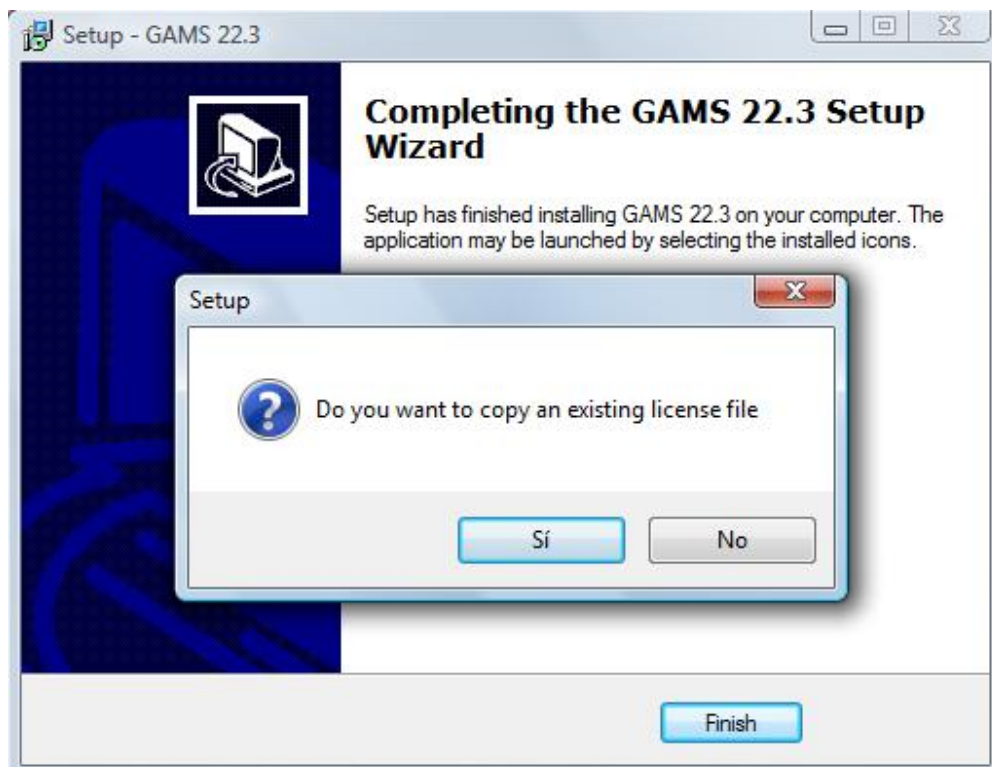


Figura 11. Confirmación de la licencia para el software.

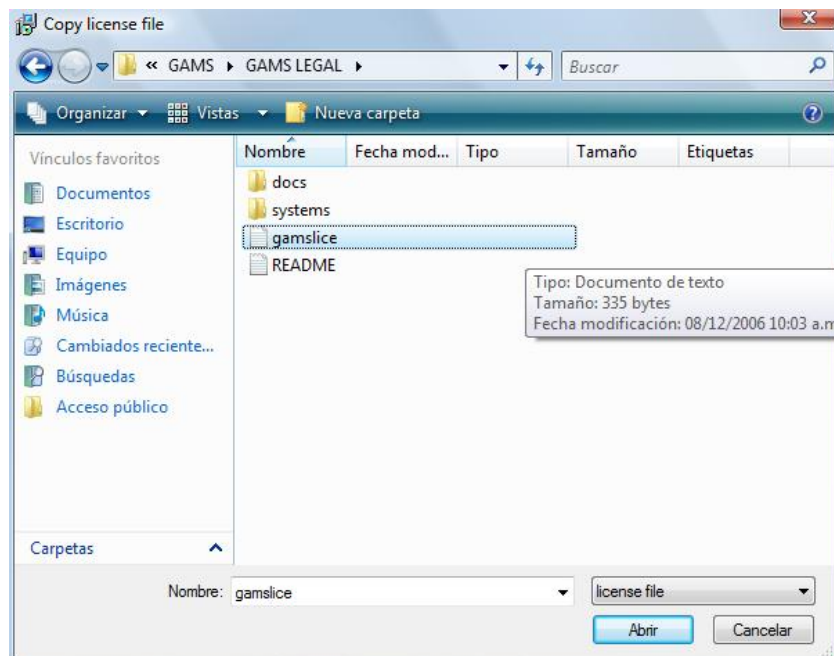


Figura 12. Fichero para buscar la licencia del software.

Informe Final - 83.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

Una vez instalado el programa, cuando se ejecute aparecerá una pantalla como la que se observa en la figura 13.

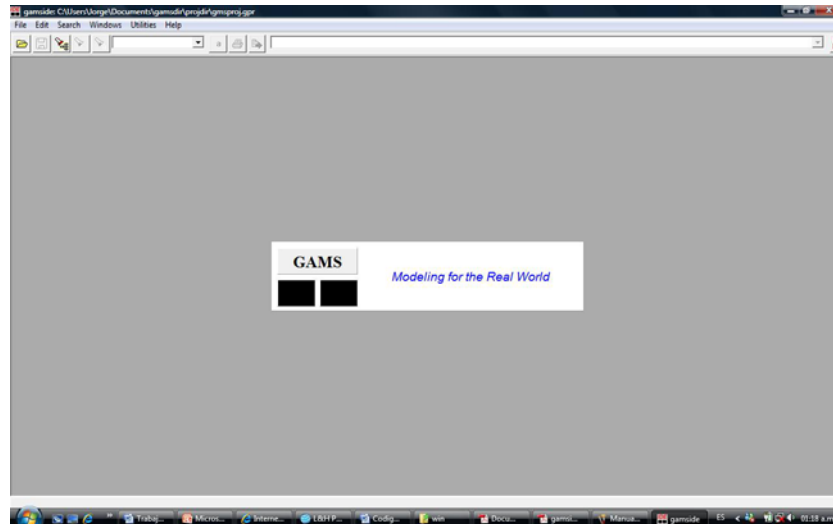
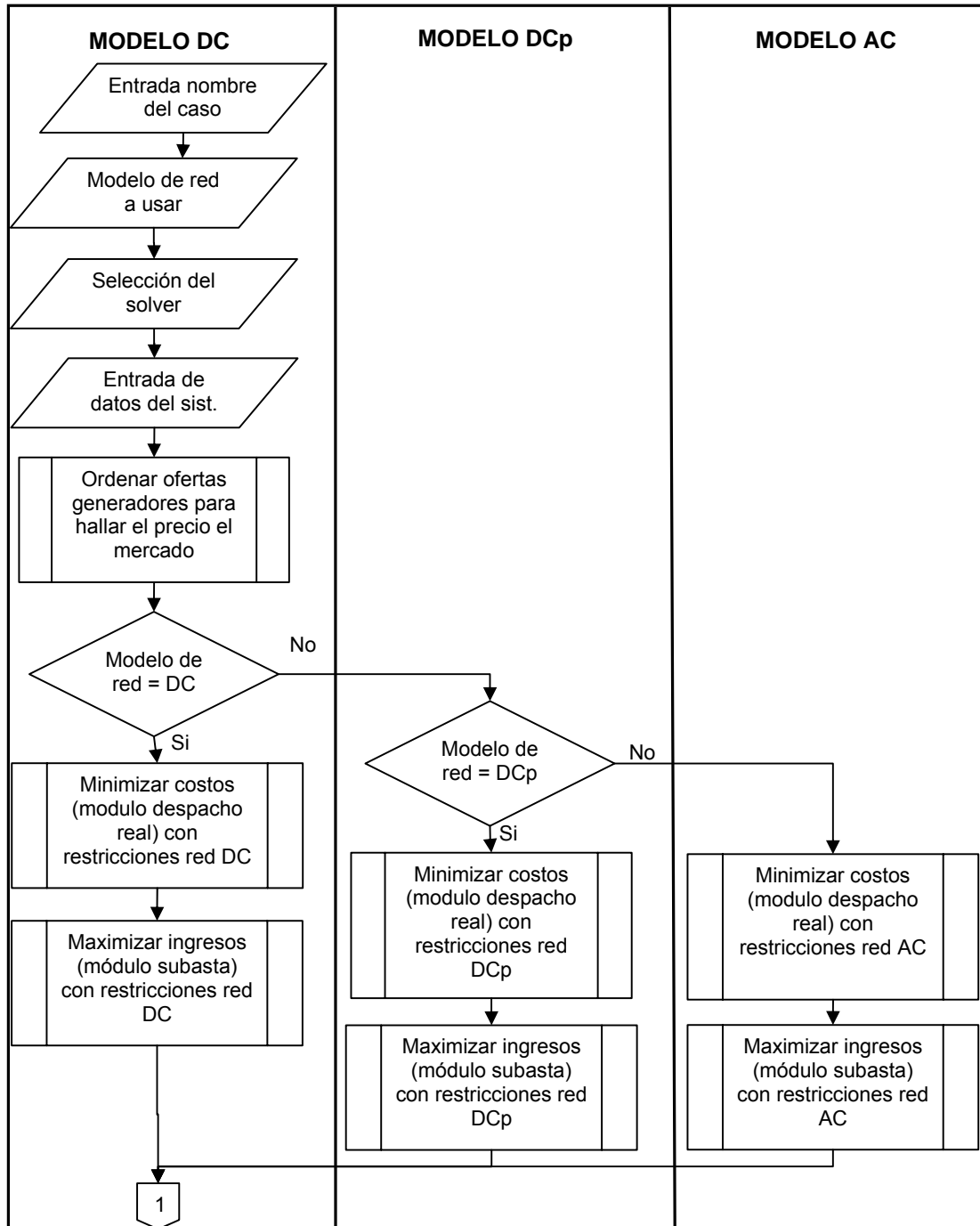
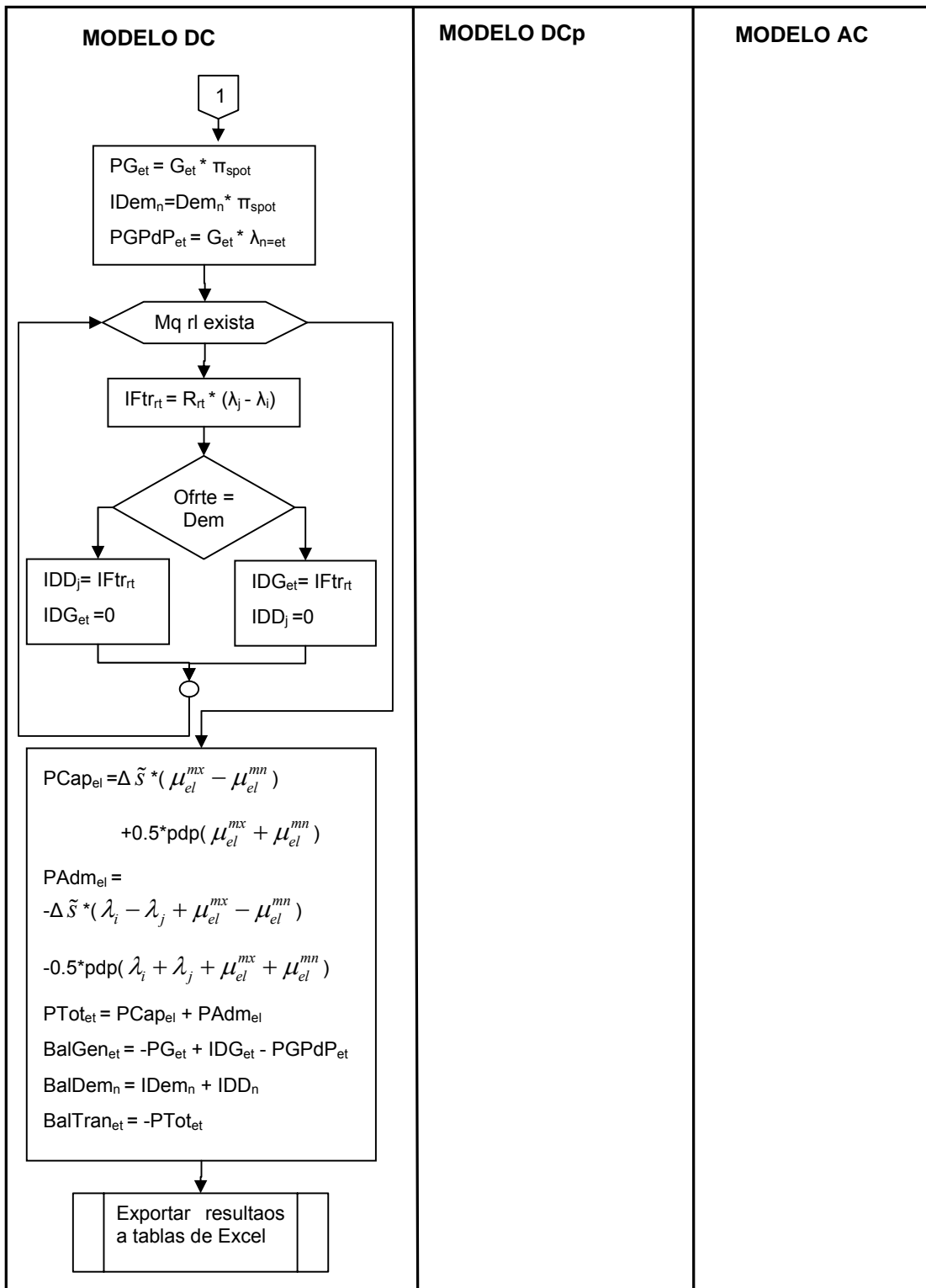


Figura 13. Fichero para buscar la licencia del software.

5.2.3 Algoritmo Del Prototipo Hada





5.2.4 Instrucciones Para El Uso De La Herramienta

Esta sección es importante para el lector, debido a que se convierte en la herramienta guía para el uso del prototipo, identificando la forma que se debe cargar el programa, los campos correspondientes a los datos de entrada, los diferentes modelos que se pueden ejecutar, entre otras características de importancia de la herramienta.

La metodología para cargar el prototipo HADA puede seguir los siguientes pasos:

- Ejecute el software GAMS de la siguiente manera: inicio, programas, GAMS, gamsside; o haciendo clic directamente en el icono de GAMS que se creó en el escritorio después de la instalación.
- Después de estar en la ventana inicial del software siga los pasos para abrir el archivo que se encuentra en la dirección: D:\TrabajoDeGradoHada\Hada_Garver_Def.gms.

Con los pasos descritos se abre el programa HADA y se pueden realizar modificaciones al prototipo base dependiendo de las necesidades que se tengan, para esto se debe tener claridad en lo que en éste representan los datos de entrada del modelo (ver capítulo 2).

El programa como se menciona en el capítulo 2 tiene una serie de datos de entrada que son declarados en las primeras líneas, y que después se usan dependiendo del modelo que se esté simulando (modelo de red DC, DCp y AC), para los distintos módulos del prototipo (Despacho ideal, despacho real, asignación de de derechos y liquidación). Un aspecto importante a tener en cuenta es que si se desea cambiar de topología de red es necesario cambiar los índices ("Sets") de control de los datos de entrada.

Los datos correspondientes a las características de los generadores que intervienen en el sistema (tanto para uso del despacho real como para el uso de la subasta) se muestran en la figura 14.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

```

R12-D 5000, R13-D 6000 /;

Parameter prt(et) "Of. de precio de g. en el esc. de precios considerado";
prt(et) = prdatos(et,'PR1');

Parameter net(et) "nodo de las plantas" / T1 1, T2 2, T3 3 /;

Table etdatos(et,etcaract,t) "datos de las plantas"
* Gen. Maxima de Potencia Activa (MW)
+ gtmx.A1
T1 600
T2 800
T3 1000
* Gen. Maxima de Potencia Reactiva (MVAR)
+ gtqmx.A1
T1 300
T2 550
T3 150
* Gen. Minima de Potencia Reactiva (MVAR)
+ gtqmn.A1
T1 -300
T2 -550
T3 -150;

Parameter gmax(et,t,op) "Generacion maxima de cada unidad para cada dia";
gmax(et,t,op) = etdatos(et,'gtmx',t);

==Ordenamiento de las generaciones por mErito. Despacho ideal=====
parameter gg(et);
gg(et)=sum(j$(prt(j)>prt(et)),1);

orddat(asord,et)$ (ord(asord)=(gg(et)+1))=yes;
    
```

Figura 14. Datos de generación en el prototipo.

La figura 15 muestra en que parte se deben cambiar los precios de oferta de los generadores para los distintos escenarios posibles (se trabajó con dos escenarios de precios). En la figura 16 y 17 se muestra en donde se pueden cambiar las características de la demanda por nodo (Demanda en MW y factor de potencia respectivamente) del sistema, dependiendo del caso que se esté analizando.

Los datos correspondientes a los límites de tensión y compensación de cada barra del sistema, se pueden cambiar en la tabla que se muestra en la figura 18.

Las características de los corredores de transporte del sistema (resistencia serie, reactancia serie, posición del tap, etc.) se encuentran ubicadas como se muestra en la figura 19. De la misma manera también se implanto un mecanismo parecido para las características de los oferentes a los derechos financieros de transmisión como se muestra en la figura 20. La tabla que me relaciona los tiempos de encendido y apagado de las plantas se muestran en la figura 21, esta tabla es de mucha importancia para el operador del prototipo al momento de simular un caso específico en el que alguna de las plantas este fuera de servicio por algún motivo específico.

El modelo cuenta con un modulo de despacho real, que consiste en el ordenamiento de las ofertas de generación por merito, buscando el intercepto con la demanda y así calcular el precio del mercado como se menciona en el capítulo 2, este proceso se observa en la figura 22.

De la figura 23 a la figura 33, se muestran los campos programados de las ecuaciones (objetivos y restricciones para los distintos modelos de red) del prototipo.



