



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica

**MÉTODO DE CÁLCULO DE PEAJE EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DE  
GUATEMALA, BASADO EN LAS CONTRIBUCIONES AL FLUJO DE POTENCIA**

**Joaquín Leonel Reyes Salguero**

Asesorado por el Dr. Ing. José Joaquín Ruiz Monroy

Guatemala, septiembre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MÉTODO DE CÁLCULO DE PEAJE EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DE  
GUATEMALA, BASADO EN LAS CONTRIBUCIONES AL FLUJO DE POTENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JOAQUÍN LEONEL REYES SALGUERO**

ASESORADO POR EL DR. ING. JOSÉ JOAQUÍN RUIZ MONROY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |                                    |
|------------|------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos   |
| VOCAL I    | Inga. Glenda Patricia García Soria |
| VOCAL II   | Lic. Amahán Sánchez Álvarez        |
| VOCAL III  | Ing. Julio David Galicia Celada    |
| VOCAL IV   | Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz     |
| VOCAL V    | Br. Elisa Yazminda Vides Leiva     |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas   |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |  |
|------------|--|
| DECANO     | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson     |
| EXAMINADOR | Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez      |
| EXAMINADOR | Ing. Juan Fernando Morales Mazariegos    |
| EXAMINADOR | Ing. Fernando Waldemar de León Contreras |
| SECRETARIO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco       |

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**MÉTODO DE CÁLCULO DE PEAJE EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DE GUATEMALA, BASADO EN LAS CONTRIBUCIONES AL FLUJO DE POTENCIA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 8 de agosto de 2005.

---

Joaquín Leonel Reyes Salguero

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios y la Virgen María** Por darme la sabiduría para realizar este trabajo de graduación y por las infinitas bendiciones que recibo día a día.
- Mis padres** Joaquín Leonel Reyes Berdúo y Lucía Salguero de Reyes, por su esfuerzo, dedicación, apoyo y amor. Gracias a ustedes he logrado alcanzar mis metas.
- Mis hermanas** Ana Lucía y Laura Sofía, por la amistad incondicional, que juntos hemos construido a lo largo de nuestras vidas.
- Mis amigos de la carrera** César, Ludwing, Juan Manuel, Ingrid, Ana Lucía, Vivian Lucía, David, Haydn, Ronaldo. Compartimos inolvidables momentos durante nuestros años de estudio.
- Mis amigos del departamento de matemática** Ricardo, Keyla, Liz, Sasha, Nelson, Angel, Carlos, Alvaro, Ariel, Victor, Pedro, George, Alfredo. Gracias por brindarme su amistad y por dejar conocer las excelentes personas que son.
- Mis amigos del Liceo** Benjamín, Erick y Pablo, amigos desde hace más de una década. Gracias por mostrarme el valor de la amistad.

**Mi asesor**

Dr. Ing. José Ruiz, por haber confiado en mí y por la instrucción proporcionada para realizar este trabajo de graduación, la cual será muy importante en mi desempeño profesional.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

La Universidad de San Carlos de Guatemala.

La Facultad de Ingeniería

El Ing. Julio Marroquín

# ÍNDICE GENERAL

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ..... | V    |
| RESUMEN .....                 | IX   |
| OBJETIVOS .....               | XI   |
| INTRODUCCIÓN .....            | XIII |

## 1. PEAJES DE TRANSMISIÓN

|   |    |
|---|----|
| 1.1. Mercados Eléctricos .....  | 1  |
| 1.2. Sistemas de transporte y su remuneración en un mercado eléctrico ... | 4  |
| 1.2.1. Sellos de correos ( <i>Postage stamp</i> ) .....                   | 5  |
| 1.2.2. Método incremental .....   | 7  |
| 1.2.3. Método del camino acordado ( <i>Contract path</i> ) .....          | 7  |
| 1.2.4. Método del MW-km .....   | 8  |
| 1.3. Peajes de transmisión como incentivos financieros .....              | 9  |
| 1.3.1. Expansión del sistema de transmisión .....                         | 11 |
| 1.4. Sistema guatemalteco de transporte de energía eléctrica .....        | 12 |

## 2. MÉTODO ACTUAL DE CÁLCULO DE PEAJE EN SISTEMAS DE TRANSPORTE EN GUATEMALA

|  |    |
|--|----|
| 2.1. Descripción del método .....  | 15 |
| 2.1.1. Determinación del sistema de transmisión<br>económicamente adaptado .....         | 18 |
| 2.1.2. Costo anual del sistema principal de transporte .....                             | 20 |
| 2.1.3. Distribución del costo anual del sistema principal entre<br>los generadores ..... | 22 |

|  |    |
|--|----|
| 2.1.4. Distribución del peaje entre los transportistas del sistema principal.....  | 23 |
| 2.1.5. Peaje por uso de los sistemas secundarios .....   | 23 |
| <b>3. MÉTODO DE CÁLCULO DE PEAJE BASADO EN LAS CONTRIBUCIONES AL FLUJO DE POTENCIA</b>   |    |
| 3.1. Descripción del método.....   | 27 |
| 3.1.1 Cambio de flujo de potencia debido a una transacción.....  | 28 |
| 3.1.2 Cálculo del flujo de potencia .....  | 31 |
| 3.1.3 Peaje en los sistemas de transporte .....  | 38 |
| 3.1.4 Penalizaciones a congestionamientos de líneas de transporte .....  | 39 |
| <b>4. SIMULACIÓN</b>   |    |
| 4.1. Construcción del modelo de 13 nodos representativos para Guatemala .....  | 43 |
| 4.2. Simulación del método actual de cálculo de peaje en el modelo de 13 nodos .....   | 52 |
| 4.2.1 Algoritmo de simulación del método utilizado actualmente ..  | 54 |
| 4.3. Simulación del método de cálculo de peaje basado en las contribuciones al flujo de potencia en el modelo de 13 nodos..... | 56 |
| 4.3.1 Aplicación del método propuesto .....  | 61 |
| 4.3.2 Cálculo de peaje basado en las contribuciones al flujo de potencia.....  | 86 |
| 4.3.3 Algoritmo de simulación del método propuesto.....  | 93 |
| <b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>   |    |
| 5.1. Comparación de métodos .....  | 95 |
| 5.1.1 Comparación del valor recuperado en un año .....   | 96 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.1.2 Comparación del pago de peaje que realizan los generadores .....     | 97         |
| 5.1.3 Comparación del valor recuperado por cada línea de transmisión ..... | 99         |
| 5.1.4 Comparación de la complejidad de aplicar cada método ..              | 101        |
| <b>CONCLUSIONES</b> .....  | <b>103</b> |
| <b>RECOMENDACIONES</b> .....   | <b>105</b> |
| <b>REFERENCIAS</b> .....   | <b>107</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....  | <b>109</b> |
| <b>APÉNDICE</b> .....  | <b>111</b> |



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1. | Efecto del orden de la transacción en la asignación .....     | 32 |
| 2. | Diagrama unifilar del modelo representativo del S.N.I .....   | 48 |
| 3. | Algoritmo del método actual de cálculo .....                  | 55 |
| 4. | Contribución al flujo de la transacción 17 en el modelo ..... | 84 |
| 5. | Contribución al flujo de la transacción 1 en el modelo .....  | 86 |
| 6. | Algoritmo del método propuesto .....                          | 94 |

## TABLAS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| I.    | Líneas principales del S.N.I. con sus características R, X, B, en valores por unidad, longitud y sus límites ..... | 45 |
| II.   | Nodos principales del S.N.I. ....  | 45 |
| III.  | Generadores utilizados en el modelo y su capacidad .....   | 46 |
| IV.   | Cargas en el modelo representativo.....  | 47 |
| V.    | Resultado de un flujo de potencia en el modelo representativo, realizado con <i>PowerWorld Simulator</i> .....     | 49 |
| VI.   | Cálculo del MAPE .....   | 51 |
| VII.  | Potencia firme .....   | 53 |
| VIII. | Peaje calculado utilizando el método actual de cálculo.....  | 54 |
| IX.   | Generación de las plantas en el caso base.....   | 57 |
| X.    | Cargas de los nodos en el caso base.....   | 57 |
| XI.   | Flujo de potencia del caso base realizado en <i>PowerWorld</i> .....   | 58 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| XII.     | Transacciones a utilizar en la simulación del método propuesto .....                        | 58 |
| XIII.    | BTM del método propuesto .....  | 59 |
| XIV.     | Generación en el caso operacional .....   | 60 |
| XV.      | Cargas del caso operacional .....   | 61 |
| XVI.     | Cálculo de $\Delta P^1_{ij,1}$ .....  | 63 |
| XVII.    | Cálculo de $\Delta P^T_{ij,1}$ .....  | 64 |
| XVIII.   | Cálculo del componente agregado de la transacción 1 .....                                   | 65 |
| XIX.     | Cálculo de $\Delta P^1_{ij,17}$ , para la transacción 17 .....                              | 66 |
| XX.      | Cálculo de $\Delta P^T_{ij,17}$ , para la transacción 17 .....                              | 67 |
| XXI.     | Componente agregado de la transacción 17 .....  | 68 |
| XXII.    | Componente agregado, ocasionado por cada transacción en la línea Guate Este-Guate Sur ..... | 70 |
| XXIII.   | <i>Mismatch</i> del método propuesto aplicado al modelo representativo ....                 | 72 |
| XXIV.    | Componente menor en el modelo representativo .....  | 73 |
| XXV.     | Contribución al flujo de la transacción No. 1 .....   | 74 |
| XXVI.    | Contribución al flujo de la transacción No. 2 .....   | 74 |
| XXVII.   | Contribución al flujo de la transacción No. 3 .....   | 75 |
| XXVIII.  | Contribución al flujo de la transacción No. 4 .....   | 75 |
| XXIX.    | Contribución al flujo de la transacción No. 5 .....   | 76 |
| XXX.     | Contribución al flujo de la transacción No. 6 .....   | 76 |
| XXXI.    | Contribución al flujo de la transacción No. 7 .....   | 77 |
| XXXII.   | Contribución al flujo de la transacción No. 8 .....   | 77 |
| XXXIII.  | Contribución al flujo de la transacción No. 9 .....   | 78 |
| XXXIV.   | Contribución al flujo de la transacción No. 10 .....  | 78 |
| XXXV.    | Contribución al flujo de la transacción No. 11 .....  | 79 |
| XXXVI.   | Contribución al flujo de la transacción No. 12 .....  | 79 |
| XXXVII.  | Contribución al flujo de la transacción No. 13 .....  | 80 |
| XXXVIII. | Contribución al flujo de la transacción No. 14 .....  | 80 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| XXXIX.  | Contribución al flujo de la transacción No. 15 .....   | 81  |
| XL.     | Contribución al flujo de la transacción No. 16 .....   | 81  |
| XLI.    | Contribución al flujo de la transacción No. 17 .....   | 82  |
| XLII.   | Contribución al flujo de la transacción No. 18 .....   | 82  |
| XLIII.  | Contribución al flujo de la transacción No. 19 .....   | 83  |
| XLIV.   | Contribución al flujo de la transacción No. 20 .....   | 83  |
| XLV.    | CAT dividido 12 meses y repartido entre todas las líneas de<br>transmisión del modelo representativo ..... | 87  |
| XLVI.   | Costo a ser recuperado por hora en cada línea de transmisión<br>del modelo .....                           | 88  |
| XLVII.  | Costo del MWh transmitido en el modelo representativo .....  | 89  |
| XLVIII. | Peajes obtenidos con el método propuesto para las transacciones<br>1 a la 5.....                           | 90  |
| XLIX.   | Peajes obtenidos con el método propuesto para las transacciones<br>6 a la 10.....                          | 90  |
| L.      | Peajes obtenidos con el método propuesto para las transacciones<br>11 a la 15.....                         | 91  |
| LI.     | Peajes obtenidos con el método propuesto para las transacciones<br>16 a la 20.....                         | 91  |
| LII.    | Peaje recaudado por cada línea de transmisión en la hora analizada .                                       | 92  |
| LIII.   | Comparación de los valores recuperados en un año .....   | 96  |
| LIV.    | Comparación de peajes que pagan los generadores .....  | 97  |
| LV.     | Ingreso que recupera cada línea de transmisión.....  | 99  |
| LVI.    | Flujo de septiembre de 2005, para demanda máxima en líneas<br>principales del S.N.I. ....                  | 111 |
| LVII.   | Resumen de planillas de contratos en el mercado mayorista,<br>parte 1 .....                                | 112 |
| LVIII.  | Resumen de planillas de contratos en el mercado mayorista,<br>parte 2 .....                                | 113 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| LIX. | Resumen de planillas de contratos en el mercado mayorista,<br>parte 3 ..... | 114 |
| LX.  | Postdespacho del 9 de septiembre de 2005 .....                              | 115 |
| LXI. | Programa del 9 de septiembre de 2005 .....                                  | 116 |

## **RESUMEN**

En el presente trabajo de graduación se pretende establecer si el método de cálculo de peaje basado en las contribuciones al flujo de potencia, proporciona beneficios adicionales en la asignación de costos para los usuarios y los propietarios del sistema de transporte de Guatemala.

Para la realización del presente trabajo de graduación, se realizó una descripción de los Peajes de Transmisión, su función, su importancia económica y como son remunerados.

En el capítulo dos, se analiza el método que actualmente es utilizado en Guatemala. Para ello, se examina el método de cálculo y las características del mismo. Luego, en el capítulo tres, se analiza el método propuesto, es decir el método de cálculo de peaje basado en las contribuciones al flujo de potencia.

Con las características de cada método establecidas, se procede a la parte central del presente trabajo de graduación, la simulación de ambos métodos en un modelo representativo del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I) y la comparación de resultados al final de la simulación.

Por último, se establecen las recomendaciones fundamentadas en los resultados del análisis de las simulaciones.



# **OBJETIVOS**

## **GENERAL**

Establecer sí el método de determinación de las contribuciones al flujo de potencia aplicado en el cálculo de Peajes de Sistemas de Transporte de Energía Eléctrica provee beneficios en la asignación de costos para los usuarios y los propietarios del servicio de transporte de Guatemala.

## **ESPECÍFICOS**

1. Simular y analizar el método utilizado actualmente en Guatemala para el cálculo de peajes de Sistemas de Transporte de Energía Eléctrica, encontrando ventajas y desventajas de la utilización del mismo.
2. Simular y analizar el método de cálculo de peajes de Sistemas de Transporte de Energía Eléctrica que utiliza las contribuciones al flujo de potencia que una transacción realiza, encontrando ventajas y desventajas de la utilización del mismo.
3. Establecer recomendaciones para el método de cálculo de Peajes de Sistemas de Transporte de Guatemala, utilizando los resultados del proyecto.



## INTRODUCCIÓN

Actualmente, en Guatemala, existe un método de cálculo de peaje en los sistemas de transporte, el cual asigna peajes a los usuarios de Sistema de Transmisión que no están basados en los usos reales de la red de transmisión. El método actual asigna el pago de Peaje proporcionalmente a la potencia firme de cada generador.

Por la razón anterior, en este trabajo de graduación se utilizará un nuevo método sugerido por varios autores, el cual sirve para determinar las contribuciones al flujo de potencia que una transacción provoca en las líneas de transmisión. Este método se aplicará al cálculo de peajes de transmisión. Se realizarán simulaciones en un modelo representativo del sistema nacional interconectado de Guatemala para comparar el método actual con el método propuesto, analizando de esta manera que ventajas tiene.

El punto de partida del presente trabajo de graduación fue la hipótesis sobre el método propuesto, el cual posee ventajas sobre el método que actualmente es utilizado, por lo tanto, en este trabajo se demuestra que la hipótesis es correcta, ya que posee varias ventajas fundamentales, entre ellas es que en un año, con el método propuesto se recupera mayor cantidad de dinero, en concepto de peajes, esperando mayores cantidades, si las transacciones aumentan. Por otro lado el método propuesto asigna un peaje adecuado a la utilización del sistema de transmisión, por lo que envía señales correctas para la adecuada expansión de la red.

# 1. PEAJES DE TRANSMISIÓN

## 1.1 Mercados eléctricos

Durante las últimas décadas del siglo XX, en diversos países del mundo, surgió la tendencia para liberar los mercados eléctricos, pasando de monopolios a estructuras competitivas de libre mercado. La libertad de los consumidores para poder comprar libremente su energía, propicia la competitividad. Para llevar a cabo el objetivo de competitividad, se necesitó que las empresas tradicionales fueran separadas en Generación, Transmisión y Distribución. La organización típica de la industria eléctrica antes de la liberalización era verticalmente integrada, es decir, una sola compañía incorporaba las funciones de generación transmisión y distribución.

El mercado eléctrico es administrado por una entidad llamada *Independent System Operator* (ISO), o en español el Operador Independiente del Sistema. En Guatemala este operador es el Administrador del Mercado Mayorista (AMM).

La electricidad como producto, posee ciertas características:

- La energía eléctrica no puede ser almacenada.
- El camino que toma la electricidad obedece las leyes de Kirchhoff.
- Las líneas de transmisión tienen límites que afectan la eficiencia económica. La eficiencia económica es la capacidad de brindar el servicio necesario, con la calidad requerida, al menor costo posible.

- Entrega inmediata del producto, ya que la electricidad viaja a la velocidad de la luz.

Por otro lado, las características propias de la electricidad, hace que los mercados eléctricos tengan ciertas particularidades que no poseen otros mercados:

- Un mercado de electricidad requiere coordinación en tiempo real.
- Se deben garantizar que reglas claras y el libre acceso a las líneas de transmisión.
- Los precios pueden ser volátiles, debido a las características de la electricidad como producto, enunciadas anteriormente.
- Las limitaciones físicas y características particulares pueden provocar poder de mercado. Estas limitaciones otorgan poder de mercado a ciertos participantes cuando los colocan en posiciones dominantes.

**Particularidades de los mercados eléctricos centroamericanos.** El Salvador, Guatemala, Nicaragua y Panamá comenzaron la reestructuración de sus sectores eléctricos en 1995. El ISO inició sus operaciones en El Salvador en 1997, Panamá y Guatemala en 1998 y en Nicaragua en el año 2000. La participación del Mercado Centroamericano en el Mercado Spot es alrededor del 20% de la demanda. Se ha comprobado que la liberación del subsector eléctrico ha abaratado la energía y fortalecido la continuidad del servicio. El mercado está basado en transacciones bilaterales para entrega inmediata o entrega a futuro, y los contratos son por potencia y energía. Por otro lado, los participantes también pueden participar en el mercado Spot. Actualmente, Guatemala realiza exportaciones e importaciones con el Mercado Regional, en el año 2005, se importaron 23.19 GWh, mientras que las exportaciones fueron

de 335.44 GWh, ya que Guatemala es un país predominantemente exportador en el Mercado Regional.

**Particularidades del mercado eléctrico Guatemalteco.** En Guatemala, se iniciaron los procesos de liberalización del sector eléctrico en 1995. Sin embargo, previo a la reestructuración, se firmaron contratos de abastecimiento de energía y respaldo de potencia, los cuales aún no han terminado. Estos contratos conservan sus características iniciales, algunas de las cuales son diferentes a las establecidas en la nueva regulación, sin embargo debido a su característica de preexistentes a la liberalización, son respetados. Por otro lado, otra característica especial del mercado eléctrico Guatemalteco es la existencia de una tarifa social para los usuarios consumidores, conectados en baja tensión, con consumo inferior a 300 kWh durante un período de un mes. Estos usuarios pagan una tarifa preferencial por el consumo de energía, y en su mayoría son usuarios residenciales.

El sistema de transmisión es una parte fundamental en un mercado de electricidad. Los participantes del mercado eléctrico deben tener libre acceso a la red de transmisión y pagar peajes los cuales deben permitir a las compañías de transmisión recuperar sus costos e invertir en el mejoramiento y expansión de la red.

El sistema de transmisión es el eslabón que une los centros de carga con los generadores, por lo tanto deben ser remunerados adecuadamente para que sean enviadas las señales económicas adecuadas para el crecimiento del sistema de transmisión, de acuerdo a los requerimientos de la red.

## **1.2 Sistemas de transporte y su remuneración en un mercado eléctrico**

El método de asignación de costos del servicio de transmisión también puede ser llamado sistema de peajes. Es muy difícil determinar la asignación de costos del sistema de transmisión debido a que existen características físicas propias de los sistemas de transmisión que complican su retribución, tales como economías de escala y la no linealidad de los flujos de potencia. Existen muchos métodos de cálculo de peajes propuestos, sin embargo, hasta el día de hoy continúa vigente el problema de la asignación de costos.

El método de cálculo de peaje actualmente utilizado en Guatemala está establecido en la Ley General de Electricidad <sup>1</sup> y en la Norma de Coordinación Comercial No. 9 <sup>2</sup>. Por otro lado, se han realizado estudios referentes a los diversos métodos que existen. El trabajo de tesis Métodos de Asignación de Costos del Sistema de Transporte <sup>3</sup> describe las principales metodologías de asignación de costos del sistema de transmisión. Además, en dicho trabajo <sup>3</sup> se realiza una propuesta de metodología para aplicación, la cual lleva el nombre de MACSTED, de sus siglas (Método de asignación de costos del sistema de transporte económicamente dimensionada), la cual es una metodología que se basa en determinar el sistema de transporte capaz de cumplir con los requerimientos de transporte al menor costo posible, que luego es repartido entre los agentes que hacen uso de él. En dicho trabajo se pone a prueba el método en líneas de transmisión, aunque se aclara que puede ser aplicado a todos los elementos que componen un sistema de transporte.

En el presente trabajo de tesis se simulará y comparará un método de cálculo de peaje, basado en las contribuciones al flujo de potencia. Dicho método es propuesto por varios autores y las publicaciones llevan como título

*Market Mechanism for Line Congestion Clearance* <sup>4</sup> y *A Transaction Assesment Method for Allocation of Transmission Services* <sup>5</sup>. El método propuesto analiza la influencia que una transacción bilateral puede producir en el flujo de las líneas de transmisión del sistema interconectado. El objetivo del método es determinar la contribución de potencia que una transacción provoca en el sistema, es decir, el aporte en MW y Mvar que se hará en cada línea de transmisión debido a cada transacción. En el presente estudio, se utilizará este método para calcular el aporte de MW en cada línea de transmisión producido por cada transacción para establecer un peaje por MW transmitido; según el costo de las subestaciones y el costo de cada línea de transmisión que sea utilizada por la transacción en cuestión.

Los métodos de asignación de costos del servicio de transmisión ya fueron descritos en otro trabajo de graduación <sup>3</sup>, como se mencionó anteriormente, por lo que solamente se hará una breve descripción de los mismos en este capítulo.

Existe una gran cantidad de métodos de asignación de costos aparte de los mencionados en este capítulo. Ningún método puede ser clasificado como el mejor o el peor, ya que cada sistema de transmisión posee características propias que favorecerán el aprovechamiento de las ventajas que un método ofrece, si es elegido el método correcto para la red.

### **1.2.1 Sellos de correos (*Postage stamp*)**

Es uno de los métodos más sencillos para el cálculo de peaje para el sistema de transmisión. El método consiste en la repartición de los costos entre todos los usuarios del servicio de transmisión de forma equitativa, tomando el costo total del servicio y dividiéndolo entre una medida que represente el uso que cada participante hace del sistema. El uso del sistema generalmente es

medido con la potencia máxima de cada participante, aunque se pueden utilizar otras medidas. En este método todos los usuarios pagan lo mismo por unidad de uso del sistema, sin importar la localización geográfica, ni las distintas restricciones del sistema. Este método es utilizado actualmente en Guatemala.

El peaje por transmisión, utilizando como medida de uso, la potencia máxima, se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$R_t = CT \frac{P_{Max,j}}{P_{Max}} \quad (1.1)$$

Donde:

$R_t$  Peaje a pagar por el usuario  $j$  por el servicio de transmisión.

$CT$  Costo total del servicio de transmisión que será repartido.

$P_{Max,j}$  Potencia máxima del usuario  $j$ .

$P_{Max}$  Potencia máxima del sistema de transmisión.

Este método tiene como ventaja principal la simplicidad de cálculo en la asignación de costos. Sin embargo, una desventaja es que envía señales de mercado incorrectas, ya que al asignar el mismo costo por unidad de uso a cada participante, sin importar su localización, provoca dificultades para que puedan ser enviadas las señales correctas en el sistema de transmisión. Un ejemplo de una señal incorrecta enviada es el hecho de cobrar lo mismo por

unidad de uso, ya que el costo de transmitir varía según el punto de conexión de la red, tanto para los productores como para los consumidores.

