

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

ACUERDO No. 268 Mayo 29 de 2003

Por el cual se actualiza el Esquema de Deslastre Automático de Carga

El Consejo Nacional de Operación en uso de sus facultades legales, en especial las conferidas en el Artículo 36 de la Ley 143 de 1994, la Resolución 8-0103 del 2 de febrero de 1995 del Ministerio de Minas y Energía, el Anexo general de la Resolución CREG 025 de 1995, su Reglamento interno y según lo acordado en la reunión No. 191 del C.N.O. celebrada el 29 de mayo de 2003, y

CONSIDERANDO

1.- Que el artículo 36 de la Ley 143 de 1994, creó el CONSEJO NACIONAL DE OPERACION que tiene como función principal acordar los aspectos técnicos para garantizar que la operación integrada del sistema interconectado nacional sea segura, confiable y económica, y ser el órgano ejecutor del reglamento de operación.

2.- Que de conformidad con el artículo 34 de la Ley 143 de 1994, el CND debe; *"a. Planear la operación de los recursos de generación, interconexión y transmisión del sistema nacional, teniendo como objetivo una operación segura, confiable y económica."* ciñéndose a lo establecido en el Reglamento de Operación y en los acuerdos del CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

fo 3.- Que la resolución CREG061-1996 modificó la resolución CREG025-1995 en su numeral 2.2.4 el cual estableció: *"Desconexión Automática de Carga por Baja Frecuencia: El esquema será sometido a disposición de las empresas a finales de abril de cada año. El CND revisará la propuesta teniendo en cuenta los comentarios de las empresas y colocará a su disposición el informe del esquema definitivo antes del 31 de mayo de cada año. Las empresas deberán tener implantado el esquema antes del 30 de junio del mismo año."*

Consejo Nacional de Operación CNO

4.- Que el Subcomité de Estudios Eléctricos en su reunión 088 de mayo 16 de 2003, dio visto bueno al Esquema de Deslastre Automático de Carga por Baja Frecuencia presentado por el CND, el cual incluye la operación tanto aislada de Colombia como integrada con Ecuador.

5.- Que el Comité de Operación en su reunión 107 de mayo 22 de 2003, dio visto bueno al Esquema de Deslastre Automático de Carga por Baja Frecuencia aprobado por el Subcomité de Estudios Eléctricos en su reunión 088 de mayo 16 de 2003.

ACUERDA:

PRIMERO.- Actualizar el Esquema de Desconexión Automática de Carga por Baja Frecuencia -EDAC- presentado en el documento ISA-UEN-CND-061-03 "Evaluación y Análisis del Esquema de Desconexión Automática de carga por baja frecuencia del SIN año 2002 y propuesta para el año 2003", el cual forma parte del presente Acuerdo como Anexo N° 1.

SEGUNDO: Para la aplicación del Esquema, se tendrán en cuenta las condiciones que se acuerden con los agentes para situaciones de fragmentación de la red.

TERCERO.- El presente Acuerdo rige a partir de la fecha, deroga todos los acuerdos que le sean contrarios y substituye el Acuerdo N°233 de 2002.

Dado en Bogotá D.C. a los 29 días del mes de mayo de 2003.

El Presidente,

El Secretario Técnico,


HERNÁN TRONCOSO L.


ALBERTO OLARTE A.



Operación
de Mercados
de Energía

*Información Eléctrica y
Energética*

**EVALUACIÓN DEL ESQUEMA DE DESCONEXIÓN AUTOMÁTICA
DE CARGA POR BAJA FRECUENCIA DEL SIN AÑO 2002 Y
PROPUESTA PARA EL AÑO 2003**