Informe Final - 88.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

```

gamside: C:\Users\Jorge\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

C:\Users\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_& Subasta_3BarrasACliq(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACliq(29-02-2008).gms

Table prdatos(et,pr) "Datos Escenarios de Precios de Oferta (USD/MWh-Diario)"
PR1 PR2
T1 1400 36
T2 4000 29
T3 7400 25;

Parameter prftr(r1) "Datos de Precios. Oferta. derechos (USD/MWh-Diario)"
/ R12-D 5000, R13-D 6000 /;

Parameter prt(et) "Of. de precio de g. en el esc. de precios considerado";
prt(et) = prdatos(et, 'PR1');

Parameter net(et) "nodo de las plantas" / T1 1, T2 2, T3 3 /;

Table etdatos(et,etcaract,t) "datos de las plantas"
* Gen. Maxima de Potencia Activa (MW)
gtqmx.A1
T1 600
T2 800
T3 1000
* Gen. Maxima de Potencia Reactiva (MVAR)
+ gtqmx.A1
T1 300
T2 550
T3 150
* Gen. Minima de Potencia Reactiva (MVAR)
+ gtqmn.A1
T1 -300
T2 -550
T3 -150;
    
```

Figura 15. Datos de precio de generación en el prototipo.

```

gamside: C:\Users\Jorge\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

C:\Users\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_& Subasta_3BarrasACliq(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACliq(29-02-2008).gms

* Lmites para la CompensaciOn Reactiva en cada Nodo (Susceptancia - pu)
+ BSNMX BSNMN
N1 0 0
N2 0 0
N3 0 0;

Table lddatos(n,t,op) "demanda por nodo. por dias. por periodo de operacion. (MW)"
A1.Hr00 A1.Hr01 A1.Hr02 A1.Hr03 A1.Hr04 A1.Hr05 A1.Hr06 A1.Hr07
N1 146.596 142.565 139.298 137.466 146.180 162.256 171.858 183.530
N2 252.715 239.045 234.612 233.961 245.529 268.502 286.332 307.394
N3 95.1415 90.2407 88.7416 88.8390 93.1392 103.097 111.293 119.713
+ A1.Hr08 A1.Hr09 A1.Hr10 A1.Hr11 A1.Hr12 A1.Hr13 A1.Hr14 A1.Hr15
N1 196.602 203.627 209.432 213.813 206.652 203.597 204.947 204.692
N2 330.368 339.999 349.242 355.726 348.033 338.499 341.620 343.683
N3 129.973 134.299 138.676 142.549 138.823 135.748 137.115 137.825
+ A1.Hr16 A1.Hr17 A1.Hr18 A1.Hr19 A1.Hr20 A1.Hr21 A1.Hr22 A1.Hr23
N1 205.725 219.907 257.427 258.085 247.175 224.603 194.156 165.102
N2 344.110 362.710 425.901 420.259 397.355 371.309 329.864 291.177
N3 137.805 146.236 172.178 172.107 162.612 147.115 127.893 108.700;

Parameter ldnu(t,op) "demanda total por dia. por periodo (MW)";
ldnu(t,op) = sum(n, lddatos(n,t,op));

Table FP(n,t,op) "Factor de potencia por nodo y en cada hora de operaciOn"
A1.Hr00 A1.Hr01 A1.Hr02 A1.Hr03 A1.Hr04 A1.Hr05 A1.Hr06 A1.Hr07
N1 0.88 0.92 0.92 0.92 0.88 0.90 0.92 0.92
N2 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
N3 0.92 0.90 0.88 0.90 0.88 0.90 0.92 0.92
+ A1.Hr08 A1.Hr09 A1.Hr10 A1.Hr11 A1.Hr12 A1.Hr13 A1.Hr14 A1.Hr15
    
```

Figura 16. Datos de demanda en el prototipo.



Informe Final - 89.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

```

gmside: C:\Users\Jorge\Documents\gmsdir\proje\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

C:\Users\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_& Subasta_3BarrasACLIq(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACLIq(29-02-2008).gms

+ A1.Hr16 A1.Hr17 A1.Hr18 A1.Hr19 A1.Hr20 A1.Hr21 A1.Hr22 A1.Hr23
N1 205.725 219.907 257.427 258.085 247.175 224.603 194.156 165.102
N2 344.110 362.710 425.901 420.259 397.355 371.309 329.864 291.177
N3 137.805 146.236 172.178 172.107 162.612 147.115 127.893 108.700;

Parameter ldnu(t,op) "demanda total por dia. por periodo (MW)";
ldnu(t,op) = sum(n,lddatos(n,t,op));

Table FP(n,t,op) "Factor de potencia por nodo y en cada hora de operacion"
A1.Hr00 A1.Hr01 A1.Hr02 A1.Hr03 A1.Hr04 A1.Hr05 A1.Hr06 A1.Hr07
N1 0.88 0.92 0.92 0.92 0.88 0.90 0.92 0.92
N2 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
N3 0.92 0.90 0.88 0.90 0.88 0.90 0.92 0.92

+ A1.Hr08 A1.Hr09 A1.Hr10 A1.Hr11 A1.Hr12 A1.Hr13 A1.Hr14 A1.Hr15
N1 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90
N2 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
N3 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90

+ A1.Hr16 A1.Hr17 A1.Hr18 A1.Hr19 A1.Hr20 A1.Hr21 A1.Hr22 A1.Hr23
N1 0.92 0.92 0.88 0.90 0.92 0.92 0.90 0.88
N2 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
N3 0.92 0.90 0.88 0.90 0.92 0.92 0.90 0.88;

Table ctdatos(ct,ctcaract) "datos corredores de transporte"
NI NF ALFMX ALFNM ALFPOS
C12 1 2 0 0 2
C13 1 3 0 0 3
C23 2 3 0 0 3;

Table eldatos(el,elcaract) "datos elementos de red existente"
NC R X BSI BSF SMXI SMXF RXXM XXMX XXMN
C12-L1 1 0.0040 0.0080 0.0000 0.0000 5000 5000 0.0000 0.0000 0.0000

```

Figura 17. Datos del factor potencia por nodo en el prototipo.

```

gmside: C:\Users\Jorge\Documents\gmsdir\proje\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

C:\Users\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_& Subasta_3BarrasACLIq(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACLIq(29-02-2008).gms

==Datos de Entrada: Parametros, Escalares y Tablas=====
Parameters
cr(r) "costo escalones rac. (USD/MWh-Afo0)" / R1 15000, R2 28000,
R3 49000, R4 97000/

ls(rr) "lmites escalones racionamiento (%)" / R0 0, R1 0.03, R2 0.05,
R3 0.1, R4 1 /;

Table ndatos(n,ncaract) "datos nodos del sistema"
* Voltaje MAXimo y MINimo en cada Nodo (pu)
VMAX VMIN
N1 1.00 1.00
N2 1.00 1.00
N3 1.00 1.00
* Lmites para la Compensacion Reactiva en cada Nodo (Potencia Reactiva - MVAR)
+ MVRMX MVRMN
N1 0 0
N2 0 0
N3 0 0
* Lmites para la Compensacion Reactiva en cada Nodo (Susceptancia - pu)
+ BSNMX BSNMN
N1 0 0
N2 0 0
N3 0 0;

Table lddatos(n,t,op) "demanda por nodo. por dias. por periodo de operacion. (MW)"
A1.Hr00 A1.Hr01 A1.Hr02 A1.Hr03 A1.Hr04 A1.Hr05 A1.Hr06 A1.Hr07
N1 146.596 142.565 139.298 137.466 146.180 162.256 171.858 183.530
N2 252.715 239.045 234.612 233.961 245.529 268.502 286.332 307.394
N3 95.1415 90.2407 88.7416 88.8380 93.1392 103.097 111.293 119.713

+ A1.Hr08 A1.Hr09 A1.Hr10 A1.Hr11 A1.Hr12 A1.Hr13 A1.Hr14 A1.Hr15
N1 196.602 203.627 209.432 213.813 206.652 203.597 204.947 204.692

```

Figura 18. Datos de tensión (Max y min) y compensación reactiva en el prototipo.



Informe Final - 90.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

```

gamside: C:\Users\Jorge\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj\gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

C:\Users\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_& Subasta_3BarrasACLiQ(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_ Subasta_3BarrasACLiQ(29-02-2008).gms

N2 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
N3 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90

+ A1.Hr16 A1.Hr17 A1.Hr18 A1.Hr19 A1.Hr20 A1.Hr21 A1.Hr22 A1.Hr23
N1 0.92 0.92 0.88 0.90 0.92 0.92 0.90 0.88
N2 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
N3 0.92 0.90 0.88 0.90 0.92 0.92 0.90 0.88;

Table ctdatos(ct,ctcharacter) "datos corredores de transporte"
NI NF ALFMX ALFMN ALFPOS
C12 1 2 0 0 2
C13 1 3 0 0 3;
C23 2 3 0 0 3;

Table eldatos(el,elcharacter) "datos elementos de red existente"
NC R X BSI BSF SMXI SMXF RYMX XXMX XXMI
C12-L1 1 0.0040 0.0080 0.0000 0.0000 5000 5000 0.0000 0.0000 0.0000
C13-L1 2 0.0040 0.0080 0.0000 0.0000 5000 5000 0.0000 0.0000 0.0000
C23-L1 3 0.0040 0.0080 0.0000 0.0000 5000 5000 0.0000 0.0000 0.0000
+ BSXMXI BSXMI BSXMF BSXMF TPMX TPMN TPPOS CSEG GXMX BXXM BXXN
C12-L1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.00 1.00 2 1.00 0.000 0.000 0.000
C13-L1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.00 1.00 3 1.00 0.000 0.000 0.000
C23-L1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.00 1.00 3 1.00 0.000 0.000 0.000;

**Si el tipo de oferente es 1 es Demanda si es 0 es Generador
Table ftrdatos(rl,frcharacter) "datos oferentes a derechos de transmisión"
NR Rmax Rmin Tipo Ndem
R12-D 1 500 0 1 2
R13-D 2 8000 0 1 3;

Table ftrdatospre(rlpre,frcharacter) "datos oferentes a derechos de transmisión"
NR Rmax Rmin
R12p-D 1 0 0;

1: 1 | Insert
    
```

Figura 19. Datos los corredores del sistema y elementos de red en el prototipo.

```

gamside: C:\Users\Jorge\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj\gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

C:\Users\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_& Subasta_3BarrasACLiQ(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_ Subasta_3BarrasACLiQ(29-02-2008).gms

C12-L1 1 0.0040 0.0080 0.0000 0.0000 5000 5000 0.0000 0.0000 0.0000
C13-L1 2 0.0040 0.0080 0.0000 0.0000 5000 5000 0.0000 0.0000 0.0000
C23-L1 3 0.0040 0.0080 0.0000 0.0000 5000 5000 0.0000 0.0000 0.0000
+ BSXMXI BSXMI BSXMF BSXMF TPMX TPMN TPPOS CSEG GXMX BXXM BXXN
C12-L1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.00 1.00 2 1.00 0.000 0.000 0.000
C13-L1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.00 1.00 3 1.00 0.000 0.000 0.000
C23-L1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.00 1.00 3 1.00 0.000 0.000 0.000;

**Si el tipo de oferente es 1 es Demanda si es 0 es Generador
Table ftrdatos(rl,frcharacter) "datos oferentes a derechos de transmisión"
NR Rmax Rmin Tipo Ndem
R12-D 1 500 0 1 2
R13-D 2 8000 0 1 3;

Table ftrdatospre(rlpre,frcharacter) "datos oferentes a derechos de transmisión"
NR Rmax Rmin
R12p-D 1 0 0;

Table fdatos(rt,frcharacter) "datos oferentes a derechos de transmisión"
NI NF
R12 1 2;
R13 1 3;

Table fdatospre(rtpre,frcharacter) "datos oferentes a derechos de transmisión"
NI NF
R12p 1 2;

Table prdatos(et,pr) "Datos Escenarios de Precios de Oferta (USD/MWh-Diario)"
PR1 PR2
T1 1400 36
T2 4000 29
T3 7400 25;

Parameter prftr(rl) "Datos de Precios. Oferta. derechos (USD/MWh-Diario)"

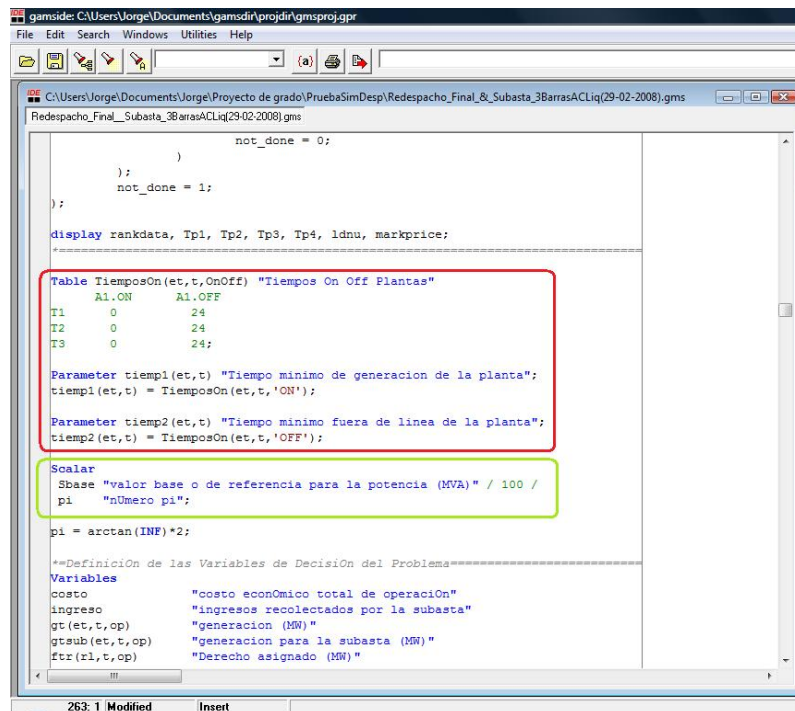
263: 1 | Modified | Insert
    
```

Figura 20. Datos característicos de los oferentes de derechos en el prototipo.



Informe Final - 91.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```
not_done = 0;
);
);
not_done = 1;
);
display rankdata, Tp1, Tp2, Tp3, Tp4, ldnv, markprice;
-----
Table TiemposOn(et,t,OnOff) "Tiempos On Off Plantas"
Al.ON Al.OFF
T1 0 24
T2 0 24
T3 0 24;

Parameter tiemp1(et,t) "Tiempo minimo de generacion de la planta";
tiemp1(et,t) = TiemposOn(et,t,'ON');

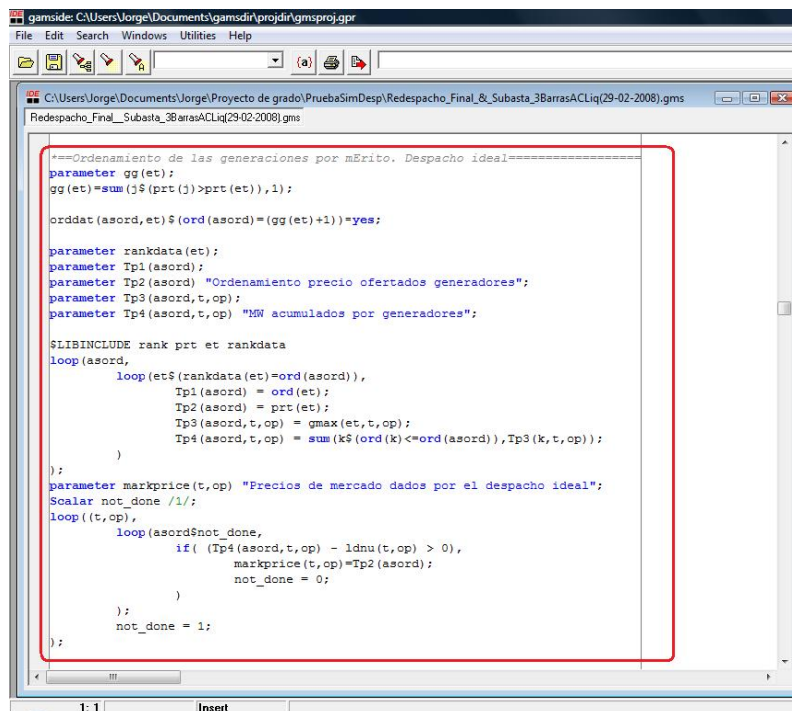
Parameter tiemp2(et,t) "Tiempo minimo fuera de linea de la planta";
tiemp2(et,t) = TiemposOn(et,t,'OFF');

Scalar
Sbase "valor base o de referencia para la potencia (MVA) * 100 /
pi "nUmero pi";

pi = arctan(INF)*2;

*Definición de las Variables de DecisiOn del Problema=====
Variables
costo "costo economico total de operaciOn"
ingreso "ingresos recolectados por la subasta"
gt(et,t,op) "generacion (MW)"
gtsub(et,t,op) "generacion para la subasta (MW)"
ftr(r1,t,op) "Derecho asignado (MW)"
-----
```

Figura 21. Datos los tiempos ON/OFF de las plantas y potencia base en el prototipo.



```
====Ordenamiento de las generaciones por mErito. Despacho ideal=====
parameter gg(et);
gg(et) = sum(j$(prt(j)>prt(et)),1);

orddat(asord,et)$ (ord(asord) = (gg(et)+1)) = yes;

parameter rankdata(et);
parameter Tp1(asord);
parameter Tp2(asord) "Ordenamiento precio ofertados generadores";
parameter Tp3(asord,t,op);
parameter Tp4(asord,t,op) "MW acumulados por generadores";

$LIBINCLUDE rank prt et rankdata
loop(asord,
loop(et$(rankdata(et)=ord(asord)),
Tp1(asord) = ord(et);
Tp2(asord) = prt(et);
Tp3(asord,t,op) = gmax(et,t,op);
Tp4(asord,t,op) = sum(k$(ord(k)<=ord(asord)),Tp3(k,t,op));
);
);
parameter markprice(t,op) "Precios de mercado dados por el despacho ideal";
Scalar not_done /1/;
loop((t,op),
loop(asord$not_done,
if((Tp4(asord,t,op) - ldnv(t,op) > 0),
markprice(t,op) = Tp2(asord);
not_done = 0;
);
);
);
not_done = 1;
);
```

Figura 22. Estructura en el prototipo encargada de hallar el precio de bolsa.

Informe Final - 92.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

```

ffsaofsub(el,t,op) "flujo aparente mx.entra a c/elem.de red,NF-NI(M. AC)en sub.";

* Función Objetivo: Costo total de operación - Nodo Unico
costobjnu.. costo =e= sum(t, sum((op,et), prt(et)*gt(et,t,op)
+ sum((op,z), cr(z)*racnu(z,t,op)));

* Función Objetivo: Costo total de operación
costobj.. costo =e= sum(t, sum((op,et), prt(et)*gt(et,t,op)
+ sum(n, sum((op,z), cr(z)*rac(n,r,t,op))));

*Función Objetivo: Ingresos de la subasta
ingobj.. ingreso =e= sum(t, sum((op,r1), prftr(r1)*ftr(r1,t,op)
- sum((op,et), prt(et)*gtaub(et,t,op)
- sum(n, sum((op,z), cr(z)*racsub(n,r,t,op))));

* Funcion encendido de las plantas y apagado
EncAct(et,t,op).. gt(et,t,op)$ (ord(op)<tiemp1(et,t) or ord(op)>tiemp2(et,t))
=e= 0;
EncRact(et,t,op).. gtq(et,t,op)$ (ord(op)<tiemp1(et,t) or ord(op)>tiemp2(et,t))
=e= 0;

* Funcion encendido de las plantas y apagado para la subasta
EncActsub(et,t,op).. gtaub(et,t,op)$ (ord(op)<tiemp1(et,t) or ord(op)>tiemp2(et,t))
=e= 0;
EncRactsub(et,t,op).. gtqsub(et,t,op)$ (ord(op)<tiemp1(et,t) or ord(op)>tiemp2(et,t))
=e= 0;

* Ecuación de Balance de Potencia Activa a Nodo Unico (1ra Ley de Kirchhoff)
balpnu(n,t,op).. sum(et,gt(et,t,op)) + sum(z,racnu(z,t,op)) =e= ldnu(t,op);

* Ecuación de Balance de Potencia Activa en cada Nod. Redesp.(1ra Ley de Kirchhoff)
balp(n,t,op).. sum(et, (net(et) = ord(n))*gt(et,t,op) + sum(z, rac(n,r,t,op))
- sum(ct, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*sum(el$(eldatos(el,'NC') = ord(ct)), ffp(el,t,op)))
= 0;
    
```

Figura 23. Ecuaciones de costos (nodo único y normal), de ingresos (para la subasta) y control encendido apagado de las plantas en el prototipo.