### **1.2.2 Método incremental**

El método incremental hace una distinción entre dos tipos de clientes a los que sirve: los clientes cautivos y empresas que desean transmitir energía a través de la red (se les llama clientes cautivos a aquellos que no pueden escoger quien les suministre energía, ya que el suministrador tiene concesiones geográficas o el mercado no es libre para los usuarios consumidores). Esto quiere decir que existe un costo del servicio básico o demanda propia, ocasionado por los clientes cautivos, y un costo originado por la incorporación de las transacciones que las empresas desean realizar por medio de la red. El método incremental se fundamenta en la comparación de costos. Al obtener la diferencia de los dos costos, se obtiene el costo de permitir la transacción. De este modo, se puede establecer un peaje para la transacción realizada, para que así la empresa de transmisión recupere el costo de alojar dicha transacción.

### **1.2.3 Método del camino acordado (*Contract path*)**

Este método asigna los costos del servicio de transmisión basado en un camino desde el punto de suministro hasta el punto de consumo que supuestamente la energía tomará al realizar la transacción. De modo que al establecer el camino, y luego de calcular el costo de las instalaciones que forman parte de esa senda, se distribuye el costo proporcionalmente a la relación entre el flujo supuesto de la transacción al flujo real en dicho camino.

El uso de este método está justificado solamente cuando la importancia de una transacción es escasa, de modo que no valga la pena calcular el camino real de la transacción. También puede provocar peajes excesivamente altos para transacciones entre puntos muy alejados, ya que al no tomar en cuenta el flujo real, no se considera que el flujo no necesariamente irá del nodo vendedor al nodo comprador.

#### **1.2.4 Método del MW-km**

Este método trata de reflejar el efecto que una transacción produce en el flujo de potencia, así como la longitud de la red que se utiliza para realizar dicha transacción. El método utiliza una nueva medida, el MW-km, para realizar una comparación y establecer el uso que una transacción hace de la red.

Para calcular el peaje para una transacción, primero se obtienen los flujos de potencia de todas las líneas de la red, tomando en cuenta las transacciones que serán realizadas. A este flujo se le denomina flujo del caso inicial. Luego se multiplica el flujo de cada línea por la longitud en km de la misma, para obtener los MW-km asociados a cada línea de transmisión. Al sumar todos los MW-km de todas las líneas de la red, se obtienen los MW-km del caso inicial. Luego se realiza el mismo procedimiento para el caso inicial sin la transacción 1, a la cual se le quiere calcular el peaje. De modo que el nuevo flujo de potencia de cada línea se multiplica por la longitud, para luego sumar los resultados asociados a todas las líneas para hallar los MW-km atribuidos al sistema sin la transacción 1. De la diferencia de los MW-km del caso inicial y los MW-km del sistema sin la transacción 1 se obtienen los MW-km imputables a la transacción 1.

El peaje se calcula multiplicando el costo de la red para el caso inicial por la relación porcentual entre los MW-km imputables a la transacción 1 y los MW-km asociados al caso inicial. Este método puede presentar algunas variantes, sin embargo el método descrito en esta sección presenta la forma más conocida.

### **1.3 Peajes de transmisión como incentivos financieros**

Las empresas de transmisión representan una pequeña parte de los ingresos económicos de un mercado eléctrico, sin embargo, esto no quiere decir que las mismas no tengan importancia económica dentro del sector, ya que el funcionamiento adecuado del sistema de transmisión fomenta la competitividad en la generación y en los participantes consumidores. La competencia entre las empresas generadoras orienta la inversión hacia plantas eficientes lo cual a su vez favorece la reducción de costos de generación de energía eléctrica, beneficiando así a los consumidores y a los participantes del mercado en general.

Los peajes de transmisión, aparte de su función remunerativa, deben enviar ciertas señales que permitan el correcto funcionamiento del mercado. Esto se debe al papel central que el servicio de transmisión desempeña dentro del mercado eléctrico.

Para la adecuada expansión del Sistema de Transmisión, es necesario que los peajes sean asignados de manera correcta, de modo que fomenten la mejora del sistema, así como optimizar el funcionamiento del mercado eléctrico. Las señales que el peaje de transmisión debe enviar son:

- Ventajas para la localización de inversión en generación y demanda: Si la demanda y la generación tienen ubicaciones cercanas, entonces los costos de transmisión deben ser menores, ya que las pérdidas también serán menores. Esta señal debe ser proporcionada a los inversionistas por medio del peaje de transmisión, de modo que en lo posible, ubiquen centrales generadoras cerca de los centros de consumo, lo mismo para un consumidor. Actualmente, el factor de pérdidas nodales proporciona esta señal, ya que éste modifica los precios *Spot* nodales, según el nodo de inyección o retiro.
- La necesidad de inversión en el sistema de transmisión: El costo del servicio de transmisión depende fuertemente de la congestión en el sistema. Mientras más congestionada esté una línea de transmisión, mayor serán las pérdidas, por lo tanto mayores serán los costos para todo el sistema. El peaje de transmisión aumenta para que la potencia transmitida no sobrepase el límite de capacidad de transmisión de una línea, de esta manera se encarece el servicio para evitar congestión. Así, se envía la señal de que se necesita inversión en transmisión, para reducir las pérdidas y descongestionar líneas.
- Promoción de la eficiencia en la generación y consumo: Para satisfacer eficientemente la demanda, debe realizarse un despacho económico, de modo que puedan ser programadas las plantas con bajos costos marginales antes que las plantas con costos altos. Los costos marginales se refieren a los costos de producción de cada MWh, donde se incluye el costo del combustible (o el valor del agua si se trata de una central hidráulica), costos de operación, mantenimiento, y cualquier otro costo necesario para la producción de dicho MWh.

El sistema de peajes debe estar diseñado de manera que se puedan tomar decisiones de mercado correctas, así como señalar inversiones futuras en el sistema de transmisión. También debe permitir que la capacidad instalada sea operada eficientemente. Además, el costo del servicio de transmisión no debe alterar las decisiones de inversión de generadores ni de consumidores.

### **1.3.1 Expansión del sistema de transmisión**

El sistema de transmisión está formado por las líneas de transmisión y las subestaciones. En un sistema interconectado, es el medio por el cual es transportada toda la energía eléctrica, producto de las transacciones que son realizadas. Por esta razón, a los participantes del mercado les interesa el correcto funcionamiento del sistema, así como las condiciones y arreglos de expansión. Los cambios en el sistema de transmisión pueden modificar drásticamente la habilidad para vender o comprar dentro del mercado, ya que puede modificar dos parámetros: la capacidad de compra y venta. Por ejemplo, la adecuada expansión del sistema de transmisión puede disminuir los costos del transporte de energía, aumentando la capacidad de consumo y de producción, disminuyendo las pérdidas de transmisión.

Las decisiones de donde y cuando expandir la capacidad del sistema de transmisión tienen también un gran impacto en la rentabilidad de los participantes, debido a la importancia del servicio de la transmisión en un mercado eléctrico. Por ello tiene que existir alguien que esté a cargo de la expansión, que utilice reglas para realizarlo y que no discrimine a ningún participante. En Guatemala, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica es el ente encargado de aprobar las expansiones en la red de los transportistas.

#### **1.4 Sistema guatemalteco de transporte de energía eléctrica**

Dos empresas son propietarias del sistema guatemalteco de transporte de energía eléctrica. Una red es propiedad de Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica (ETCEE) y la otra es propiedad de Transportista Eléctrico Centroamericana Sociedad Anónima (TRELECSA).

ETCEE fue creada a partir de la separación de funciones de la actividad eléctrica establecida en la Ley General de Electricidad, y su función es administrar, operar y mantener la infraestructura eléctrica de transporte de su red. Cuenta con líneas de transmisión de 230 kV, 138 kV y de 69 kV. Las líneas de 230 kV y 138 kV enlazan plantas de generación con los grandes centros de consumo. Las exportaciones e importaciones de energía se realizan en 230 kV. Las líneas de 69 kV cumplen funciones de subtransmisión y distribución. La longitud total de las líneas de transmisión es de 2756 km, de los cuales 1889 km son líneas de 69 kV, 644 km en 230 kV, y 223 km en 138 kV. ETCEE posee 59 subestaciones de transformación, con una capacidad total de 2778 MVA. La red de transmisión de ETCEE comprende todo el territorio nacional, y su sistema es principalmente de tipo radial.

TRELECSA pertenece al Grupo Empresa Eléctrica de Guatemala y fue creada con el objetivo de realizar la actividad de transporte de energía eléctrica para clientes que están ubicados en los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla, y se encarga principalmente de distribuir la energía desde los centros de consumo de alta tensión hasta los centros de consumo de media tensión. TRELECSA cuenta con 64 km de líneas en 230 kV, 559 km en 69 kV. También posee 4 subestaciones de maniobra y 48 subestaciones de transformación de 69/13.8 kV con una capacidad instalada de 920 MVA. La red de TRELECSA es del tipo mallada.

El sistema de transporte de nacional también cuenta con líneas propias de Agentes del Mercado Mayorista, las cuales tienen como objetivo conectarlos al Sistema Nacional Interconectado.



## 2. MÉTODO ACTUAL DE CÁLCULO DE PEAJE EN SISTEMAS DE TRANSPORTE EN GUATEMALA

### 2.1 Descripción del método

La Ley General de Electricidad <sup>1</sup>, en el artículo 59, establece que los peajes estarán sujetos a regulación cuando no exista un acuerdo entre las partes involucradas, y serán determinados por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). Por otro lado, en el artículo 60 de la misma ley, se establece que los peajes determinados por la CNEE deberán reflejar en forma estricta los costos medios de capital y operación de sistemas de transporte, transformación y distribución, correspondientes a costos estándares de empresas eficientes. El método utilizado para el cálculo de peaje en el sistema principal de transporte en Guatemala es del tipo Sello de Correos (*Postage Stamp*) y es pagado por todos los generadores conectados al Sistema Nacional Interconectado por cada KW de potencia firme conectada.

**Potencia firme.** La potencia firme u oferta firme de un generador es la máxima potencia neta, capaz de producir, en función de sus características técnicas, su potencia máxima y su disponibilidad, teniendo en cuenta las restricciones propias de la central, así como el descuento de sus consumos internos. El Administrador del Mercado Mayorista (AMM) determina la potencia firme con los datos acumulados durante un año, para que la misma sea vigente en el año siguiente. El procedimiento de cálculo de la potencia firme de los participantes generadores se encuentra establecido en la Norma de Coordinación Comercial No. 2 <sup>6</sup>, donde se define la potencia firme para cada tipo de tecnología de generación. Por ejemplo, para las centrales generadoras

térmicas (para las centrales hidráulicas y geotérmicas se calcula de manera diferente), se define de la siguiente manera:

$$OF_i = PP_i * coefdisp_i \quad (2.1)$$

Donde:

OF<sub>i</sub> Es la potencia firme u oferta firme de la central generadora i.

PP<sub>i</sub> Es la potencia máxima que la central generadora i es capaz de suministrar a la red bajo las condiciones de temperatura y presión atmosférica del sitio en la que está instalada.

Coefdispi Es el coeficiente de disponibilidad de la central generadora i, el cual indica la disponibilidad que una planta puede tener a lo largo de un año. Se calcula de acuerdo a lo establecido en la Norma de Coordinación Comercial No. 2.

El coeficiente de disponibilidad se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Coefdisp_i = \frac{HD_i + HMP_i - HED_i}{HD_i + HIF_i + HMP_i} \quad (2.2)$$

Donde:

HD<sub>i</sub> Son las horas de disponibilidad de la generadora *i* en el año, es decir, las horas que la generadora estuvo disponible para generar, haya o no haya sido convocada a generar.

HMP<sub>i</sub> Son las horas de mantenimiento programadas para el generador *i* en el año.

HIF<sub>i</sub> Horas de indisponibilidad forzada del generador *i* en el año.

HED<sub>i</sub> Horas equivalentes por degradación o disminución de generación, cuando la generadora *i* se encuentre indisponible.

El peaje en Guatemala, en el sistema principal se calcula dividiendo la anualidad de la inversión y los costos de mantenimiento, para instalaciones óptimamente dimensionadas, entre la potencia firme total conectada al sistema eléctrico.

El método consiste en la repartición de los costos entre todos los usuarios del servicio de transmisión de forma equitativa, tomando el costo total del servicio y dividiéndolo entre una medida que represente el uso que cada participante hace del sistema, en este caso es la potencia firme. En este método todos los usuarios pagan lo mismo por kW de potencia firme conectada al sistema de transporte, sin importar la localización geográfica, ni las distintas restricciones del sistema. Este método tiene como ventaja principal la simplicidad de cálculo en la asignación de costos. Para el sistema secundario, se utiliza otro método, el cual es descrito en la sección 2.1.5 de este trabajo de tesis. El detalle del método de cálculo del peaje se encuentra establecido en la Norma de Coordinación Comercial No. 9 <sup>2</sup>. En las secciones siguientes del

presente capítulo se presenta el desarrollo del método para los sistemas de transmisión principal y secundario.

### **2.1.1 Determinación del sistema de transmisión económicamente adaptado**

Para encontrar el costo del sistema de transmisión, se calcula el Valor Nuevo de Reemplazo de las instalaciones óptimamente dimensionadas. El Valor Nuevo de Reemplazo es el costo que tendría la construcción de obras y los bienes del sistema de transporte económicamente adaptado que reemplacen a las existentes cuando llegan al fin de su vida útil, con la tecnología disponible en el mercado para prestar el mismo servicio. El concepto de instalación económicamente adaptada implica que se reconocerá el valor nuevo de reemplazo a aquellas instalaciones que estén justificadas económicamente y que presten el servicio requerido. Se llama instalación económicamente adaptada a las instalaciones que cumplen con este requisito y forman el sistema de transmisión económicamente adaptado.

El sistema de transmisión económicamente adaptado, se define como el sistema que permite transmitir o transportar electricidad con el menor costo de instalación y operación de las instalaciones de transmisión y transformación y se determina de acuerdo a la siguiente metodología:

- a) Se identificarán estados de carga típicos, correspondientes a situaciones de diferentes condiciones de uso del sistema de transporte. Estos estados de carga incluirán situaciones con máxima y mínima demanda, máxima y mínima producción de las centrales hidroeléctricas, y toda otra situación que sea considerada probable.

- b) Se identificarán estados de carga correspondientes a contingencias con mayor probabilidad de ocurrencia en el sistema de transmisión o generación, con n-1 componentes en servicio para los casos en los cuales sea aplicable dicho criterio.
- c) Para cada uno de los estados de carga identificados, se realizarán flujos de carga, en los que se determinarán las potencias máximas transmitidas por cada línea o transformador. A estas potencias se las denominará cargas máximas de cada componente.

Para cada componente del sistema de transmisión se comparará su carga máxima con su capacidad nominal. Si ambos valores son razonablemente similares, se considerará que ese componente está económicamente adaptado; es decir, que la capacidad nominal del componente corresponde a equipos que normalmente se fabrican y están disponibles comercialmente o al diseño de una línea de transmisión que considera los criterios por los cuales se determina su capacidad nominal.

La capacidad nominal de una línea de transmisión se determinará por el límite máximo de transporte; el cual se determina por el mínimo valor entre el límite térmico de los conductores, el límite de transmisión por regulación de voltaje y el límite por estabilidad transitoria y dinámica.

La cargabilidad de los transformadores se mide por su capacidad de corriente nominal, para tener en cuenta las variaciones de voltaje de operación con respecto al voltaje nominal del equipo.

### 2.1.2 Costo anual del sistema principal de transporte

Para hallar el costo anual del sistema principal se determina el costo de construcción e instalación de los distintos componentes del sistema de transmisión, en base a cotizaciones de proveedores de equipamiento locales o extranjeros y valores internacionales. Se tendrá en cuenta el costo de montaje así como de cualquier otro gasto derivado de la importación de los equipos. Para cada componente “i” del sistema de transmisión económicamente adaptado se calculará su Costo Anual de Transmisión (CATi) como la anualidad del Valor Nuevo de Reemplazo del componente i para una vida útil de 30 años. A continuación se detalla el procedimiento por medio de la siguiente ecuación:

$$CAT_i = [FRC(TA, VU) + \%GOM] * VNR_i + MAS_i \quad (2.3)$$

Donde:

|      |   |
|------|---|
| CATi | Costo anual del componente i del sistema principal de transmisión.              |
| FRC  | Factor de recuperación de capital.  |
| TA   | Tasa de actualización.  |
| VU   | Vida útil de la instalación, la que se fija en 30 años.                         |
| VNRi | Valor nuevo de reemplazo del componente i del sistema principal de transmisión. |

|      |   |
|------|---|
| %GOM | Gastos anuales de operación y mantenimiento, expresados como una proporción del Valor Nuevo de Reemplazo VNRI.  |
| MASi | Monto anual de penalizaciones que deberá pagar el transportista por sanciones, cuando no opere ni mantenga en forma confiable y eficiente el componente “i” del sistema de transmisión. |

El costo anual del sistema de transmisión (CAT) se calcula como la suma de los costos anuales de cada uno de sus componentes:

$$CAT = \sum_{i=1}^{nc} CAT_i \quad (2.4)$$

Donde

CAT Costo anual del sistema de transmisión.

nc Es el número total de componentes del sistema de transmisión.

CATi Costo anual del componente i del sistema de transmisión.

En caso que existan varios transportistas propietarios de instalaciones del Sistema Principal, deberá calcular un valor CATt para cada transportista t, como la suma de los CATi de cada una de sus instalaciones.

También debe ser calculado con los mismos criterios el costo anual correspondiente a interconexiones internacionales CATI.

El valor del CAT vigente, según la resolución CNEE-127-2005 <sup>7</sup>, emitida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica el 11 de octubre de 2005 es de 24,362,064.53 US\$/Año. Este valor se utiliza en el presente trabajo de tesis para hacer las simulaciones de los métodos considerados. El detalle de las simulaciones se proporciona en el capítulo 4 de esta tesis.

### 2.1.3 Distribución del costo anual del sistema principal entre los generadores

Cada generador pagará mensualmente por el uso del sistema de transmisión una suma  $PG_{im}$  proporcional a su potencia firme conectada, la cual se calcula así.

$$PG_{im} = \frac{PF_i * CAT}{12 * \sum_{i=1}^{ng} PF_i} \quad (2.5)$$

Donde

$PG_{im}$  Es la suma que el generador “i” pagará mensualmente y es proporcional a su potencia firme conectada.

$PF_i$  Es la Potencia Firme del generador “i” contratada para el cubrimiento de Demanda Firme.

$ng$  Es el número de generadores.

$CAT$  Es el costo anual de transporte obtenido de la ecuación (2.4).

#### **2.1.4 Distribución del peaje entre los transportistas del sistema principal**

En caso de existir más de un transportista en el Sistema Principal, cada uno de ellos recibirá su correspondiente ingreso por  $CAT_t$ , de modo que se cumple la ecuación (2.6)

$$CAT = \sum_{t=1}^{nt} CAT_t \quad (2.6)$$

Donde

$CAT$  Costo anual del sistema de transmisión.

$nt$  Es el número total de transportistas del sistema principal.

$CAT_t$  Costo anual de las instalaciones del transportista  $t$ .

Como puede notarse de la ecuación 2.6, el  $CAT$  del sistema de transmisión, será repartido entre todos los transportistas, de acuerdo al costo anual de las instalaciones de cada transportista ( $CAT_t$ ).

#### **2.1.5 Peaje por uso de los sistemas secundarios**

Las instalaciones del Sistema Secundario son pagadas por los generadores, importadores, exportadores y comercializadores, en los casos siguientes:

- Si se conecta al sistema eléctrico en subestaciones ubicadas fuera del sistema principal.
- Si comercializa electricidad en subestaciones ubicadas fuera del sistema principal.
- Si utiliza instalaciones de distribución

El correspondiente Costo Anual del Sistema de Transmisión secundario (CATs) será pagado por todos los generadores, importadores, exportadores o comercializadores que hagan uso del mismo en el sentido del flujo preponderante de energía, de acuerdo a la siguiente relación:

$$PGijs = \frac{PFij * DISTi * CATs}{12 * \sum_{i=1}^{ngs} PFij * DISTi} \quad (2.7)$$

Donde

$DISTi$  Distancia del Sistema Principal a la que se conecta el generador, importador, exportador o comercializador  $i$  al correspondiente sistema secundario o la distancia entre la subestacion donde se entrega la energía y el punto de conexión al Sistema Principal.

$ngs$  Número de generadores, importadores, exportadores o comercializadores conectados al sistema secundario o que comercialicen en el mismo.

PGijs Pagos por peaje del generador, importador, exportador o comercializador  $i$ , en el mes  $j$ , al transportista propietario del sistema secundario.



### **3. MÉTODO DE CÁLCULO DE PEAJE BASADO EN LAS CONTRIBUCIONES AL FLUJO DE POTENCIA**

#### **3.1 Descripción del método**

En este trabajo de graduación se utiliza el método de cálculo de peaje basado en las contribuciones al flujo como una alternativa de cálculo de peaje al método que actualmente se utiliza en Guatemala. El método propuesto analiza la influencia que una transacción bilateral puede producir en el flujo de las líneas de transmisión del sistema interconectado. Una transacción bilateral es un acuerdo económico donde un participante generador, le vende cierta cantidad de MW a un participante consumidor durante un período determinado. El método es propuesto por varios autores <sup>4 y 5</sup>, y el objetivo del mismo, es determinar la contribución de potencia que una transacción provoca en el sistema, es decir, el aporte en MW y Mvar que se hará en cada línea de transmisión debido a cada transacción. En el presente estudio, se utilizará este método para calcular el aporte de MW en cada línea de transmisión producido por cada transacción para establecer un peaje por MW transmitido; según el costo de cada línea de transmisión que sea utilizada por la transacción en cuestión. De manera que se analizará el peaje por utilización real del sistema de transmisión.

El método propuesto en este trabajo de graduación se utiliza para determinar la contribución al flujo de potencia que una transacción provoca en cada línea de un sistema de transmisión, por lo tanto se puede determinar que infraestructura brinda el servicio de transmisión a cada transacción. De esta manera se puede establecer cuanta potencia real y reactiva puede ser atribuida

a una transacción específica, y así calcular el peaje de transmisión que los responsables de dicha transacción deben pagar. Debido a la complejidad del cálculo utilizando potencia aparente y flujos de corriente alterna (A.C.); en este trabajo de tesis se hace una aproximación utilizando solamente la potencia real y flujos de corriente directa (D.C.). Los autores del método <sup>4 y 5</sup> han demostrado la validez de esta aproximación; razón por la cual se adopta en este trabajo de tesis.

### 3.1.1 Cambio de flujo de potencia debido a una transacción

Parte del problema de determinar el impacto que tiene una transacción en un sistema de transmisión radica en que simultáneamente existe más de una transacción. La dificultad reside en la relación no lineal que existe entre la inyección de potencia real para una transacción y la potencia reactiva.

Para determinar el impacto que causa una transacción es necesario considerar el caso en el cual una sola transacción es programada; primero se realiza un flujo de potencia en el sistema, sin tomar en cuenta la transacción. A este flujo le llamamos **caso base**. De esta manera obtenemos la potencia real transmitida por cada línea de transmisión del sistema cuando no se incluye ninguna transacción. A continuación, se realiza otro flujo de potencia, incluyendo la transacción programada; a este flujo le llamamos **caso operacional**. De esta manera se obtiene las nuevas potencias reales transmitidas por las líneas de transmisión del sistema, causadas por la transacción programada.

Con estos datos, se puede determinar el impacto que la transacción provoca en el sistema de transmisión, de la siguiente manera:

$$\Delta P_{ij} = P_{ij} - P_{ij}^0 \quad (3.1)$$

Donde:

$P_{ij}^0$  Es la potencia real proveniente del nodo i hacia el nodo j cuando no se incluye ninguna transacción (flujo del caso base).

$P_{ij}$  Es la potencia real proveniente del nodo i hacia el nodo j cuando se incluye la transacción programada (flujo del caso operacional).

$\Delta P_{ij}$  Es la contribución de potencia real que la transacción única realiza en la línea que une al nodo i con el nodo j.