**DIRECCIÓN PLANEACIÓN DE LA OPERACIÓN
GERENCIA CENTRO NACIONAL DE DESPACHO**

Documento ISA UENCND 061 - 03

Medellín, Abril de 2003

TABLA DE CONTENIDO

1.	OBJETIVOS.....	4
2.	ANTECEDENTES.....	4
3.	OPERACIÓN DEL EDAC DEL SISTEMA COLOMBIANO 2002	6
4.	CRITERIOS.....	8
5.	CONSIDERACIONES.....	9
6.	CASOS ANALIZADOS.....	11
7.	RESULTADOS	12
7.1.	COLOMBIA- ECUADOR AISLADOS.....	13
7.1.1	<i>Pérdida de 450 MW en Colombia.....</i>	<i>13</i>
7.1.2	<i>Pérdida de 1640 MW en Colombia.....</i>	<i>14</i>
7.1.3	<i>Pérdida de 100 MW en Ecuador.....</i>	<i>15</i>
7.1.4	<i>Pérdida de 300 MW en Ecuador.....</i>	<i>15</i>
7.2.	COLOMBIA- ECUADOR INTERCONECTADOS	18
7.2.1	<i>Pérdida de 450 MW en Colombia.....</i>	<i>18</i>
7.2.2	<i>Pérdida de 1640 MW en Colombia.....</i>	<i>20</i>
7.2.3	<i>Pérdida de 100 MW en Ecuador.....</i>	<i>21</i>
7.2.4	<i>Pérdida de 300 MW en Ecuador.....</i>	<i>21</i>
8.	CONCLUSIONES.....	25
9.	ANEXOS.....	28

- ♦ Se mantiene el porcentaje de desconexión de carga en el 5% para Colombia para todas las etapas por su efectividad ante los diversos desbalances al minimizar la carga desconectada.

- ♦ Con los Sistemas interconectados se presenta actuación del EDAC así:

Demanda máxima: pérdidas de generación > 450 MW

Demanda media: pérdidas de generación > 350 MW

Demanda mínima: pérdidas de generación > 230 MW

- ♦ Para el caso Exportación Colombia Ecuador en la mayoría de los casos analizados se presenta un adecuado comportamiento de ambos Sistemas. Sin embargo, se observa posible colapso del sistema Ecuatoriano ante la salida de 300 MW de generación en Ecuador.

En demanda mínima se observa posible colapso de ambos Sistemas ante un desbalance del 34% (salida de 1640 MW) de generación en Colombia.

Para cubrir estos eventos sería necesaria la implementación de un esquema suplementario.

- ♦ Para el caso Importación Ecuador Colombia en la mayoría de los casos analizados se presenta un adecuado comportamiento de ambos Sistemas, excepto ante la salida de 1640 MW de generación en Colombia (desbalances entre el 17% y el 34% en Colombia de acuerdo con el periodo de demanda), donde se observa posible colapso del Sistema colombiano.

Para cubrir estos eventos sería necesaria la implementación de un esquema suplementario.

- En cuanto a la desconexión de carga se observa un buen comportamiento del esquema siempre y cuando no exista apertura de la interconexión. En estos casos los deslastres de carga corresponden al desbalance de cada Sistema y

se ven afectados por una mayor caída de la frecuencia ocasionada por el aislamiento de los Sistemas y la disminución de la inercia. Por lo tanto en estos casos no es posible evaluar el desempeño del EDAC el cual fue concebido para los sistemas operando en forma interconectada.

- En cuanto a la recuperación de la frecuencia se observa un buen comportamiento para el sistema colombiano, observándose en todos los casos valores del orden de 59.4 Hz a los 10 segundos. Sin embargo, para el sistema ecuatoriano cuando se presenta desconexión de las 6 etapas del EDAC se observan problemas de sobrefrecuencia ocasionados por el efecto combinado de la desconexión de carga en la última etapa (18% en 200 ms), el efecto de las altas tensiones y la actuación de los reguladores de velocidad.
- De acuerdo con los registros históricos el 78% de los eventos ocasionan la actuación del EDAC dentro del umbral de la primera y segunda etapa, lo cual indica que el esquema implementado actualmente es lo suficientemente robusto para cubrir este tipo de eventos en cualquiera de los periodos de demanda.

1. OBJETIVOS

- Analizar el comportamiento de los esquemas vigentes de Desconexión Automática de Carga por Baja Frecuencia -EDAC- de los Sistemas Colombiano y Ecuatoriano, operando en forma aislada e interconectados.
- Verificar que el EDAC satisfaga los parámetros fundamentales: Umbrales de frecuencia, temporización de los relés y porcentaje (%) de carga a deslastrar, para diferentes condiciones de desbalance.

2. ANTECEDENTES

El Esquema de Desconexión Automática de Carga por baja frecuencia –EDAC- es una estrategia de respaldo del SIN para mantener la frecuencia dentro sus valores operativos frente a desbalances generación – demanda, provocados por eventos como disparos o pérdidas de carga de unidades de generación o fraccionamientos de la red.