```

* Ecuación de Balance de Potencia Activa en cada Nod. Redesp. (1ra Ley de Kirchhoff)
balp(n,t,op).. sum(et, (net(et) = ord(n))*gt(et,t,op) + sum(z, rac(n,r,t,op))
- sum(ct, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*sum(el$(eldatos(el,'NC') = ord(ct)), ffp(el,t,op)))
- 0.5*sum(ct,
((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*sum(el$(eldatos(el,'NC') = ord(ct)), pdp(el,t,op)))
=e= lddatos(n,t,op);

* Ecuación de Balance de Potencia Activa en cada Nod. Sub. (1ra Ley de Kirchhoff)
balpSub(n,t,op).. sum(rtpr, ((fdatospre(rtpre,'NF')=ord(n))
- (fdatospre(rtpre,'NI')=ord(n))*sum(r1pre$(ftrdatospre(r1pre,'NR')
= ord(rtpre)), ftrpre(r1pre,t,op)) + sum(rt, ((fdatos(rt,'NF')=ord(n))
- (fdatos(rt,'NI')=ord(n))*sum(r1$(ftrdatos(r1,'NR') = ord(rt)), ftr(r1,t,op))
- sum(et, (net(et) = ord(n))*gtaub(et,t,op) - sum(z, racsub(n,r,t,op))
+ sum(ct, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*sum(el$(eldatos(el,'NC') = ord(ct)), ffpSub(el,t,op)))
+ 0.5*sum(ct,
((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*sum(el$(eldatos(el,'NC') = ord(ct)), pdpSub(el,t,op)))
= 0;

* Ecuación de Balance de Potencia Reactiva en cada Nod. Redesp. (1ra Ley de Kirchhoff)
balq(n,t,op).. sum(et, (net(et) = ord(n))*gtq(et,t,op)
+ Sbase*bsn(n,t,op)*v(n,t,op)**2 + mvz(n,t,op)
+ sqrt(1-powz(FP(n,t,op),2))*sum(z, rac(n,r,t,op))/FP(n,t,op)
- sum(ct,
((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*sum(el$(eldatos(el,'NC') = ord(ct)), ffpq(el,t,op)))
- 0.5*sum(ct,
((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*sum(el$(eldatos(el,'NC') = ord(ct)), pdq(el,t,op)))
=e= sqrt(1-powz(FP(n,t,op),2))*lddatos(n,t,op)/FP(n,t,op);
    
```

Figura 24. Ecuaciones de balance de potencia activa (para asignación y para el despacho real) y balance potencia reactiva para el despacho real en el prototipo.



Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

```

gamside: C:\Users\Jorge\Documents\gamsdir\prodir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

C:\Users\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_& Subasta_3BarrasACliq(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACliq(29-02-2008).gms

*sum (rlpre$(ftrdatospre(rlpre,'NR') = ord(rtpre)),
      ftrpre(rlpre,t,op))/FP(n,t,op)
+ sqrt(1-power(FP(n,t,op),2))*(sum(xt,((fdatos(rt,'NF')=ord(n))
*sum(rl$(ftrdatos(rl,'NR') = ord(rt)), ftr(rl,t,op)))/FP(n,t,op):

* Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo DC y Dcp)
flupdc(el,t,op).. fpp(el,t,op) =e=
-Sbase*(bx(el,t,op) - (eldatos(el,'X') + xx(el,t,op))
/((eldatos(el,'R') + rx(el,t,op))**2 + power((eldatos(el,'X')+xx(el,t,op)),2)))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')=ord(n))*delta(n,t,op)
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')))*alfa(ct,t,op));

* Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo DC y Dcp) para la subasta
flupdcsub(el,t,op).. fppsub(el,t,op) =e=
-Sbase*(bxsub(el,t,op) - (eldatos(el,'X') + xxsub(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rxsub(el,t,op))**2+power((eldatos(el,'X')+xxsub(el,t,op)),2)))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')=ord(n))*deltasub(n,t,op)
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS')=ctdatos(ct,'NI')))*alfasub(ct,t,op));

* Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo AC)
flupac(el,t,op).. fpp(el,t,op) =e=
Sbase*(0.5*(gx(el,t,op) + (eldatos(el,'R') + rx(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+xx(el,t,op))**2 + power((eldatos(el,'X') + xx(el,t,op)),2)))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = eldatos(el,'TPPOS'))/cp(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NI') <> eldatos(el,'TPPOS'))*(ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
- ((ctdatos(ct,'NF') = eldatos(el,'TPPOS'))/tp(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NF') <> eldatos(el,'TPPOS'))*(ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
**v(n,t,op)**2))
- (bx(el,t,op) - (eldatos(el,'X') + xx(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rx(el,t,op))**2 + power((eldatos(el,'X') + xx(el,t,op)),2)))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, (ctdatos(ct,'NI') = ord(n))*v(n,t,op)
*sum(n, (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))*v(n,t,op))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')))*alfa(ct,t,op))
/tp(el,t,op));

* Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo AC) para la subasta
flupacsub(el,t,op).. fppsub(el,t,op) =e=
Sbase*(0.5*(gxsub(el,t,op) + (eldatos(el,'R') + rxsub(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rxsub(el,t,op))**2+power((eldatos(el,'X')+xxsub(el,t,op)),2)))

```

Figura 25. Ecuaciones de flujo promedio de potencia activa (modelo DC) para asignación y para el despacho real en el prototipo.

```

gamside: C:\Users\Jorge\Documents\gamsdir\prodir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

C:\Users\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_& Subasta_3BarrasACliq(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACliq(29-02-2008).gms

flupdcsub(el,t,op).. fppsub(el,t,op) =e=
-Sbase*(bxsub(el,t,op) - (eldatos(el,'X') + xxsub(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rxsub(el,t,op))**2+power((eldatos(el,'X')+xxsub(el,t,op)),2)))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')=ord(n))*deltasub(n,t,op)
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS')=ctdatos(ct,'NI')))*alfasub(ct,t,op));

* Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo AC)
flupac(el,t,op).. fpp(el,t,op) =e=
Sbase*(0.5*(gx(el,t,op) + (eldatos(el,'R') + rx(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+xx(el,t,op))**2 + power((eldatos(el,'X') + xx(el,t,op)),2)))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = eldatos(el,'TPPOS'))/tp(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NI') <> eldatos(el,'TPPOS'))*(ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
- ((ctdatos(ct,'NF') = eldatos(el,'TPPOS'))/tp(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NF') <> eldatos(el,'TPPOS'))*(ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
**v(n,t,op)**2))
- (bx(el,t,op) - (eldatos(el,'X') + xx(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rx(el,t,op))**2 + power((eldatos(el,'X') + xx(el,t,op)),2)))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, (ctdatos(ct,'NI') = ord(n))*v(n,t,op)
*sum(n, (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))*v(n,t,op))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')))*alfa(ct,t,op))
/tp(el,t,op));

* Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo AC) para la subasta
flupacsub(el,t,op).. fppsub(el,t,op) =e=
Sbase*(0.5*(gxsub(el,t,op) + (eldatos(el,'R') + rxsub(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rxsub(el,t,op))**2+power((eldatos(el,'X')+xxsub(el,t,op)),2)))

```

Figura 26. Ecuaciones de flujo promedio de potencia activa (para el modelo AC) para el despacho real en el prototipo.



Informe Final - 94.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

```

gamside: CAUsers\Jorge\Documents\gams\dir\projdir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

CAUsers\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_&_Subasta_3BarrasACLiQ(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACLiQ(29-02-2008).gms

flupdcsub(el,t,op).. ffppsub(el,t,op) =e=
-Sbase*(bxsub(el,t,op) - (eldatos(el,'X') + xxsub(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rxsub(el,t,op))**2+power((eldatos(el,'X')+xxsub(el,t,op)),2)))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')=ord(n))) *deltasub(n,t,op)
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS')=ctdatos(ct,'NI')))*alfasub(ct,t,op));

* Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo AC)
fluppac(el,t,op).. ffpp(el,t,op) =e=
Sbase*(0.5*(gx(el,t,op) + (eldatos(el,'R') + rx(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rx(el,t,op))**2 + power((eldatos(el,'X') + xx(el,t,op)),2)))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, (((ctdatos(ct,'NI') = eldatos(el,'TPPOS'))/tp(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NI') <> eldatos(el,'TPPOS'))*(ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
- ((ctdatos(ct,'NF') = eldatos(el,'TPPOS'))/tp(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NF') <> eldatos(el,'TPPOS'))*(ctdatos(ct,'NF')= ord(n))
*v(n,t,op)**2))
- (bx(el,t,op) - (eldatos(el,'X') + xx(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rx(el,t,op))**2 + power((eldatos(el,'X') + xx(el,t,op)),2)))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, (ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) *v(n,t,op)
*sum(n, (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)) *v(n,t,op))
*sin(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')= ord(n))
*delta(n,t,op)
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')))*alfa(ct,t,op)))
/tp(el,t,op));

* Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo AC) para la subasta
fluppacsub(el,t,op).. ffppsub(el,t,op) =e=
Sbase*(0.5*(gxsub(el,t,op) + (eldatos(el,'R') + rxsub(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rxsub(el,t,op))**2+power((eldatos(el,'X')+xxsub(el,t,op)),2)))

```

Figura 27. Ecuaciones de flujo promedio de potencia reactiva (para el modelo AC) para el despacho real en el prototipo.

```

gamside: CAUsers\Jorge\Documents\gams\dir\projdir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

CAUsers\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_&_Subasta_3BarrasACLiQ(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACLiQ(29-02-2008).gms

* Magnitud de las pÉrDidas de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo DC)
perdpdc(el,t,op).. pdp(el,t,op) =e= 0;

* Magnitud de las pÉrDidas de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo DC) para la subasta
perdpdcsub(el,t,op).. pdpsub(el,t,op) =e= 0;

* Magnitud de las pÉrDidas de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo DCp)
perdpdcop(el,t,op).. pdp(el,t,op) =e=
Sbase*(gx(el,t,op) + (eldatos(el,'R') + rx(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rx(el,t,op))**2+power((eldatos(el,'X') + xx(el,t,op)),2)))
*power(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')=ord(n))) *delta(n,t,op)
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')))*alfa(ct,t,op)),2);

* Magnitud de las pÉrDidas de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo DCp) para la subasta
perdpdcsubop(el,t,op).. pdpsubop(el,t,op) =e=
Sbase*(gxsub(el,t,op) + (eldatos(el,'R') + rxsub(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rxsub(el,t,op))**2+power((eldatos(el,'X')+xxsub(el,t,op)),2)))
*power(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI')=ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')=ord(n))) *deltasub(n,t,op)
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS')=ctdatos(ct,'NI')))*alfasub(ct,t,op)),2);

* Magnitud de las pÉrDidas de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo AC)
perdpac(el,t,op).. pdp(el,t,op) =e=
Sbase*(gx(el,t,op) + (eldatos(el,'R') + rx(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rx(el,t,op))**2 + power((eldatos(el,'X') + xx(el,t,op)),2)))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, (((ctdatos(ct,'NI') = eldatos(el,'TPPOS'))/tp(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NI') <> eldatos(el,'TPPOS'))*(ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
+ ((ctdatos(ct,'NF') = eldatos(el,'TPPOS'))/tp(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NF') <> eldatos(el,'TPPOS'))*(ctdatos(ct,'NF')= ord(n))

```

Figura 28. Ecuaciones de pérdidas de potencia reactiva (para el modelo DC y DCp) en el prototipo.



Informe Final - 95.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

```

gamside: C:\Users\Jorge\Documents\gamsidi\prodir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

C:\Users\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_& Subasta_3BarrasACliq(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACliq(29-02-2008).gms

sum(n, (ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) * v(n,t,op))
*sum(n, (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)) * v(n,t,op))
*cos(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*delta(n,t,op))
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')) * alfa(ct,t,op)) / tp(el,t,op));

* Magnitud de las pErdidAs de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo AC) para la subasta
perdpacsub(el,t,op).. pdpsub(el,t,op) =e=
Sbase*(gmsub(el,t,op) + (eldatos(el,'R') + rxsub(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rxsub(el,t,op))**2+power((eldatos(el,'X')+xxsub(el,t,op)),2))
*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = eldatos(el,'TPPOS')) / tpsub(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NI') <> eldatos(el,'TPPOS')) * (ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
+ (ctdatos(ct,'NF') = eldatos(el,'TPPOS')) / tpsub(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NF') <> eldatos(el,'TPPOS')) * (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*vsub(n,t,op)**2))
- 2*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, (ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) * vsub(n,t,op))
*sum(n, (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)) * vsub(n,t,op))
*cos(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*delta(n,t,op))
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')) * alfasub(ct,t,op)) / tpsub(el,t,op));

* Magnitud de las pErdidAs de Potencia Reactiva por Elemento de Red (Modelo AC)
perdqac(el,t,op).. pdq(el,t,op) =e=
-Sbase*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((eldatos(el,'BSI') + baxi(el,t,op)) * (ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
+ (eldatos(el,'BSF') + baxf(el,t,op)) * (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)) * v(n,t,op)**2))
+ (bx(el,t,op) - (eldatos(el,'X') + xx(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rx(el,t,op))**2 + power((eldatos(el,'X') + xx(el,t,op)),2)))
*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = eldatos(el,'TPPOS')) / tp(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NI') <> eldatos(el,'TPPOS')) * (ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
+ (ctdatos(ct,'NF') = eldatos(el,'TPPOS')) / tp(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NF') <> eldatos(el,'TPPOS')) * (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*v(n,t,op)**2))
- 2*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, (ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) * v(n,t,op))
*sum(n, (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)) * v(n,t,op))
*cos(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*delta(n,t,op))
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')) * alfa(ct,t,op)) / tp(el,t,op));

```

Figura 29. Ecuaciones de pérdidas de potencia activa (para el AC) en el prototipo.

```

gamside: C:\Users\Jorge\Documents\gamsidi\prodir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

C:\Users\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_& Subasta_3BarrasACliq(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACliq(29-02-2008).gms

+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')) * alfasub(ct,t,op)) / tpsub(el,t,op));

* Magnitud de las pErdidAs de Potencia Reactiva por Elemento de Red (Modelo AC)
perdqacsub(el,t,op).. pdqsub(el,t,op) =e=
-Sbase*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((eldatos(el,'BSI') + baxi(el,t,op)) * (ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
+ (eldatos(el,'BSF') + baxf(el,t,op)) * (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)) * v(n,t,op)**2))
+ (bx(el,t,op) - (eldatos(el,'X') + xx(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rx(el,t,op))**2 + power((eldatos(el,'X') + xx(el,t,op)),2)))
*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = eldatos(el,'TPPOS')) / tp(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NI') <> eldatos(el,'TPPOS')) * (ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
+ (ctdatos(ct,'NF') = eldatos(el,'TPPOS')) / tp(el,t,op)**2
+ (ctdatos(ct,'NF') <> eldatos(el,'TPPOS')) * (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*v(n,t,op)**2))
- 2*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, (ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) * v(n,t,op))
*sum(n, (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)) * v(n,t,op))
*cos(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
*delta(n,t,op))
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')) * alfa(ct,t,op)) / tp(el,t,op));

* Magnitud de las pErdidAs de Potencia Reactiva por Elemento de Red (Modelo AC) para la subasta
perdqacsub(el,t,op).. pdqsub(el,t,op) =e=
-Sbase*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((eldatos(el,'BSI') + baxi(el,t,op)) * (ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
+ (eldatos(el,'BSF') + baxf(el,t,op)) * (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)) * vsub(n,t,op)**2))
+ (bxsub(el,t,op) - (eldatos(el,'X') + xxsub(el,t,op))
/((eldatos(el,'R')+rxsub(el,t,op))**2+power((eldatos(el,'X')+xxsub(el,t,op)),2))
*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(el,'NC')),
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = eldatos(el,'TPPOS')) / tpsub(el,t,op)**2

```

Figura 30. Ecuaciones de pérdidas de potencia reactiva (para el AC) en el prototipo.



Informe Final - 96.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

```

gamside: CAUsers\Jorge\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help
CAUsers\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_&_Subasta_3BarrasACLiQ(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACLiQ(29-02-2008).gms

* Flujo Promedio Máximo de Potencia Activa por Elemento de Red (Mod. DC y DCp)
ffppdcmx(el,t,op).. ffpp(el,t,op) =1=
    eldatos(el,'CSEG')*eldatos(el,'SMXI') - 0.5*pdp(el,t,op);

* Flujo Promedio Máximo de Potencia Activa por Elemento de Red (Mod. DC y DCp) para la subasta
ffppdcmxsub(el,t,op).. ffppsub(el,t,op) =1=
    eldatos(el,'CSEG')*eldatos(el,'SMXI') - 0.5*pdpsub(el,t,op);

* Flujo Promedio Mínimo de Potencia Activa por Elemento de Red (Mod. DC y DCp)
ffppdcmn(el,t,op).. ffpp(el,t,op) =g=
    - eldatos(el,'CSEG')*eldatos(el,'SMXF') + 0.5*pdp(el,t,op);

* Flujo Promedio Mínimo de Potencia Activa por Elemento de Red (Mod. DC y DCp) para la subasta
ffppdcmnsub(el,t,op).. ffppsub(el,t,op) =g=
    - eldatos(el,'CSEG')*eldatos(el,'SMXF') + 0.5*pdpsub(el,t,op);

* Flujo Aparente Máx. entrando a c/Elemento de Red por su Nodo Inicial (Mod. AC)
ffsaci(el,t,op)..
sqrt(power(ffpp(el,t,op) + 0.5*pdp(el,t,op),2)
    + power(ffpq(el,t,op) + 0.5*pdq(el,t,op),2)) =1=
    eldatos(el,'CSEG')*eldatos(el,'SMXI');

* Flujo Aparente Máx. entrando a c/Elemento de Red por su Nodo Inicial (Mod. AC) para la subasta
ffsacisub(el,t,op)..
sqrt(power(ffppsub(el,t,op) + 0.5*pdpsub(el,t,op),2)
    + power(ffpqsub(el,t,op) + 0.5*pdqsub(el,t,op),2)) =1=
    eldatos(el,'CSEG')*eldatos(el,'SMXI');

* Flujo Aparente Máx. entrando a c/Elemento de Red por su Nodo Final (Mod. AC)
ffsacf(el,t,op)..
sqrt(power(-ffpp(el,t,op) + 0.5*pdp(el,t,op),2)
    + power(-ffpq(el,t,op) + 0.5*pdq(el,t,op),2)) =1=
    eldatos(el,'CSEG')*eldatos(el,'SMXF');
    
```

Figura 31. Ecuaciones de flujo promedio máximo y mínimo (modelos DC y DCp) y del flujo aparente máximo entrando al nodo inicial (modelo AC) en el prototipo.