Ya que se trata de un sistema con n líneas de transmisión, la ecuación (3.1) debe ser aplicada a cada una de ellas, con el fin de encontrar la contribución al flujo de cada línea, causado por la transacción programada.

Para el caso en el cual, se realicen varias transacciones simultáneas (T transacciones simultáneas), la solución del problema es compleja debido a la relación no lineal existente entre la potencia reactiva y la real, como se mencionó anteriormente. Sin embargo, se puede utilizar una aproximación considerando una transacción a la vez, de esa manera se puede obtener el impacto estimado que una transacción provoca en el sistema de transmisión.

Para poder incluir un gran número de transacciones es necesario considerar una transacción a la vez, repitiendo el proceso para cada

transacción  $t = 1, \dots, T$  y determinar de esta manera, la potencia real  $\Delta\tilde{P}_{ij,t}$ , con el que la transacción  $t$  contribuye al flujo de potencia.

Una aproximación a la potencia real total que transmite cada línea de transmisión del sistema se puede calcular por medio de la ecuación (3.2), donde se suman los aportes aproximados de cada transacción:

$$\Delta\tilde{P}_{ij} = \sum_t \Delta\tilde{P}_{ij,t} \quad (3.2)$$

Donde:

$\Delta\tilde{P}_{ij,t}$  Aproximación del aporte de potencia real que la transacción  $t$  realiza en la línea de transmisión que une al nodo  $i$  con el nodo  $j$ .

El resultado de la ecuación (3.2) es la contribución aproximada que todas las transacciones aportaron al flujo de potencia en la línea de transmisión que une los nodos  $i$ - $j$ , de modo que el procedimiento debe realizarse para cada línea del sistema de transmisión.

La potencia real con que todas las  $T$  transacciones contribuyen al sistema puede ser determinada exactamente realizando la diferencia entre el flujo de potencia incluyendo todas las transacciones, es decir el caso operacional y el flujo del caso base (flujo de potencia del caso operacional menos flujo del caso base), con lo cual se obtiene la potencia real total con que contribuyen las  $T$  transacciones en cada línea de transmisión.

$$\Delta P_{ij} = P_{ij} - P_{ij}^0 \quad (3.3)$$

Donde:

$P_{ij}^0$  Flujo del caso base.

$P_{ij}$  Flujo del caso operacional, donde, todas las T transacciones son tomadas en cuenta para el cálculo del flujo de potencia.

El error del método puede ser determinado mediante la siguiente ecuación:

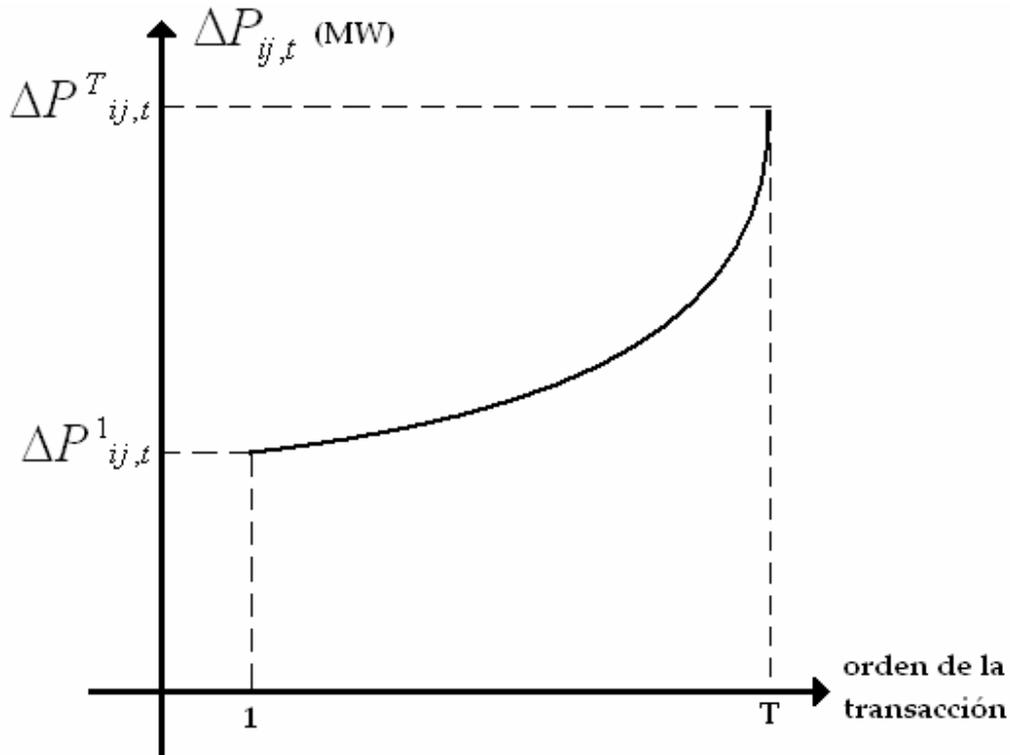
$$\delta \tilde{P}_{ij} = \Delta P_{ij} - \Delta \tilde{P}_{ij} \quad (3.4)$$

La ecuación (3.4) indica el grado aproximación que utiliza el método, debe ser lo más pequeño posible y refleja el grado de no-linealidad que posee el problema en cuestión.

### 3.1.2 Cálculo del flujo de potencia

En la sección anterior, cada transacción era tratada como la primera transacción. Debido a la no linealidad, el orden de una transacción en un caso multi-transaccional tiene un efecto en la potencia transmitida, es decir, el aporte de potencia de una transacción variará dependiendo del orden de la transacción al ser agregada al sistema, esto se muestra en la figura 1.

**Figura 1. Efecto del orden de la transacción en la asignación**



En la figura 1,  $\Delta P_{ij,t}^1$  es la potencia real proveniente del nodo  $i$  hacia el nodo  $j$  cuando la transacción  $t$  es la primera en el sistema (componente marginal). El término  $\Delta P_{ij,t}^T$  es la potencia real proveniente del nodo  $i$  hacia el nodo  $j$  cuando la transacción es la última que se agrega al sistema (componente incremental). Se puede observar que las contribuciones para una misma transacción varían según el orden. Ya que no se pueden ordenar las transacciones para determinar los servicios de transmisión, se puede utilizar una asignación alternativa la cual obtendrá un valor ubicado entre el marginal y el incremental. Estos valores pueden ser determinados minimizando la siguiente ecuación:

$$J_i = \sum_{t=1}^T \left[ \left( \Delta P_{ij,t} - \Delta P^1_{ij,t} \right)^2 + \left( \Delta P^T_{ij,t} - \Delta P_{ij,t} \right)^2 \right] \quad (3.5)$$

con la restricción:

$$\sum_t \Delta P_{ij,t} = \Delta P_{ij} \quad (3.6)$$

Donde:

$J_i$  Es la sumatoria de los cuadrados de las desviaciones entre la contribución al flujo y los componentes incremental y marginal.

$\Delta P^1_{ij,t}$  Es la potencia activa proveniente del nodo i hacia el nodo j cuando la transacción t es la primera en el sistema, luego del caso base (componente marginal).

$\Delta P^T_{ij,t}$  Es la potencia activa proveniente del nodo i hacia el nodo j cuando la transacción t es la última que se agrega al sistema (componente incremental).

$\Delta P_{ij,t}$  Es la contribución que la transacción t realiza en cada línea de transmisión. Este es el término que se desea encontrar,

y su valor se encuentra entre los componentes marginal e incremental.

El problema es un caso especial de “asignación justa de recursos”, la cual distribuye una cantidad de recursos a otra cantidad dada de actividades a modo de que las diferencias en las ganancias entre las actividades sean minimizadas; este problema se resuelve usando el método de optimización de Lagrange. El valor de potencia real en cada línea de transmisión con el cual contribuye la transacción t se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$\Delta \hat{P}_{ij,t} = \frac{1}{2} \left( \Delta P^1_{ij,t} + \Delta P^T_{ij,t} \right) + T \lambda_i / 4 \quad (3.7)$$

Donde:

$$\Delta \hat{P}_{ij,t}$$

Es la contribución al flujo que va del nodo i hacia el j, ocasionado por la transacción t.

$$\Delta P^1_{ij,t}$$

Es la contribución al flujo, ocasionado por la transacción t, cuando la misma es la única en ser agregada sobre el caso base (componente marginal).

$$\Delta P^T_{ij,t}$$

Es la contribución al flujo, ocasionado por la transacción t, cuando la misma es la última en ser agregada (componente incremental).

$T\lambda_i / 4$  Es el componente menor, el cual es llamado así, porque se ha demostrado que es mucho más pequeño que el componente agregado, además representa el error del método. El término  $\lambda_i$  es el multiplicador de Lagrange asociado a la restricción en la ecuación (6).

El término obtenido de la ecuación (3.7) es la contribución al flujo que la transacción  $t$  aporta. Para hallar la contribución en todas las líneas de transmisión, debe aplicarse la ecuación (3.7) a cada una de las líneas del sistema.

El componente agregado es calculado como el promedio de  $\Delta P^{1}_{ij,t}$  y  $\Delta P^T_{ij,t}$ , de acuerdo a la ecuación (3.8).

$$\Delta \bar{P}_{ij,t} = \frac{1}{2} (\Delta P^{1}_{ij,t} + \Delta P^T_{ij,t}) \quad (3.8)$$

Para evaluar la ecuación (3.7), se necesitan dos flujos de potencia para cada transacción. El primer flujo de potencia considera la transacción  $t$  como la única transacción programada para calcular el componente  $\Delta P^{1}_{ij,t}$ , el cual es la diferencia entre el flujo del caso añadiendo la transacción  $t$ , menos el flujo del caso base. El segundo flujo de potencia considera todas las transacciones en el sistema excepto la transacción  $t$ , para calcular el componente incremental

$\Delta P^{T}_{ij,t}$ . A este flujo se le llamará  $P^{T/t}_{ij}$ . Entonces, el componente incremental de la transacción t es:

$$\Delta P^{T}_{ij,t} = P_{ij} - P^{T/t}_{ij} \quad (3.9)$$

Para calcular el error del método, o *mismatch* se debe encontrar la diferencia entre el cambio de flujo ocasionado por todas las transacciones y la sumatoria de los cambios de flujo de cada transacción, calculadas por el componente agregado, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$T^2 \lambda_i / 4 = \Delta P_{ij} - \Delta \bar{P}_{ij} \quad (3.10)$$

Donde:

$$T^2 \lambda_i / 4 \quad \text{Mismatch o error.}$$

$$\Delta \bar{P}_{ij} = \sum_t \Delta \bar{P}_{ij,t}$$

Es la cantidad total de potencia agregada asociada a cada línea de transmisión, y es la sumatoria de todos los componentes T, agregados y calculados para cada transacción.

$$\Delta P_{ij}$$

Es el cambio en el flujo de potencia en cada línea de transmisión, ocasionado por todas las transacciones, y se

calcula como la diferencia entre el flujo del caso operacional y el flujo del caso base.

El componente menor se obtiene simplemente, distribuyendo equitativamente el mismatch entre cada transacción.

El flujo de potencia real total en cada línea de transmisión se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$TPF_{ij} = \sum_{t=1}^T \Delta \hat{P}_{ij,t} + P_{bij} \quad (3.11)$$

Donde:

$TPF_{ij}$  Es el flujo total en MW para la línea que va del nodo i al nodo j.

$\Delta \hat{P}_{ij,t}$  Es la contribución al flujo de la transacción t, calculada en la ecuación (3.7)

$P_{bij}$  Es la potencia real obtenida en el caso base para la línea de transmisión que une el nodo i con el nodo j.

### 3.1.3 Peaje en los sistemas de transporte

Para calcular con el método propuesto el peaje que los responsables de cada transacción deben pagar, se debe multiplicar la contribución al flujo de potencia que cada transacción provocó, por el costo unitario de transmisión de energía de cada línea. El cálculo debe realizarse para todas las líneas de transmisión, obteniendo de esta manera, el peaje total que los responsables de la transacción t deberán pagar por el uso del sistema de transmisión. Es importante señalar que cada línea del sistema de transmisión podrá tener un costo unitario de transmisión de energía diferente, debido a sus características de construcción, operación, o cualquier cualidad que modifique su costo. El costo de transmisión que deberá pagar el responsable de la transacción t es:

$$CT_{ij,t} = \begin{cases} cu_{ij} * \Delta \hat{P}_{ij,t} & , \text{ si } \Delta \hat{P}_{ij,t} \text{ es a favor del} \\ & \text{flujo preponderante} \\ -cu_{ij} * \Delta \hat{P}_{ij,t} & , \text{ si } \Delta \hat{P}_{ij,t} \text{ es en contra del} \\ & \text{flujo preponderante} \\ 0 & \text{si no hay cambio de} \\ & \text{flujo. } \Delta \hat{P}_{ij,t} = 0 \end{cases} \quad (3.12)$$

Donde:

$CT_{ij,t}$  Es el Peaje de Transmisión aplicable a la contribución de Potencia Real hecha por la transacción t en la línea que va desde el nodo i hacia el nodo j.

$cu_{ij}$  Es el costo unitario de transmisión de energía en la línea que une los nodos i-j y esta en \$/MWh.

Analizando la ecuación (3.12), se puede observar que si la transacción contribuye con flujo en contra del flujo preponderante en una o varias líneas del sistema, los responsables de la transacción tendrán un peaje negativo, es decir, tendrán crédito para realizar transacciones, en vez de pago debido a que estas transacciones contribuyen a eliminar la congestión de las líneas de transmisión.

El propietario de cada línea de transmisión recibirá por sus servicios prestados la suma de todos los Costos de Transmisión:

$$CT = \sum_{t=1}^T CT_{ij,t} \quad (3.13)$$

### 3.1.4 Penalizaciones a congestionamientos de líneas de transporte

Se dice que existe congestión en una línea de transmisión cuando el flujo total de la línea entre el nodo i y el nodo j  $TPF_{ij}$ , excede el límite de transmisión de la línea. La magnitud de la congestión se puede calcular de la siguiente manera:

$$LC_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{si } |TPF_{ij}| \leq LPL_{ij} \\ |TPF_{ij}| - LPL_{ij}, & \text{si } |TPF_{ij}| > LPL_{ij} \end{cases} \quad (3.14)$$

Donde:

$LC_{ij}$  Es la congestión de la línea, en MW

$LPL_{ij}$ , Es el límite de potencia de la línea, en MW.

$TPF_{ij}$  Es el flujo total de la línea o flujo neto de la línea entre el nodo i y el nodo j.

La contribución a la congestión por cada transacción es calculada de la siguiente manera:

$$CTC_{ij,t} = \frac{\Delta \hat{P}_{ij,t}}{\sum_{t=1}^T \Delta \hat{P}_{ij,t}} * LC_{ij} \quad (3.15)$$

Donde:

$CTC_{ij,t}$  Es la contribución de la transacción t a la congestión de la línea que une el nodo i con el nodo j.

$LC_{ij}$  Es la congestión de la línea, en MW

La transacción se penaliza multiplicando  $CTC_{ij,t}$  por  $CP_{ij}$  que es el precio por congestión en \$/MWh. Lo anterior se explica con la ecuación (3.16).

$$Pen_{ij,t} = CTC_{ij,t} * CP_{ij} \quad (3.16)$$

Donde:

$Pen_{ij,t}$  Es la penalización que deberán pagar los responsables de la transacción t debido a su contribución a la congestión en la línea entre el nodo i y el j

$CTC_{ij,t}$  Es la contribución de la transacción t a la congestión de la línea que une el nodo i con el nodo j.

$CP_{ij}$  Precio por congestión en \$/MWh

La penalización por causar congestión en la línea puede ser cargada a la transacción correspondiente como un sobre costo de transacción.



## 4. SIMULACIÓN

### 4.1 Construcción del modelo de 13 nodos representativo para Guatemala.

Para realizar las simulaciones de los métodos de cálculo de peaje descritos en los capítulos 2 y 3 se construye un modelo simplificado y representativo para el sistema de transmisión de Guatemala. Para lo anterior se hacen las siguientes consideraciones:

- Se escogen las principales líneas de transmisión del sistema, definidas como las líneas de 230 kV y 138 kV, con lo que se determinan los principales nodos del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.) como los nodos que son conectados por medio de las líneas principales.
- Para determinar las centrales generadoras en cada nodo del modelo representativo, se utilizan las centrales directamente conectadas al nodo. Algunas centrales generadoras no están directamente conectadas al nodo en cuestión en el S.N.I., por lo tanto en este trabajo de tesis se asume que si lo están para poder desarrollar el modelo simplificado del S.N.I., si el generador se encuentra en un nodo adyacente o cercano. Para obtener la generación de las centrales a utilizar, se utilizan posdespachos <sup>8</sup> del año 2005, obtenidos de la página de Internet del Administrador del Mercado Mayorista (AMM) [www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt).
- Una línea de transmisión en el S.N.I., no mostrada en el modelo representativo, se considera como una carga conectada a un nodo del

modelo representativo, siempre y cuando el flujo de potencia real, sea hacia fuera del nodo. El valor de la carga es la magnitud del flujo de la línea del S.N.I. no mostrada en el modelo representativo.

Para la elaboración del modelo representativo se utiliza la siguiente información:

- Flujo del S.N.I. para la demanda máxima de septiembre 2005. En la tabla LVI del apéndice se muestran los flujos de las líneas de 230 kV y 138 kV, los cuales se utilizaron como referencia.
- Informes de Transacciones Económicas (ITE) <sup>9</sup> del año 2005. En la tabla LVII, LVIII y LIX del apéndice, se muestra un ejemplo de la información utilizada, obtenida de los ITE del 2005. Los mismos pueden ser descargados de la página del Administrador del Mercado Mayorista, [www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt)
- Posdespachos <sup>8</sup> y programas de despacho de carga <sup>10</sup> del año 2005. En las tablas LX y LXI del apéndice se muestran ejemplos de los posdespachos <sup>8</sup> y programas <sup>10</sup>. Los mismos pueden ser descargados de la página [www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt)

En la tabla I se presentan las líneas principales del S.N.I. que serán utilizadas en el modelo representativo, como se mencionó anteriormente, son las líneas de 230kV y 138 kV. En la misma tabla se puede observar junto con el voltaje de cada línea, sus características de resistencia (R), reactancia (X) y susceptancia (B), en valores P.U. (por unidad) para una base de 100 MVA, longitud en kilómetros y los límites de capacidad en MVA. En la columna Lim A, se muestra la capacidad nominal de la línea, mientras que en la columna Lim B

se muestra el límite de potencia de transmisión de la línea. Por otro lado, los nodos a utilizar en el modelo representativo, son los nodos que unen las líneas de transmisión presentadas en la tabla I. Dichos nodos se describen en la tabla II.

**Tabla I. Líneas principales del S.N.I. con sus características R, X, B, en valores por unidad, longitud y sus límites**

|                    |                    | BASE 100 MVA |         |         |         | Longitud km | Lim A MVA | Lim B MVA |
|--------------------|--------------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|-----------|-----------|
| Nodo de envío      | Nodo de recibo     | kV           | R       | X       | B       |             |           |           |
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 230          | 0.00540 | 0.02799 | 0.10240 | 49.8        | 445.0     | 558.5     |
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 230          | 0.00540 | 0.02799 | 0.10240 |             | 445.0     | 558.5     |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 230          | 0.01081 | 0.05598 | 0.20480 | 76.2        | 445.0     | 558.5     |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 230          | 0.01081 | 0.05598 | 0.20480 |             | 445.0     | 558.5     |
| GUATE NORTE 230    | GUATE ESTE 230     | 230          | 0.00201 | 0.01037 | 0.03770 | 15.5        | 390.0     | 491.6     |
| GUATE NORTE 230    | GUATE SUR 230      | 230          | 0.00379 | 0.02007 | 0.07300 | 30          | 445.0     | 558.5     |
| GUATE ESTE 230     | GUATE SUR 230      | 230          | 0.00195 | 0.01009 | 0.03660 | 15          | 445.0     | 558.5     |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | 230          | 0.00571 | 0.02949 | 0.10670 | 44          | 445.0     | 558.5     |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | 230          | 0.00571 | 0.02949 | 0.10670 |             | 445.0     | 558.5     |
| GUATE SUR 230      | JURUN M 138        | 138          | 0.02320 | 0.08135 | 0.02120 | 32.4        | 133.0     | 167.6     |
| JURUN M 138        | GUATE SUR 230      | 138          | 0.02320 | 0.08135 | 0.02120 |             | 133.0     | 167.6     |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 230          | 0.00008 | 0.00042 | 0.00140 | 0.4         | 390.0     | 491.6     |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 230          | 0.00008 | 0.00042 | 0.00140 |             | 390.0     | 491.6     |
| ESCUINTLA1 230     | JURUN M 138        | 138          | 0.01001 | 0.03591 | 0.00890 | 14          | 117.0     | 147.5     |
| ESCUINTLA1 230     | LOS BRILLANTES 230 | 230          | 0.01280 | 0.06621 | 0.24030 | 99          | 390.0     | 491.6     |
| ESCUINTLA1 230     | CHIQUIMULILLA 138  | 138          | 0.04175 | 0.13948 | 0.04030 | 58.5        | 117.0     | 147.5     |
| LOS BRILLANTES 230 | LA ESPERANZA 230   | 230          | 0.00490 | 0.02290 | 0.10720 | 40.3        | 390.0     | 491.6     |
| CHIQUIMULILLA 138  | MOYUTA 138         | 138          | 0.02852 | 0.09915 | 0.02660 | 40          | 117.0     | 147.5     |
| MOYUTA 138         | PROGRESO 138       | 138          | 0.02852 | 0.09915 | 0.02660 | 40          | 117.0     | 147.5     |

**Tabla II. Nodos principales del S.N.I.**

| Nodo               | kV nominal |
|--------------------|------------|
| CHIXOY 230         | 230        |
| TACTIC 230         | 230        |
| GUATE NORTE 230    | 230        |
| GUATE ESTE 230     | 230        |
| GUATE SUR 230      | 230        |
| ESCUINTLA1 230     | 230        |
| ESCUINTLA2 230     | 230        |
| JURUN M 138        | 138        |
| LOS BRILLANTES 230 | 230        |
| LA ESPERANZA 230   | 230        |
| CHIQUIMULILLA 138  | 138        |
| MOYUTA 138         | 138        |
| PROGRESO 138       | 138        |

La tabla II muestra los 13 nodos del modelo simplificado y representativo del sistema de transmisión de Guatemala.

El siguiente paso para modelar el sistema de transmisión es encontrar las unidades generadoras y las cargas conectadas a los 13 nodos utilizados. Algunos generadores no están conectados directamente a los nodos en cuestión, sin embargo debido a su cercanía con el nodo, puede hacerse un modelo equivalente como si estuviera directamente conectado al mismo. Utilizando esta premisa y datos de generación en los posdespachos de 2005<sup>8</sup> en horario de demanda máxima, se procede a identificar a los generadores necesarios para el modelo, los cuales se muestran en la tabla III. Se utilizan datos reales del S.N.I. sin utilizar los nombres comerciales de los generadores por no contar con las autorizaciones correspondientes para publicar los nombres comerciales.

**Tabla III. Generadores utilizados en el modelo y su capacidad**

| <b>Nodo</b>        | <b>Nombre del Generador en el modelo representativo</b> | <b>Capacidad MW</b> |
|--------------------|---|---------------------|
| CHIXOY 230         | <b>G1</b>   | <b>250</b>          |
| TACTIC 230         | <b>G2</b>   | <b>40</b>           |
| TACTIC 230         | <b>G3</b>   | <b>10</b>           |
| JURUN M 138        | <b>G4</b>   | <b>45</b>           |
| ESCUINTLA1 230     | <b>G5</b>   | <b>60</b>           |
| ESCUINTLA1 230     | <b>G6</b>   | <b>100</b>          |
| ESCUINTLA2 230     | <b>G7</b>   | <b>132</b>          |
| ESCUINTLA2 230     | <b>G8</b>   | <b>32</b>           |
| ESCUINTLA2 230     | <b>G9</b>   | <b>100</b>          |
| ESCUINTLA2 230     | <b>G10</b>  | <b>100</b>          |
| ESCUINTLA2 230     | <b>G11</b>  | <b>70</b>           |
| ESCUINTLA2 230     | <b>G12</b>  | <b>150</b>          |
| LOS BRILLANTES 230 | <b>G13</b>  | <b>45</b>           |
| LA ESPERANZA 230   | <b>G14</b>  | <b>28</b>           |
|                    |   | <b>1162</b>         |

Luego se procede a encontrar los nodos que tienen cargas conectadas. Como se mencionó anteriormente, una línea de transmisión en el S.N.I., no mostrada en el modelo representativo, se considera como una carga conectada a un nodo del modelo representativo, siempre y cuando el flujo de potencia real, sea hacia fuera del nodo. El valor de la carga es la magnitud del flujo de la línea del S.N.I. no mostrada en el modelo representativo.