En la resolución CREG 061 de 1996 se establece como responsabilidad del CND el diseño del esquema EDAC del SIN, la cual expresa textualmente:

“Mediante estudios de estabilidad dinámica y aplicando los criterios definidos en este Código, el CND determinará para cada área operativa el número de etapas a implementar, el porcentaje de demanda total a desconectar en cada etapa y la temporización correspondiente. El esquema será sometido a consideración de las empresas a finales de abril de cada año. El CND revisará la propuesta teniendo en cuenta los comentarios de las empresas y colocará a su disposición el informe del esquema definitivo antes del 31 de mayo de cada año. Las empresas deberán tener implantado el esquema antes del 30 de junio del mismo año”.

El Esquema vigente para Colombia corresponde al aprobado por el Subcomité de Estudios Eléctricos y el esquema Ecuatoriano corresponde al reportado por CENACE durante el mes de noviembre de 2002.

Para el Sistema colombiano las cargas a desconectar son definidas por cada empresa distribuidora y corresponden a un 40% del total de la demanda, distribuidos en 8 etapas con desconexiones de carga del 5%. En este esquema se cuenta con cinco etapas de desconexión rápida (hasta 600 ms) y tres etapas adicionales con retardos de hasta 4 segundos, con el fin de proteger el Sistema ante eventos de gran magnitud.

Con la entrada de la Interconexión Colombia Ecuador a 230 kV, el Sistema Ecuatoriano ajustó algunas etapas similares a las del Sistema Colombiano en cuanto a umbrales de frecuencia se refiere. El Sistema ecuatoriano cuenta con 6 etapas para una desconexión del 48% de la demanda, habilitado en todas las barras de carga del Sistema. Este esquema se caracteriza por la desconexión rápida de todas las etapas (200 ms). Ver tabla 1.

Etapa	Umbral de frecuencia [Hz]	Desconexión de Carga [%]		Retardo Intencional [ms]	
		Colombia	Ecuador	Colombia	Ecuador
1	59.4	5	3	200	200
2	59.2	5	3	200	200
3	59.0	5	8	400	200
4	58.8	5	8	400	200
5	58.6	5	8	600	200
6	58.6	5	18	1000	200
7	58.4	5	----	2000	200
8	58.4	5	----	4000	200

Tabla 1. Esquema de Desconexión Automática de Carga Colombia – Ecuador

3. OPERACIÓN DEL EDAC DEL SISTEMA COLOMBIANO 2002

En el año 2002 se presentaron 71 eventos (ver tabla 3) que activaron en el SIN el esquema de deslastre de carga por baja frecuencia. El 31% de los eventos presentó frecuencia de activación por encima del umbral de la primera etapa (59.4 Hz) y el 47.9% presentó frecuencia de activación en el rango de la segunda etapa ($59.2 \text{ Hz} < f \leq 59.4 \text{ Hz}$). Ver figuras 2 y 3.

Durante el primer semestre se presentaron 56 eventos con actuación del EDAC, en todos los casos involucrando las subáreas de la Costa, dado fundamentalmente por la indisponibilidad ante atentados sobre los enlaces a 500 kV San Carlos – Cerromatoso.

Para el segundo semestre, con la entrada del circuito San Carlos – Cerromatoso, se redujeron las actuaciones del EDAC, presentándose desconexiones en 15 oportunidades.

Rango de frecuencia	Total eventos
$f > 59.4 \text{ Hz}$	22
$59.2 \text{ Hz} < f \leq 59.4 \text{ Hz}$	34
$59.0 \text{ Hz} < f \leq 59.2 \text{ Hz}$	5
$58.8 \text{ Hz} < f \leq 59.0 \text{ Hz}$	5
$58.6 \text{ Hz} < f \leq 58.8 \text{ Hz}$	2
$58.4 \text{ Hz} < f \leq 58.6 \text{ Hz}$	2
$f < 58.4 \text{ Hz}$	1
Total	71