```

gamside: CAUsers\Jorge\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help
CAUsers\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_&_Subasta_3BarrasACLiQ(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACLiQ(29-02-2008).gms

sqrt(power(ffppsub(el,t,op) + 0.5*pdpsub(el,t,op),2)
    + power(ffpqsub(el,t,op) + 0.5*pdqsub(el,t,op),2)) =1=
    eldatos(el,'CSEG')*eldatos(el,'SMXI');

* Flujo Aparente Máx. entrando a c/Elemento de Red por su Nodo Final (Mod. AC)
ffsacf(el,t,op)..
sqrt(power(-ffpp(el,t,op) + 0.5*pdp(el,t,op),2)
    + power(-ffpq(el,t,op) + 0.5*pdq(el,t,op),2)) =1=
    eldatos(el,'CSEG')*eldatos(el,'SMXF');

* Flujo Aparente Máx. entrando a c/Elemento de Red por su Nodo Final (Mod. AC) para la subasta
ffsacisub(el,t,op)..
sqrt(power(-ffppsub(el,t,op) + 0.5*pdpsub(el,t,op),2)
    + power(-ffpqsub(el,t,op) + 0.5*pdqsub(el,t,op),2)) =1=
    eldatos(el,'CSEG')*eldatos(el,'SMXF');

==Especificación de los Modelos a Resolver Redespacho==
Model ModDesNU / costobjnu, balpnu /;
Model ModDesDC / costobj, EncAct, EncReact, balp, fluppdcc, perdpdc,
    ffppdcmx, ffppdcmn /;
Model ModDesDCp / costobj, EncAct, EncReact, balp, fluppdcc, perdpdcp,
    ffppdcmx, ffppdcmn /;
Model ModDesAC / costobj, EncAct, EncReact, balp, fluppac, perdpac,
    ffsaci, ffsacf, balq, flupqac, perdqac /;

==Especificación de los Modelos a Resolver Subasta==
Model ModAucDC / ingobj, EncActsub, EncReactsub, balpSub, fluppdccsub,
    perdpdcsub, ffppdcmxsub, ffppdcmnsub /;
Model ModAucDCp / ingobj, EncActsub, EncReactsub, balpSub, fluppdccsub,
    perdpdcsub, ffppdcmxsub, ffppdcmnsub /;
Model ModAucAC / ingobj, EncActsub, EncReactsub, balpSub, fluppacsub,
    perdpacsub, ffsacisub, ffsacisub, balqSub, flupqacsub, perdqacsub /;

*Activar Escalación de las Ecuaciones y Variables de los Modelos
    
```

Figura 32. Ecuaciones de flujo aparente máximo entrando al nodo final (modelo AC) en el prototipo.

Informe Final - 97.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

```

+ sqrt(1-power(FP(n,t,op),2))*sum(z, rac(n,r,t,op))/FP(n,t,op)
- sum(ct,
  ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)))
  *sum(e1$(eldatos(e1,'NC') = ord(ct)), ffpq(e1,t,op)))
- 0.5*sum(ct,
  ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)))
  *sum(e1$(eldatos(e1,'NC') = ord(ct)), pdq(e1,t,op)))
=e= sqrt(1-power(FP(n,t,op),2))*ldatos(n,t,op)/FP(n,t,op);

* Ecuación de Balance de Potencia Reactiva en cada Nod. Sub (Ley de Kirchhoff)
balqSub(n,t,op) .. sum(et, (net(et) = ord(n))*gtqsub(et,t,op)
+ Sbase*bnsub(n,t,op)*vsub(n,t,op)**2 + mvsub(n,t,op)
+ sqrt(1-power(FP(n,t,op),2))*sum(z, racsub(n,r,t,op))/FP(n,t,op)
- sum(ct,
  ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)))
  *sum(e1$(eldatos(e1,'NC') = ord(ct)), ffpqsub(e1,t,op)))
- 0.5*sum(ct,
  ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)))
  *sum(e1$(eldatos(e1,'NC') = ord(ct)), pdqsub(e1,t,op)))
=e= sqrt(1-power(FP(n,t,op),2))*sum(rtpre, ((fdatospre(rtpre,'NF')=ord(n)))
*sum(r1pre$(ftrdatospre(r1pre,'NR') = ord(rtpre)),
  ftrpre(r1pre,t,op))/FP(n,t,op)
+ sqrt(1-power(FP(n,t,op),2))*sum(rt, ((fdatos(rt,'NF')=ord(n)))
*sum(r1$(ftrdatos(r1,'NR') = ord(rt)), ftr(r1,t,op)))/FP(n,t,op);

* Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo DC y DCp)
Flupdc(e1,t,op) .. ffp(e1,t,op) =e=
-Sbase*(bx(e1,t,op) - (eldatos(e1,'X') + xx(e1,t,op))
/((eldatos(e1,'R') + xx(e1,t,op))**2 + power((eldatos(e1,'X')+xx(e1,t,op)),2)))
*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1,'NC')));
sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')=ord(n))*delta(n,t,op)
+ ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
- (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')))*alfa(ct,t,op));
  
```

Figura 33. Ecuación de balance de potencia reactiva (modelo AC) en el prototipo.

```

Files ResultdAssign / Resultd-Assign.xls /,
ResultdLiq / Resultd-Liq.xls /,
ResultdDesp / Resultd-Desp.xls /;

*pagos correspondientes a la energía
EnerGen(et,t,op) = gt.l(et,t,op) * markprice(t,op);
EnerDem(n,t,op) = -ldatos(n,t,op) * markprice(t,op);

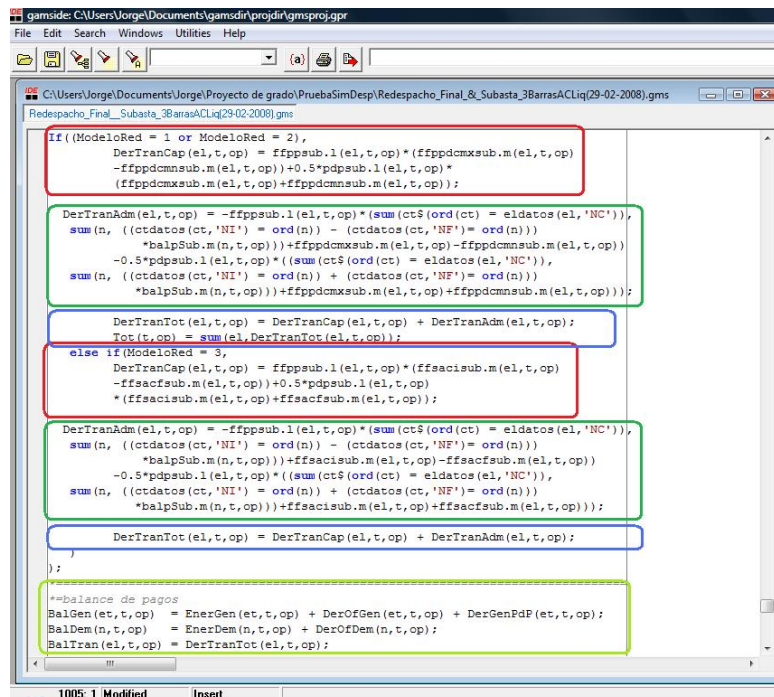
*pagos correspondientes a los derechos
loop(r1,
  if(ftrdatos(r1,'Tipo') = 1,
    DerOfftr(r1,t,op) = -ftr.l(r1,t,op)*(sum(rt$(ord(rt) = ftrdatos(r1,'NR')),
    sum(n, ((fdatos(rt,'NF') = ord(n)) - (fdatos(rt,'NI') = ord(n)))
    *balpSub.m(n,t,op)));
    DerOfDem(n,t,op)$(ftrdatos(r1,'Ndem')=ord(n)) =
    DerOfftr(r1,t,op)$(ftrdatos(r1,'Ndem')=ord(n));
    DerOfGen(et,t,op) = 0;
  else if(ftrdatos(r1,'Tipo') = 0,
    DerOfftr(r1,t,op) = -ftr.l(r1,t,op)*(sum(rt$(ord(rt) = ftrdatos(r1,'NR')),
    sum(n, ((fdatos(rt,'NF') = ord(n)) - (fdatos(rt,'NI') = ord(n)))
    *balpSub.m(n,t,op)));
    DerOfGen(et,t,op) = DerOfftr(r1,t,op)$(ftrdatos(r1,'Ndem')=ord(et));
    DerOfDem(n,t,op) = 0;
  );
);
DerGenPdF(et,t,op) = sum(n,balpSub.m(n,t,op)*(net(et) = ord(n))*gtsub.l(et,t,op));

If((ModeloRed = 1 or ModeloRed = 2),
  DerTranCap(e1,t,op) = ffpssub.l(e1,t,op)*(ffppdcmsub.m(e1,t,op)
  
```

Figura 34. Pagos correspondientes a los agentes por energía e ingresos por derechos.

Informe Final - 98.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```
gamside: C:\Users\Jorge\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Help

C:\Users\Jorge\Documents\Jorge\Proyecto de grado\PruebaSimDesp\Redespacho_Final_&_Subasta_3BarrasACLIq(29-02-2008).gms
Redespacho_Final_Subasta_3BarrasACLIq(29-02-2008).gms

If ((ModeloRed = 1 or ModeloRed = 2),
    DerTranCap(e1,t,op) = ffppsub.l(e1,t,op)*(ffppdcmsub.m(e1,t,op)
    -ffppdcmsub.m(e1,t,op))+0.5*pdpsub.l(e1,t,op)*
    (ffppdcmsub.m(e1,t,op)+ffppdcmsub.m(e1,t,op));

    DerTranAdm(e1,t,op) = -ffppsub.l(e1,t,op)*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1,'NC')),
    sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)))
    *balpSub.m(n,t,op)))+ffppdcmsub.m(e1,t,op)-ffppdcmsub.m(e1,t,op)
    -0.5*pdpsub.l(e1,t,op)*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1,'NC')),
    sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)))
    *balpSub.m(n,t,op)))+ffppdcmsub.m(e1,t,op)+ffppdcmsub.m(e1,t,op));

    DerTranTot(e1,t,op) = DerTranCap(e1,t,op) + DerTranAdm(e1,t,op);
    Tot(t,op) = sum(e1,DerTranTot(e1,t,op));

else if (ModeloRed = 3,
    DerTranCap(e1,t,op) = ffppsub.l(e1,t,op)*(ffsacisub.m(e1,t,op)
    -ffsacisub.m(e1,t,op))+0.5*pdpsub.l(e1,t,op)
    *(ffsacisub.m(e1,t,op)+ffsacisub.m(e1,t,op));

    DerTranAdm(e1,t,op) = -ffppsub.l(e1,t,op)*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1,'NC')),
    sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)))
    *balpSub.m(n,t,op)))+ffsacisub.m(e1,t,op)-ffsacisub.m(e1,t,op)
    -0.5*pdpsub.l(e1,t,op)*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1,'NC')),
    sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct,'NF') = ord(n)))
    *balpSub.m(n,t,op)))+ffsacisub.m(e1,t,op)+ffsacisub.m(e1,t,op));

    DerTranTot(e1,t,op) = DerTranCap(e1,t,op) + DerTranAdm(e1,t,op);
);

**balance de pagos
BalGen(et,t,op) = EnerGen(et,t,op) + DerOfGen(et,t,op) + DerGenPdP(et,t,op);
BalDem(n,t,op) = EnerDem(n,t,op) + DerOfDem(n,t,op);
BalTran(e1,t,op) = DerTranTot(e1,t,op);
```

Figura 35. Pagos realizados a los corredores por concepto de transmisión.

5.3 CÓDIGO INFORMÁTICO DEL PROTOTIPO HADA

Desde el punto de vista práctico, el principal objetivo de este proyecto de grado fue elaborar un prototipo informático que permite realizar la asignación de los derechos con su respectiva validación y liquidación, esto se debe a la falta de un esquema de derechos de transmisión que permita la planeación descentralizada de la expansión basada en las señales del mercado.

Éste prototipo fue desarrollado utilizando el sistema de modelado GAMS (“General Algebraic Modeling System”), versión 22.3-146

Informe Final - 93.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

```
1 | $title Despacho HidrotErmico (Cadena, J. H. y Jerez, G. E. - 2008)
2 |
3 | $ontext
4 | *****
5 | *
6 | * < H A D A _ P l u s * > *
7 | * Herramienta para la Asignación De *
8 | * Derechos de Admitancia y Capacidad *
9 | *
10 | *****
11 | * Copyright (C) - UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. (UIS) *
12 | * DIRECTOR: Ruben Dario Cruz, Ph.D.
13 | *
14 | * AUTORES: Jorge Horacio Cadena Ordoñez,
15 | * Gladys Elena Jerez Paul.
16 | *****
17 | * Este prototipo fue implantado como parte del trabajo de investigación *
18 | * "Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como *
19 | * Alternativa de Expansión de la Red". Esta fase es la del Despacho *
20 | *****
21 | $offtext
22 | $eolcom #
23 |
24 | *=Definición y Asignación del Nombre del Caso en Estudio=====
25 | Acronym Garver_Mod;
26 | Parameter Caso "nombre del caso en estudio" / Garver_Mod /;
27 |
28 | *=Definición de las Opciones de Modelo de Red=====
29 | Acronyms Nodo_Unico, DC, DCp, AC;
30 |
31 | *=Asignación del Modelo de Red=====
32 | * Nodo_Unico = 0, DC = 1, DCp = 2, AC = 3, Todos = 4
33 | Parameters ModeloRed "modelo de red utilizado (0-4)" / 1 /
34 | NModeloRed "nombre del modelo de red utilizado";
35 |
36 | If(ModeloRed = 0, NModeloRed = Nodo_Unico;
37 | else if(ModeloRed = 1, NModeloRed = DC;
38 | else if(ModeloRed = 2, NModeloRed = DCp;
39 | else if(ModeloRed = 3, NModeloRed = AC));
40 |
41 | *=Definición Opciones de Solucionador para Problemas Lineales=====
42 | Acronyms BDMLP, CPLEX, CPLEXP, OSL, XA, XAPAR, XPRESS, ZOOM;
43 |
44 | *=Definición Opciones de Solucionador para Problemas Lineales y No Lineales=====
45 | Acronyms CONOPT, MINOS, PATHNLP, SNOPT;
46 |
47 | Acronyms BARON, DICOPT, MPSWRITE, SBB;
48 |
49 | *=Asignación del Solucionador:
50 | * Problemas Lineales (LP): BDMLP = 1, CPLEX = 2, CPLEXP = 3, OSL = 4,
51 | * XA = 5, XAPAR = 6, XPRESS = 7, ZOOM = 8
52 | * Problemas Lineales (LP) y No Lineales (NLP): CONOPT = 9, MINOS = 10,
53 | * PATHNLP = 11, SNOPT = 12
54 | * Problemas Lineales (LP), No Lineales (NLP) y Mixtos (MINLP): CONOPT = 9,
55 | * MINOS = 10, PATHNLP = 11,
56 | * SNOPT = 12
57 |
58 | Parameters
59 | SolunorLP "solucionador para problemas lineales (1-12)" / 8 /
60 | SolunorNLP "solucionador para problemas no lineales (9-12)" / 8 /
61 | SolunorMINLP "solucionador para problemas mixtos no lineales (1-4)" / 4 /
62 | NSolunorLP "nombre del solucionador para problemas lineales"
63 | NSolunorNLP "nombre del solucionador para problemas no lineales"
64 | NSolunorMINLP "nombre del solucionador para problemas mixtos no lineales";
65 |
66 | If(SolunorLP = 1, option lp = BDMLP; NSolunorLP = BDMLP;
67 | else if(SolunorLP = 2, option lp = CPLEX; NSolunorLP = CPLEX;
68 | else if(SolunorLP = 3, option lp = OSL; NSolunorLP = OSL;
69 | else if(SolunorLP = 4, option lp = XA; NSolunorLP = XA;
70 | else if(SolunorLP = 5, option lp = XAPAR; NSolunorLP = XAPAR;
71 | else if(SolunorLP = 6, option lp = XPRESS; NSolunorLP = XPRESS;
72 | else if(SolunorLP = 7, option lp = CONOPT; NSolunorLP = CONOPT;
```