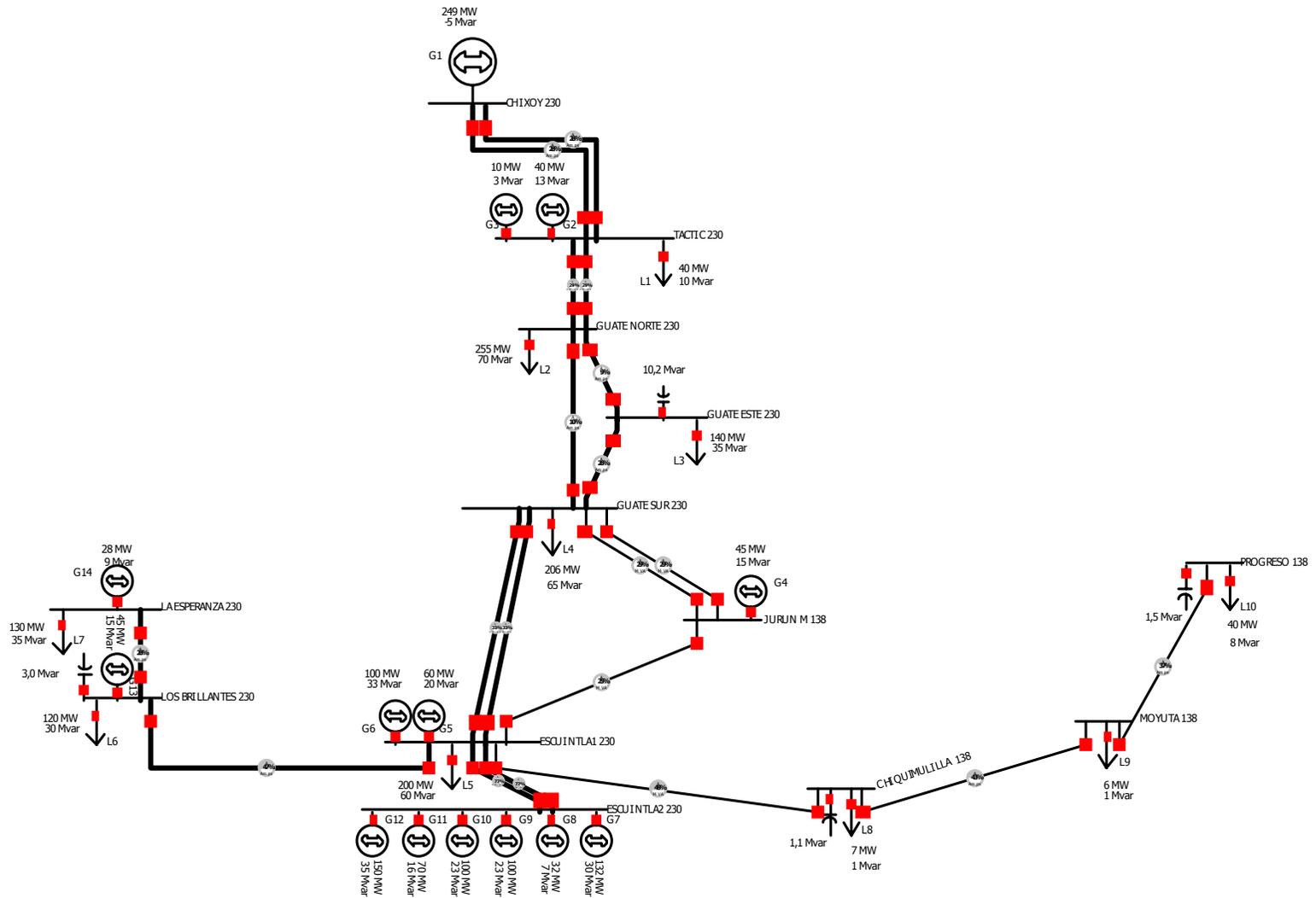
De lo anterior, se obtienen los nodos que tienen cargas conectadas y el valor de las mismas, lo cual se muestra en la Tabla IV.

**Tabla IV. Cargas en el modelo representativo**

| <b>Nodo</b>        | <b>MW</b> | <b>Mvar</b> | <b>MVA</b> |
|--------------------|-----------|-------------|------------|
| TACTIC 230         | 40.36     | 10.09       | 41.60      |
| GUATE NORTE 230    | 254.99    | 70.00       | 264.42     |
| GUATE ESTE 230     | 139.80    | 34.95       | 144.10     |
| GUATE SUR 230      | 205.76    | 64.93       | 215.76     |
| ESCUINTLA1 230     | 199.86    | 59.96       | 208.66     |
| LOS BRILLANTES 230 | 120.11    | 30.03       | 123.81     |
| LA ESPERANZA 230   | 129.96    | 34.99       | 134.59     |
| CHIQUMULILLA 138   | 6.89      | 1.48        | 7.05       |
| MOYUTA 138         | 5.91      | 0.98        | 5.99       |
| PROGRESO 138       | 40.36     | 8.07        | 41.16      |

Con los resultados anteriores, se finalizan los datos necesarios para encontrar el modelo representativo de 13 nodos del S.N.I. El modelo se muestra en la figura 2.

Figura 2. Diagrama unifilar del modelo representativo del S.N.I.



Para realizar los flujos de potencia en el modelo representativo se utiliza el programa de computadora *PowerWorld Simulator*<sup>11</sup>, versión 11.0, versión Demo. Este software fue descargado de la página [www.powerworld.com](http://www.powerworld.com), y la versión Demo tiene una limitación de 13 nodos. Esta es la razón, por la cual se utiliza un modelo representativo del S.N.I. de 13 nodos. El software tiene una plataforma gráfica, en la cual se interconectan los elementos del sistema de potencia. La utilización del software está descrita en el manual que puede ser descargado del mismo sitio.

Realizando un flujo de potencia con el software *PowerWorld Simulator*<sup>11</sup>, se obtienen los resultados mostrados en la tabla V.

**Tabla V. Resultado de un flujo de potencia en el modelo representativo, realizado con *PowerWorld Simulator*<sup>11</sup>**

| Nodo de envío      | Nodo de recibo     | MW      | Mvar   | MVA    | Lim MVA | % de MVA Limit (Max) | MW Pérdidas | Mvar Pérdidas |
|--------------------|--------------------|---------|--------|--------|---------|----------------------|-------------|---------------|
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 124.40  | -2.50  | 124.40 | 445.00  | 28.00                | 0.84        | -5.84         |
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 124.40  | -2.50  | 124.40 | 445.00  | 28.00                | 0.84        | -5.84         |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 128.40  | 6.50   | 128.50 | 445.00  | 28.90                | 1.84        | -10.28        |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 128.40  | 6.50   | 128.50 | 445.00  | 28.90                | 1.84        | -10.28        |
| GUATE NORTE 230    | GUATE ESTE 230     | 33.80   | -11.80 | 35.80  | 390.00  | 9.20                 | 0.03        | -3.43         |
| GUATE NORTE 230    | GUATE SUR 230      | -35.70  | -24.70 | 43.40  | 445.00  | 9.80                 | 0.07        | -6.58         |
| GUATE ESTE 230     | GUATE SUR 230      | -106.10 | -33.10 | 111.10 | 445.00  | 25.00                | 0.25        | -2.18         |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | -137.00 | -46.70 | 144.70 | 445.00  | 32.50                | 1.22        | -4.12         |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | -137.00 | -46.70 | 144.70 | 445.00  | 32.50                | 1.22        | -4.12         |
| GUATE SUR 230      | JURUN M 138        | -36.90  | -10.30 | 38.30  | 133.00  | 28.90                | 0.35        | -0.83         |
| JURUN M 138        | GUATE SUR 230      | 37.30   | 9.50   | 38.40  | 133.00  | 28.90                | 0.35        | -0.83         |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | -291.90 | -66.90 | 299.50 | 390.00  | 76.80                | 0.07        | 0.24          |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | -291.90 | -66.90 | 299.50 | 390.00  | 76.80                | 0.07        | 0.24          |
| ESCUINTLA1 230     | JURUN M 138        | 29.60   | 3.60   | 29.80  | 117.00  | 25.50                | 0.09        | -0.56         |
| ESCUINTLA1 230     | LOS BRILLANTES 230 | 182.10  | 29.70  | 184.50 | 390.00  | 47.30                | 4.47        | 0.17          |
| ESCUINTLA1 230     | CHIQUMULILLA 138   | 55.80   | 8.10   | 56.40  | 117.00  | 48.20                | 1.34        | 0.60          |
| LOS BRILLANTES 230 | LA ESPERANZA 230   | 102.60  | 17.30  | 104.00 | 390.00  | 26.90                | 0.59        | -6.92         |
| CHIQUMULILLA 138   | MOYUTA 138         | 47.50   | 7.20   | 48.10  | 117.00  | 41.10                | 0.71        | 0.06          |
| MOYUTA 138         | PROGRESO 138       | 40.90   | 6.10   | 41.40  | 117.00  | 35.40                | 0.55        | -0.39         |

Para determinar el grado de exactitud del modelo representativo de 13 nodos se realiza la comparación de los flujos reales del S.N.I. y los flujos obtenidos del modelo representativo.

Una medida de comparación utilizada comúnmente en datos estadísticos correspondientes a sistemas eléctricos y mercados de electricidad, es el Error Absoluto Medio Porcentual, llamado *Mean Absolute Percentage Error* cuyas siglas en inglés son MAPE. Este criterio determina el error en una predicción. En el caso del presente estudio, analiza el grado de error en los flujos del modelo representativo al compararlos con los flujos del S.N.I.

El MAPE se define en la ecuación (4.1)

$$MAPE = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| * 100 \quad (4.1)$$

Donde:

$y_i$  Son los valores de flujo de potencia del S.N.I. corridos para septiembre de 2005 y con datos de demanda máxima.

$\hat{y}_i$  Son los valores de flujo de potencia obtenidos en el modelo representativo de 13 nodos con el programa *PowerWorld*<sup>11</sup>.

n Es la cantidad de líneas de transmisión.

En la tabla VI se muestran los resultados de la evaluación del MAPE.

**Tabla VI. Cálculo del MAPE**

| Nodo de envío      | Nodo de recibo     | MVA modelo representativo | MVA S.N.I   | $\left  \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right $ |
|--------------------|--------------------|---------------------------|-------------|--|
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 124.40                    | 121.70      | 0.02219                                      |
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 124.40                    | 121.70      | 0.02219                                      |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 128.50                    | 126.00      | 0.01984                                      |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 128.50                    | 126.00      | 0.01984                                      |
| GUATE NORTE 230    | GUATE ESTE 230     | 35.80                     | 40.90       | 0.12469                                      |
| GUATE NORTE 230    | GUATE SUR 230      | 43.40                     | 48.80       | 0.11066                                      |
| GUATE ESTE 230     | GUATE SUR 230      | 111.10                    | 139.70      | 0.20472                                      |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | 144.70                    | 161.30      | 0.10291                                      |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | 144.70                    | 161.30      | 0.10291                                      |
| GUATE SUR 230      | JURUN M 138        | 38.30                     | 36.60       | 0.04645                                      |
| JURUN M 138        | GUATE SUR 230      | 38.40                     | 36.60       | 0.04918                                      |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 299.50                    | 310.20      | 0.03449                                      |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 299.50                    | 310.20      | 0.03449                                      |
| ESCUINTLA1 230     | JURUN M 138        | 29.80                     | 29.20       | 0.02055                                      |
| ESCUINTLA1 230     | LOS BRILLANTES 230 | 184.50                    | 171.40      | 0.07643                                      |
| ESCUINTLA1 230     | CHIQUMULILLA 138   | 56.40                     | 55.90       | 0.00894                                      |
| LOS BRILLANTES 230 | LA ESPERANZA 230   | 104.00                    | 96.90       | 0.07327                                      |
| CHIQUMULILLA 138   | MOYUTA 138         | 48.10                     | 46.80       | 0.02778                                      |
| MOYUTA 138         | PROGRESO 138       | 41.40                     | 40.50       | 0.02222                                      |
|                    |                    |                           | <b>MAPE</b> | <b>5.91%</b>                                 |

De la tabla anterior se pueden observar las desviaciones  $\left| (y_i - \hat{y}_i) / y_i \right|$  en cada línea de transmisión, las cuales al multiplicarlas por cien, se obtiene la desviación porcentual  $\left| (y_i - \hat{y}_i) / y_i \right| * 100$ . Por ejemplo, cada una de las dos líneas que unen los nodos Escuintla 1 – Escuintla 2 tiene una desviación porcentual de 3.45%, lo que quiere decir que el flujo del modelo representativo tiene una desviación del 3.45% con respecto al flujo del S.N.I. En la misma tabla se puede observar que el MAPE del flujo del modelo representativo de 13 nodos y el flujo de potencia del S.N.I. es de 5.91%, lo cual quiere decir que el flujo del modelo tiene una desviación del 5.91% con respecto al flujo del S.N.I., es decir, el modelo representativo tiene una exactitud del 94.09%. Considerando que el S.N.I. tiene más de 500 nodos y más de 600 líneas de

transmisión, y tomando en cuenta que el modelo representativo utiliza 13 nodos y 19 líneas de transmisión para representar el funcionamiento del sistema de transmisión del S.N.I., es decir aproximadamente un 2.6% de los nodos y un 3.2% de las líneas de transmisión, se concluye que el 94.09% de exactitud alcanzado con el modelo representativo, implica que el mismo tiene una alta aproximación al flujo real del S.N.I.

#### 4.2 Simulación del método actual de cálculo de peaje en el modelo de 13 nodos

Para hacer las simulaciones es necesario utilizar el (CAT), Costo Anual del sistema de Transmisión, como se definió en el capítulo 2 y se utiliza de la siguiente manera:

- Cada generador pagará mensualmente por el uso del sistema de transmisión una suma  $PG_{im}$  igual a la ecuación (2.5), definida en el capítulo 2.

$$PG_{im} = \frac{PF_i * CAT}{12 * \sum_{i=1}^{ng} PF_i} \quad (2.5)$$

Donde:

CAT Costo anual de transmisión, que según la resolución **CNEE-127-2005**<sup>7</sup> es de **24,362,064.53 US\$/Año**

PF<sub>i</sub> Es la Potencia Firme del generador “i”.

ng Es el número de generadores.

Para simplificación de cálculo se utiliza la capacidad de los generadores igual a la Potencia Firme. La Potencia Firme de un generador fue definida en la sección 2.1 del capítulo 2 del presente trabajo de tesis. En la tabla VII se muestra la potencia firme, obtenida de los informes de posdespacho del año 2005<sup>8</sup>.

**Tabla VII. Potencia firme**

| Nombre del Generador en el modelo | MW de Potencia Firme |
|-----------------------------------|----------------------|
| G1                                | 250                  |
| G2                                | 40                   |
| G3                                | 10                   |
| G4                                | 45                   |
| G5                                | 60                   |
| G6                                | 100                  |
| G7                                | 132                  |
| G8                                | 32                   |
| G9                                | 100                  |
| G10                               | 100                  |
| G11                               | 70                   |
| G12                               | 150                  |
| G13                               | 45                   |
| G14                               | 28                   |
| <b>Total</b>                      | <b>1162</b>          |

Como se mencionó anteriormente, el valor del CAT según la resolución **CNEE-127-2005**<sup>7</sup> es de **24,362,064.53 US\$/Año**, y repartido entre los 12 meses del año y entre los **1162 MW** de Potencia Firme del modelo representativo de 13 nodos, se obtiene **1.747 US\$/kW-mes**.

Aplicando la ecuación (2.5), se realiza la repartición mensual del CAT entre los generadores. Por ejemplo, para el generador G8 del modelo, el cual tiene 32 MW de potencia firme, su cálculo de peaje mensual, de acuerdo a la ecuación (2.5) queda de la siguiente manera:

$$PG_8 = \frac{PF_8 * CAT}{12 * \sum_{i=1}^{ng} PF_i} = \frac{32MW * 24,362,064.53US\$ / año}{12 * 1162MW} = 55,908.35US\$ / mes$$

Aplicando la misma ecuación a todos los generadores del modelo se obtienen los peajes mensuales descritos en la tabla VIII.

**Tabla VIII. Peaje calculado utilizando el método actual de cálculo**

| Nombre del Generador en el modelo | MW de Potencia Firme | Peaje                 |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|
| G1                                | 250                  | \$436,784.00          |
| G2                                | 40                   | \$69,885.44           |
| G3                                | 10                   | \$17,471.36           |
| G4                                | 45                   | \$78,621.12           |
| G5                                | 60                   | \$104,828.16          |
| G6                                | 100                  | \$174,713.60          |
| G7                                | 132                  | \$230,621.95          |
| G8                                | 32                   | \$55,908.35           |
| G9                                | 100                  | \$174,713.60          |
| G10                               | 100                  | \$174,713.60          |
| G11                               | 70                   | \$122,299.52          |
| G12                               | 150                  | \$262,070.40          |
| G13                               | 45                   | \$78,621.12           |
| G14                               | 28                   | \$48,919.81           |
| <b>Total</b>                      | <b>1162</b>          | <b>\$2,030,172.04</b> |

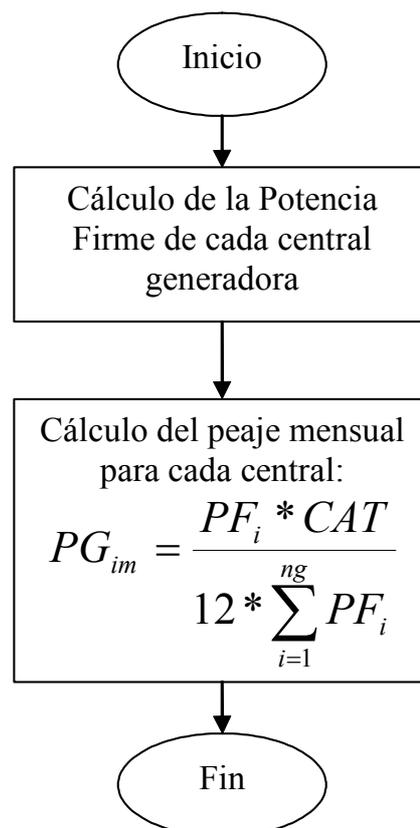
Al realizar mensualmente el cobro de este peaje, al finalizar el año, se habrá recuperado el total del CAT, es decir, **24,362,064.53 US\$/Año**.

#### **4.2.1 Algoritmo de simulación del método utilizado actualmente**

La presente sección muestra el algoritmo para el cálculo de peaje actualmente utilizado en Guatemala. La figura 3 muestra el algoritmo. Se

llevan a cabo dos pasos en el método. El primer paso es el cálculo de la Potencia Firme de cada central generadora, mientras que el segundo es repartir el valor del CAT entre cada kW de potencia firme instalado. El método actual de cálculo de peaje es simple y sencillo, simplemente asigna un peaje uniforme por cada kW de potencia firme instalado, sin importar cuanto uso se haga de la red. Puede verse la simplicidad del mismo, y por lo tanto se concluye que el método es sencillo de aplicar. Esta es la ventaja principal del método utilizado actualmente.

**Figura 3. Algoritmo del método actual de cálculo**



### **4.3 Simulación del método de cálculo de peaje basado en las contribuciones al flujo de potencia en el modelo de 13 nodos**

El objetivo de este método es determinar la trayectoria del flujo que una transacción provoca en un sistema de transmisión, por lo tanto se determina que infraestructura brinda el servicio de transporte a la transacción. De esta manera se puede establecer cuanta potencia real (y reactiva) puede ser atribuida a dicha transacción, y así calcular el peaje de transmisión que los responsables de la transacción deben pagar. Debe quedar claro que una transacción es un acuerdo económico donde un participante generador le vende cierta cantidad de MW a un participante consumidor durante un período determinado.

Para la aplicación del método se asume que existen T transacciones programadas en el sistema.

Se utilizan dos casos, como se explicó en el capítulo 3, el caso operacional y el caso base. El caso operacional es el flujo de potencia donde se toman en cuenta todas las transacciones. El caso base es el flujo de potencia inicial antes de efectuar transacciones. En el presente estudio, se toma como caso base, la demanda mínima de un día típico y la generación que generalmente es convocada a esa hora. A continuación se presentan las tablas IX, X y XI, las cuales contienen las características del caso base. Para obtener dicha información se utilizaron los posdespachos del año 2005 <sup>8</sup>, Informes de transacciones económicas del año 2005 <sup>9</sup> y para realizar los flujos se utilizó el programa *PowerWorld* <sup>11</sup>. En la tabla IX puede observarse la generación asignada a cada planta generadora durante el caso base, es decir, cuando no ha sido realizada ninguna transacción, mientras que en la tabla X se muestran las cargas del caso base. Con estos datos de generación y consumo se realiza

un flujo de potencia en el programa *PowerWorld*<sup>11</sup>, con lo cual se obtienen los datos de flujo del caso base, que se muestran en la tabla XI.

**Tabla IX. Generación de las plantas en el caso base**

| Nombre del Generador en el modelo | Gen MW CASO BASE |
|-----------------------------------|------------------|
| G1                                | 150              |
| G2                                | 40               |
| G3                                | 10               |
| G4                                | 45               |
| G5                                | 0                |
| G6                                | 100              |
| G7                                | 132              |
| G8                                | 0                |
| G9                                | 0                |
| G10                               | 0                |
| G11                               | 0                |
| G12                               | 30               |
| G13                               | 0                |
| G14                               | 28               |
| <b>Total</b>                      | <b>535</b>       |

**Tabla X. Cargas de los nodos en el caso base**

| Nodo               | MW     | Mvar  | MVA    |
|--------------------|--------|-------|--------|
| TACTIC 230         | 24.61  | 6.15  | 25.37  |
| GUATE NORTE 230    | 63.01  | 17.3  | 65.34  |
| GUATE ESTE 230     | 110.27 | 27.57 | 113.66 |
| GUATE SUR 230      | 144.72 | 45.66 | 151.75 |
| ESCUINTLA1 230     | 49.23  | 14.77 | 51.4   |
| LOS BRILLANTES 230 | 26.58  | 6.65  | 27.4   |
| LA ESPERANZA 230   | 75.81  | 20.41 | 78.51  |
| CHIQUIMULILLA 138  | 3.94   | 0.84  | 4.03   |
| MOYUTA 138         | 3.94   | 0.66  | 3.99   |
| PROGRESO 138       | 24.61  | 4.92  | 25.1   |

**Tabla XI. Flujo de potencia del caso base realizado en PowerWorld<sup>11</sup>**

| Nodo de envío      | Nodo de recibo     | MW     | Mvar   | MVA   | Lim MVA | % de MVA Limit (Max) | MW Pérdidas | Mvar Pérdidas |
|--------------------|--------------------|--------|--------|-------|---------|----------------------|-------------|---------------|
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 73.20  | -18.40 | 75.50 | 445.00  | 17.00                | 0.30        | -8.69         |
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 73.20  | -18.40 | 75.50 | 445.00  | 17.00                | 0.30        | -8.69         |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 85.60  | -10.40 | 86.20 | 445.00  | 19.40                | 0.79        | -16.22        |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 85.60  | -10.40 | 86.20 | 445.00  | 19.40                | 0.79        | -16.22        |
| GUATE NORTE 230    | GUATE ESTE 230     | 80.20  | 1.60   | 80.30 | 390.00  | 20.60                | 0.13        | -3.02         |
| GUATE NORTE 230    | GUATE SUR 230      | 26.40  | -7.20  | 27.30 | 445.00  | 6.10                 | 0.03        | -7.04         |
| GUATE ESTE 230     | GUATE SUR 230      | -30.20 | -12.40 | 32.60 | 445.00  | 7.30                 | 0.02        | -3.49         |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | -53.50 | -22.30 | 57.90 | 445.00  | 13.00                | 0.18        | -9.64         |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | -53.50 | -22.30 | 57.90 | 445.00  | 13.00                | 0.18        | -9.64         |
| GUATE SUR 230      | JURUN M 138        | -20.80 | -5.10  | 21.40 | 133.00  | 16.10                | 0.11        | -1.73         |
| JURUN M 138        | GUATE SUR 230      | 20.90  | 3.30   | 21.20 | 133.00  | 16.10                | 0.11        | -1.73         |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | -81.00 | 6.20   | 81.20 | 390.00  | 20.80                | 0.01        | -0.11         |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | -81.00 | 6.20   | 81.20 | 390.00  | 20.80                | 0.01        | -0.11         |
| ESCUINTLA1 230     | JURUN M 138        | -3.20  | 0.30   | 3.20  | 117.00  | 2.90                 | 0.00        | -0.89         |
| ESCUINTLA1 230     | LOS BRILLANTES 230 | 75.20  | -17.40 | 77.20 | 390.00  | 19.80                | 0.73        | -20.15        |
| ESCUINTLA1 230     | CHIQUIMULLILLA 138 | 33.40  | -2.50  | 33.50 | 117.00  | 28.60                | 0.47        | -2.43         |
| LOS BRILLANTES 230 | LA ESPERANZA 230   | 47.90  | -0.60  | 47.90 | 390.00  | 12.50                | 0.11        | -10.05        |
| CHIQUIMULLILLA 138 | MOYUTA 138         | 29.00  | 0.30   | 29.00 | 117.00  | 24.80                | 0.25        | -1.71         |
| MOYUTA 138         | PROGRESO 138       | 24.80  | 1.40   | 24.80 | 117.00  | 21.20                | 0.19        | -1.88         |

En base a los Informes de transacciones económicas <sup>9</sup> se obtienen las transacciones que pueden ser utilizadas para el cálculo de peaje con el método propuesto, estas transacciones se muestran en la tabla XII.