Tabla 3. Clasificación Eventos por Rango de Frecuencia – Año 2002

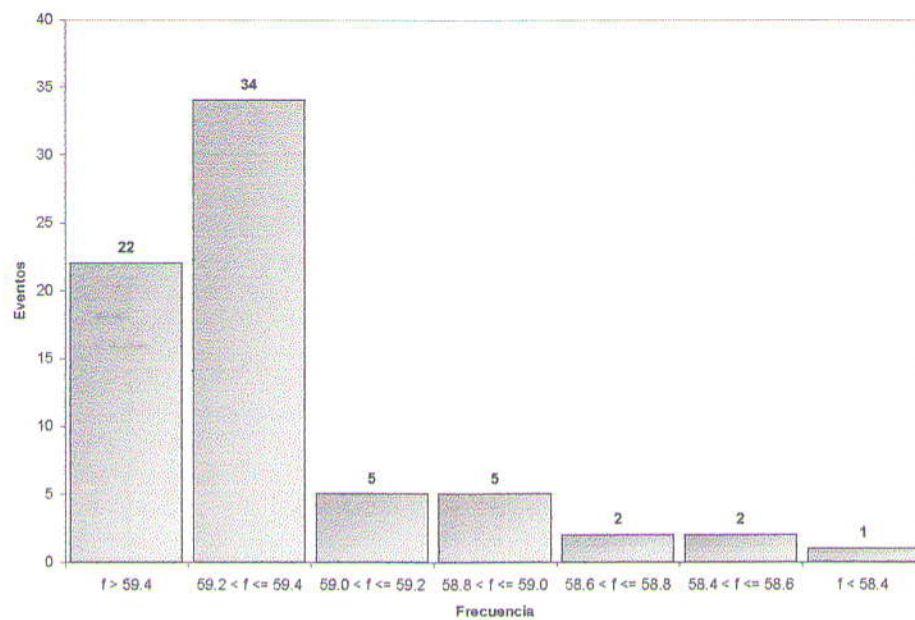


Figura 2. Clasificación Eventos por Rango de Frecuencia – Año 2002

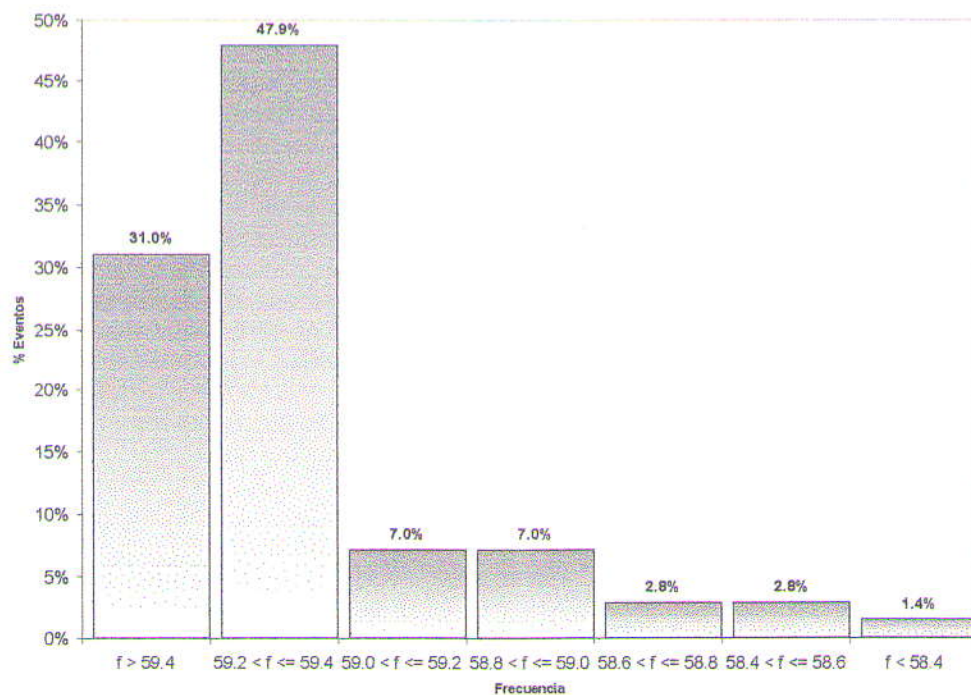


Figura 3. Clasificación Eventos por Rango de Frecuencia – Año 2002

El evento de mayor impacto para todo el sistema, se presentó el 14 de agosto de 2002 a las 13:41h, con una eyección de carga de 1,180 MW el cual ocurrió por falla monofásica franca, Fase C, sobre el Circuito San Carlos-Cerromatoso 2 500kV, encontrándose fuera de servicio por atentado el circuito 1 San Carlos – Cerromatoso.