Informe Final - 94.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```

73     else if(SoLunorLP = 8, option lp = MINOS; NSoLunorLP = MINOS;
74     else if(SoLunorLP = 9, option lp = PATHNLP; NSoLunorLP = PATHNLP;
75     else if(SoLunorLP = 10, option lp = SNOPT; NSoLunorLP = SNOPT)))))))));
76
77 If(SoLunorNLP = 7, option nlp = CONOPT; NSoLunorNLP = CONOPT;
78     else if(SoLunorNLP = 8, option nlp = MINOS; NSoLunorNLP = MINOS;
79     else if(SoLunorNLP = 9, option nlp = PATHNLP; NSoLunorNLP = PATHNLP;
80     else if(SoLunorNLP = 10, option nlp = SNOPT; NSoLunorNLP = SNOPT)))));
81
82 If(SoLunorMINLP = 1, option minlp = BARON; NSoLunorMINLP = BARON;
83     else if(SoLunorMINLP = 2, option minlp = DICOPT; NSoLunorMINLP = DICOPT;
84     else if(SoLunorMINLP = 3, option minlp = MPSWRITE; NSoLunorMINLP = MPSWRITE;
85     else if(SoLunorMINLP = 4, option minlp = SBB; NSoLunorMINLP = SBB)))));
86
87 *Definición de los Conjuntos de Entidades del Problema=====
88 Sets
89 t "dias de estudio de la operaciOn" / A1 /
90 pr "escenarios de precios de oferta" / PR1*PR2 /
91 n "nodos del sistema" / N1*N6 /
92 ncaract "caracterIsticas nodos del sistema" / VMX "voltaje mAximo"
93 VMN "voltaje mImino"
94 MVRMX "Comp. reactiva Q mAx."
95 MVRMN "Comp. reactiva Q mIn."
96 BSNMX "Comp. reactiva B mAx."
97 BSNMN "Comp. reactiva B mIn."
98 CSTBS "CAE/pu comp. react. B"/
99 ct "corredores de transporte del sist." / C12, C14, C15, C23, C24, C35 /
100 ctcaract "caracterIsticas corredores" / NI "nUmero nodo inicial"
101 NF "nUmero nodo final"
102 ALFMX "Angulo desfase mAx."
103 ALFMN "Angulo desfase mIn."
104 ALFPOS "nodo adyact. al tap" /
105 ftrcaract "caracterIsticas derechos" / NR "nUmero derecho"
106 Rmin "MW mAx. Asignados"
107 Rmax "MW mIn. Asignados"
108 Tipo "Tipo oferente"
109
110 fcaract "caracterIstica elem. Derechos" / NI "nUmero nodo inicial"
111 NF "nUmero nodo final" /
112 e1 "elementos de red del sistema" / C12-L1, C14-L1, C15-L1, C23-L1
113 C24-L1, C35-L1 /
114 rt "Derechos de transmision" / R12, R14, R23, R35 /
115 rtpre "Derechos de transmision preexistentes" / R12p /
116 r1 "elemento Derechos de transmision" / R12-D, R14-D, R23-D, R35-D /
117 r1pre "elemento de transmision preexistentes" / R12p-D /
118 elcaract "caracterIsticas elementos de red" / NC "nUmero corredor"
119 R "resistencia serie"
120 X "reactancia serie"
121 BSI "suscep. paralelo n. ini."
122 BSF "suscep. paralelo n. fin."
123 SMXI "MVA mAx. entr. n. ini."
124 SMXF "MVA mAx. entr. n. fin."
125 RXXM "resist. var. serie mAx."
126 XXMX "react. var. serie mAx."
127 XXMN "react. var. serie mIn."
128 BSXMXI "suscep prlo var mx ni"
129 BSXMXI "suscep prlo var mn ni"
130 BSXMXF "suscep prlo var mx nf"
131 BSXMXF "suscep prlo var mn nf"
132 TPMX "posiciOn mAx. del tap"
133 TPMN "posiciOn mIn. del tap"
134 TPPOS "nodo adyact. al tap"
135 CSEG "coeficiente seguridad"
136 GXXM "conduct. var. serie mAx"
137 BXXM "suscep. var. serie mAx"
138 BXXN "suscep. var. serie mIn"/
139 et "unidades generaciOn" / T1*T4 /
140 etcaract "caracterIsticas plantas" / gtmx "g. mAx. de pot. activa"
141 gtqmx "g. mAx. p. reactiva"
142 gtqmn "g. mIn. p. reactiva" /
143 rr "Indice aux. lIm. escalones rac." / R0*R4 /
144 r(rr) "escalones de racionamiento" / R1*R4 /

```

Informe Final - 95.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```

145 op "Periodos de operaciOn" / Hr00*Hr23 /
146 OnOff "Indicador encendido/apagado" / ON, OFF /
147 asord "conjuntos genericos de ordenamiento" / 1*1000 /
148 orddat(asord,et);
149
150 alias(et,j);
151 alias(asord,k);
152
153 *=Datos de Entrada: Parametros, Escalares y Tablas=====
154 Parameters
155 cr(r) "costo escalones rac. (USD/MWh-A#o0)" / R1 150, R2 280,
156 R3 490, R4 970 /
157
158 ls(rr) "lLimites escalones racionamiento (%)" / R0 0, R1 0.03, R2 0.05,
159 R3 0.1, R4 1 /;
160
161
162 Table ndatos(n,ncaract) "datos nodos del sistema"
163 * Voltaje MMaximo y MInimo en cada Nodo (pu)
164 VMX VMN
165 N1 1.02 1.02
166 N2 1.10 0.90
167 N3 1.04 1.04
168 N4 1.10 0.90
169 N5 1.10 0.90
170 N6 1.04 1.04
171 * LLimites para la CompensaciOn Reactiva en cada Nodo (Potencia Reactiva - MVAR)
172 + MVRMX MVRMN
173 N1 0 0
174 N2 0 0
175 N3 0 0
176 N4 0 0
177 N5 0 0
178 N6 0 0
179 * LLimites para la CompensaciOn Reactiva en cada Nodo (Susceptancia - pu)
180 + BSNMX BSNMN
    
```

```

181 N1 0 0
182 N2 0 0
183 N3 0 0
184 N4 0 0
185 N5 0 0
186 N6 0 0;
187
188 Table lddatos(n,t,op) "demanda por nodo. por días. por periodo de operacion.(MW)"
189 A1.Hr00 A1.Hr01 A1.Hr02 A1.Hr03 A1.Hr04 A1.Hr05 A1.Hr06 A1.Hr07
190 N1 146.596 142.565 139.298 137.466 146.180 162.256 171.858 183.530
191 N2 252.715 239.045 234.612 233.961 245.529 268.502 286.332 307.394
192 N3 95.1415 90.2407 88.7416 88.8380 93.1392 103.097 111.293 119.713
193 N4 233.687 222.962 216.365 216.937 228.441 249.398 262.797 278.868
194 N5 287.039 274.633 268.535 269.034 281.437 308.722 324.221 344.407
195 N6 25.0333 23.8074 22.8767 22.4618 22.3698 22.6085 22.2151 23.4773
196
197 + A1.Hr08 A1.Hr09 A1.Hr10 A1.Hr11 A1.Hr12 A1.Hr13 A1.Hr14 A1.Hr15
198 N1 196.602 203.627 209.432 213.813 206.652 203.597 204.947 204.692
199 N2 330.368 339.999 349.242 355.726 348.033 338.499 341.620 343.683
200 N3 129.973 134.299 138.676 142.549 138.823 135.748 137.115 137.825
201 N4 299.438 310.762 321.759 327.711 317.287 310.778 313.766 314.323
202 N5 366.914 378.289 390.160 399.273 388.713 379.718 383.778 385.310
203 N6 25.2094 26.5057 27.3980 28.1289 28.3662 27.9470 27.1546 26.6770
204
205 + A1.Hr16 A1.Hr17 A1.Hr18 A1.Hr19 A1.Hr20 A1.Hr21 A1.Hr22 A1.Hr23
206 N1 205.725 219.907 257.427 258.085 247.175 224.603 194.156 165.102
207 N2 344.110 362.710 425.901 420.259 397.355 371.309 329.864 291.177
208 N3 137.805 146.236 172.178 172.107 162.612 147.115 127.893 108.700
209 N4 316.256 335.435 400.113 404.050 385.123 352.869 305.191 257.371
210 N5 392.752 412.389 482.613 487.241 467.475 430.381 371.203 315.150
211 N6 26.8031 29.0885 37.4734 38.5045 37.0410 34.1130 30.1224 26.1786;
212
213 Parameter ldn(t,op) "demanda total por dia. por periodo (MW)";
214
215 ldn(t,op) = sum(n,lldatos(n,t,op));
216
    
```

Informe Final - 96.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.

217 Table FP(n,t,op) "Factor de potencia por nodo y en cada hora de operación"

218 A1.Hr00 A1.Hr01 A1.Hr02 A1.Hr03 A1.Hr04 A1.Hr05 A1.Hr06 A1.Hr07

219 N1 0.88 0.92 0.92 0.92 0.88 0.90 0.92 0.92

220 N2 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00

221 N3 0.92 0.90 0.88 0.90 0.88 0.90 0.92 0.92

222 N4 0.92 0.90 0.88 0.90 0.88 0.90 0.92 0.92

223 N5 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00

224 N6 0.92 0.90 0.88 0.90 0.92 0.90 0.88 0.92

225

226 + A1.Hr08 A1.Hr09 A1.Hr10 A1.Hr11 A1.Hr12 A1.Hr13 A1.Hr14 A1.Hr15

227 N1 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90

228 N2 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00

229 N3 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90

230 N4 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90

231 N5 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00

232 N6 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90 0.92 0.88 0.90

233

234 + A1.Hr16 A1.Hr17 A1.Hr18 A1.Hr19 A1.Hr20 A1.Hr21 A1.Hr22 A1.Hr23

235 N1 0.92 0.92 0.88 0.90 0.92 0.92 0.90 0.88

236 N2 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00

237 N3 0.92 0.90 0.88 0.90 0.92 0.92 0.90 0.88

238 N4 0.92 0.90 0.88 0.90 0.92 0.92 0.90 0.88

239 N5 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00

240 N6 0.92 0.90 0.88 0.90 0.92 0.92 0.90 0.88;

241

242 Table ctdatos(ct,ctcaract) "datos corredores de transporte"

243 NI NF ALFMX ALFMN ALFPOS

244 C12 1 2 0 0 2

245 C14 1 4 0 0 4

246 C15 1 5 0 0 5

247 C23 2 3 0 0 3

248 C24 2 4 0 0 4

249 C35 3 5 0 0 5;

250

251 Table eldatos(el,elcaract) "datos elementos de red existente"

252 NC R X BSI BSF SMXI SMXF RXMX XXMX XXMN

253 C12-L1 1 0.1000 0.4000 0.0000 0.0000 100 100 0.0000 0.0000 0.0000

254 C14-L1 2 0.1500 0.6000 0.0000 0.0000 80 80 0.0000 0.0000 0.0000

255 C15-L1 3 0.0500 0.2000 0.0000 0.0000 100 100 0.0000 0.0000 0.0000

256 C23-L1 4 0.0500 0.2000 0.0000 0.0000 100 100 0.0000 0.0000 0.0000

257 C24-L1 5 0.1000 0.4000 0.0000 0.0000 100 100 0.0000 0.0000 0.0000

258 C35-L1 6 0.0500 0.2000 0.0000 0.0000 100 100 0.0000 0.0000 0.0000

259 + BSXMXI BSXMNI BSXMXF BSXMNF TPMX TPMN TPPOS CSEG GXXM BXXM BXXN

260 C12-L1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.00 1.00 2 1.00 0.00 0.000 0.000

261 C14-L1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.00 1.00 4 1.00 0.00 0.000 0.000

262 C15-L1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.00 1.00 5 1.00 0.00 0.000 0.000

263 C23-L1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.00 1.00 3 1.00 0.00 0.000 0.000

264 C24-L1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.00 1.00 4 1.00 0.00 0.000 0.000

265 C35-L1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 1.00 1.00 5 1.00 0.00 0.000 0.000;

266

267 *=Si el tipo de oferente es 1 es Demanda si es 0 es Generador

268 Table ftrdatos(r1,ftrcaract) "datos oferentes a derechos de transmisión"

269 NR Rmax Rmin Tipo Ndem

270 R12-D 1 900 0 1 2

271 R14-D 2 50 0 1 4

272 R23-D 3 600 0 1 3

273 R35-D 4 350 0 1 5;

274

275 Table ftrdatospre(r1pre,ftrcaract) "datos oferentes a derechos de transmisión"

276 NR Rmax Rmin

277 R12p-D 1 0 0;

278

279 Table fdatos(rt,fcарact) "datos oferentes a derechos de transmisión"

280 NI NF

281 R12 1 2

282 R14 1 4

283 R23 2 3

284 R35 3 5;

285

286 Table fdatospre(rtpre,fcарact) "datos oferentes a derechos de transmisión"

287 NI NF

288 R12p 1 2;

Informe Final - 97.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```
289
290 Table prdatos(et,pr) "Datos Escenarios de Precios de Oferta (USD/MWh-Diario)"
291     PR1 PR2
292     T1 10 36
293     T2 15 29
294     T3 13 25
295     T4 27 30;
296
297 Parameter prftr(r1) "Datos de Precios. Oferta. derechos (USD/MWh-Diario)"
298     / R12-D 1, R14-D 5, R23-D 10, R35-D 1 /;
299
300 Parameter prt(et) "Of. de precio de g. en el esc. de precios considerado";
301 prt(et) = prdatos(et,'PR1');
302
303 Parameter net(et) "nodo de las plantas" / T1 1, T2 3, T3 4, T4 6 /;
304
305 Table etdatos(et,etcaract,t) "datos de las plantas"
306 * Gen. Maxima de Potencia Activa (MW)
307     gtmx.A1
308     T1 431
309     T2 770
310     T3 211
311     T4 627
312 * Gen. Maxima de Potencia Reactiva (MVAR)
313     + gtqmx.A1
314     T1 300
315     T2 550
316     T3 150
317     T4 450
318 * Gen. MINima de Potencia Reactiva (MVAR)
319     + gtqmn.A1
320     T1 -300
321     T2 -550
322     T3 -150
323     T4 -450;
324
```

```
325 Parameter gmax(et,t,op) "Generacion maxima de cada unidad para cada dia";
326 gmax(et,t,op) = etdatos(et,'gtmx',t);
327
328 *==Ordenamiento de las generaciones por mErito. Despacho ideal=====
329 parameter gg(et);
330 gg(et)=sum(j$(prt(j)>prt(et)),1);
331
332 orddat(asord,et)$ (ord(asord)=(gg(et)+1))=yes;
333
334 parameter rankdata(et);
335 parameter Tp1(asord);
336 parameter Tp2(asord) "Ordenamiento precio ofertados generadores";
337 parameter Tp3(asord,t,op);
338 parameter Tp4(asord,t,op) "MW acumulados por generadores";
339
340 $LIBINCLUDE rank prt et rankdata
341 loop(asord,
342     loop(et$(rankdata(et)=ord(asord)),
343         Tp1(asord) = ord(et);
344         Tp2(asord) = prt(et);
345         Tp3(asord,t,op) = gmax(et,t,op);
346         Tp4(asord,t,op) = sum(k$(ord(k)<=ord(asord)),Tp3(k,t,op));
347     )
348 );
349 parameter markprice(t,op) "Precios de mercado dados por el despacho ideal";
350 Scalar not_done /1/;
351 loop((t,op),
352     loop(asord$not_done,
353         if( (Tp4(asord,t,op) - 1dnu(t,op) > 0),
354             markprice(t,op)=Tp2(asord);
355             not_done = 0;
356         )
357     );
358     not_done = 1;
359 );
360
```

Informe Final - 98.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```

361 display rankdata, Tp1, Tp2, Tp3, Tp4, ldn, markprice;
362 *=====
363
364 Table TiemposOn(et,t,OnOff) "Tiempos On Off Plantas"
365           A1.ON      A1.OFF
366 T1      0           24
367 T2      0           24
368 T3      0           24
369 T4      0           24;
370
371 Parameter tiemp1(et,t) "Tiempo minimo de generacion de la planta";
372 tiemp1(et,t) = TiemposOn(et,t,'ON');
373
374 Parameter tiemp2(et,t) "Tiempo minimo fuera de linea de la planta";
375 tiemp2(et,t) = TiemposOn(et,t,'OFF');
376
377 Scalar
378 Sbase "valor base o de referencia para la potencia (MVA) / 100 /
379 pi      "nNumero pi";
380
381 pi = arctan(INF)*2;
382
383 *Definición de las Variables de Decisión del Problema=====
384 Variables
385 costo      "costo económico total de operación"
386 ingreso    "ingresos recolectados por la subasta"
387 gt(et,t,op) "generación (Mw)"
388 gsub(et,t,op) "generación para la subasta (Mw)"
389 ftr(r1,t,op) "Derecho asignado (Mw)"
390 ftrpre(r1pre,t,op) "Derecho asignado preexistente(Mw)"
391 racnu(r,t,op) "racionamiento de la demanda a nodo unico (Mw)"
392 ffp(e1,t,op) "flujo promedio de pot. activa por los elem. de red (Mw)"
393 ffpssub(e1,t,op) "flujo prom.de pot.act. por los elem. de red en la sub.(Mw)"
394 pdp(e1,t,op) "pEerdidas de potencia activa en los elementos de red (Mw)"
395 pdpsub(e1,t,op) "pEerdidas de pot. act. en los elem. de red en la sub.(Mw)"
396 delta(n,t,op) "Angulo de fase de la tensión en cada nodo (rad)"