**Tabla XII. Transacciones a utilizar en la simulación del método propuesto**

| No. | Identificación del generador | Nodo del Generador | Identificación de la carga | Nodo del Comprador | MW de la transacción |
|-----|------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------|
| 1   | G1                           | CHIXOY 230         | L1                         | Tac Tic            | 16                   |
| 2   | G1                           | CHIXOY 230         | L3                         | Guate Este         | 30                   |
| 3   | G1                           | CHIXOY 230         | L4                         | Guate Sur          | 15                   |
| 4   | G1                           | CHIXOY 230         | L5                         | Escuintla 1        | 15                   |
| 5   | G1                           | CHIXOY 230         | L7                         | La Esperanza       | 3                    |
| 6   | G1                           | CHIXOY 230         | L8                         | Chiquimullilla     | 3                    |
| 7   | G1                           | CHIXOY 230         | L9                         | Moyuta             | 2                    |
| 8   | G1                           | CHIXOY 230         | L10                        | Progreso           | 16                   |
| 9   | G5                           | ESCUINTLA1 230     | L2                         | Guate Norte        | 60                   |
| 10  | G8                           | ESCUINTLA2 230     | L7                         | La Esperanza       | 32                   |
| 11  | G9                           | ESCUINTLA2 230     | L2                         | Guate Norte        | 35                   |
| 12  | G9                           | ESCUINTLA2 230     | L4                         | Guate Sur          | 20                   |
| 13  | G9                           | ESCUINTLA2 230     | L6                         | Los Brillantes     | 25                   |
| 14  | G9                           | ESCUINTLA2 230     | L7                         | La Esperanza       | 20                   |
| 15  | G10                          | ESCUINTLA2 230     | L5                         | Escuintla 1        | 100                  |
| 16  | G11                          | ESCUINTLA2 230     | L6                         | Los Brillantes     | 70                   |
| 17  | G12                          | ESCUINTLA2 230     | L2                         | Guate Norte        | 100                  |
| 18  | G12                          | ESCUINTLA2 230     | L5                         | Escuintla 1        | 20                   |
| 19  | G13                          | LOS BRILLANTES 230 | L4                         | Guate Sur          | 27                   |
| 20  | G13                          | LOS BRILLANTES 230 | L5                         | Escuintla 1        | 18                   |
|     |                              |                    |                            | <b>Total</b>       | <b>627</b>           |

En base a las transacciones anteriores, se realiza la Matriz de Transacciones Bilaterales, (BTM siglas en ingles de *Bilateral Transaction Matrix*). La BTM es una matriz, en la cual, en las columnas se encuentran ordenados todos los generadores del sistema, y en las filas se encuentran las cargas. En la posición (Generador i, Carga j), se encuentra la transacción que será efectuada en el sistema y que involucra al generador i y la carga j. De modo que la BTM contiene toda la información de las transacciones que serán realizadas.

Para la BTM del presente estudio, se ordenan los generadores y las cargas con sus números de identificación utilizados en el modelo representativo. Algunos generadores, no tienen transacciones, debido a que los mismos generan para el caso base. En la tabla XIII se presenta la BTM, donde se pueden observar todas las transacciones. Por ejemplo, en la posición (Gen5, L2) se encuentra el valor 60, es decir, la transacción será realizada entre el generador 5 y la carga 2 y será de 60 MW.

**Tabla XIII. BTM del método propuesto**

| Nodo/Gen                    | Gen 1 | Gen 2 | Gen 3 | Gen 4 | Gen 5 | Gen 6 | Gen 7 | Gen 8 | Gen 9 | Gen 10 | Gen 11 | Gen 12 | Gen 13 | Gen 14 | Dem. |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| L1                          | 16    |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        | 16   |
| L2                          |       |       |       |       | 60    |       |       |       | 35    |        |        | 100    |        |        | 195  |
| L3                          | 30    |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        | 30   |
| L4                          | 15    |       |       |       |       |       |       |       | 20    |        |        |        | 27     |        | 62   |
| L5                          | 15    |       |       |       |       |       |       |       |       | 100    |        | 20     | 18     |        | 153  |
| L6                          |       |       |       |       |       |       |       |       | 25    |        | 70     |        |        |        | 95   |
| L7                          | 3     |       |       |       |       |       |       | 32    | 20    |        |        |        |        |        | 55   |
| L8                          | 3     |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        | 3    |
| L9                          | 2     |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        | 2    |
| L10                         | 16    |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        | 16   |
| <b>Total</b>                | 100   | 0     | 0     | 0     | 60    | 0     | 0     | 32    | 100   | 100    | 70     | 120    | 45     | 0      | 627  |
| <b>Capacidad de genera.</b> | 250   | 40    | 10    | 45    | 60    | 100   | 132   | 32    | 100   | 100    | 70     | 150    | 45     | 28     |      |
| <b>Caso base</b>            | 150   | 40    | 10    | 45    | 0     | 100   | 132   | 0     | 0     | 0      | 0      | 30     | 0      | 28     |      |
| <b>Venta</b>                | 100   | 0     | 0     | 0     | 60    | 0     | 0     | 32    | 100   | 100    | 70     | 120    | 45     | 0      |      |

En la BTM de la tabla XIII también puede observarse en la última columna (Dem) la demanda de cada carga que será satisfecha por medio de las

transacciones, así mismo en la fila denominada (total), se puede apreciar la potencia que será generada para cumplir con las transacciones por parte de los generadores.

Al añadir al caso base las transacciones descritas en la BTM, se obtiene el caso operacional. En la tabla XIV se muestra la generación del caso operacional y en la tabla XV se muestran las cargas. Con estos datos se complementa la información necesaria para aplicar el método de cálculo de peaje propuesto.

**Tabla XIV. Generación en el caso operacional**

| <b>Nodo</b>        | <b>Nombre del Generador en el modelo representativo</b> | <b>Generación OPERACIONAL MW</b> |
|--------------------|---|----------------------------------|
| CHIXOY 230         | <b>G1</b>   | <b>250</b>                       |
| TACTIC 230         | <b>G2</b>   | <b>40</b>                        |
| TACTIC 230         | <b>G3</b>   | <b>10</b>                        |
| JURUN M 138        | <b>G4</b>   | <b>45</b>                        |
| ESCUINTLA1 230     | <b>G5</b>   | <b>60</b>                        |
| ESCUINTLA1 230     | <b>G6</b>   | <b>100</b>                       |
| ESCUINTLA2 230     | <b>G7</b>   | <b>132</b>                       |
| ESCUINTLA2 230     | <b>G8</b>   | <b>32</b>                        |
| ESCUINTLA2 230     | <b>G9</b>   | <b>100</b>                       |
| ESCUINTLA2 230     | <b>G10</b>  | <b>100</b>                       |
| ESCUINTLA2 230     | <b>G11</b>  | <b>70</b>                        |
| ESCUINTLA2 230     | <b>G12</b>  | <b>150</b>                       |
| LOS BRILLANTES 230 | <b>G13</b>  | <b>45</b>                        |
| LA ESPERANZA 230   | <b>G14</b>  | <b>28</b>                        |
|                    |   | <b>1162</b>                      |

**Tabla XV. Cargas del caso operacional**

| <b>Nodo</b>        | <b>MW</b> | <b>Mvar</b> | <b>MVA</b> |
|--------------------|-----------|-------------|------------|
| TACTIC 230         | 40.36     | 10.09       | 41.60      |
| GUATE NORTE 230    | 254.99    | 70.00       | 264.42     |
| GUATE ESTE 230     | 139.80    | 34.95       | 144.10     |
| GUATE SUR 230      | 205.76    | 64.93       | 215.76     |
| ESCUINTLA1 230     | 199.86    | 59.96       | 208.66     |
| LOS BRILLANTES 230 | 120.11    | 30.03       | 123.81     |
| LA ESPERANZA 230   | 129.96    | 34.99       | 134.59     |
| CHIQUMULILLA 138   | 6.89      | 1.48        | 7.05       |
| MOYUTA 138         | 5.91      | 0.98        | 5.99       |
| PROGRESO 138       | 40.36     | 8.07        | 41.16      |

#### **4.3.1 Aplicación del método propuesto**

El método propuesto analiza la influencia que una transacción bilateral puede producir en el flujo de las líneas de transmisión del sistema interconectado. El objetivo del mismo, es determinar la contribución de potencia que una transacción provoca en el sistema, es decir, el aporte en MW que se hará en cada línea de transmisión debido a cada transacción. Por otro lado, el método propuesto determina la trayectoria del flujo que una transacción provoca en un sistema de transmisión, por lo tanto se determina que infraestructura brinda el servicio de transmisión a la transacción. De esta manera se puede establecer cuanta potencia real puede ser atribuida a dicha transacción, y así calcular el peaje de transmisión que los responsables de la transacción deben pagar.

Como se mencionó en el capítulo 3, el valor de potencia real en cada línea de transmisión con el cual contribuye la transacción  $t$  se puede obtener de la ecuación (3.7).

$$\Delta \hat{P}_{ij,t} = \frac{1}{2} (\Delta P^1_{ij,t} + \Delta P^T_{ij,t}) + T\lambda_i / 4 \quad (3.7)$$

La ecuación (3.7) debe ser aplicada a todas las transacciones, empezando por la transacción 1. De la tabla XII se puede observar que en la transacción 1, el generador **G1** (en el nodo Chixoy) le vende 16 MW a la carga **L1** (en el nodo Tac Tic). Se inicia el cálculo de la ecuación (3.7) con el término  $\Delta P^1_{ij,1}$ , que es la contribución al flujo, ocasionado por la transacción 1, cuando la misma es la única en ser agregada sobre el caso base (componente marginal). Por ejemplo, para la línea de transmisión Chixoy – Tac Tic, se toma el resultado del flujo de potencia de la línea para el caso en el cual se incluye la transacción 1, y se le resta el flujo del caso base, en este caso la operación queda así:

$$\begin{aligned} \Delta P^1_{chixoy-tac.tic,1} &= \text{flujo}^{t1}_{chixoy-tac.tic,1} - \text{flujo}^{CasoBase}_{chixoy-tac.tic,1} \\ &= 81.1MW - 73.2MW \\ &= 7.9MW \end{aligned}$$

Donde:

$\Delta P^1_{chixoy-tac.tic,1}$  Es la contribución al flujo de la línea chixoy-tac tic, ocasionado por la transacción 1, cuando la misma es la única en ser agregada sobre el caso base (componente marginal).

$\text{flujo}^{t1}_{chixoy-tac.tic,1}$  Es el flujo de potencia de la línea chixoy-tac tic para el caso en el cual se ha incluido solamente la

transacción 1. Utilizando el software *PowerWorld*<sup>11</sup> se obtiene el resultado de 81.1MW.

$flujo^{CasoBase}_{chixoy-tac.tic,1}$  Es el flujo de potencia de la línea chixoy-tac tic para el caso base, es decir, sin incluir ninguna transacción. Utilizando el software *PowerWorld*<sup>11</sup> se obtiene el resultado de 73.2MW.

De esta forma se obtiene el valor 7.9 MW, para cada una de las dos líneas de transmisión que unen los nodos de chixoy y tac tic. El cálculo de  $\Delta P^1_{ij,1}$  del resto de las líneas se muestra en la tabla XVI.

**Tabla XVI. Cálculo de  $\Delta P^1_{ij,1}$**

| Nodo de envío      | Nodo de recibo     | Delta MW |
|--------------------|--------------------|----------|
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 7.90     |
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 7.90     |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 0.00     |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 0.00     |
| GUATE NORTE 230    | GUATE ESTE 230     | 0.00     |
| GUATE NORTE 230    | GUATE SUR 230      | 0.00     |
| GUATE ESTE 230     | GUATE SUR 230      | 0.00     |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | 0.00     |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | 0.00     |
| GUATE SUR 230      | JURUN M 138        | 0.00     |
| JURUN M 138        | GUATE SUR 230      | 0.00     |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 0.00     |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 0.00     |
| ESCUINTLA1 230     | JURUN M 138        | 0.00     |
| ESCUINTLA1 230     | LOS BRILLANTES 230 | 0.00     |
| ESCUINTLA1 230     | CHIQUMULILLA 138   | 0.00     |
| LOS BRILLANTES 230 | LA ESPERANZA 230   | 0.00     |
| CHIQUMULILLA 138   | MOYUTA 138         | 0.00     |
| MOYUTA 138         | PROGRESO 138       | 0.00     |

De forma similar se calcula el segundo término de la ecuación (3.7),  $\Delta P^T_{ij,1}$ , es decir, la contribución al flujo, ocasionado por la transacción 1, cuando la misma es la última en ser agregada (componente incremental).

Para este término, se debe encontrar el flujo de potencia del sistema, incluyendo todas las transacciones, excepto la transacción 1. De esta manera se obtiene el componente incremental. Los resultados se muestran en la tabla XVII.

**Tabla XVII. Cálculo de  $\Delta P^T_{ij,1}$**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Delta MW</b> |
|----------------------|-----------------------|-----------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 8.00            |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 8.00            |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 0.00            |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 0.00            |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 0.00            |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 0.00            |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 0.00            |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.00            |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.00            |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.00            |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 0.00            |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0.00            |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0.00            |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 0.00            |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.00            |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUIMULILLA 138     | 0.00            |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | 0.00            |
| CHIQUIMULILLA 138    | MOYUTA 138            | 0.00            |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0.00            |

Con los resultados de las tablas XVI y XVII se puede calcular el componente agregado, es decir el promedio de los dos términos calculados anteriormente y definido en la ecuación (3.8).

$$\Delta \bar{P}_{ij,1} = \frac{1}{2} (\Delta P^1_{ij,1} + \Delta P^T_{ij,1}) \quad (3.8)$$

Tomando otra vez como ejemplo la línea chixoy-tactic, se realiza el cálculo del componente agregado de la siguiente manera:

$$\Delta \bar{P}_{chixoy-tactic,1} = \frac{1}{2} (\Delta P^1_{chixoy-tactic,1} + \Delta P^T_{chixoy-tactic,1}) = \frac{1}{2} (7.9 + 8.0) = 7.95 MW$$

Los resultados del componente agregado de todas las líneas de transmisión se muestran en la tabla XVIII.

**Tabla XVIII. Cálculo del componente agregado de la transacción 1**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Promedio Delta MW</b> |
|----------------------|-----------------------|--------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 7.95                     |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 7.95                     |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 0.00                     |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 0.00                     |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 0.00                     |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 0.00                     |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 0.00                     |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.00                     |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.00                     |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.00                     |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 0.00                     |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0.00                     |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0.00                     |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 0.00                     |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.00                     |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0.00                     |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | 0.00                     |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0.00                     |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0.00                     |

Para encontrar las contribuciones al flujo, ocasionado por la transacción 1, el único término de la ecuación (3.7) que no ha sido calculado es el componente menor  $T\lambda_i / 4$ . Según la ecuación (3.10), para encontrar el componente menor, antes se deben encontrar todos los componentes agregados de todas las transacciones.

Como ejemplo del cálculo del componente agregado a las transacciones restantes, se muestra el cálculo del componente agregado de la transacción 17, donde el generador **G12** le vende 100 MW a la carga **L2** del nodo Guate Norte.

En las tablas XIX, XX y XXI se muestran los cálculos de  $\Delta P^1_{ij,17}$ ,  $\Delta P^T_{ij,17}$  y el componente agregado respectivamente.

**Tabla XIX. Cálculo de  $\Delta P^1_{ij,17}$ , para la transacción 17**

| Nodo de envío      | Nodo de recibo     | Delta MW |
|--------------------|--------------------|----------|
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | -0.3     |
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | -0.3     |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | -0.3     |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | -0.3     |
| GUATE NORTE 230    | GUATE ESTE 230     | -49      |
| GUATE NORTE 230    | GUATE SUR 230      | -50      |
| GUATE ESTE 230     | GUATE SUR 230      | -48.9    |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | -41.6    |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | -41.6    |
| GUATE SUR 230      | JURUN M 138        | -7.9     |
| JURUN M 138        | GUATE SUR 230      | 8        |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | -50      |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | -50      |
| ESCUINTLA1 230     | JURUN M 138        | 16       |
| ESCUINTLA1 230     | LOS BRILLANTES 230 | 0        |
| ESCUINTLA1 230     | CHIQUIMULILLA 138  | 0        |
| LOS BRILLANTES 230 | LA ESPERANZA 230   | 0        |
| CHIQUIMULILLA 138  | MOYUTA 138         | 0        |
| MOYUTA 138         | PROGRESO 138       | 0        |

Tabla XX. Cálculo de  $\Delta P^T_{ij,17}$  para la transacción 17

| Nodo de envío      | Nodo de recibo     | Delta MW |
|--------------------|--------------------|----------|
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 0.1      |
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 0.1      |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 0.1      |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 0.1      |
| GUATE NORTE 230    | GUATE ESTE 230     | -48.7    |
| GUATE NORTE 230    | GUATE SUR 230      | -49.6    |
| GUATE ESTE 230     | GUATE SUR 230      | -48.6    |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | -41.3    |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | -41.3    |
| GUATE SUR 230      | JURUN M 138        | -7.9     |
| JURUN M 138        | GUATE SUR 230      | 8        |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | -49.9    |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | -49.9    |
| ESCUINTLA1 230     | JURUN M 138        | 16       |
| ESCUINTLA1 230     | LOS BRILLANTES 230 | 0        |
| ESCUINTLA1 230     | CHIQUIMULILLA 138  | 0        |
| LOS BRILLANTES 230 | LA ESPERANZA 230   | 0        |
| CHIQUIMULILLA 138  | MOYUTA 138         | 0        |
| MOYUTA 138         | PROGRESO 138       | 0        |

$$\Delta \bar{P}_{ij,17} = \frac{1}{2} (\Delta P^1_{ij,17} + \Delta P^T_{ij,17})$$

Para el cálculo de  $\Delta \bar{P}_{ij,17}$ , el componente agregado de la transacción 17, se realiza el promedio de cada uno de los valores de las tablas XIX y XX, obteniéndose el resultado que se muestra en la tabla XXI.

**Tabla XXI. Componente agregado de la transacción 17**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Promedio Delta MW</b> |
|----------------------|-----------------------|--------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.1                     |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.1                     |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.1                     |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.1                     |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | -48.85                   |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | -49.8                    |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | -48.75                   |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -41.45                   |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -41.45                   |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | -7.9                     |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 8                        |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -49.95                   |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -49.95                   |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 16                       |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0                        |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                        |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | 0                        |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                        |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                        |

Luego de calcular los componentes agregados de todas las transacciones, se procede a encontrar el *mismatch* o error, para el cual se realizan los siguientes cálculos, según la ecuación (3.10):

$$T^2 \lambda_i / 4 = \Delta P_{ij} - \Delta \bar{P}_{ij} \quad (3.10)$$

Donde:

$$\Delta \bar{P}_{ij} = \sum_t \Delta P_{ij,t}$$

Es la cantidad total de potencia agregada asociada a cada línea de transmisión, y es la sumatoria de todos los 20 componentes agregados calculados para cada transacción.

$$\Delta P_{ij}$$

Es el cambio en el flujo de potencia en cada línea de transmisión, ocasionado por las 20 transacciones, y se calcula como la diferencia entre el flujo del caso operacional y el flujo del caso base.

Para el cálculo de la cantidad total de potencia agregada,

$$\Delta \bar{P}_{ij} = \sum_t \Delta \bar{P}_{ij,t}$$

, se suman todos los componentes agregados de cada transacción, para cada línea de transmisión. Por ejemplo, para la línea Guate Este – Guate Sur, se tienen los siguientes cálculos:

$$\Delta \bar{P}_{GuaEste-GuaSur} = \Delta \bar{P}_{GuaEste-GuaSur,1} + \Delta \bar{P}_{GuaEste-GuaSur,2} + \dots + \Delta \bar{P}_{GuaEste-GuaSur,20}$$

Donde:

$\Delta \bar{P}_{GuaEste-GuaSur,T}$  Es la potencia agregada en la línea que une los nodos Guate Este – Guate Sur, provocada por la transacción T.

El componente agregado de la transacción 1, para la línea Guate Este – Guate Sur es de 0.00MW, tal como puede apreciarse en la Tabla XVIII, mientras que el componente agregado de la transacción 17 es -48.75MW, el cual puede observarse de la Tabla XXI. El mismo procedimiento se realiza para las restantes transacciones, con lo cual se obtienen los resultados de la Tabla XXII, donde se muestra la potencia agregada, para la línea Guate Este – Guate Sur.

**Tabla XXII. Componente agregado, ocasionado por cada transacción en la línea Guate Este – Guate Sur**

| Línea Guate Este - Guate Sur |                        |
|------------------------------|------------------------|
| Transacción                  | Componente Agregado MW |
| transacción 1                | 0.00                   |
| transacción 2                | -7.55                  |
| transacción 3                | 7.25                   |
| transacción 4                | 7.20                   |
| transacción 5                | 1.50                   |
| transacción 6                | 1.50                   |
| transacción 7                | 1.05                   |
| transacción 8                | 8.40                   |
| transacción 9                | -29.30                 |
| transacción 10               | 0.45                   |
| transacción 11               | -17.05                 |
| transacción 12               | 0.00                   |
| transacción 13               | 0.25                   |
| transacción 14               | 0.30                   |
| transacción 15               | -0.75                  |
| transacción 16               | 0.70                   |
| transacción 17               | -48.75                 |
| transacción 18               | -0.15                  |
| transacción 19               | -0.55                  |
| transacción 20               | -0.45                  |
| <b>Total</b>                 | <b>-75.95</b>          |

El término  $\Delta P_{ij}$  de la ecuación (3.10), como se mencionó en la definición, es la diferencia entre el flujo de potencia del caso operacional y el caso base. Para la misma línea, (Guate Este – Guate Sur), tenemos el siguiente cálculo:

$$\begin{aligned} \Delta P_{GuaEste-GuaSur} &= P_{GuaEste-GuaSur}^{operacional} - P_{GuaEste-GuaSur}^{base} \\ &= -106.10MW - -30.20MW = -75.9MW \end{aligned}$$

Donde:

$P_{GuaEste-GuaSur}^{operacional}$  Es el resultado del flujo de potencia para el caso operacional (agregando todas las transacciones) en la línea Guate Este – Guate Sur, el cual es -106.10MW. Como se mencionó, se utiliza el programa *PowerWorld*<sup>11</sup> para realizar los flujos de potencia.

$P_{GuaEste-GuaSur}^{base}$  Es el resultado del flujo de potencia para el caso base (cuando aún no se ha agregado ninguna transacción) en la línea Guate Este – Guate Sur, el cual es -30.20MW.