En este evento se presentó separación de los Sistemas Eléctricos de la Costa y el Central, aunque se produjo la actuación del EDAC superando la octava etapa, se presentó pérdida total del suministro de energía en la Costa debido al resultado del efecto combinado del desbalance generación - demanda resultante de la evolución del evento, de la pérdida adicional de generación del área Caribe y al estar fuera de servicio por mantenimientos equipos involucrados con el EDAC.

En conclusión, del seguimiento realizado del 2001 al 2002 EDAC, se observa que el esquema ha presentado un buen comportamiento y responde adecuadamente a las necesidades del sistema Colombiano. Adicionalmente, dada la continua operación aislada del área Caribe, se observa la necesidad de analizar esquemas suplementarios adicionales para proteger el área Caribe ante posibles desbalances Generación –Demanda.

4. CRITERIOS

Según la *Resolución 061 de 1996*, el Esquema de Desconexión Automática de Carga por Baja Frecuencia se diseña de acuerdo con los siguientes criterios:

- El disparo de la unidad de mayor capacidad del Sistema no deberá activar la primera etapa de desconexión.
- En ningún momento la frecuencia podrá ser inferior a 57.5 Hz. Esta restricción la establecen las unidades térmicas, las cuales no podrán operar por debajo de esta frecuencia un tiempo superior a 48 segundos durante su vida útil.

- En contingencias se debe minimizar el tiempo que la frecuencia permanezca por debajo de 58.5 Hz, para evitar la pérdida de vida útil de las plantas térmicas. Según recomendación de fabricantes estas plantas pueden operar con esta frecuencia hasta 30 minutos durante toda su vida útil.
- Después de 10 segundos de ocurrido un evento, la frecuencia del Sistema deberá estar por encima del umbral de la primera etapa (59.4 Hz) del EDAC.
- Se deberá optimizar la cantidad de carga a desconectar en eventos, evitando al máximo la sobrefrecuencia.

5. CONSIDERACIONES

- Se considera el esquema de desconexión de carga vigente y reportado por los OR's para Colombia y por el CENACE para Ecuador.
- Se consideran todos los reguladores de velocidad y tensión en Colombia. Se consideran los reguladores mejor condicionados de Ecuador (Paute).
- Máxima exportación Colombia - Ecuador 200 MW para todos los períodos de demanda.
- Máxima importación Ecuador - Colombia 100 MW en demanda máxima y media y 80 MW en demanda mínima
- Se considera el esquema de separación de áreas en Jamondino, que ante cualquiera de las siguientes condiciones aísla ambos Sistemas abriendo los circuitos Jamondino Pomasqui 1 y 2:
 - ♦ Relé de baja tensión: 0.8 p.u ; 500 ms
 - ♦ Relé de baja frecuencia: 58.2 Hz ; 500 ms
 - ♦ Relé de sobrepotencia envío Colombia - Ecuador: 380 MW ; 2 s

- ♦ Relé de sobrepotencia recibo Ecuador - Colombia: 250 MW ; 2 s
- Se consideran tres escenarios de demanda: máxima, media y mínima.
Ver tabla 2.

Demanda	Sistema Colombiano [MW]	Sistema Ecuatoriano [MW]	Total [MW]
Máxima	7281	2021	9302
Media	5496	1541	7038
Mínima	3755	1096	4851

Tabla 2. Demanda Sistema Colombo Ecuatoriano

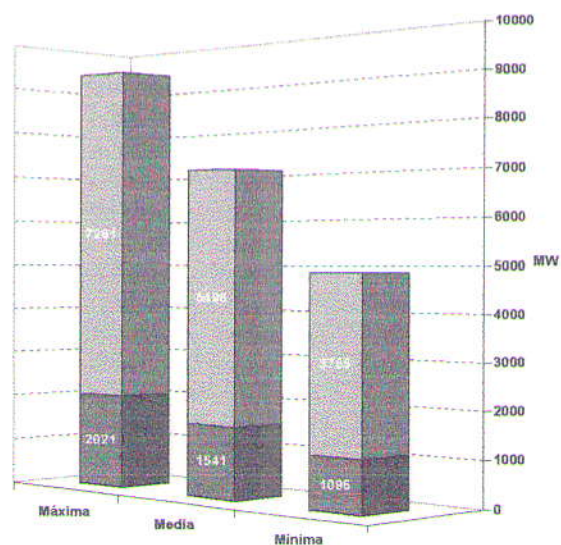


Figura 1. Demanda Sistema Colombo Ecuatoriano

6. CASOS ANALIZADOS

Para la evaluación del comportamiento del EDAC en ambos países se analizaron eventos de pérdida de generación para los Sistemas en forma aislada y operando en forma interconectada.