```

```

397 deltasub(n,t,op) "Ang. de fase de la tensión en cada nodo en la subasta(rad)"
398 alfa(ct,t,op) "Ang. de desfase adic. de la tensión en cada corredor(rad)"
399 alfsub(ct,t,op) "Ang.de desf. adic.de la tensión en c/corre. en la sub.(rad)"
400 rac(n,r,t,op) "racionamiento de potencia activa en cada nodo (Mw)"
401 racsub(n,r,t,op) "racionamiento de pot. activa en cada nodo de la sub.(Mw)"
402 gtq(et,t,op) "generación de potencia reactiva (MVAR)"
403 gtqsub(et,t,op) "generación de potencia reactiva en la subasta (MVAR)"
404 ffpq(e1,t,op) "flujo prom. de pot. react. por los elem.de red (MVAR)"
405 ffpqsub(e1,t,op) "flujo prom.de pot. react.por los elem.de red en la sub.(MVAR)"
406 pdq(e1,t,op) "pErdidas de pot. react. en los elem. de red (MVAR)"
407 pdqsub(e1,t,op) "pErdidas de pot. react. en los elem. de red en la sub.(MVAR)"
408 v(n,t,op) "voltaje en cada nodo (pu)"
409 vsub(n,t,op) "voltaje en cada nodo de la subasta(pu)"
410 mvr(n,t,op) "compensación de potencia reactiva en cada nodo (MVAR)"
411 mvrsub(n,t,op) "compensación de pot. react. en cada nodo de la sub. (MVAR)"
412 rx(e1,t,op) "resistencia serie variable de cada elemento de red (pu)"
413 rxsub(e1,t,op) "resist. serie variable de cada elem.de red de la sub.(pu)"
414 xx(e1,t,op) "reactancia serie variable de cada elemento de red (pu)"
415 xxsub(e1,t,op) "react. serie variable de cada elem. de red de la sub.(pu)"
416 bsxi(e1,t,op) "suscep. paral. variable nod. ini. de c/element. red (pu)"
417 bsxisub(e1,t,op) "suscep. paral. var. nod. ini.de c/element. red de las sub.(pu)"
418 bsxf(e1,t,op) "suscep. paral. variable nod. fin. de c/element. red (pu)"
419 bsxfsub(e1,t,op) "suscep. paral. var. nod. fin. de c/element. red de la sub.(pu)"
420 bsn(n,t,op) "compensación suscept. shnt(paral.) en cada nod.(pu)"
421 bsnsub(n,t,op) "compensación suscept. shnt(paral.)en cada nod.de la sub.(pu)"
422 tp(e1,t,op) "posición del tap de cada elemento de red (pu)"
423 tpsub(e1,t,op) "posición del tap de cada elemento de red de la subasta (pu)"
424 gx(e1,t,op) "conduct. serie variable de cada elemento de red (pu)"
425 gxsub(e1,t,op) "conduct. serie variable de cada elem. de red de la sub.(pu)"
426 bx(e1,t,op) "suscept. serie variable de cada elem. de red (pu)"
427 bxsub(e1,t,op) "suscept. serie variable de cada elem. de red de la sub.(pu)";
428
429 *=Límites de las Variables de Decisión del Problema
430 Positive variables gt, gsub, ftr, ftrpre, pdp, pdpsub, rac, racsub, racnu, v,
431 vsub, tp, tpsub, rx, rxsub, gx, gxsub, pdp, pdpsub;
432

```

Informe Final - 99.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



433 gtsub.up(et,t,op) = etdatos(et,'gtmx',t);
 434 alfa.up(ct,t,op) = ctdatos(ct,'ALFMX');
 435 alfasub.up(ct,t,op) = ctdatos(ct,'ALFMX');
 436 alfa.lo(ct,t,op) = ctdatos(ct,'ALFMN');
 437 alfasub.lo(ct,t,op) = ctdatos(ct,'ALFMN');
 438 ftr.up(r1,t,op) = ftrdatos(r1,'Rmax');
 439 ftrpre.up(r1pre,t,op) = ftrdatospre(r1pre,'Rmax');
 440 ftrpre.lo(r1pre,t,op) = ftrdatospre(r1pre,'Rmin');
 441 v.up(n,t,op) = ndatos(n,'VMX');
 442 vsub.up(n,t,op) = ndatos(n,'VMX');
 443 v.lo(n,t,op) = ndatos(n,'VMN');
 444 vsub.lo(n,t,op) = ndatos(n,'VMN');
 445 mvr.up(n,t,op) = ndatos(n,'MVRMX');
 446 mvrsub.up(n,t,op) = ndatos(n,'MVRMX');
 447 mvr.lo(n,t,op) = ndatos(n,'MVRMN');
 448 mvrsub.lo(n,t,op) = ndatos(n,'MVRMN');
 449 bsn.up(n,t,op) = ndatos(n,'BSNMN');
 450 bsnsub.up(n,t,op) = ndatos(n,'BSNMN');
 451 bsn.lo(n,t,op) = ndatos(n,'BSNMN');
 452 bsnsub.lo(n,t,op) = ndatos(n,'BSNMN');
 453 rx.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'RXMX');
 454 rxsub.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'RXMX');
 455 xx.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'XXMX');
 456 xxsub.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'XXMX');
 457 xx.lo(e1,t,op) = eldatos(e1,'XXMN');
 458 xxsub.lo(e1,t,op) = eldatos(e1,'XXMN');
 459 bsxi.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'BSXMXI');
 460 bsxisub.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'BSXMXI');
 461 bsxi.lo(e1,t,op) = eldatos(e1,'BSXMXI');
 462 bsxisub.lo(e1,t,op) = eldatos(e1,'BSXMXI');
 463 bsxf.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'BSXMXF');
 464 bsxfsub.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'BSXMXF');
 465 bsxf.lo(e1,t,op) = eldatos(e1,'BSXMXF');
 466 bsxfsub.lo(e1,t,op) = eldatos(e1,'BSXMXF');
 467 tp.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'TPMX');
 468 tpsub.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'TPMX');

469 tp.lo(e1,t,op) = eldatos(e1,'TPMN');
 470 tpsub.lo(e1,t,op) = eldatos(e1,'TPMN');
 471 gx.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'GXXM');
 472 gxsub.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'GXXM');
 473 bx.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'BXXM');
 474 bxsub.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'BXXM');
 475 bx.lo(e1,t,op) = eldatos(e1,'BXXN');
 476 bxsub.lo(e1,t,op) = eldatos(e1,'BXXN');
 477 If(ModeloRed = 3,
 478 ffp.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXI');
 479 ffpsub.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXI');
 480 ffp.lo(e1,t,op) = -eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXF');
 481 ffpsub.lo(e1,t,op) = -eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXF');
 482 pdp.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXI');
 483 pdpsub.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXI');
 484 ffpq.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXI');
 485 ffpqsub.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXI');
 486 ffpq.lo(e1,t,op) = -eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXF');
 487 ffpqsub.lo(e1,t,op) = -eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXF');
 488 pdq.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXI');
 489 pdqsub.up(e1,t,op) = eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXI');
 490 pdq.lo(e1,t,op) = -eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXF');
 491 pdqsub.lo(e1,t,op) = -eldatos(e1,'CSEG')*eldatos(e1,'SMXF')));
 492
 493 *=Angulo de la TensiOn para el Nodo de Referencia (Nodo 3)=====
 494 delta.fx('N1',t,op) = 0;
 495 deltasub.fx('N1',t,op) = 0;
 496
 497 *=Ecuaciones que Determinan la FunciOn Objetivo y las Restricciones del Problema
 498 Equations
 499 costobjnu "costo total de operaciOn (N. Unico), funciOn. objetivo."
 500 costobj "costo total de operaciOn, funciOn objetivo"
 501 ingobj "ingresos de la subasta, funciOn objetivo"
 502 EncAct(et,t,op) "ctrol de enc. y apagado de las unid. para activa"
 503 EncActsub(et,t,op) "ctrol de enc. y apagado de las unid. para act. en la sub."
 504 EncRact(et,t,op) "ctrol de enc. y apagado de las unid. para Reactiva"

Informe Final - 100.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



505 EncRactsub(et,t,op) "ctrol de enc. y apagado de las unid. para React.en la sub."
 506 balpnu(t,op) "ecu. de balan de pot. a n. Unico Desp(1a Ley de Kirchhoff)"
 507 balp(n,t,op) "ecuación de balan de pot. act.Desp(1a Ley de Kirchhoff)"
 508 balpSub(n,t,op) "ecuación de balan de pot. act. Sub(1a Ley de Kirchhoff)"
 509 balq(n,t,op) "ecuación de balan de pot. react.Desp(1a Ley de Kirchhoff)"
 510 balqSub(n,t,op) "ecuación de balan de pot. react. Sub(1a Ley de Kirchhoff)"
 511 fluppd(e1,t,op) "flujo prom. de pot. act. por elem. de red(Mod. DC y Dcp)"
 512 fluppdsub(e1,t,op) "flujo prom.de pot.act.por elem.de red(Mod.DC y Dcp)en sub."
 513 fluppac(e1,t,op) "flujo prom. de pot. act. por elem. de red(Mode1o AC)"
 514 fluppacsub(e1,t,op) "flujo prom. de pot.act.por elem. de red(Mod.AC) en la sub."
 515 flupqac(e1,t,op) "flujo prom. de pot. react.por elem. de red (Modelo AC)"
 516 flupqacsub(e1,t,op) "flujo prom. de pot.react.por elem.de red (Mod.AC) en sub."
 517 perdpdc(e1,t,op) "pErdivas de pot. activa por elem. de red (Modelo DC)"
 518 perdpdcsub(e1,t,op) "pErdivas de pot.act. por elem. de red (Mod.DC) en la sub."
 519 perdpdc(e1,t,op) "pErdivas de pot. activa por elemento de red (Modelo Dcp)"
 520 perdpdcsub(e1,t,op) "pErdivas de pot.act.por elem. de red (Mod.Dcp) en la sub."
 521 perdpac(e1,t,op) "pErdivas de pot. activa por elemento de red (Modelo AC)"
 522 perdpacsub(e1,t,op) "pErdivas de pot. act. por elem.de red (Mod.AC) en la sub."
 523 perdqac(e1,t,op) "pErdivas de pot. reactiva por elemento de red (Modelo AC)"
 524 perdqacsub(e1,t,op) "pErdivas de pot. react. por elem. de red (Mod.AC) en sub."
 525 ffpdcmx(e1,t,op) "flujo prom. mx. p.activa por elemen. de red (Mod.DC, Dcp)"
 526 ffpdcmxsub(e1,t,op) "flujo prom. mx. p. act.por elem. de red(Mod.DC,Dcp)en sub."
 527 ffpdcmn(e1,t,op) "flujo prom. mn. p. act. por elem. de red (Mod.DC,Dcp)"
 528 ffpdcmnsub(e1,t,op) "flujo prom. mn. p.act.por elem. de red(Mod.DC,Dcp) en sub."
 529 ffsaci(e1,t,op) "flujo aparente mx. entr. a c/elem. de red,NI-NF(M. AC)"
 530 ffsacisub(e1,t,op) "flujo aparente mx.entr.a c/elem.de red,NI-NF(M. AC)en sub."
 531 ffsacf(e1,t,op) "flujo aparente mx. entr. a c/elem. de red,NF-NI(M. AC)"
 532 ffsacsub(e1,t,op) "flujo aparente mx.entr.a c/elem.de red,NF-NI(M. AC)en sub.";
 533 * FunciOn Objetivo: Costo total de operaciOn - Nodo Unico
 534 costobjnu.. costo =e= sum(t, sum((op,et), prt(et)*gt(et,t,op))
 535 + sum((op,r), cr(r)*racnu(r,t,op));
 536
 537 * FunciOn Objetivo: Costo total de operaciOn
 538 costobj.. costo =e= sum(t , sum((op,et), prt(et)*gt(et,t,op))
 539 + sum(n, sum((op,r), cr(r)*rac(n,r,t,op)));
 540

541
 542 *FunciOn Objetivo: Ingresos de la subasta
 543 ingobj.. ingreso =e= sum(t, sum((op,r1), prftr(r1)*ftr(r1,t,op))
 544 - sum((op,et), prt(et)*gtsub(et,t,op))
 545 - sum(n, sum((op,r),cr(r)*racsub(n,r,t,op)));
 546
 547 * Funcion encendido de las plantas y apagado
 548 EncAct(et,t,op).. gt(et,t,op)\$ord(op)<tiemp1(et,t) or ord(op)>tiemp2(et,t)
 549 =e= 0;
 550 EncRact(et,t,op).. gtq(et,t,op)\$ord(op)<tiemp1(et,t) or ord(op)>tiemp2(et,t)
 551 =e= 0;
 552
 553 * Funcion encendido de las plantas y apagado para la subasta
 554 EncActsub(et,t,op).. gtsub(et,t,op)\$ord(op)<tiemp1(et,t) or ord(op)>tiemp2(et,t)
 555 =e= 0;
 556 EncRactsub(et,t,op).. gtqsub(et,t,op)\$ord(op)<tiemp1(et,t) or ord(op)>tiemp2(et,t)
 557 =e= 0;
 558
 559 * EcuaciOn de Balance de Potencia Activa a Nodo Unico (1ra Ley de Kirchhoff)
 560 balpnu(t,op).. sum(et,gt(et,t,op)) + sum(r,racnu(r,t,op)) =e= ldnu(t,op);
 561
 562 * EcuaciOn de Balance de Potencia Activa en cada Nod. Redesp.(1ra Ley de Kirchhoff)
 563 balp(n,t,op).. sum(et, (net(et) = ord(n))*gt(et,t,op)) + sum(r, rac(n,r,t,op))
 564 - sum(ct,((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
 565 *sum(e1\$(e1datos(e1,'NC') = ord(ct)), ffp(e1,t,op)))
 566 - 0.5*sum(ct,
 567 ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))
 568 *sum(e1\$(e1datos(e1,'NC') = ord(ct)), pdp(e1,t,op)))
 569 =e= lddatos(n,t,op);
 570
 571 * EcuaciOn de Balance de Potencia Activa en cada Nod. Sub.(1ra Ley de Kirchhoff)
 572 balpSub(n,t,op).. sum(rtpre,((fdatospre(rtpre,'NF')=ord(n))
 573 - (fdatospre(rtpre,'NI')=ord(n))*sum(r1pre\$(ftrdatospre(r1pre,'NR')
 574 = ord(rtpre)), ftrpre(r1pre,t,op))+ sum(rt,((fdatos(rt,'NF')=ord(n))
 575 - (fdatos(rt,'NI')=ord(n))*sum(r1\$(ftrdatos(r1,'NR') = ord(rt)), ftr(r1,t,op)))
 576 - sum(et, (net(et) = ord(n))*gtsub(et,t,op)) - sum(r, racsub(n,r,t,op))

Informe Final - 101.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```

577 + sum(ct, ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n)))
578 *sum(e1$(eldatos(e1, 'NC') = ord(ct)), fffpsub(e1, t, op))
579 + 0.5*sum(ct,
580 ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n)))
581 *sum(e1$(eldatos(e1, 'NC') = ord(ct)), pdpsub(e1, t, op))
582 =e= 0 ;
583
584 * Ecuación de Balance de Potencia Reactiva en cada Nod. Redesp. (1ra Ley de Kirchhoff)
585 balq(n,t,op).. sum(et, (net(et) = ord(n))*gtq(et,t,op))
586 + Sbase*bsn(n,t,op)*v(n,t,op)**2 + mvr(n,t,op)
587 + sqrt(1-power(FP(n,t,op),2))*sum(r, rac(n,r,t,op))/FP(n,t,op)
588 - sum(ct,
589 ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n)))
590 *sum(e1$(eldatos(e1, 'NC') = ord(ct)), ffpq(e1, t, op))
591 - 0.5*sum(ct,
592 ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n)))
593 *sum(e1$(eldatos(e1, 'NC') = ord(ct)), pdq(e1, t, op))
594 =e= sqrt(1-power(FP(n,t,op),2))*ldatos(n,t,op)/FP(n,t,op);
595
596 * Ecuación de Balance de Potencia Reactiva en cada Nod. Sub (1ra Ley de Kirchhoff)
597 balqSub(n,t,op).. sum(et, (net(et) = ord(n))*gtqsub(et,t,op))
598 + Sbase*bsnsub(n,t,op)*vsub(n,t,op)**2 + mvrsub(n,t,op)
599 + sqrt(1-power(FP(n,t,op),2))*sum(r, racsub(n,r,t,op))/FP(n,t,op)
600 - sum(ct,
601 ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n)))
602 *sum(e1$(eldatos(e1, 'NC') = ord(ct)), ffpqsub(e1, t, op))
603 - 0.5*sum(ct,
604 ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n)))
605 *sum(e1$(eldatos(e1, 'NC') = ord(ct)), pdqsub(e1, t, op))
606 =e= sqrt(1-power(FP(n,t,op),2))*sum(rtpre, ((fdatospre(rtpre, 'NF')=ord(n)))
607 *sum(r1pre$(ftrdatospre(r1pre, 'NR') = ord(rtpre)),
608 ftrpre(r1pre, t, op))/FP(n,t,op)
609 + sqrt(1-power(FP(n,t,op),2))*(sum(rt, ((fdatos(rt, 'NF')=ord(n)))
610 *sum(r1$(ftrdatos(r1, 'NR') = ord(rt)), ftr(r1, t, op)))/FP(n,t,op);
611
612 * Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo DC y DCp)

```