De este modo, se puede calcular el *mismatch* o error en el cálculo de las contribuciones al flujo en la línea Guate Este – Guate Sur:

$$T^2 \lambda_{GuaEste-GuaSur} / 4 = -75.90MW - -75.95MW = 0.05MW$$

Como puede observarse, el error es muy pequeño, del orden del 0.63%. Aquí se demuestra la exactitud del método al obtener las contribuciones al flujo de potencia, por otro lado, esta es la razón por la cual se le llama componente menor al término  $T\lambda_i / 4$ .

Al efectuar un cálculo similar en todas las líneas de modelo representativo, se obtiene el *mismatch* para cada línea. En la tabla XXIII se muestra el cálculo de *mismatch* o error del método propuesto, aplicado al modelo representativo del S.N.I.

**Tabla XXIII. *Mismatch* del método propuesto aplicado al modelo representativo**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Mismatch MW</b> |
|----------------------|-----------------------|--------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.1500            |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.1500            |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.0500            |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.0500            |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | -0.6500            |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 0.1000             |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 0.0500             |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -0.3000            |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -0.3000            |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.0500             |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | -0.5000            |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0.0000             |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0.0000             |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | -0.2000            |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.1000             |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0.0000             |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.1000            |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0.0000             |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0.0000             |

El componente menor se obtiene simplemente, distribuyendo equitativamente el mismatch entre los componentes agregados de cada transacción. En este caso, el mismatch de cada línea se divide entre 20 (debido a que son 20 transacciones), y se añade al componente agregado de cada transacción, así se obtiene la contribución al flujo para cada transacción. El componente menor se muestra en la tabla XXIV, el cual como puede observarse, es mucho más pequeño que los valores de las contribuciones del componente agregado, con lo cual se comprueba la alta exactitud del método.

**Tabla XXIV. Componente menor en el modelo representativo**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Componente Menor MW</b> |
|----------------------|-----------------------|----------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.0075                    |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.0075                    |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.0025                    |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.0025                    |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | -0.0325                    |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 0.0050                     |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 0.0025                     |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -0.0150                    |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -0.0150                    |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.0025                     |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | -0.0250                    |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0.0000                     |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0.0000                     |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | -0.0100                    |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.0050                     |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0.0000                     |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.0050                    |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0.0000                     |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0.0000                     |

Al agregar el componente menor al componente agregado, se completa el cálculo de la ecuación (3.7), de manera que se tiene la contribución al flujo de potencia que cada transacción realiza en el modelo. En las tablas de la XXV a la XLIV se muestran las contribuciones al flujo de potencia de cada transacción.

**Tabla XXV. Contribución al flujo de la transacción No. 1**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 7.9425                          |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 7.9425                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.0025                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.0025                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | -0.0325                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 0.005                           |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 0.0025                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -0.015                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -0.015                          |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.0025                          |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | -0.025                          |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | -0.01                           |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXVI. Contribución al flujo de la transacción No. 2**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 15.3925                         |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 15.3925                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 15.1975                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 15.1975                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 22.0175                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 7.655                           |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | -7.5475                         |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.085                           |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.085                           |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | -0.0475                         |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 0.075                           |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 0.09                            |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXVII. Contribución al flujo de la transacción No. 3**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 7.6425                          |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 7.6425                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 7.5475                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 7.5475                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 7.3175                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 7.455                           |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 7.2525                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.085                           |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.085                           |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.0025                          |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 0.075                           |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 0.09                            |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXVIII. Contribución al flujo de la transacción No. 4**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 7.5925                          |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 7.5925                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 7.4975                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 7.4975                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 7.2175                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 7.355                           |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 7.2025                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 6.135                           |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 6.135                           |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 1.1025                          |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | -1.125                          |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | -2.31                           |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXIX. Contribución al flujo de la transacción No. 5**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 1.5425                          |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 1.5425                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 1.5475                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 1.5475                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 1.5175                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 1.555                           |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 1.5025                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 1.285                           |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 1.285                           |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.2525                          |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | -0.225                          |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | -0.46                           |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 3.055                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | 2.995                           |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXX. Contribución al flujo de la transacción No. 6**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 1.5925                          |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 1.5925                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 1.5475                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 1.5475                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 1.4675                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 1.555                           |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 1.5025                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 1.285                           |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 1.285                           |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.2025                          |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | -0.225                          |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | -0.46                           |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 3.05                            |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXXI. Contribución al flujo de la transacción No. 7**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 1.0925                          |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 1.0925                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 1.0475                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 1.0475                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 1.0675                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 1.055                           |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 1.0525                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.885                           |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.885                           |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.1525                          |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | -0.125                          |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | -0.31                           |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 2.15                            |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 2                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXXII. Contribución al flujo de la transacción No. 8**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 8.7925                          |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 8.7925                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 8.6975                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 8.6975                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 8.4175                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 8.605                           |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 8.4025                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 7.185                           |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 7.185                           |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 1.3025                          |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | -1.325                          |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | -2.66                           |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 17.2                            |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 16.5                            |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 16.1                            |

**Tabla XXXIII. Contribución al flujo de la transacción No. 9**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.0575                         |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.0575                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.0025                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.0025                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | -29.3325                        |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | -29.895                         |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | -29.2975                        |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -24.915                         |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -24.915                         |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | -4.6975                         |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 4.775                           |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 9.59                            |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXXIV. Contribución al flujo de la transacción No. 10**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 0.4925                          |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 0.4925                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 0.4975                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 0.4975                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 0.4675                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 0.455                           |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 0.4525                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.385                           |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.385                           |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.0525                          |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | -0.075                          |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -16                             |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -16                             |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | -0.11                           |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 32.955                          |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | 31.795                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXXV. Contribución al flujo de la transacción No. 11**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.0575                         |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.0575                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.0525                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.0525                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | -17.1325                        |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | -17.445                         |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | -17.0475                        |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -14.515                         |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -14.515                         |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | -2.7475                         |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 2.775                           |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -17.5                           |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -17.5                           |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 5.59                            |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXXVI. Contribución al flujo de la transacción No. 12**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.0075                         |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.0075                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.0025                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.0025                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 0.0175                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | -0.045                          |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 0.0025                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -8.265                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -8.265                          |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | -1.5975                         |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 1.575                           |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -10                             |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -10                             |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 3.24                            |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXXVII. Contribución al flujo de la transacción No. 13**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 0.2925                          |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 0.2925                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 0.2975                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 0.2975                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 0.2675                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 0.305                           |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 0.2525                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.235                           |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.235                           |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.0525                          |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | -0.025                          |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -12.5                           |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -12.5                           |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | -0.06                           |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 25.505                          |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | 0.045                           |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXXVIII. Contribución al flujo de la transacción No. 14**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 0.2925                          |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 0.2925                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 0.2975                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 0.2975                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 0.3175                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 0.305                           |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 0.3025                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.235                           |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.235                           |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.0525                          |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | -0.025                          |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -10                             |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -10                             |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | -0.11                           |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 20.605                          |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | 19.895                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XXXIX. Contribución al flujo de la transacción No. 15**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.7575                         |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.7575                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.7525                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.7525                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | -0.7325                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | -0.745                          |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | -0.7475                         |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -0.615                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -0.615                          |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | -0.0975                         |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 0.125                           |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -49.95                          |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -49.95                          |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 0.24                            |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XL. Contribución al flujo de la transacción No. 16**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 0.7425                          |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | 0.7425                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 0.7475                          |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | 0.7475                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | 0.7675                          |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | 0.755                           |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | 0.7025                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.635                           |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | 0.635                           |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.1525                          |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | -0.125                          |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -35                             |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -35                             |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | -0.21                           |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 71.455                          |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | 0.045                           |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XLI. Contribución al flujo de la transacción No. 17**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.1075                         |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.1075                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.1025                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.1025                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | -48.8825                        |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | -49.795                         |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | -48.7475                        |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -41.465                         |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -41.465                         |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | -7.8975                         |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 7.975                           |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -49.95                          |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -49.95                          |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 15.99                           |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XLII. Contribución al flujo de la transacción No. 18**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.1575                         |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.1575                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.1525                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.1525                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | -0.1325                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | -0.145                          |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | -0.1475                         |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -0.115                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -0.115                          |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | 0.0025                          |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 0.025                           |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -10                             |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | -10                             |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 0.04                            |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | 0.005                           |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XLIII. Contribución al flujo de la transacción No. 19**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.5575                         |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.5575                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.5525                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.5525                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | -0.5825                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | -0.595                          |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | -0.5475                         |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -11.615                         |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -11.615                         |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | -2.2475                         |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 2.225                           |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 4.49                            |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | -28.045                         |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |

**Tabla XLIV. Contribución al flujo de la transacción No. 20**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>Contribución al flujo MW</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.5075                         |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | -0.5075                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.5025                         |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | -0.5025                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | -0.4325                         |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | -0.495                          |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | -0.4475                         |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -0.415                          |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | -0.415                          |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | -0.0975                         |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | 0.075                           |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | 0                               |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | 0.14                            |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | -18.695                         |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | 0                               |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | -0.005                          |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | 0                               |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | 0                               |



MW. Es importante señalar que las líneas de transmisión provocan pérdidas, las cuales fueron tomadas en cuenta en el presente estudio. A partir del nodo Escuintla 1, el flujo toma 3 sendas importantes (se aproximaron a números enteros para simplicidad en la figura, por lo que algunos flujos pequeños fueron obviados):

- Línea Escuintla 1 – Guate Sur, circuito 1; transportando 41MW,
- Línea Escuintla 1 – Guate Sur, circuito 2; transportando 41MW y
- Línea Escuintla 1 – Jurún Marinalá; transportando 16 MW. En el nodo Jurún Marinalá del modelo, parten dos líneas de transmisión hacia el nodo Guate Sur, de modo que cada línea transporta 8MW.

En el nodo Guate Sur, el flujo toma 2 sendas:

- Línea Guate Sur – Guate Norte; transportando 50MW
- Línea Guate Sur – Guate Este; transportando 49 MW, los cuales también son transportados por la línea Guate Este – Guate Norte.

De esta manera, al nodo Guate Norte llegan 99 MW que fueron el objeto de la transacción 17, en la cual el generador G12 le vende 100MW a la Carga del nodo de Guate Norte (L2), de modo que con el método se encontró la contribución al flujo y la trayectoria del mismo que la transacción provoca.

Se puede analizar de la misma manera cualquier transacción, por ejemplo, en la figura 5 se analiza la transacción 1, en la que el generador G1 le vende 16 MW a la carga L1 del nodo Tac Tic. Las contribuciones al flujo de potencia mostradas en la tabla XXV se aproximan a números enteros (para simplificar la visión en la figura 5), por lo que algunos flujos pequeños ocasionados por el componente menor no se incluyen en la figura. Puede



utilizados en la sección 4.2 del presente capítulo, para que los dos métodos puedan ser comparados.

Como se mencionó en el capítulo 2 y en la sección 4.2 del presente capítulo, el valor del CAT según la resolución CNEE-127-2005 <sup>7</sup> es de 24,362,064.53 US\$/Año, y repartido entre los 12 meses del año se obtiene 2,030,172.044 US\$/mes. Este último valor, es el CAT mensual, el cual debe ser repartido entre todas las líneas de transmisión del modelo representativo. En este estudio se reparten los costos proporcionalmente a la longitud de cada línea (las longitudes en Km. se muestran en la tabla I), y se obtiene el resultado presentado en la tabla XLV.

**Tabla XLV. CAT dividido 12 meses y repartido entre todas las líneas de transmisión del modelo representativo**

| Líneas de Transmisión         | CAT/12 meses para cada línea US\$ |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| Chixoy - Tac Tic              | 91,066.99                         |
| Chixoy - Tac Tic              | 91,066.99                         |
| Tac Tic - Guate Norte         | 139,343.46                        |
| Tac Tic - Guate Norte         | 139,343.46                        |
| Guate Sur - Escuintla 1       | 80,460.79                         |
| Guate Sur - Escuintla 1       | 80,460.79                         |
| Guate Sur - Guate Este        | 54,859.63                         |
| Guate Norte - Guate Este      | 56,688.28                         |
| Escuintla 1 - Los Brillantes  | 362,073.56                        |
| Escuintla 1 - Jurún Marinalá  | 51,202.32                         |
| Jurún Marinalá - Guate Sur    | 59,248.40                         |
| Jurún Marinalá - Guate Sur    | 59,248.40                         |
| Escuintla 1 - Chiquimulilla   | 213,952.56                        |
| Chiquimulilla - Moyuta        | 146,292.35                        |
| Moyuta - Progreso             | 146,292.35                        |
| Guate Norte - Guate Sur       | 109,719.26                        |
| Escuintla 1 - Escuintla 2     | 731.46                            |
| Escuintla 1 - Escuintla 2     | 731.46                            |
| Los Brillantes - La Esperanza | 147,389.54                        |
| Total                         | 2,030,172.04                      |

Para que el método propuesto sea eficaz, debe cobrar de peaje mensualmente como mínimo la cantidad total que aparece en la tabla XLV.

Como siguiente paso, se dividen los costos mensuales de cada línea entre las 720 horas del mes, así se obtiene cuanto debe ser recuperado por hora. La tabla XLVI muestra los resultados de este procedimiento.

**Tabla XLVI. Costo a ser recuperado por hora en cada línea de transmisión del modelo**

| <b>Líneas de Transmisión</b>  | <b>Costo a ser recuperado por hora US\$</b> |
|-------------------------------|---|
| Chixoy - Tac Tic              | 126.48                                      |
| Chixoy - Tac Tic              | 126.48                                      |
| Tac Tic - Guate Norte         | 193.53                                      |
| Tac Tic - Guate Norte         | 193.53                                      |
| Guate Sur - Escuintla 1       | 111.75                                      |
| Guate Sur - Escuintla 1       | 111.75                                      |
| Guate Sur - Guate Este        | 76.19                                       |
| Guate Norte - Guate Este      | 78.73                                       |
| Escuintla 1 - Los Brillantes  | 502.88                                      |
| Escuintla 1 - Jurún Marinalá  | 71.11                                       |
| Jurún Marinalá - Guate Sur    | 82.29                                       |
| Jurún Marinalá - Guate Sur    | 82.29                                       |
| Escuintla 1 - Chiquimulilla   | 297.16                                      |
| Chiquimulilla - Moyuta        | 203.18                                      |
| Moyuta - Progreso             | 203.18                                      |
| Guate Norte - Guate Sur       | 152.39                                      |
| Escuintla 1 - Escuintla 2     | 1.02  |
| Escuintla 1 - Escuintla 2     | 1.02  |
| Los Brillantes - La Esperanza | 204.71                                      |
| Total                         | 2819.68                                     |

Este costo debe ser recuperado (como mínimo) por hora por medio de cada MWh transportado en las líneas de transmisión, y debe ser asignado a todas las transacciones según su contribución al flujo de potencia en cada línea.

Por otro lado, calculando el promedio de los MW transportados, obtenidos del flujo de potencia del caso base (tabla XI), se obtiene 51.51 MW, los cuales son la potencia promedio transmitida en las líneas del modelo representativo. Este valor simboliza un uso representativo de cada línea de transmisión, por lo tanto, puede dividirse el costo que debe ser recuperado por

hora en cada línea de transmisión entre 51.51 MW y así obtener el costo aproximado del MWh transmitido. El resultado del cálculo anterior se muestra en la tabla XLVII.

**Tabla XLVII. Costo del MWh transmitido en el modelo representativo**

| <b>Líneas de Transmisión</b>  | <b>Costo del MWh transmitido US\$/MWh</b> |
|-------------------------------|---|
| Chixoy - Tac Tic              | 2.46                                      |
| Chixoy - Tac Tic              | 2.46                                      |
| Tac Tic - Guate Norte         | 3.76                                      |
| Tac Tic - Guate Norte         | 3.76                                      |
| Guate Sur - Escuintla 1       | 2.17                                      |
| Guate Sur - Escuintla 1       | 2.17                                      |
| Guate Sur - Guate Este        | 1.48                                      |
| Guate Norte - Guate Este      | 1.53                                      |
| Escuintla 1 - Los Brillantes  | 9.76                                      |
| Escuintla 1 - Jurún Marinalá  | 1.38                                      |
| Jurún Marinalá - Guate Sur    | 1.60                                      |
| Jurún Marinalá - Guate Sur    | 1.60                                      |
| Escuintla 1 - Chiquimulilla   | 5.77                                      |
| Chiquimulilla - Moyuta        | 3.94                                      |
| Moyuta - Progreso             | 3.94                                      |
| Guate Norte - Guate Sur       | 2.96                                      |
| Escuintla 1 - Escuintla 2     | 0.02                                      |
| Escuintla 1 - Escuintla 2     | 0.02                                      |
| Los Brillantes - La Esperanza | 3.97                                      |

Utilizando estos costos, y multiplicándolos por los resultados de las contribuciones al flujo de potencia que cada transacción realizó, se obtienen los peajes que se deben pagar por cada transacción. Es importante reiterar que si una transacción contribuye con flujo en sentido contrario al flujo preponderante, los implicados en dicha transacción obtendrán créditos por ello, en lugar de cobros. En las tablas XLVIII a LI se muestran los resultados.

**Tabla XLVIII. Peajes obtenidos con el método propuesto para las transacciones 1 a la 5**

| Nodo de envío      | Nodo de recibo     | T1             | T2              | T3             | T4             | T5             |
|--------------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 19.50          | 37.80           | 18.77          | 18.64          | 3.79           |
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 19.50          | 37.80           | 18.77          | 18.64          | 3.79           |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | -0.01          | 57.10           | 28.36          | 28.17          | 5.81           |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | -0.01          | 57.10           | 28.36          | 28.17          | 5.81           |
| GUATE NORTE 230    | GUATE ESTE 230     | -0.05          | 33.65           | 11.18          | 11.03          | 2.32           |
| GUATE NORTE 230    | GUATE SUR 230      | -0.01          | -22.65          | -22.05         | -21.76         | -4.60          |
| GUATE ESTE 230     | GUATE SUR 230      | 0.00           | 11.16           | -10.73         | -10.65         | -2.22          |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | 0.03           | -0.18           | -0.18          | -13.31         | -2.79          |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | 0.03           | -0.18           | -0.18          | -13.31         | -2.79          |
| GUATE SUR 230      | JURUN M 138        | 0.00           | 0.08            | 0.00           | -1.76          | -0.40          |
| JURUN M 138        | GUATE SUR 230      | -0.04          | 0.12            | 0.12           | -1.80          | -0.36          |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 0.00           | 0.00            | 0.00           | 0.00           | 0.00           |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 0.00           | 0.00            | 0.00           | 0.00           | 0.00           |
| ESCUINTLA1 230     | JURUN M 138        | -0.01          | 0.12            | 0.12           | -3.19          | -0.64          |
| ESCUINTLA1 230     | LOS BRILLANTES 230 | 0.05           | 0.05            | 0.05           | 0.05           | 29.83          |
| ESCUINTLA1 230     | CHIQUMULILLA 138   | 0.00           | 0.00            | 0.00           | 0.00           | 0.00           |
| LOS BRILLANTES 230 | LA ESPERANZA 230   | -0.02          | -0.02           | -0.02          | -0.02          | 11.90          |
| CHIQUMULILLA 138   | MOYUTA 138         | 0.00           | 0.00            | 0.00           | 0.00           | 0.00           |
| MOYUTA 138         | PROGRESO 138       | 0.00           | 0.00            | 0.00           | 0.00           | 0.00           |
|                    |                    | <b>\$38.95</b> | <b>\$211.94</b> | <b>\$72.55</b> | <b>\$38.91</b> | <b>\$49.45</b> |

**Tabla XLIX. Peajes obtenidos con el método propuesto para las transacciones 6 a la 10**

| Nodo de envío      | Nodo de recibo     | T6             | T7             | T8              | T9              | T10             |
|--------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 3.91           | 2.68           | 21.59           | -0.14           | 1.21            |
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 3.91           | 2.68           | 21.59           | -0.14           | 1.21            |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 5.81           | 3.94           | 32.68           | -0.01           | 1.87            |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 5.81           | 3.94           | 32.68           | -0.01           | 1.87            |
| GUATE NORTE 230    | GUATE ESTE 230     | 2.24           | 1.63           | 12.87           | -44.84          | 0.71            |
| GUATE NORTE 230    | GUATE SUR 230      | -4.60          | -3.12          | -25.46          | 88.44           | -1.35           |
| GUATE ESTE 230     | GUATE SUR 230      | -2.22          | -1.56          | -12.43          | 43.34           | -0.67           |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | -2.79          | -1.92          | -15.59          | 54.05           | -0.84           |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | -2.79          | -1.92          | -15.59          | 54.05           | -0.84           |
| GUATE SUR 230      | JURUN M 138        | -0.32          | -0.24          | -2.08           | 7.50            | -0.08           |
| JURUN M 138        | GUATE SUR 230      | -0.36          | -0.20          | -2.12           | 7.63            | -0.12           |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 0.00           | 0.00           | 0.00            | 0.00            | 0.32            |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 0.00           | 0.00           | 0.00            | 0.00            | 0.32            |
| ESCUINTLA1 230     | JURUN M 138        | -0.64          | -0.43          | -3.67           | 13.24           | -0.15           |
| ESCUINTLA1 230     | LOS BRILLANTES 230 | 0.05           | 0.05           | 0.05            | 0.05            | 321.73          |
| ESCUINTLA1 230     | CHIQUMULILLA 138   | 17.60          | 12.40          | 99.23           | 0.00            | 0.00            |
| LOS BRILLANTES 230 | LA ESPERANZA 230   | -0.02          | -0.02          | -0.02           | -0.02           | 126.36          |
| CHIQUMULILLA 138   | MOYUTA 138         | 0.00           | 7.89           | 65.09           | 0.00            | 0.00            |
| MOYUTA 138         | PROGRESO 138       | 0.00           | 0.00           | 63.51           | 0.00            | 0.00            |
|                    |                    | <b>\$25.60</b> | <b>\$25.80</b> | <b>\$272.32</b> | <b>\$223.15</b> | <b>\$451.55</b> |

**Tabla L. Peajes obtenidos con el método propuesto para las transacciones 11 a la 15**

| Nodo de envío      | Nodo de recibo     | T11             | T12            | T13             | T14             | T15            |
|--------------------|--------------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | -0.14           | -0.02          | 0.72            | 0.72            | -1.86          |
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | -0.14           | -0.02          | 0.72            | 0.72            | -1.86          |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | -0.20           | -0.01          | 1.12            | 1.12            | -2.83          |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | -0.20           | -0.01          | 1.12            | 1.12            | -2.83          |
| GUATE NORTE 230    | GUATE ESTE 230     | -26.19          | 0.03           | 0.41            | 0.49            | -1.12          |
| GUATE NORTE 230    | GUATE SUR 230      | 51.61           | 0.13           | -0.90           | -0.90           | 2.20           |
| GUATE ESTE 230     | GUATE SUR 230      | 25.22           | 0.00           | -0.37           | -0.45           | 1.11           |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | 31.49           | 17.93          | -0.51           | -0.51           | 1.33           |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | 31.49           | 17.93          | -0.51           | -0.51           | 1.33           |
| GUATE SUR 230      | JURUN M 138        | 4.39            | 2.55           | -0.08           | -0.08           | 0.16           |
| JURUN M 138        | GUATE SUR 230      | 4.43            | 2.52           | -0.04           | -0.04           | 0.20           |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 0.35            | 0.20           | 0.25            | 0.20            | 0.99           |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 0.35            | 0.20           | 0.25            | 0.20            | 0.99           |
| ESCUINTLA1 230     | JURUN M 138        | 7.72            | 4.47           | -0.08           | -0.15           | 0.33           |
| ESCUINTLA1 230     | LOS BRILLANTES 230 | 0.05            | 0.05           | 249.00          | 201.16          | 0.05           |
| ESCUINTLA1 230     | CHIQUMULILLA 138   | 0.00            | 0.00           | 0.00            | 0.00            | 0.00           |
| LOS BRILLANTES 230 | LA ESPERANZA 230   | -0.02           | -0.02          | 0.18            | 79.07           | -0.02          |
| CHIQUMULILLA 138   | MOYUTA 138         | 0.00            | 0.00           | 0.00            | 0.00            | 0.00           |
| MOYUTA 138         | PROGRESO 138       | 0.00            | 0.00           | 0.00            | 0.00            | 0.00           |
|                    |                    | <b>\$130.20</b> | <b>\$45.93</b> | <b>\$251.25</b> | <b>\$282.13</b> | <b>-\$1.83</b> |

**Tabla LI. Peajes obtenidos con el método propuesto para las transacciones 16 a la 20**

| Nodo de envío      | Nodo de recibo     | T16             | T17             | T18            | T19              | T20              |
|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 1.82            | -0.26           | -0.39          | -1.37            | -1.25            |
| CHIXOY 230         | TACTIC 230         | 1.82            | -0.26           | -0.39          | -1.37            | -1.25            |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 2.81            | -0.39           | -0.57          | -2.08            | -1.89            |
| TACTIC 230         | GUATE NORTE 230    | 2.81            | -0.39           | -0.57          | -2.08            | -1.89            |
| GUATE NORTE 230    | GUATE ESTE 230     | 1.17            | -74.72          | -0.20          | -0.89            | -0.66            |
| GUATE NORTE 230    | GUATE SUR 230      | -2.23           | 147.31          | 0.43           | 1.76             | 1.46             |
| GUATE ESTE 230     | GUATE SUR 230      | -1.04           | 72.11           | 0.22           | 0.81             | 0.66             |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | -1.38           | 89.96           | 0.25           | 25.20            | 0.90             |
| GUATE SUR 230      | ESCUINTLA1 230     | -1.38           | 89.96           | 0.25           | 25.20            | 0.90             |
| GUATE SUR 230      | JURUN M 138        | -0.24           | 12.62           | 0.00           | 3.59             | 0.16             |
| JURUN M 138        | GUATE SUR 230      | -0.20           | 12.74           | 0.04           | 3.55             | 0.12             |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 0.69            | 0.99            | 0.20           | 0.00             | 0.00             |
| ESCUINTLA1 230     | ESCUINTLA2 230     | 0.69            | 0.99            | 0.20           | 0.00             | 0.00             |
| ESCUINTLA1 230     | JURUN M 138        | -0.29           | 22.08           | 0.06           | 6.20             | 0.19             |
| ESCUINTLA1 230     | LOS BRILLANTES 230 | 697.60          | 0.05            | 0.05           | -273.80          | -182.51          |
| ESCUINTLA1 230     | CHIQUMULILLA 138   | 0.00            | 0.00            | 0.00           | 0.00             | 0.00             |
| LOS BRILLANTES 230 | LA ESPERANZA 230   | 0.18            | -0.02           | -0.02          | -0.02            | -0.02            |
| CHIQUMULILLA 138   | MOYUTA 138         | 0.00            | 0.00            | 0.00           | 0.00             | 0.00             |
| MOYUTA 138         | PROGRESO 138       | 0.00            | 0.00            | 0.00           | 0.00             | 0.00             |
|                    |                    | <b>\$702.83</b> | <b>\$372.75</b> | <b>-\$0.46</b> | <b>-\$215.28</b> | <b>-\$185.07</b> |

Por último se presenta la tabla LII, donde se muestra el resumen de lo recaudado por las líneas de transmisión del modelo, en la hora analizada, es decir la hora de demanda máxima de un día típico del año 2005.