Adicionalmente, se analizaron casos exportación Colombia – Ecuador y de importación Ecuador - Colombia a través de los circuitos Jamondino – Pomasqui 1 y 2, para demanda máxima, media y mínima. Ver figura 5.

Considerando los últimos siete años de datos reportados en los Informes Anuales de Operación (1996 – 2002), en la figura 4 se presenta el porcentaje de ocurrencia de los eventos para diferentes valores de frecuencia.

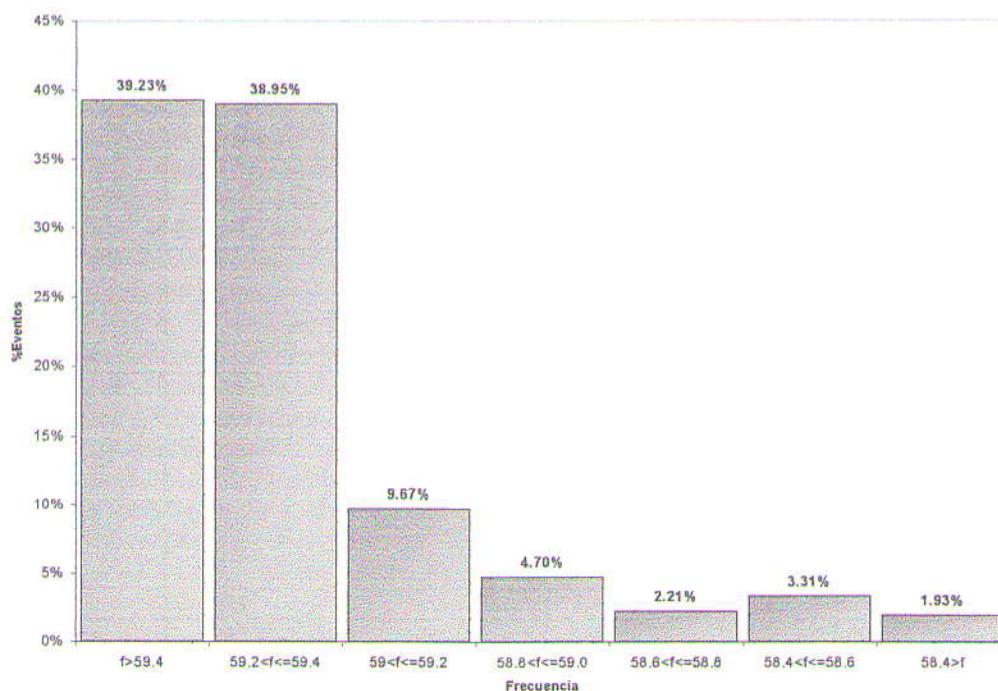


Figura 4. Porcentaje de Ocurrencia de Eventos (1996 –2002)

De acuerdo con estos resultados se observa que:

Los eventos con mayor probabilidad de ocurrencia (78%) se presentan con frecuencias superiores a 59.2 Hz. Esto corresponde a desbalances del Sistema

que oscilan entre el 5% y el 10%, de acuerdo con el periodo de demanda. Con base en esta información se simuló la salida de 450 MW en Colombia.

Adicionalmente, se simuló la salida de 1640 MW de generación (Guavio + 1 etapa de Chivor). Este si bien es un evento con baja probabilidad de ocurrencia (2% aproximadamente) representa un desbalance de gran magnitud (entre 17% y 34% de acuerdo con el periodo de demanda). Por lo tanto, su salida podría provocar condiciones operativas difíciles para los Sistemas.

Para Ecuador se analizó la salida de 100 MW de generación en Paute, ya que según información de CENACE es un evento con alta probabilidad de ocurrencia. Adicionalmente, se simuló la salida de 300 MW en Paute, con el fin de verificar el comportamiento de los Sistemas ante desbalances mayores.