```

613 flupppdc(e1, t, op).. ffp(e1, t, op) =e=
614 -Sbase*(bx(e1, t, op) - (eldatos(e1, 'X') + xx(e1, t, op))
615 /((eldatos(e1, 'R') + rx(e1, t, op))**2 + power((eldatos(e1, 'X') + xx(e1, t, op)), 2))
616 *sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
617 sum(n, ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct, 'NF')= ord(n))*delta(n, t, op))
618 + ((ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NF'))
619 - (ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NI')))*alfa(ct, t, op));
620
621 * Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo DC y DCp) para la subasta
622 flupppdcsb(e1, t, op).. ffp(e1, t, op) =e=
623 -Sbase*(bxsub(e1, t, op) - (eldatos(e1, 'X') + xxsub(e1, t, op))
624 /((eldatos(e1, 'R')+rxsub(e1, t, op))**2+power((eldatos(e1, 'X')+xxsub(e1, t, op)), 2))
625 *sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
626 sum(n, ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))-(ctdatos(ct, 'NF')=ord(n))*deltasub(n, t, op))
627 + ((ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NF'))
628 - (ctdatos(ct, 'ALFPOS')=ctdatos(ct, 'NI')))*alfasub(ct, t, op));
629
630 * Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo AC)
631 flupppac(e1, t, op).. ffp(e1, t, op) =e=
632 Sbase*(0.5*(gx(e1, t, op) + (eldatos(e1, 'R') + rx(e1, t, op))
633 /((eldatos(e1, 'R') + rx(e1, t, op))**2 + power((eldatos(e1, 'X') + xx(e1, t, op)), 2))
634 *sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
635 sum(n, (((ctdatos(ct, 'NI') = eldatos(e1, 'TPPOS'))/tp(e1, t, op)**2
636 + (ctdatos(ct, 'NI') <> eldatos(e1, 'TPPOS'))*(ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))
637 - ((ctdatos(ct, 'NF') = eldatos(e1, 'TPPOS'))/tp(e1, t, op)**2
638 + (ctdatos(ct, 'NF') <> eldatos(e1, 'TPPOS'))*(ctdatos(ct, 'NF')= ord(n))
639 *v(n, t, op)**2)
640 - (bx(e1, t, op) - (eldatos(e1, 'X') + xx(e1, t, op))
641 /((eldatos(e1, 'R') + rx(e1, t, op))**2 + power((eldatos(e1, 'X') + xx(e1, t, op)), 2))
642 *sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
643 sum(n, (ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))*v(n, t, op))
644 *sum(n, (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n))*v(n, t, op))
645 *sin(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
646 sum(n, ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct, 'NF')= ord(n)))
647 *delta(n, t, op))
648 + ((ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NF'))

```

Informe Final - 102.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```

649 - (ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NI'))*alfa(ct,t,op)))
650 /tp(e1,t,op));
651
652 * Flujo Promedio de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo AC) para la subasta
653 fluppacsub(e1,t,op).. ffpqsub(e1,t,op) =e=
654 Sbase*(0.5*(gbsub(e1,t,op) + (eldatos(e1, 'R') + rxsub(e1,t,op))
655 /((eldatos(e1, 'R')+rxsub(e1,t,op))*2+power((eldatos(e1, 'X')+xxsub(e1,t,op)),2)))
656 *sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
657 sum(n, ((ctdatos(ct, 'NI') = eldatos(e1, 'TPPOS'))/tpsub(e1,t,op)**2
658 + (ctdatos(ct, 'NI') <> eldatos(e1, 'TPPOS'))*(ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))
659 - ((ctdatos(ct, 'NF') = eldatos(e1, 'TPPOS'))/tpsub(e1,t,op)**2
660 + (ctdatos(ct, 'NF') <> eldatos(e1, 'TPPOS'))*(ctdatos(ct, 'NF')= ord(n))
661 *vsub(n,t,op)**2))
662 - (bbsub(e1,t,op) - (eldatos(e1, 'X') + xxsub(e1,t,op))
663 /((eldatos(e1, 'R')+rxsub(e1,t,op))*2+power((eldatos(e1, 'X')+xxsub(e1,t,op)),2)))
664 *sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
665 sum(n, (ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))*vsub(n,t,op))
666 *sum(n, (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n))*vsub(n,t,op))
667 *sin(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
668 sum(n, ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n))
669 *deltasub(n,t,op))
670 + ((ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NF'))
671 - (ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NI')))*alfasub(ct,t,op)))
672 /tpsub(e1,t,op));
673
674 * Flujo Promedio de Potencia Reactiva por Elemento de Red (Modelo AC)
675 flupqac(e1,t,op).. ffpq(e1,t,op) =e=
676 -Sbase*(0.5*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
677 sum(n, ((eldatos(e1, 'BSI') + bsxi(e1,t,op))*ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))
678 - (eldatos(e1, 'BSF') + bsxf(e1,t,op))*ctdatos(ct, 'NF')= ord(n))*v(n,t,op)**2))
679 + (bx(e1,t,op) - (eldatos(e1, 'X') + xx(e1,t,op))
680 /((eldatos(e1, 'R') + rx(e1,t,op))*2 + power((eldatos(e1, 'X') + xx(e1,t,op)),2)))
681 *sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
682 sum(n, ((ctdatos(ct, 'NI') = eldatos(e1, 'TPPOS'))/tp(e1,t,op)**2
683 + (ctdatos(ct, 'NI') <> eldatos(e1, 'TPPOS'))*(ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))
684 - ((ctdatos(ct, 'NF') = eldatos(e1, 'TPPOS'))/tp(e1,t,op)**2

```

```

685 + (ctdatos(ct, 'NF') <> eldatos(e1, 'TPPOS'))*(ctdatos(ct, 'NF')= ord(n))
686 *v(n,t,op)**2))
687 + (gx(e1,t,op) + (eldatos(e1, 'R') + rx(e1,t,op))
688 /((eldatos(e1, 'R') + rx(e1,t,op))*2 + power((eldatos(e1, 'X') + xx(e1,t,op)), 2)))
689 *sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
690 sum(n, (ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))*v(n,t,op))
691 *sum(n, (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n))*v(n,t,op))
692 *sin(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
693 sum(n, ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))
694 - (ctdatos(ct, 'NF')= ord(n))*delta(n,t,op))
695 + ((ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NF'))
696 - (ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NI')))*alfa(ct,t,op))/tp(e1,t,op));
697
698 * Flujo Promedio de Potencia Reactiva por Elemento de Red (Modelo AC) para la subasta
699 flupqacsub(e1,t,op).. ffpqsub(e1,t,op) =e=
700 -Sbase*(0.5*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
701 sum(n, ((eldatos(e1, 'BSI')+bsxibsub(e1,t,op))*ctdatos(ct, 'NI')=ord(n))
702 -(eldatos(e1, 'BSF')+bsxfsub(e1,t,op))*ctdatos(ct, 'NF')=ord(n))*vsub(n,t,op)**2))
703 + (bbsub(e1,t,op) - (eldatos(e1, 'X') + xxsub(e1,t,op))
704 /((eldatos(e1, 'R')+rxsub(e1,t,op))*2+power((eldatos(e1, 'X')+xxsub(e1,t,op)),2)))
705 *sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
706 sum(n, ((ctdatos(ct, 'NI') = eldatos(e1, 'TPPOS'))/tpsub(e1,t,op)**2
707 + (ctdatos(ct, 'NI') <> eldatos(e1, 'TPPOS'))*(ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))
708 - ((ctdatos(ct, 'NF') = eldatos(e1, 'TPPOS'))/tpsub(e1,t,op)**2
709 + (ctdatos(ct, 'NF') <> eldatos(e1, 'TPPOS'))*(ctdatos(ct, 'NF')= ord(n))
710 *vsub(n,t,op)**2))
711 + (gbsub(e1,t,op) + (eldatos(e1, 'R') + rxsub(e1,t,op))
712 /((eldatos(e1, 'R')+rxsub(e1,t,op))*2+power((eldatos(e1, 'X')+xxsub(e1,t,op)),2)))
713 *sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
714 sum(n, (ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))*vsub(n,t,op))
715 *sum(n, (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n))*vsub(n,t,op))
716 *sin(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
717 sum(n, ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))
718 - (ctdatos(ct, 'NF')= ord(n))*deltasub(n,t,op))
719 + ((ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NF'))
720 - (ctdatos(ct, 'ALFPOS')=ctdatos(ct, 'NI')))*alfasub(ct,t,op))/tpsub(e1,t,op));

```

Informe Final - 103.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```

721
722 * Magnitud de las pErddidas de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo DC)
723 perdpdc(e1,t,op).. pdp(e1,t,op) =e= 0;
724
725 * Magnitud de las pErddidas de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo DC) para la subasta
726 perdpdcsub(e1,t,op).. pdpsub(e1,t,op) =e= 0;
727
728 * Magnitud de las pErddidas de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo Dcp)
729 perdpdcp(e1,t,op).. pdp(e1,t,op) =e=
730 Sbase*(gx(e1,t,op) + (e1datos(e1,'R') + rx(e1,t,op))
731 /((e1datos(e1,'R') + rx(e1,t,op))*2 + power((e1datos(e1,'X') + xx(e1,t,op)), 2)))
732 *power(sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
733 sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')= ord(n)))*delta(n,t,op))
734 + ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
735 - (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')))*alfa(ct,t,op)),2);
736
737 * Magnitud de las pErddidas de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo Dcp) para la
738 subastas
739 perdpdcsub(e1,t,op).. pdpsub(e1,t,op) =e=
740 Sbase*(gxsub(e1,t,op) + (e1datos(e1,'R') + rxsub(e1,t,op))
741 /((e1datos(e1,'R')+rxsub(e1,t,op))*2+power((e1datos(e1,'X')+xxsub(e1,t,op)),2)))
742 *power(sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
743 sum(n, ((ctdatos(ct,'NI')=ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')=ord(n)))*deltasub(n,t,op))
744 + ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
745 - (ctdatos(ct,'ALFPOS')=ctdatos(ct,'NI')))*alfasub(ct,t,op)),2);
746
747 * Magnitud de las pErddidas de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo AC)
748 perdpac(e1,t,op).. pdp(e1,t,op) =e=
749 Sbase*(gx(e1,t,op) + (e1datos(e1,'R') + rx(e1,t,op))
750 /((e1datos(e1,'R') + rx(e1,t,op))*2 + power((e1datos(e1,'X') + xx(e1,t,op)), 2)))
751 *(sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
752 sum(n, (((ctdatos(ct,'NI') = e1datos(e1,'TPPOS'))/tp(e1,t,op))*2
753 + (ctdatos(ct,'NI') <> e1datos(e1,'TPPOS'))*(ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
754 + ((ctdatos(ct,'NF') = e1datos(e1,'TPPOS'))/tp(e1,t,op))*2
755 + (ctdatos(ct,'NF') <> e1datos(e1,'TPPOS'))*(ctdatos(ct,'NF')= ord(n))
756 *v(n,t,op)**2)))
757 - 2*sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
758 sum(n, (ctdatos(ct,'NI') = ord(n))*v(n,t,op))
759 *sum(n, (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))*v(n,t,op)))
760 *cos(sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
761 sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')= ord(n))
762 *delta(n,t,op))
763 + ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
764 - (ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NI')))*alfa(ct,t,op))/tp(e1,t,op));
765
766 * Magnitud de las pErddidas de Potencia Activa por Elemento de Red (Modelo AC) para la subasta
767 perdpacsub(e1,t,op).. pdpsub(e1,t,op) =e=
768 Sbase*(gxsub(e1,t,op) + (e1datos(e1,'R') + rxsub(e1,t,op))
769 /((e1datos(e1,'R')+rxsub(e1,t,op))*2+power((e1datos(e1,'X')+xxsub(e1,t,op)),2)))
770 *(sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
771 sum(n, (((ctdatos(ct,'NI') = e1datos(e1,'TPPOS'))/tpsub(e1,t,op))*2
772 + (ctdatos(ct,'NI') <> e1datos(e1,'TPPOS'))*(ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
773 + ((ctdatos(ct,'NF') = e1datos(e1,'TPPOS'))/tpsub(e1,t,op))*2
774 + (ctdatos(ct,'NF') <> e1datos(e1,'TPPOS'))*(ctdatos(ct,'NF')= ord(n))
775 *vsub(n,t,op)**2)))
776 - 2*sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
777 sum(n, (ctdatos(ct,'NI') = ord(n))*vsub(n,t,op))
778 *sum(n, (ctdatos(ct,'NF') = ord(n))*vsub(n,t,op)))
779 *cos(sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
780 sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')= ord(n))
781 *deltasub(n,t,op))
782 + ((ctdatos(ct,'ALFPOS') = ctdatos(ct,'NF'))
783 - (ctdatos(ct,'ALFPOS')=ctdatos(ct,'NI')))*alfasub(ct,t,op))/tpsub(e1,t,op));
784
785 * Magnitud de las pErddidas de Potencia Reactiva por Elemento de Red (Modelo AC)
786 perdqac(e1,t,op).. pdq(e1,t,op) =e=
787 -Sbase*(sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
788 sum(n, ((e1datos(e1,'BSI') + bsxi(e1,t,op))*(ctdatos(ct,'NI') = ord(n))
789 + (e1datos(e1,'BSF') + bsxf(e1,t,op))*(ctdatos(ct,'NF')= ord(n))*v(n,t,op)**2))
790 + (bx(e1,t,op) - (e1datos(e1,'X') + xx(e1,t,op))
791 /((e1datos(e1,'R') + rx(e1,t,op))*2 + power((e1datos(e1,'X') + xx(e1,t,op)),2)))
792 *(sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),

```

Informe Final - 104.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```
793 sum(n, (((ctdatos(ct, 'NI') = eldatos(e1, 'TPPOS'))/tp(e1, t, op)**2
794 + (ctdatos(ct, 'NI') <> eldatos(e1, 'TPPOS'))*(ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))
795 + ((ctdatos(ct, 'NF') = eldatos(e1, 'TPPOS'))/tp(e1, t, op)**2
796 + (ctdatos(ct, 'NF') <> eldatos(e1, 'TPPOS'))*(ctdatos(ct, 'NF')= ord(n)))
797 *v(n, t, op)**2))
798 - 2*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
799 sum(n, (ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))*v(n, t, op))
800 *sum(n, (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n))*v(n, t, op)))
801 *cos(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
802 sum(n, ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct, 'NF')= ord(n)))
803 *delta(n, t, op))
804 + ((ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NF'))
805 - (ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NI'))*alfa(ct, t, op))/tp(e1, t, op));
806
807 * Magnitud de las pErdidAs de Potencia Reactiva por Elemento de Red (Modelo AC) para la
808 subasta
809 perdaqsub(e1, t, op).. pdqsub(e1, t, op) =e=
810 -Sbase*(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
811 sum(n, ((eldatos(e1, 'BSI')+bsxsub(e1, t, op))*(ctdatos(ct, 'NI')=ord(n))
812 +(eldatos(e1, 'BSF')+bsxfsub(e1, t, op))*(ctdatos(ct, 'NF')=ord(n)))*vsub(n, t, op)**2))
813 + (bxsub(e1, t, op) - (eldatos(e1, 'X') + xxsub(e1, t, op))
814 /(eldatos(e1, 'R')+rxsub(e1, t, op))**2+power((eldatos(e1, 'X')+xxsub(e1, t, op)), 2))
815 *(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
816 sum(n, (((ctdatos(ct, 'NI') = eldatos(e1, 'TPPOS'))/tpsub(e1, t, op)**2
817 + (ctdatos(ct, 'NI') <> eldatos(e1, 'TPPOS'))*(ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))
818 + ((ctdatos(ct, 'NF') = eldatos(e1, 'TPPOS'))/tpsub(e1, t, op)**2
819 + (ctdatos(ct, 'NF') <> eldatos(e1, 'TPPOS'))*(ctdatos(ct, 'NF')= ord(n)))
820 *vsub(n, t, op)**2))
821 - 2*sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
822 sum(n, (ctdatos(ct, 'NI') = ord(n))*vsub(n, t, op))
823 *sum(n, (ctdatos(ct, 'NF') = ord(n))*vsub(n, t, op)))
824 *cos(sum(ct$(ord(ct) = eldatos(e1, 'NC')),
825 sum(n, ((ctdatos(ct, 'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct, 'NF')= ord(n)))
826 *delta(n, t, op))
827 + ((ctdatos(ct, 'ALFPOS') = ctdatos(ct, 'NF'))
828 -(ctdatos(ct, 'ALFPOS')=ctdatos(ct, 'NI'))*alfasub(ct, t, op))/tpsub(e1, t, op));
```

```
829
830
831 * Flujo Promedio MAXimo de Potencia Activa por Elemento de Red (Mod. DC y DCp)
832 ffppdcmx(e1, t, op).. ffpp(e1, t, op) =l=
833 eldatos(e1, 'CSEG')*eldatos(e1, 'SMXI') - 0.5*pdp(e1, t, op);
834
835 * Flujo Promedio MAXimo de Potencia Activa por Elemento de Red (Mod. DC y DCp) para la
836 subasta
837 ffppdcmxsub(e1, t, op).. ffppsub(e1, t, op) =l=
838 eldatos(e1, 'CSEG')*eldatos(e1, 'SMXI') - 0.5*pdpsub(e1, t, op);
839
840 * Flujo Promedio MINimo de Potencia Activa por Elemento de Red (Mod. DC y DCp)
841 ffppdcmn(e1, t, op).. ffpp(e1, t, op) =g=
842 - eldatos(e1, 'CSEG')*eldatos(e1, 'SMXF') + 0.5*pdp(e1, t, op);
843
844 * Flujo Promedio MINimo de Potencia Activa por Elemento de Red (Mod. DC y DCp) para la
845 subasta
846 ffppdcmnsub(e1, t, op).. ffppsub(e1, t, op) =g=
847 - eldatos(e1, 'CSEG')*eldatos(e1, 'SMXF') + 0.5*pdpsub(e1, t, op);
848
849 * Flujo Aparente MAX. entrando a c/Elemento de Red por su Nodo Inicial (Mod. AC)
850 ffsaci(e1, t, op)..
851 sqrt(power(ffpp(e1, t, op) + 0.5*pdp(e1, t, op), 2)
852 + power(ffpq(e1, t, op) + 0.5*pdq(e1, t, op), 2)) =l=
853 eldatos(e1, 'CSEG')*eldatos(e1, 'SMXI');
854
855 * Flujo Aparente MAX. entrando a c/Elemento de Red por su Nodo Inicial (Mod. AC) para la
856 subasta
857 ffsacisub(e1, t, op)..
858 sqrt(power(ffppsub(e1, t, op) + 0.5*pdpsub(e1, t, op), 2)
859 + power(ffpqsub(e1, t, op) + 0.5*pdqsub(e1, t, op), 2)) =l=
860 eldatos(e1, 'CSEG')*eldatos(e1, 'SMXI');
861
862 * Flujo Aparente MAX. entrando a c/Elemento de Red por su Nodo Final (Mod. AC)
863 ffsacf(e1, t, op)..
864 sqrt(power(-ffpp(e1, t, op) + 0.5*pdp(e1, t, op), 2)
```

Informe Final - 105.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```

865          + power(-ffpq(e1,t,op) + 0.5*pdq(e1,t,op),2) =1=
866          e1datos(e1,'CSEG')*e1datos(e1,'SMXF');
867
868 * Flujo Aparente MAX. entrando a c/Elemento de Red por su Nodo Final (Mod. AC) para la
869 suabsta
870 ffsacsub(e1,t,op) .
871 sqrt(power(-ffppsub(e1,t,op) + 0.5*pdpsub(e1,t,op),2)
872          + power(-ffpqsub(e1,t,op) + 0.5*pdqsub(e1,t,op),2)) =1=
873          e1datos(e1,'CSEG')*e1datos(e1,'SMXF');
874
875 *=Especificación de los Modelos a Resolver Redespacho=====
876 Model ModDesNU / costobjnu, balpnu /;
877 Model ModDesDC / costobj, EncAct, EncRact, balp, flupdc, perdpdc,
878 ffpdcmx, ffpdcmn /;
879 Model ModDesDCp / costobj, EncAct, EncRact, balp, flupdc, perdpdc,
880 ffpdcmx, ffpdcmn /;
881 Model ModDesAC / costobj, EncAct, EncRact, balp, flupac, perdpac,
882 ffsaci, ffsacf, balq, flupqac, perdqac /;
883
884 *=Especificación de los Modelos a Resolver Subasta=====
885 Model ModAucDC / ingobj, EncActsub, EncRactsub, balpSub, flupdcsub,
886 perdpdcsub, ffpdcmxsub, ffpdcmnsub /;
887 Model ModAucDCp / ingobj, EncActsub, EncRactsub, balpSub, flupdcsub,
888 perdpdcsub, ffpdcmxsub, ffpdcmnsub /;
889 Model ModAucAC / ingobj, EncActsub, EncRactsub, balpSub, flupacsub,
890 perdpacsub, ffsacisub, ffsacsub, balqSub, flupqacsub, perdqacsub /;
891
892 *Activar Escalación de las Ecuaciones y Variables de los Modelos
893 ModDesNU.SCALEOPT = 1;
894 ModDesDC.SCALEOPT = 1;
895 ModDesDCp.SCALEOPT = 1;
896 ModDesAC.SCALEOPT = 1;
897 ModAucDC.SCALEOPT = 1;
898 ModAucDCp.SCALEOPT = 1;
899 ModAucAC.SCALEOPT = 1;
900

```