**Tabla LII. Peaje recaudado por cada línea de transmisión en la hora analizada**

| <b>Nodo de envío</b> | <b>Nodo de recibo</b> | <b>TOTAL</b>      |
|----------------------|-----------------------|-------------------|
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | <b>\$125.72</b>   |
| CHIXOY 230           | TACTIC 230            | <b>\$125.72</b>   |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | <b>\$160.81</b>   |
| TACTIC 230           | GUATE NORTE 230       | <b>\$160.81</b>   |
| GUATE NORTE 230      | GUATE ESTE 230        | <b>-\$70.92</b>   |
| GUATE NORTE 230      | GUATE SUR 230         | <b>\$183.72</b>   |
| GUATE ESTE 230       | GUATE SUR 230         | <b>\$112.27</b>   |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | <b>\$181.15</b>   |
| GUATE SUR 230        | ESCUINTLA1 230        | <b>\$181.15</b>   |
| GUATE SUR 230        | JURUN M 138           | <b>\$25.72</b>    |
| JURUN M 138          | GUATE SUR 230         | <b>\$26.20</b>    |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | <b>\$4.16</b>     |
| ESCUINTLA1 230       | ESCUINTLA2 230        | <b>\$4.16</b>     |
| ESCUINTLA1 230       | JURUN M 138           | <b>\$45.28</b>    |
| ESCUINTLA1 230       | LOS BRILLANTES 230    | <b>\$1,043.64</b> |
| ESCUINTLA1 230       | CHIQUMULILLA 138      | <b>\$129.22</b>   |
| LOS BRILLANTES 230   | LA ESPERANZA 230      | <b>\$217.39</b>   |
| CHIQUMULILLA 138     | MOYUTA 138            | <b>\$72.97</b>    |
| MOYUTA 138           | PROGRESO 138          | <b>\$63.51</b>    |
|                      |                       | <b>\$2,792.68</b> |

En la tabla LII puede observarse que en la hora analizada se recuperan **2,792.68US\$** para los 627MWh que fueron transportados, producto de las 20 transacciones que fueron realizadas en el modelo representativo. Extrapolando el resultado, para obtener la cantidad que se recuperaría en un año, y utilizando la generación total del año 2005 que fue de 7,242.98GWh <sup>12</sup>, se obtiene que los

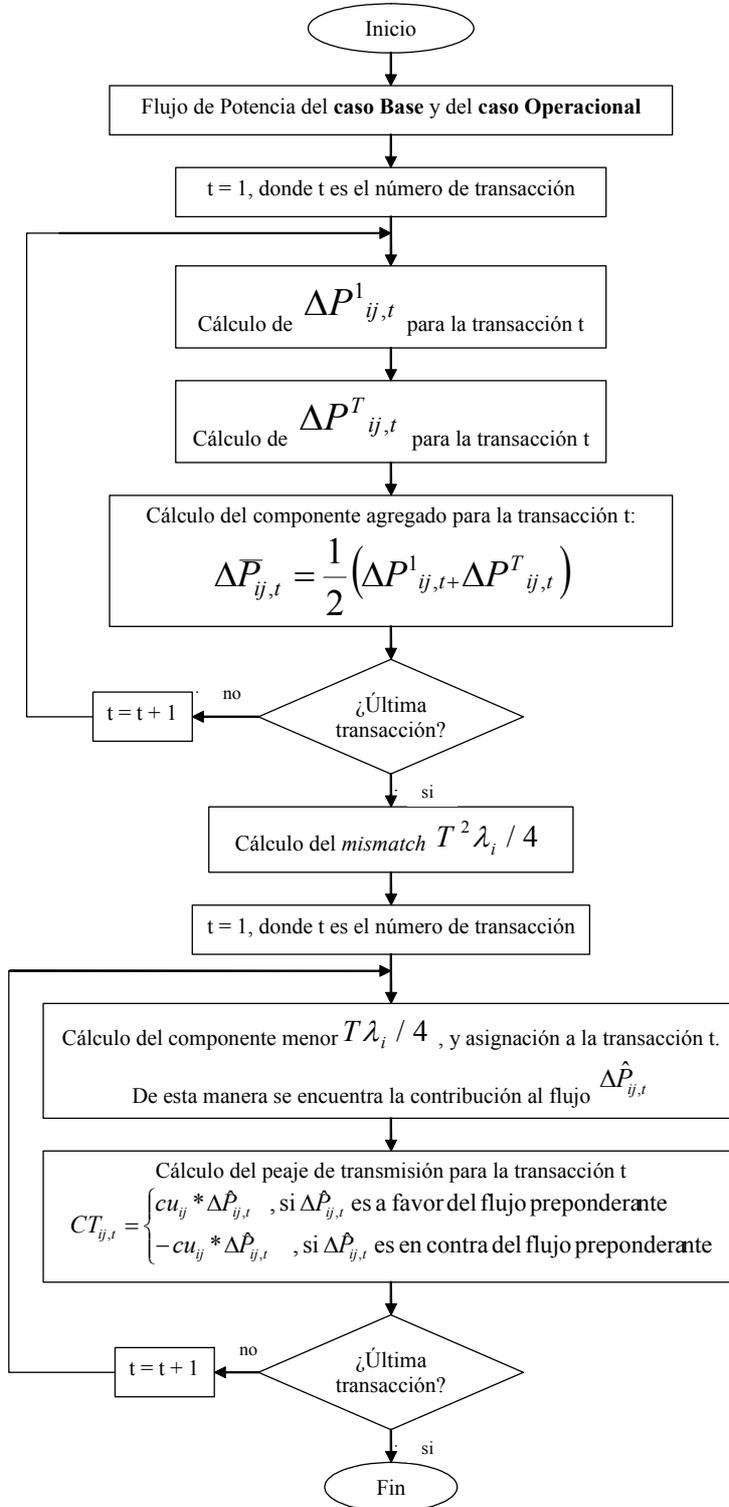
ingresos en un año con una producción similar serán **32,260,487.06US\$**. Es decir, un 132% de lo que se recupera con el método actualmente utilizado en Guatemala. Esto es una ventaja para el método propuesto, además cada año existe crecimiento de la energía demandada, por lo que el ingreso anual sería mayor, el cual podrá ser utilizado para ampliación del sistema de transporte.

### **4.3.3 Algoritmo de simulación del método propuesto**

En la presente sección se presenta el algoritmo que fue necesario seguir para realizar la simulación del método de cálculo de peaje propuesto, es decir, el método basado en las contribuciones al flujo de potencia. En la figura 6 se muestra el algoritmo. Se puede observar que el método es más complejo y requiere más cálculos que el actualmente utilizado.

Como primer paso, el cual es mostrado en el algoritmo, se necesita obtener dos flujos de potencia: el del caso operacional y el del caso base. Luego se necesitan dos flujos de potencia para cada transacción programada, para poder calcular  $\Delta P^1_{ij,t}$  y  $\Delta P^T_{ij,t}$ , con lo que se puede obtener el componente agregado, el cual es el promedio de los dos términos anteriores, es decir, el componente marginal y el componente incremental. Cuando se tienen todos los componentes agregados correspondientes a cada transacción, se puede obtener el *mismatch* y el componente menor, el cual debe ser añadido al componente agregado de cada transacción para así, encontrar las contribuciones al flujo de potencia que cada transacción realiza. Como último paso, se multiplican las contribuciones al flujo por el costo unitario de transmisión para obtener el peaje que cada transacción deberá pagar en la hora en que fue programada. Todos estos pasos son detallados en el algoritmo mostrado en la figura 6.

Figura 6. Algoritmo del método propuesto



## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Comparación de métodos

En el presente capítulo se compararán los resultados de dos los métodos simulados en el capítulo 4. Se realizan cuatro comparaciones que engloban las características de los métodos de cálculo de peaje analizados y son las siguientes:

- Valor recuperado en un año. Se realiza esta comparación para encontrar las diferencias en lo que los transportistas pueden obtener de ingresos. Es importante considerar la cantidad de ingresos que obtendrán los transportistas, ya que los fondos pueden ser utilizados en expansión de la red.
- Peaje que paga cada generador. Se comparan los peajes que debe pagar cada generador con cada método y se analizan las diferencias entre los pagos. El peaje que cada generador pagará envía ciertas señales que pueden fomentar el uso eficiente del sistema de transmisión.
- Ingreso obtenido por cada línea de transmisión. Se comparan los ingresos que cada línea de transmisión obtiene con cada método y se analizan las diferencias. Es significativo realizar esta comparación, ya que si las líneas de transmisión obtienen ingresos adecuados, se puede promover la expansión eficiente del sistema de transmisión.

- Complejidad del método. Se analiza la complejidad que cada método tiene para la aplicación del cálculo de peaje.

### 5.1.1 Comparación del valor recuperado en un año

Con el método actual de peaje, se recupera en un año el valor del CAT exactamente, es decir 24,362,064.53 US\$/Año, lo cual significa que en un año no podrá recuperar una cantidad mayor de la del CAT. Por otro lado, con el método propuesto en la presente tesis, se recuperaría en un año 32,260,487.06 US\$/Año. Esto quiere decir que se recupera un 132% de lo que se obtiene con el método actual de cálculo de peaje. Se puede observar el resumen de la comparación, en la tabla LIII

**Tabla LIII. Comparación de los valores recuperados en un año**

|                         | <b>Valor<br/>Recuperado<br/>US\$/Año</b> | <b>%</b> |
|-------------------------|--|----------|
| <b>Método actual</b>    | 24,362,064.53                            | 100%     |
| <b>Método propuesto</b> | 32,260,487.06                            | 132%     |

Es importante destacar que el método propuesto puede recuperar una cantidad mayor, si el volumen de las transacciones aumenta, ya que mientras más se utilice la red, mayores serán los ingresos que obtendrá el transportista. Estos ingresos pueden ser invertidos en nueva infraestructura que sirva de soporte para la creciente demanda en el servicio de transmisión y para evitar la congestión de algunas líneas actualmente congestionadas. Mientras que el método actual siempre recupera la misma cantidad. Esta es una clara ventaja del método propuesto sobre el actualmente utilizado, ya que una de las

principales características del sistema de transmisión de Guatemala es la falta de inversión por falta de fondos.

### 5.1.2 Comparación del pago de peaje que realizan los generadores

Para comparar el pago que realizan los generadores, se establece como punto de comparación una hora de demanda máxima de un día típico del año, es decir, la hora utilizada en la simulación para el método propuesto, junto con la potencia vendida por medio de las 20 transacciones. Para el método utilizado actualmente, no importa que hora del mes se utilice, ya que se paga lo mismo por hora.

En la tabla LIV se muestra la comparación de los peajes que deberán pagar los generadores en la hora en cuestión. En la columna del peaje calculado utilizando el método actual, se obtuvo el valor de peaje horario, dividiendo los valores de la tabla VIII dentro de las 720 horas del mes.

**Tabla LIV. Comparación de peajes que pagan los generadores**

| Nombre del Generador en el modelo | Peaje horario método actual | Peaje en la hora analizada método propuesto |
|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| G1                                | \$606.64                    | \$735.52                                    |
| G2                                | \$97.06                     | \$0.00                                      |
| G3                                | \$24.27                     | \$0.00                                      |
| G4                                | \$109.20                    | \$0.00                                      |
| G5                                | \$145.59                    | \$223.15                                    |
| G6                                | \$242.66                    | \$0.00                                      |
| G7                                | \$320.31                    | \$0.00                                      |
| G8                                | \$77.65                     | \$451.55                                    |
| G9                                | \$242.66                    | \$709.51                                    |
| G10                               | \$242.66                    | -\$1.83                                     |
| G11                               | \$169.86                    | \$702.83                                    |
| G12                               | \$363.99                    | \$372.29                                    |
| G13                               | \$109.20                    | -\$400.35                                   |
| G14                               | \$67.94                     | \$0.00                                      |

Puede observarse en la tabla LIV que son muy diferentes los pagos de peaje que los generadores realizan. Por ejemplo, el generador G8 pagaría 451.55 US\$ con el método propuesto, sin embargo, con el método actual, se le asignaría un peaje de 77.65 US\$. Por otro lado, las transacciones del generador G13 contribuyen a reducir congestiones en las líneas durante la hora analizada (la hora de demanda máxima de un día típico del año 2005), por lo que obtiene créditos en lugar de cobros, ya que se le asigna -400.35 US\$ con el método propuesto, mientras que el método actual le asigna un peaje de 109.20 US\$. Además, hay generadores que no participan en ninguna de las 20 transacciones analizadas, por lo que con el método propuesto, no les corresponde ningún pago, no obstante con el cálculo realizado con el método actual, se les asignan peajes mayores a cero.

Estas comparaciones nos muestran que la utilización que los generadores hacen de la red no se refleja en el peaje calculado utilizando el método actual, ya que hay algunos que utilizan más el sistema de transmisión que otros, y viceversa. El método propuesto asigna un peaje adecuado a la utilización del sistema de transmisión, por lo tanto se puede decir que el método basado en las contribuciones al flujo de potencia envía la señal a los generadores para ubicarse en puntos de la red donde contribuyan a la reducción del flujo, es decir, se envía la señal de la ubicación de centrales generadoras para el uso eficiente del sistema de transmisión, lo cual es una ventaja importante.

Por otro lado, utilizando el método propuesto, uno de los beneficiados principales es el usuario consumidor, ya que éste pagará una tarifa, con un cargo de peaje acorde a la utilización que la distribuidora que le brinda el servicio hace de la red. El usuario consumidor también se beneficia cuando el

sistema de transmisión se expande eficientemente, brindando seguridad y calidad del suministro de energía.

### 5.1.3 Comparación del valor recuperado por cada línea de transmisión

Otra comparación que se realizará en el presente trabajo de tesis es el valor que recupera cada línea de transmisión en la hora analizada, con las 20 transacciones programadas. En la tabla LV se muestran los ingresos. El ingreso recuperado por hora con el método actual de cálculo de peaje, fue expuesto en la tabla XLVI, en el capítulo 4.

**Tabla LV. Ingreso que recupera cada línea de transmisión**

| <b>Líneas de Transmisión</b>  | <b>Ingreso Método Actual</b> | <b>Ingreso Método propuesto</b> |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Chixoy - Tac Tic              | \$126.48                     | \$125.72                        |
| Chixoy - Tac Tic              | \$126.48                     | \$125.72                        |
| Tac Tic - Guate Norte         | \$193.53                     | \$160.81                        |
| Tac Tic - Guate Norte         | \$193.53                     | \$160.81                        |
| Guate Sur - Escuintla 1       | \$111.75                     | \$181.15                        |
| Guate Sur - Escuintla 1       | \$111.75                     | \$181.15                        |
| Guate Sur - Guate Este        | \$76.19                      | \$112.27                        |
| Guate Norte - Guate Este      | \$78.73                      | -\$70.92                        |
| Escuintla 1 - Los Brillantes  | \$502.88                     | \$1,043.64                      |
| Escuintla 1 - Jurún Marinalá  | \$71.11                      | \$45.28                         |
| Jurún Marinalá - Guate Sur    | \$82.29                      | \$25.72                         |
| Jurún Marinalá - Guate Sur    | \$82.29                      | \$26.20                         |
| Escuintla 1 - Chiquimulilla   | \$297.16                     | \$129.22                        |
| Chiquimulilla - Moyuta        | \$203.18                     | \$72.97                         |
| Moyuta - Progreso             | \$203.18                     | \$63.51                         |
| Guate Norte - Guate Sur       | \$152.39                     | \$183.72                        |
| Escuintla 1 - Escuintla 2     | \$1.02                       | \$4.16                          |
| Escuintla 1 - Escuintla 2     | \$1.02                       | \$4.16                          |
| Los Brillantes - La Esperanza | \$204.71                     | \$217.39                        |

Puede observarse en la tabla LV que los ingresos que se obtienen en algunas líneas de transmisión son muy diferentes. Por ejemplo, la línea de transmisión Escuintla 1 – Los Brillantes obtiene un ingreso de 502.88 US\$ con el método de cálculo actual, mientras que obtendría 1,043.64 US\$ con el método basado en las contribuciones al flujo de potencia. Esta es una diferencia importante, ya que con el método propuesto se remuneran las líneas de transmisión proporcionalmente a la utilización que los participantes le den. En este caso, en la hora analizada, la línea Escuintla 1 – Los Brillantes es muy utilizada, por lo que recibe un mayor ingreso con el método propuesto.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, en el método propuesto, cuando las transacciones provocan que el flujo de potencia disminuya en una línea, los responsables de la transacción obtienen créditos en lugar de cobros. Si en una línea específica, el flujo del caso operacional es menor al del caso base, quiere decir que las transacciones contribuyen a la reducción del flujo, es decir, contribuyen a descongestionar la línea, por lo tanto reciben crédito por parte del dueño de dicha línea. Este es el caso de la línea Guate Norte – Guate Este, que con el método propuesto se le asigna un ingreso de -70.92 US\$, lo que quiere decir que el ingreso neto, otorga crédito a los responsables de las transacciones que contribuyen a eliminar la congestión. Esto quiere decir que el método propuesto envía la señal de que se construyan líneas de transmisión necesarias para el sistema, ya que si alguna línea no tiene utilidad en la red, la misma no recibirá ingresos. De modo que el método propuesto propicia la expansión eficiente del sistema de transmisión.

El flujo del caso operacional en la línea Guate Norte – Guate Este, es menor al del caso base en la misma línea, por lo que al aplicar el método propuesto se obtiene como resultado que los ingresos de la línea sean negativos. Esto no quiere decir que la línea no tenga utilidad, ya que la misma

obtendría ingresos positivos en diferentes horas del día, ocasionados por el aumento del flujo de potencia en dicha línea en otros períodos del día.

#### 5.1.4 Comparación de la complejidad de aplicar cada método

Al observar los algoritmos para realizar el cálculo de peaje con ambos métodos (figura 3 y 6 presentadas en el capítulo 4 de este trabajo de tesis), se puede notar a simple vista que existe una diferencia de complejidad.

El método actual de cálculo de peaje es simple y sencillo. Básicamente consta de dos pasos: en el primer paso se calcula la potencia firme de cada central generadora, y en el segundo paso se asigna un peaje a cada generador, es cual es el CAT dividido entre los doce meses del año y repartido proporcionalmente a la potencia firme de cada generador. De modo que el método simplemente asigna un peaje uniforme por cada kW de potencia firme instalado, sin importar cuanto uso se haga de la red. Además el cálculo se realiza solamente una vez al mes. Esta es la principal ventaja del método actual de cálculo de peaje, su sencillez de aplicación.

Por otro lado, el método basado en las contribuciones al flujo de potencia, es más complejo y requiere más pasos para llevarse a cabo (figura 6). Primero, se necesitan obtener dos flujos de potencia: el del caso operacional y el del caso base. Luego se necesitan dos flujos de potencia para cada transacción programada, para el cálculo de  $\Delta P^1_{ij,t}$  y  $\Delta P^T_{ij,t}$ , con lo que se puede calcular el componente agregado. Cuando se tienen todos los componentes agregados, se puede obtener el *mismatch* y el componente menor, el cual debe ser añadido al componente agregado de cada transacción para así, encontrar las contribuciones al flujo de potencia que cada transacción realiza. Por último, se multiplican las contribuciones al flujo por el costo unitario

de transmisión para obtener el peaje que cada transacción deberá pagar en la hora en que fue programada. Además, el procedimiento debe ser realizado cada hora del mes (720 veces al mes), por lo que hace que la aplicación del método propuesto requiera mucho más trabajo que el método de cálculo actual. Esta es la principal desventaja del método propuesto, sin embargo, en la actualidad, existen herramientas computacionales muy poderosas, las cuales pueden utilizarse y programarse para realizar el cálculo de peaje con el método propuesto, por lo que se considera factible la implementación del método propuesto.

Las conclusiones del presente trabajo de graduación se encuentran a continuación.

## CONCLUSIONES

1. Una de las principales ventajas del método de cálculo de peaje basado en las contribuciones al flujo de potencia, es que al cobrar los peajes se recuperaría en un año 32,260,487.06 US\$/Año. Esto quiere decir que se recupera un 132% de lo que se obtiene con el método actual de cálculo de peaje.
2. Al considerar que una de las características del sistema de transmisión de Guatemala es la ausencia de inversión por falta de fondos, se concluye que el método de cálculo de peajes basado en las contribuciones al flujo de potencia es superior al método que actualmente es utilizado, ya que al cobrar peajes calculados con el método propuesto, se puede recuperar una cantidad mayor cada año, sí el volumen de las transacciones aumenta, ya que mientras más se utilice la red, mayores serán los ingresos que obtendrá el transportista. Estos ingresos pueden ser invertidos en nueva infraestructura que sirva de soporte para la creciente demanda en el servicio de transmisión y para evitar la congestión de algunas líneas actualmente congestionadas.
3. La utilización que los generadores hacen de la red no se refleja en el peaje calculado utilizando el método actual. Algunos utilizan más el sistema de transmisión que otros, viceversa, sin embargo, el cobro por kW de potencia firme instalada es igual para todos.
4. El método de cálculo de peaje basado en las contribuciones al flujo de potencia asigna un peaje adecuado a la utilización del sistema de transmisión, por lo tanto, se puede decir que el método basado en las

contribuciones al flujo de potencia envía la señal a los generadores para ubicarse en puntos de la red donde contribuyan a la reducción del flujo, es decir, se envía la señal de la ubicación de centrales generadoras para el uso eficiente del sistema de transmisión, lo cual es una ventaja importante sobre el método actual.