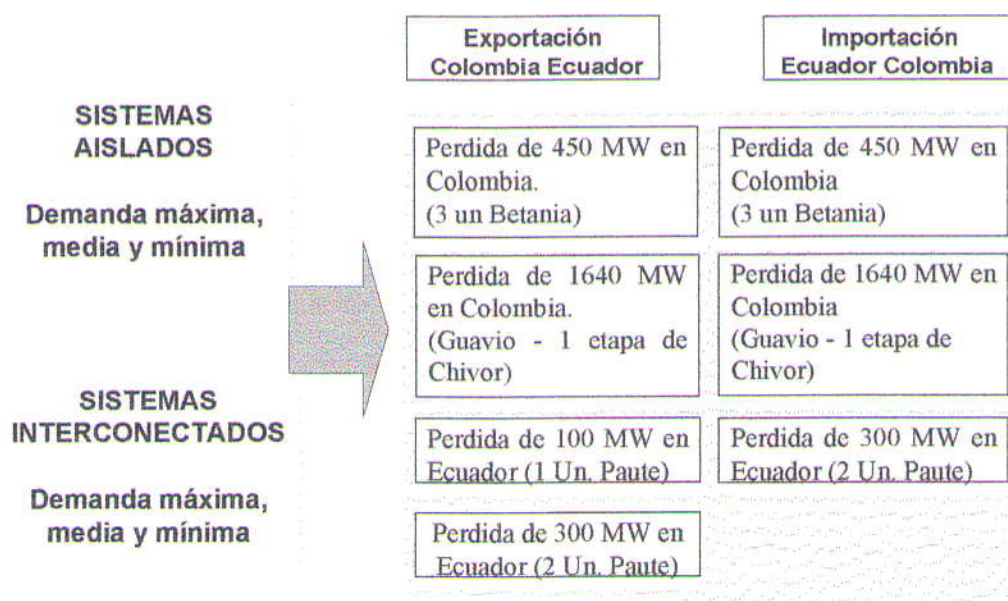


Figura 5. Casos de análisis

7. RESULTADOS

De acuerdo con la resolución 061 de 1996, el disparo de la unidad de mayor capacidad del Sistema (230 MW) no debe activar la primera etapa de desconexión. En este sentido se simularon pérdidas de generación para cada una

de las demandas, de forma que no se produjera actuación del EDAC. En estos casos, la recuperación de la frecuencia es asumida por la regulación primaria de las unidades.

Los resultados que se obtuvieron muestran actuación del EDAC para demandas máxima, media y mínima con pérdidas de generación superiores a 450 MW, 350 MW y 230 MW respectivamente. En el anexo 1 se presentan los resultados de frecuencia para cada caso.

Los resultados que se presentan a continuación para los casos de ambos Sistemas, ya sea operando en forma aislada o interconectados, muestran la respuesta teórica ante diferentes eventos de pérdida de generación. Las variables establecidas como referencia corresponden a la frecuencia mínima, frecuencia después de 10 segundos de ocurrido el evento, porcentaje de carga deslastrado en cada Sistema y las etapas del EDAC que actúan para cada pérdida de generación. Esto con el fin de establecer el comportamiento del esquema y la robustez del mismo.

7.1. COLOMBIA- ECUADOR AISLADOS

7.1.1 Pérdida de 450 MW en Colombia

En el caso de pérdida de 450 MW de generación en Colombia (correspondientes a la salida de 3 unidades de Betania) se observa, para demanda máxima un desbalance del Sistema del 6.2%, llevando la frecuencia mínima a 59.34 Hz. En estas condiciones se produce la salida de 339.55 MW de carga (4.66%) correspondientes a la primera etapa del EDAC.

Para demanda media la salida de esta generación representa un desbalance mayor (8.2%), alcanzándose una frecuencia mínima de 59.17 Hz y deslastrando el 8.8% de la demanda (483.5 MW) lo cual representa la actuación de dos etapas del EDAC.

De igual forma, en demanda mínima se observa un desbalance correspondiente al 12%, alcanzando valores de frecuencia del orden de 59.03 Hz, el cual se encuentra en el umbral de la segunda etapa. En este caso se presenta una mayor caída de la frecuencia debido a la reducción en la inercia del Sistema .

En cuanto a la frecuencia a los 10 segundos de ocurrido el evento, presenta una buena recuperación quedando en todos los casos por encima del umbral de la primera etapa.