```

901 *Escalación de las Ecs. para Uso Interno del Solucionador (USD->MUSD, MW->GW)
902 costobjnu.SCALE = 1000000;
903 costobj.SCALE = 1000000;
904 ingobj.SCALE = 1000000;
905 balpnu.SCALE(t,op) = 1000;
906 balp.SCALE(n,t,op) = 1000;
907 balpSub.SCALE(n,t,op) = 1000;
908 balq.SCALE(n,t,op) = 1000;
909 balqSub.SCALE(n,t,op) = 1000;
910 flupdc.SCALE(e1,t,op) = 1000;
911 flupdcsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
912 flupac.SCALE(e1,t,op) = 1000;
913 flupacsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
914 flupqac.SCALE(e1,t,op) = 1000;
915 flupqacsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
916 perdpdc.SCALE(e1,t,op) = 1000;
917 perdpdcsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
918 perdpdcp.SCALE(e1,t,op) = 1000;
919 perdpdcpsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
920 perdpac.SCALE(e1,t,op) = 1000;
921 perdpacsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
922 perdqac.SCALE(e1,t,op) = 1000;
923 perdqacsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
924 ffpdcmx.SCALE(e1,t,op) = 1000;
925 ffpdcmxsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
926 ffpdcmn.SCALE(e1,t,op) = 1000;
927 ffpdcmnsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
928 ffsaci.SCALE(e1,t,op) = 1000;
929 ffsacisub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
930 ffsacf.SCALE(e1,t,op) = 1000;
931
932 *Escalación de las Vars. para uso Interno del Solucionador (USD->MUSD, MW->GW)
933 costo.SCALE = 1000000;
934 ingreso.SCALE = 1000000;
935 gt.SCALE(et,t,op) = 1000;
936 gtsub.SCALE(et,t,op) = 1000;

```

Informe Final - 106.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```

937 ftr.SCALE(r1,t,op) = 1000;
938 racnu.SCALE(r,t,op) = 1000;
939 fffpp.SCALE(e1,t,op) = 1000;
940 fffppsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
941 pdp.SCALE(e1,t,op) = 1000;
942 pdpsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
943 rac.SCALE(n,r,t,op) = 1000;
944 racsub.SCALE(n,r,t,op) = 1000;
945 gtq.SCALE(et,t,op) = 1000;
946 gtqsub.SCALE(et,t,op) = 1000;
947 fffpq.SCALE(e1,t,op) = 1000;
948 fffpqsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
949 pdq.SCALE(e1,t,op) = 1000;
950 pdqsub.SCALE(e1,t,op) = 1000;
951 mvr.SCALE(n,t,op) = 1000;
952 mvrsub.SCALE(n,t,op) = 1000;
953
954 *=====
955 *=Solución del problema para el esc. correspondiente a c/combinacion eg-cd-pr-sh
956 If(ModeloRed = 0,
957     Solve ModDesNU using nlp minimizing costo;
958     else if(ModeloRed = 1,
959         Solve ModDesDC using NLP minimizing costo;
960         Solve ModAucDC using NLP maximixing ingreso;
961     else if(ModeloRed = 2,
962         Solve ModDesDCp using NLP minimizing costo;
963         Solve ModAucDCp using NLP maximixing ingreso;
964     else if(ModeloRed = 3,
965         Solve ModDesAC using NLP minimizing costo;
966         Solve ModAucAC using NLP maximixing ingreso)););
967 Parameters
968 EnerGen(et,t,op) "Pagos al generador por concepto de energia"
969 EnerDem(n,t,op) "Pagos a la demanda por concepto de energia"
970 DerOfGen(et,t,op) "Pagos al oferente de derechos si es generador por unidad"
971 DerOfDem(n,t,op) "Pagos al oferente de derechos si es demanda por demanda"
972 DerOfFtr(r1,t,op) "Pagos al oferente de derechos si es demanda por derecho"
    
```

```

973 DerTranCap(e1,t,op) "Pagos por capacidad de derechos al transmisor"
974 DerTranAdm(e1,t,op) "Pagos por admitancia de derechos al transmisor"
975 DerTranTot(e1,t,op) "Pagos de derechos al transmisor"
976 DerGenPdP(et,t,op) "Pagos de perdidas por los derechos al generador"
977 BalGen(et,t,op) "Balance pago al generador (NETO)"
978 BalDem(n,t,op) "Balance pago a la demanda (NETO)"
979 BalTran(e1,t,op) "Balance pago al transmisor (NETO)"
980 Tot(t,op);
981
982 Files ResultdAssign / Resultd-Assign.xls /,
983     ResultdLiq / Resultd-Liq.xls /,
984     ResultdDesp / Resultd-Desp.xls /;
985
986 *=====
987 *=pagos correspondientes a la energia
988 EnerGen(et,t,op) = gt.l(et,t,op) * markprice(t,op);
989 EnerDem(n,t,op) = -ldatos(n,t,op) * markprice(t,op);
990
991 *=====
992 *=pagos correspondientes a los derechos
993
994 Loop(r1,
995     if(ftrdatos(r1,'Tipo') = 1,
996         DerOfFtr(r1,t,op) = -ftr.l(r1,t,op)*(sum(rt$(ord(rt) = ftrdatos(r1,'NR')),
997             sum(n,((fdatos(rt,'NF') = ord(n)) - (fdatos(rt,'NI')= ord(n)))
998                 *balpSub.m(n,t,op))));
999         DerOfDem(n,t,op)*(ftrdatos(r1,'Ndem')=ord(n)) =
1000             DerOfFtr(r1,t,op)*(ftrdatos(r1,'Ndem')=ord(n));
1001         DerOfGen(et,t,op) = 0;
1002     else if(ftrdatos(r1,'Tipo') = 0,
1003         DerOfFtr(r1,t,op) = -ftr.l(r1,t,op)*(sum(rt$(ord(rt) = ftrdatos(r1,'NR')),
1004             sum(n,((fdatos(rt,'NF') = ord(n)) - (fdatos(rt,'NI')= ord(n)))
1005                 *balpSub.m(n,t,op))));
1006         DerOfGen(et,t,op) = DerOfFtr(r1,t,op)*(ftrdatos(r1,'Ndem')=ord(et));
1007         DerOfDem(n,t,op) = 0;
1008     )
    
```

Informe Final - 107.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



```

1009 )
1010 );
1011
1012 DerGenPdP(et,t,op) = sum(n,ba1pSub.m(n,t,op)*(net(et) = ord(n))*gtsub.l(et,t,op));
1013
1014 If((ModeloRed = 1 or ModeloRed = 2),
1015     DerTranCap(e1,t,op) = ffppsub.l(e1,t,op)*(ffppdcmsub.m(e1,t,op)
1016     -ffppdcmsub.m(e1,t,op))+0.5*pdpsub.l(e1,t,op)*
1017     (ffppdcmsub.m(e1,t,op)+ffppdcmsub.m(e1,t,op));
1018
1019 DerTranAdm(e1,t,op) = -ffppsub.l(e1,t,op)*(sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
1020 sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')= ord(n))
1021     *ba1pSub.m(n,t,op)))+ffppdcmsub.m(e1,t,op)-ffppdcmsub.m(e1,t,op))
1022     -0.5*pdpsub.l(e1,t,op)*(sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
1023 sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct,'NF')= ord(n))
1024     *ba1pSub.m(n,t,op)))+ffppdcmsub.m(e1,t,op)+ffppdcmsub.m(e1,t,op)));
1025
1026 DerTranTot(e1,t,op) = DerTranCap(e1,t,op) + DerTranAdm(e1,t,op);
1027 Tot(t,op) = sum(e1,DerTranTot(e1,t,op));
1028
1029 else if(ModeloRed = 3,
1030     DerTranCap(e1,t,op) = ffpsub.l(e1,t,op)*(ffsacisub.m(e1,t,op)
1031     -ffsacisub.m(e1,t,op))+0.5*pdpsub.l(e1,t,op)
1032     *(ffsacisub.m(e1,t,op)+ffsacisub.m(e1,t,op));
1033
1034 DerTranAdm(e1,t,op) = -ffpsub.l(e1,t,op)*(sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
1035 sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) - (ctdatos(ct,'NF')= ord(n))
1036     *ba1pSub.m(n,t,op)))+ffsacisub.m(e1,t,op)-ffsacisub.m(e1,t,op))
1037     -0.5*pdpsub.l(e1,t,op)*(sum(ct$(ord(ct) = e1datos(e1,'NC')),
1038 sum(n, ((ctdatos(ct,'NI') = ord(n)) + (ctdatos(ct,'NF')= ord(n))
1039     *ba1pSub.m(n,t,op)))+ffsacisub.m(e1,t,op)+ffsacisub.m(e1,t,op)));
1040
1041 DerTranTot(e1,t,op) = DerTranCap(e1,t,op) + DerTranAdm(e1,t,op);
1042 )
1043 );
1044

```

```

1045 *=balance de pagos
1046 BalGen(et,t,op) = EnerGen(et,t,op) + DerOfGen(et,t,op) + DerGenPdP(et,t,op);
1047 BalDem(n,t,op) = EnerDem(n,t,op) + DerOfDem(n,t,op);
1048 BalTran(e1,t,op) = DerTranTot(e1,t,op);
1049
1050
1051 *ResultdAssign.pc = 6;
1052 Put ResultdAssign;
1053 *Put ResultdLiq;
1054 *Put ResultdDesp;
1055
1056 Put '<< "DERADCAP_Plus" (R) - VersiOn 1.0 >>'/
1057
1058 '* HERRAMIENTA INTERACTIVA PARA LA ASIGNACION DE DERECHOS DE ADMITANCIA Y CAPACIDAD */
1059 'Copyright (c) 2008, UNIVERSIDA INDUSTRIAL DE SANTANDER' / /
1060 'Modelo de Red:', ' ', NModeloRed, ' ', ' ', 'Fecha:', system.date/
1061 'Caso:', ' ', Caso, ' ', ' ', 'Hora', system.time /
1062 'Sistema de Modelado:', ' ', 'GAMS 22.3 - 146' / /;
1063 Put 'Dia de', ' ', ' ', ' ', 'Periodo de', ' ', ' ', 'Derecho', ' ', ' ', 'Valor [MW]'/
1064 'estudio', ' ', ' ', 'operacion' / /;
1065
1066 Loop((r1,t,op),
1067     Put t.t1, op.t1, r1.t1, ftr.l(r1,t,op);
1068     Put / /;
1069 Put 'Dia de', ' ', ' ', 'Periodo de', ' ', ' ', 'Gen Perdidas', ' ', ' ', 'Valor
1070 [MW]'/
1071 'estudio', ' ', ' ', 'operacion' / /;
1072
1073 Loop((et,t,op),
1074     Put t.t1, op.t1, et.t1, gtsub.l(et,t,op);
1075     Put / /;
1076 Put 'Dia de', ' ', ' ', 'Periodo de', ' ', ' ', 'Delta Nodo', ' ', ' ', 'Valor
1077 []'/
1078 'estudio', ' ', ' ', 'operacion' / /;
1079
1080 Loop((n,t,op),

```

Informe Final - 108.

Subastas de Derechos de Transmisión de Admitancia y Capacidad como alternativa para la Expansión del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica.



Universidad
Industrial de
Santander

```
1081         Put t.t1, op.t1, n.t1, (delTasub.l(n,t,op)*(180/pi)):0:4;
1082         Put / ;
1083     );
1084     Put //;
1085     Put 'Dia de', ' ', ' ', ' ', 'Periodo de', ' ', ' ', ' ', 'Pot. promedio', ' ', ' ', ' ', 'Valor
1086     [MW]'/
1087     'estudio', ' ', ' ', ' ', 'operacion' //;
1088     Loop((e1,t,op),
1089         Put t.t1, op.t1, e1.t1, ffpsub.l(e1,t,op);
1090         Put / ;
1091     );
1092     Put //;
1093     Put 'Dia de', ' ', ' ', ' ', 'Periodo de', ' ', ' ', ' ', 'Perd. potencia', ' ', ' ', ' ', 'Valor
1094     [MW]'/
1095     'estudio', ' ', ' ', ' ', 'operacion' //;
1096     Loop((e1,t,op),
1097         Put t.t1, op.t1, e1.t1, pdpsub.l(e1,t,op);
1098         Put / ;
1099     );
1100     Put //;
1101     Put 'Dia de', ' ', ' ', ' ', 'Periodo de', ' ', ' ', ' ', 'lamda', ' ', ' ', ' ', 'Valor [$/MW]'/
1102     'estudio', ' ', ' ', ' ', 'operacion' //;
1103     Loop((n,t,op),
1104         Put t.t1, op.t1, n.t1, balpSub.m(n,t,op);
1105         Put / ;
1106     );
1107     Put //;
1108
1109     Display EnerGen, EnerDem, DerOfDem, DerOffTr, DerOfGen, DerGenPdP, DerTranCap,
1110     DerTranAdm, DerTranTot, Tot, BalGen, BalDem, BalTran;
```


6. REFERENCIAS

- [1] P. R. Gribik, J. S. Graves, D. Shirmohammadi, J. G. Kritikson, "Transmission Rights and Transmission Expansions", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 20, No. 4, November 2005.
- [2] W. Hogan, "Financial Transmission Rights Formulations", Center for Business and Government, Harvard University, Cambridge, MA, Tech. Rep., March. 2002. Available:
http://ksghome.harvard.edu/~.whogan.cbq.Ksg/FTR_Formulations_033102.pdf
- [3] R. D. Cruz, "Herramientas Informáticas para la Planeación de la Expansión de la Red de Transporte de Energía Eléctrica en Ambientes Desregulados", Tesis Doctoral, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia, 2004.
- [4] R. D. Cruz and G. Latorre, "AC Sensitivities to Transmission Expansion", Applied Mathematical Programming and Modeling Conference (APMOD 2004), Paper TB 12, Brunel University, Uxbridge, Middlesex (West London), United Kingdom, June 22, 2004.
- [5] Tarjei Kristiansen, "Markets for Financial Transmission Rights", Norwegian University of Science and Technology.
- [6] L. M. V. G. Pinto and A. Nunes, "A model for the optimal transmission expansion planning", in *Proc. of the 10th Power Systems Computation Conf.*, pp. 16-23, 1990. and Associates, 2002.
- [7] C. Serna, J. Durán, and A. Camargo, "A model for expansion planning of transmission systems, a practical application example", *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-97, pp. 610-615, Mar./Apr. 1978.
- [8] C. Dechamps and E. Jamouille, "Interactive computer program for planning the expansion of meshed transmission networks", *International Journal of Electric Power and Energy Systems*, vol. 2, no. 2, pp. 103-108, Apr. 1980.
- [9] G. Latorre, "Modelos Estáticos para la Planificación a Largo Plazo de la Red de Transporte de Energía Eléctrica", Tesis Doctoral, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España, 1993.
- [10] G. Latorre-Bayona and I. J. Pérez-Arriaga, "Chopin, a heuristic model for long term transmission expansion planning", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 9, pp. 1886-1894, Nov. 1994.
- [11] S. Granville, M. V. F. Pereira, G. B. Dantzing, B. Avi-Itzhak, M. Avriel, A. Monticelli, and L. M. V. G. Pinto, "Mathematical decomposition techniques for power systems expansion planning – volume 2: analysis of the linearized power flow model using the Bender decomposition technique", Tech. Report, Project 2473-6 EPRI EL-5299, Feb. 1988.
- [12] S. N. Siddiqi, M. L. Baughman, "Value-based Transmission Planning and the Effects of Network Models", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 10, pp. 1835-1842, November 1995.

- [13] F. J. Rubio, "Methodology for Transmission Cost Allocation under a Competitive Scheme", Ph.D. Dissertation, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, Spain, 1999 (In Spanish).
- [14] P. R. Gribik, J. S. Graves, D. Shirmohammadi, J. G. Kritikson, "Transmission Rights and Transmission Expansions", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, No. 4, November 2005
- [15] F. C. Schweppe, M. C. Caramanis, R. D. Tabors, R. E. Bohn, "Spot Pricing of Electricity", Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [16] M. Caramanis, R. Bohn, F. Schweppe, "Optimal Spot Pricing: Practice and Theory", IEEE Transaction on Power Apparatos and Systems, Vol. PAS-101, No. 9, September 1982.
- [17] F. C. Schweppe, M. C. Caramanis, R. D. Tabors, "Evaluation of Spot Price based Electricity Rates", IEEE Transaction on Power Apparatos and Systems, Vol. PAS-104, No. 7, July 1985, pp. 1644-1655.
- [18] I. D. Serna, C. F. Cadena, "Derechos de Transmisión: La Experiencia Internacional", Trabajo de Grado en la Modalidad de Investigación, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, 2008. Dirigido por R. D. Cruz (Actualmente en revisión para entrega).
- [19] M. V. Pereira, L.M.V.G. Pinto, "Aplication of sensitivity analysis of load supplying capability to interactive transmission expansion planning", IEEE Trans. Power App. Syst. Vol. PAS-104, pp. 381-389, Feb. 1985.
- [20] J. J. Grainger, W. D. Stevenson Jr., "Análisis de Sistemas de Potencia", Primera Edición en Español, McGraw-Hill, 1996. p. 710.
- [21] L. L. Garver, "Transmission network estimation using linear programming", *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-89, pp. 1688-1697, Sept./Oct. 1970.