5. Con el método de cálculo de peaje basado en las contribuciones al flujo de potencia, se remunerarán las líneas de transmisión proporcionalmente a la utilización que los participantes le den. El método propuesto envía la señal de que se construyan líneas de transmisión necesarias para el sistema, ya que si alguna línea no tiene utilidad en la red, la misma no recibirá ingresos. De modo que el método propuesto propicia la expansión eficiente del sistema de transmisión, ofreciendo una gran ventaja para el sistema de transmisión de Guatemala, al compararlo con el método actual.
6. La principal ventaja del método actual de cálculo de peaje sobre el método propuesto es su sencillez de aplicación. El método basado en las contribuciones al flujo de potencia, es más complejo y requiere más pasos para llevarse a cabo. Además, el procedimiento debe ser realizado cada hora del mes (unas 720 veces al mes), por lo que la aplicación del método propuesto requiere mucho más trabajo que el método de cálculo actual. Sin embargo, en la actualidad, existen herramientas computacionales muy poderosas, las cuales pueden utilizarse y programarse para realizar el cálculo de peaje con el método propuesto, por lo que se considera factible la implementación del método propuesto y se considera que esta desventaja es superable.

## RECOMENDACIONES

1. Determinar las herramientas computacionales necesarias para la implementación de un sistema de peajes basado en las contribuciones al flujo de potencia.
2. Desarrollar las herramientas de *software* que deberá utilizar el método de cálculo de peaje basado en las contribuciones al flujo de potencia.
3. Al implementarse un sistema de peajes basado en las contribuciones al flujo de potencia, debe determinarse el tiempo requerido para el cálculo, y coordinar su cálculo para que pueda ser publicado a tiempo y sin retrasos.
4. Al implementarse un sistema de peajes basado en las contribuciones al flujo de potencia debe desarrollarse al respecto una normativa clara y objetiva, con reglas explícitas que no contengan ambigüedades, de modo que cualquier participante del mercado eléctrico pueda reproducir los cálculos.
5. Actualizar constantemente la base de datos que contenga las características del S.N.I, para que pueda ser utilizada en el método de cálculo de peaje basado en las contribuciones al flujo de potencia, ya que cualquier cambio en la red afecta el cálculo de peaje.



## REFERENCIAS

1. **Ley General de Electricidad**, Decreto 93-96. Puede ser descargada de la página <http://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/leyfinal.pdf>
2. **Norma de Coordinación Comercial No. 9**, Resolución 157-06 del AMM. Puede ser descargada de la página <http://www.amm.org.gt/pdfs/normas/ncc-09.pdf>
3. Santizo, Miguel. **Métodos de Asignación de Costos del Sistema de Transporte**, Tesis Ing. Eléctrica, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Enero de 2004, 111 pp.
4. J. J. Ruiz, H. Kita, E. Tanaka, J. Hasegawa, **MARKET MECHANISM FOR LINE CONGESTION CLEARANCE**. *IEEJ Transactions on Power and Energy*, Vol. 123-B No. 8, pp. 935-946, Agosto 2003.
5. M. E. Baran, V. Banunarayanan, y K. E. Garren, **A TRANSACTION ASSESSMENT METHOD FOR ALLOCATION OF TRANSMISSION SERVICES**. *IEEE Trans. Power Systems*, Vol. 14, pp. 920-927, Agosto 1999.
6. **Norma de Coordinación Comercial No. 2**, original, resolución del AMM 216-01. Puede ser descargada de la página <http://www.amm.org.gt/pdfs/normas/ncc-02.pdf>
7. **Resolución CNEE-127-2005**, emitida el 11 de octubre de 2005 y publicada en el Diario de Centro América el 14 de octubre de 2005. Puede ser descargada de la página <http://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2005/127-2005.PDF>
8. **Posdespachos**. Informes con datos sobre la generación de cada central diaria. Pueden ser descargados de la página [www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt)
9. **Informe de Transacciones Económicas (ITE)**. Informes mensuales que contienen los resultados económicos de la operación del Mercado Mayorista en el mes en cuestión. Pueden ser descargados de la página [www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt)

10. **Programas de despacho de carga.** Informes con datos programados sobre la generación de cada central diaria. Pueden ser descargados de la página [www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt)
11. **PowerWorld Simulator**, versión 11.0, versión Demo, con una limitación de 13 nodos. Puede ser descargado de la página <http://www.powerworld.com/downloads/demosoftware.asp>
12. **Generación total del año 2005, de 7,242.98GWh.** Dato obtenido del Informe Estadístico del 2005, emitido por el Administrador del Mercado Mayorista. Puede ser descargados de la página [www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt)

## BIBLIOGRAFÍA

1. Baran, Mesut y Banunarayanan, Venkat. ***A Transaction Assessment Method for Allocation of Transmission Services***. IEEE, *Transactions on Power Systems*, Vol. 14, No. 3, páginas 920 – 927, Agosto 1999.
2. Danitz, Francisco. Métodos de Asignación de Peajes de los Sistemas de Transmisión Eléctrica según el Uso de la Red. Tesis, Ing. Civil de Industrias con mención en Electricidad. Chile. Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería, 2001. 183 pp.
3. Rubio, Francisco. Metodología de Asignación de Costes de la Red de Transporte en un Contexto de Regulación Abierta a la Competencia. Tesis Doctoral. España. Universidad Pontificia Comillas de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 1999. 296 pp.
4. Ruiz, Jose y Kita Hiroyuki. ***Market Mechanism for Line Congestion Clearance***. IEEJ *Transactions on Power and Energy*, Vol. 123-B No. 8, pp. 935-946, Agosto 2003.
5. Santizo, Miguel. Métodos de Asignación de Costos del Sistema de Transporte. Tesis Ing. Eléctrica. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 111 pp.
6. Ting, Yen. *Electricity Market Transmission System Pricing: Financial Flow Technique*. Tesis Ing. Eléctrica. Universidad de Queensland, Escuela de Tecnología de la Información e Ingeniería Eléctrica, 2003. 65 pp.



## APÉNDICE

En el apéndice se muestran tablas con ejemplos de la información utilizada para la elaboración del modelo representativo de 13 nodos del Sistema Nacional Interconectado.

En la tabla LVI se muestra el flujo del S.N.I. de las líneas de 230 kV y 138 kV, corrido para septiembre de 2005. Se muestran los datos desplegados por el programa de flujo, donde se corrió el S.N.I., con los datos de demanda máxima para septiembre de 2005. En la primer columna se muestra el código de la línea de transmisión.

**Tabla LVI. Flujo de septiembre de 2005, para demanda máxima en líneas principales del S.N.I.**

| Línea de transmisión                 | MVA    |
|--------------------------------------|--------|
| 1102 ALB-230 230 1106 ESC-231 230 1  | 272.7  |
| 1102 ALB-230 230 1106 ESC-231 230 2  | 310.2  |
| 1103 CHX-231 230 1444 TIC-231 230 1  | 121.7  |
| 1103 CHX-231 230 1444 TIC-232 230 2  | 121.7  |
| 1106 ESC-231 230 1109 GSU-231 230 1  | 161.3  |
| 1106 ESC-231 230 1109 GSU-231 230 2  | 161.3  |
| 1106 ESC-231 230 1110 LBR-231 230 1  | 171.4  |
| 1107 GES-231 230 1108 GNO-231 230 1  | -40.9  |
| 1107 GES-231 230 1109 GSU-231 230 1  | -139.7 |
| 1108 GNO-231 230 1109 GSU-231 230 1  | -48.8  |
| 1108 GNO-231 230 1444 TIC-231 230 1  | -126.0 |
| 1108 GNO-231 230 1444 TIC-232 230 2  | -126.0 |
| 1110 LBR-231 230 1119 ESP-230 230 1  | 96.9   |
| 1113 ESC-138 138 1115 JUR-138 138 1  | 29.2   |
| 1113 ESC-138 138 1423 CLL-138 138 1  | 55.9   |
| 1114 GSU-138 138 1115 JUR-138 138 2  | -36.6  |
| 1114 GSU-138 138 1122 PAL-138T 138 1 | -36.5  |
| 1115 JUR-138 138 1122 PAL-138T 138 1 | 36.5   |
| 1434 MOY-138 138 1422 PRO-138 138 1  | 40.5   |
| 1423 CLL-138 138 1434 MOY-138 138 1  | 46.8   |

En la tabla LVII, LVIII y LIX se muestran un resumen de las planillas de contratos publicado en el informe de transacciones económicas de septiembre del 2005.

### Tabla LVII. Resumen de Planillas de contratos en el Mercado Mayorista, parte 1.



Resumen de Planillas de Contratos  
Periodo del 01-09-2005 al 30-09-2005

Módulo: Transacciones Económicas  
Usuario: BYRON  
Fecha: 18-10-05 04:01 PM  
Reporte: TRA\_PlanillaVFRango

#### Administrador del Mercado Mayorista

| Tipo 2 |   |   |         |          |
|--------|---|---|---------|----------|
| No     | Agente Vendedor                               | Agente Comprador                                    | Nodo    | Potencia |
| 36     | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A. | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.       | CGU-69  | 48,000   |
| 37     | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A. | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.       | GSU-231 | 1,300    |
| 38     | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A. | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.       | GSU-231 | 24,865   |
| 39     | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A. | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.       | GSU-231 | 33,865   |
| 40     | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A. | MAYORISTAS DE ELECTRICIDAD, S.A.                    | GSU-231 | 2,500    |
| 41     | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A. | MAYORISTAS DE ELECTRICIDAD, S.A.                    | GSU-231 | 2,100    |
| 42     | INVERSIONES PASABIÉN, S.A.                    | RAFIAS Y EMPAQUES DEL ISTMO, S. A. [F-56422]        | PAS-69  | 980      |
| 43     | INVERSIONES PASABIÉN, S.A.                    | RAFIAS Y EMPAQUES DEL ISTMO, S. A. [J-38329]        | PAS-69  | 325      |
| 44     | INVERSIONES PASABIÉN, S.A.                    | RAFIAS Y EMPAQUES DEL ISTMO, S. A. [S-56505]        | PAS-69  | 285      |
| 45     | INVERSIONES PASABIÉN, S.A.                    | RAFIAS Y EMPAQUES DEL ISTMO, S. A. [S-56746]        | PAS-69  | 210      |
| 46     | POLWATT, LIMITADA                             | CENTRAL COMERCIALIZADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA, S.A. | GSU-231 | 4,000    |
| 47     | POLWATT, LIMITADA                             | CENTRAL COMERCIALIZADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA, S.A. | GSU-231 | 1,000    |
| 48     | POLWATT, LIMITADA                             | MAYORISTAS DE ELECTRICIDAD, S.A.                    | GSU-231 | 11,000   |
| 49     | POLWATT, LIMITADA                             | MAYORISTAS DE ELECTRICIDAD, S.A.                    | GSU-231 | 4,000    |

Total del tipo 2 : 22

| Tipo 3 |   |   |         |          |
|--------|---|---|---------|----------|
| No     | Agente Vendedor   | Agente Comprador                                    | Nodo    | Potencia |
| 50     | CENTRAL AGRO INDUSTRIAL GUATEMALTECA, SOCIEDAD ANONIMA      | EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.                | MTI-69  | 16,500   |
| 51     | CENTRAL GENERADORA ELÉCTRICA SAN JOSE, LIMITADA             | EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.                | SJO-230 | 120,000  |
| 52     | COMPANIA AGRÍCOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A.                | EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.                | SAA-69  | 27,500   |
| 53     | CONCEPCIÓN, S.A.  | EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.                | CON-69  | 22,000   |
| 54     | DUKE ENERGY INTERNATIONAL GUATEMALA Y CIA SOC. EN COMANDITA | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.       | GSU-691 | 15,000   |
| 55     | DUKE ENERGY INTERNATIONAL GUATEMALA Y CIA SOC. EN COMANDITA | EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.                | GSU-691 | 147,699  |
| 56     | ELECTROGENERACION S. A.                                     | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.       | GSU-691 | 14,988   |
| 57     | INGENIO LA UNIÓN, S.A.                                      | EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.                | LUN-69  | 23,100   |
| 58     | INGENIO MAGDALENA, S.A.                                     | EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.                | MAG-69  | 24,200   |
| 59     | PANTALEÓN, S.A.   | EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.                | PNT-69  | 55,000   |
| 60     | TAMPA CENTRO AMERICANA DE ELECTRICIDAD, LIMITADA            | EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.                | TAM-230 | 77,916   |
| 61     | TEXTILES AMATITLÁN, S. A.                                   | COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.       | GSU-691 | 20,000   |
| 62     | TEXTILES AMATITLÁN, S. A.                                   | COMERCIALIZADORA GUATEMALTECA DE ELECTRICIDAD S. A. | AMA-692 | 10,000   |
| 63     | TEXTILES AMATITLÁN, S. A.                                   | COMERCIALIZADORA GUATEMALTECA DE ELECTRICIDAD S. A. | AMA-692 | 10,000   |

Total del tipo 3 : 14

| Tipo 4 |   |  |         |          |
|--------|---|--|---------|----------|
| No     | Agente Vendedor   | Agente Comprador                                 | Nodo    | Potencia |
| 64     | EMPRESA DE COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | CARNES PROCESADAS, S. A.                         | GSU-231 | 440      |
| 65     | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE       | DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE OCCIDENTE, S.A. | SIS-CIS | 265,782  |

**Tabla LVIII. Resumen de Planillas de contratos en el Mercado Mayorista, parte 2.**



Resumen de Planillas de Contratos  
Periodo del 01-09-2005 al 30-09-2005

Módulo: Transacciones Económico  
Usuario: BYRON  
Fecha: 18-10-05 04:01 PM  
Reporte: TRA\_PlanillaVFxRango

Administrador del Mercado Mayorista

| No  | Agente Vendedor                                     | Agente Comprador  | Nodo    | Potencia |
|-----|---|---|---------|----------|
| 66  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE ORIENTE, S.A.                | SIS-DIS | 169,736  |
| 67  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE GUALAN   | SIS-DIS | 1,336    |
| 68  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE GUASTATOYA   | SIS-DIS | 2,523    |
| 69  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE HUEHUETENANGO  | SIS-DIS | 10,608   |
| 70  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE JALAPA   | SIS-DIS | 4,955    |
| 71  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE JOYABAJ  | SIS-DIS | 1,571    |
| 72  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE PUERTO BARRIOS   | SIS-DIS | 9,289    |
| 73  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE QUETZALTENANGO   | SIS-DIS | 31,946   |
| 74  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE RETALHULEU   | SIS-DIS | 3,953    |
| 75  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE SAN MARCOS   | SIS-DIS | 2,945    |
| 76  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE SAN PEDRO PINULA, JALAPA                               | SIS-DIS | 275      |
| 77  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE SAN PEDRO SAC., SAN MARCOS                             | SIS-DIS | 4,515    |
| 78  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE SANTA EULALIA  | SIS-DIS | 411      |
| 79  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EEM DE ZACAPA   | SIS-DIS | 6,300    |
| 80  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | EMPRESA DE COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE     | GSU-231 | 440      |
| 81  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | INSTITUTO DE RECREACION DE LOS TRABAJADORES                   | IRT-69  | 3,062    |
| 82  | EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE | INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACION                         | SIS-DIS | 680      |
| 83  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | BANCO DE OCCIDENTE, S. A. (ZONA 1)                            | SIS-DIS | 150      |
| 84  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | BANCO DE OCCIDENTE, S. A. (ZONA 1)                            | SIS-DIS | 150      |
| 85  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | BANCO DE OCCIDENTE, S. A. (ZONA 9)                            | SIS-DIS | 371      |
| 86  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | BANCO DE OCCIDENTE, S. A. (ZONA 9)                            | SIS-DIS | 371      |
| 87  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | BRITISH AMERICAN TOBACCO CENTRAL AMERICA, S. A.               | SIS-DIS | 100      |
| 88  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | CODACA GUATEMALA, SOCIEDAD ANONIMA                            | SIS-DIS | 100      |
| 89  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | COMPAÑIA AGRICOLA DIVERSIFICADA, SOCIEDAD ANONIMA             | SIS-DIS | 50       |
| 90  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | COMPAÑIA BANANERA GUATEMALTECA INDEPENDIENTE, S.A. (FINCAS)   | SIS-DIS | 800      |
| 91  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | COMPAÑIA BANANERA GUATEMALTECA INDEPENDIENTE, S.A. (MUELLES)  | SIS-DIS | 2,500    |
| 92  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | COMPAÑIA DE DESARROLLO BANANERA DE GUATEMALA, S.A. (FINCAS)   | SIS-DIS | 1,550    |
| 93  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | COMPAÑIA DE DESARROLLO BANANERO DE GUATEMALA, S.A. (C.FRIGOS) | SIS-DIS | 700      |
| 94  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | COMPAÑIA INDUSTRIAL CORRUGADORA GUATEMALA, S.A.               | SIS-DIS | 950      |
| 95  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | EMPRESA PORTUARIA NACIONAL SANTO TOMAS DE CASTILLA            | SIS-DIS | 2,300    |
| 96  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | ENVASES INDUSTRIALES DE CENTRO AMERICA, S.A.                  | SIS-DIS | 700      |
| 97  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | GALERIAS REFORMA, S. A.                                       | SIS-DIS | 50       |
| 98  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | INDUSTRIAS DEL ATLANTICO, S.A.                                | SIS-DIS | 50       |
| 99  | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | INVERSIONES PELICANO, S. A.                                   | SIS-DIS | 55       |
| 100 | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | OLEFINAS, S. A.   | SIS-DIS | 1,500    |
| 101 | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | PICHLINGO RESORT & MARINA, SOCIEDAD ANONIMA                   | PBA-69  | 5,000    |
| 102 | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | PICHLINGO RESORT & MARINA, SOCIEDAD ANONIMA                   | SIS-DIS | 250      |
| 103 | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | PROCESADORA UNITAB, SOCIEDAD ANONIMA                          | SIS-DIS | 55       |
| 104 | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | PRODUCTOS DE LA TIERRA, S.A.                                  | SIS-DIS | 50       |
| 105 | GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA            | PROMOCIONES TURISTICAS NACIONALES, S.A.                       | SIS-DIS | 221      |

## Tabla LIX. Resumen de Planillas de contratos en el Mercado Mayorista, parte 3.



**Resumen de Planillas de Contratos**  
**Periodo del 01-09-2005 al 30-09-2005**

Módulo: Transacciones Económicas  
 Usuario: BYRON  
 Fecha: 18-10-05 04:01 PM  
 Reporte: TRA\_PlanillaVFxRango

**Administrador del Mercado Mayorista**

**Tipo 4**

| No                        | Agente Vendedor                          | Agente Comprador                     | Nodo    | Potencia  |
|---------------------------|--|--------------------------------------|---------|-----------|
| 105                       | GENERADORA ELECTRICA DEL NORTE, LIMITADA | STANDARD FRUIT DE GUATEMALA, S.A.    | SIS-DIS | 950       |
| 107                       | GENERADORA ELECTRICA DEL NORTE, LIMITADA | TEKPAK, S.A.                         | SIS-DIS | 770       |
| 108                       | GENERADORA ELECTRICA DEL NORTE, LIMITADA | VALORES TURISTICOS, S.A.             | SIS-DIS | 287       |
| 109                       | POLWATT, LIMITADA                        | CEMENTOS PROGRESO, SOCIEDAD ANONIMA  | NOV-89  | 4,000     |
| 110                       | POLWATT, LIMITADA                        | CEMENTOS PROGRESO, SOCIEDAD ANONIMA  | NOV-89  | 2,700     |
| 111                       | PUERTO QUETZAL POWER LLC                 | EMPRESA ELECTRICA DE GUATEMALA, S.A. | ENR-230 | 85,000    |
| 112                       | PUERTO QUETZAL POWER LLC                 | EMPRESA ELECTRICA DE GUATEMALA, S.A. | ENR-230 | 110,000   |
| <b>Total del tipo 4 :</b> |  |                                      |         | <b>49</b> |

**Tipo 5**

| No                         | Agente Vendedor   | Agente Comprador                                       | Nodo    | Potencia   |
|----------------------------|---|--|---------|------------|
| 113                        | COMERCIALIZADORA DUKE ENERGY DE CENTRO AMERICA, LIMITADA    | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-231 | 15,724     |
| 114                        | COMERCIALIZADORA DUKE ENERGY DE CENTRO AMERICA, LIMITADA    | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-231 | 600        |
| 115                        | COMERCIALIZADORA DUKE ENERGY DE CENTRO AMERICA, LIMITADA    | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-231 | 15,716     |
| 116                        | COMERCIALIZADORA DUKE ENERGY DE CENTRO AMERICA, LIMITADA    | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-231 | 15,852     |
| 117                        | COMERCIALIZADORA DUKE ENERGY DE CENTRO AMERICA, LIMITADA    | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-231 | 15,717     |
| 118                        | COMERCIALIZADORA DUKE ENERGY DE CENTRO AMERICA, LIMITADA    | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-231 | 15,717     |
| 119                        | COMERCIALIZADORA DUKE ENERGY DE CENTRO AMERICA, LIMITADA    | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-231 | 16,984     |
| 120                        | COMERCIALIZADORA ELECTRICA DE GUATEMALA, S.A.               | CENTRAL AGRO INDUSTRIAL GUATEMALTECA, SOCIEDAD ANONIMA | GSU-231 | 550        |
| 121                        | COMERCIALIZADORA ELECTRICA DE GUATEMALA, S.A.               | COMERCIALIZADORA DE ELECTRICIDAD CENTROAMERICANA, S.A. | GSU-231 | 2,300      |
| 122                        | DUKE ENERGY INTERNATIONAL GUATEMALA Y CIA SOC. EN COMANDITA | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-231 | 22,140     |
| 123                        | DUKE ENERGY INTERNATIONAL GUATEMALA Y CIA SOC. EN COMANDITA | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-231 | 22,148     |
| 124                        | DUKE ENERGY INTERNATIONAL GUATEMALA Y CIA SOC. EN COMANDITA | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-231 | 22,148     |
| 125                        | DUKE ENERGY INTERNATIONAL GUATEMALA Y CIA SOC. EN COMANDITA | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-231 | 22,148     |
| 126                        | DUKE ENERGY INTERNATIONAL GUATEMALA Y CIA SOC. EN COMANDITA | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-231 | 22,148     |
| 127                        | EMPRESA ELECTRICA DE GUATEMALA, S.A.                        | EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL INDE    | GSU-891 | 138,410    |
| 128                        | POLWATT, LIMITADA   | CENTRAL AGRO INDUSTRIAL GUATEMALTECA, SOCIEDAD ANONIMA | ENR-230 | 5,500      |
| 129                        | POLWATT, LIMITADA   | COMPAÑIA AGRICOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A.           | ENR-230 | 4,500      |
| 130                        | POLWATT, LIMITADA   | CONCEPCION, S.A.                                       | ENR-230 | 1,160      |
| 131                        | POLWATT, LIMITADA   | CONCEPCION, S.A.                                       | ENR-230 | 12,400     |
| 132                        | POLWATT, LIMITADA   | INGENIO LA UNION, S.A.                                 | ENR-230 | 386        |
| 133                        | POLWATT, LIMITADA   | PANTALEON, S.A.  | ENR-230 | 630        |
| 134                        | POLWATT, LIMITADA   | PUERTO QUETZAL POWER LLC                               | ENR-230 | 2,500      |
| 135                        | POLWATT, LIMITADA   | PUERTO QUETZAL POWER LLC                               | ENR-230 | 1,000      |
| 136                        | POLWATT, LIMITADA   | PUERTO QUETZAL POWER LLC                               | ENR-230 | 3,500      |
| 137                        | POLWATT, LIMITADA   | PUERTO QUETZAL POWER LLC                               | ENR-230 | 5,000      |
| 138                        | POLWATT, LIMITADA   | PUERTO QUETZAL POWER LLC                               | ENR-230 | 2,500      |
| <b>Total del tipo 5 :</b>  |   |  |         | <b>26</b>  |
| <b>Total de Planillas:</b> |   |  |         | <b>138</b> |

En la Tabla LX se muestra un ejemplo de los postdespachos utilizados, los cuales pueden ser descargados de la página [www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt) mientras que en la Tabla LXI se muestra un programa de despacho de carga. Esta información fue utilizada para obtener la generación en las distintas bandas horarias y en las dos épocas del año.