En las tablas 4 y 5 se presenta el resumen de los resultados para los diferentes periodos de demanda.

En el anexo 2 se presentan los resultados de la evolución de la frecuencia para los diferentes periodos de demanda.

7.1.2 Pérdida de 1640 MW en Colombia

Con la pérdida de 1640 MW de generación en demanda máxima (desbalance del 22.6%), se observa una frecuencia de 58.41 Hz ocasionando una desconexión de carga de 2086 MW (28.65%). En este caso se observa una desconexión de carga mucho mayor que el desbalance correspondiente al evento debido al efecto de la tensión en la carga.

Para demanda media se presenta un desbalance del 30%, con valores de frecuencia del orden de 58.05 Hz. En este caso se desconectan 1812 MW (32.98%) ocasionando la actuación de 7 etapas del EDAC.

En demanda mínima la salida de esta generación ocasiona un colapso del Sistema por baja frecuencia, alcanzando valores del orden de 55.97 Hz. En este caso aunque se produce el deslastre de 1439 MW (38.34%), no es suficiente para recuperar la frecuencia debido principalmente a la baja inercia con que se cuenta en estos periodos de demanda.

En las tablas 4 y 5 se presenta el resumen de los resultados para los diferentes periodos de demanda.

En el anexo 2 se presentan los resultados de la evolución de la frecuencia para los diferentes periodos de demanda.

7.1.3 Pérdida de 100 MW en Ecuador

En el caso de pérdida de 100 MW de generación en Ecuador (correspondientes a la salida de 1 unidad de Paute) se observa, para demanda máxima un desbalance del Sistema del 4.9%, llevando la frecuencia mínima a 59.27 Hz. En estas condiciones se produce la salida de 60.64 MW de carga (3%) correspondientes a la primera etapa del EDAC.

Para demanda media la salida de esta generación representa un desbalance de 6.5%, alcanzándose una frecuencia mínima de 59.18 Hz y deslastrando el 6% de la demanda (92.48 MW) lo cual representa la actuación de dos etapas del EDAC.

En demanda mínima se observa un desbalance correspondiente al 9.1%, alcanzando valores de frecuencia del orden de 58.97 Hz, activándose 3 etapas del EDAC.

En las tablas 4 y 5 se presenta el resumen de los resultados para los diferentes periodos de demanda.

En el anexo 2 se presentan los resultados de la evolución de la frecuencia para los diferentes periodos de demanda.

7.1.4 Pérdida de 300 MW en Ecuador

En el caso de pérdida de 300 MW de generación en Ecuador (correspondientes a la salida de 3 unidades de Paute) se observa, para demanda máxima una frecuencia mínima de 58.74 Hz y la actuación de 4 de las etapas del EDAC correspondientes a 444.68 MW (22%). De igual forma, en demanda media se

produce la actuación de 4 de las etapas del esquema, deslastrándose 339.12 MW (22%) alcanzando una frecuencia mínima de 58.63 Hz..

En demanda mínima, aún con la desconexión de las 6 etapas del EDAC, no es posible recuperar la frecuencia, la cual alcanza valores del orden de 57.6 Hz, lo cual puede ocasionar el colapso total del Sistema Ecuatoriano por baja frecuencia.

En las tablas 4 y 5 se presenta el resumen de los resultados para los diferentes periodos de demanda.

En el anexo 2 se presentan los resultados de la evolución de la frecuencia para los diferentes periodos de demanda.

En conclusión, en todos los casos, para demanda máxima y media se observa un adecuado comportamiento del esquema en cuanto a control de la frecuencia mínima y recuperación de la misma por encima del umbral de la primera etapa.

En cuanto a la desconexión de carga, se observa en demanda máxima un deslastre mayor al requerido. Sin embargo, en demanda media, la desconexión de carga es la adecuada para poder controlar la frecuencia. Por lo tanto, los porcentajes de desconexión son los adecuados con el fin de brindar mayor cubrimiento ante diversos eventos en la mayoría de los periodos del día.

En demanda mínima ante pérdidas de generación de gran magnitud (desbalances de 44% para Colombia y 27% para Ecuador), sería necesaria la implementación de esquemas suplementarios con el fin de evitar un posible colapso de ambos Sistemas.

En las tablas 4 y 5 se presenta el resumen de los resultados para los sistemas colombiano y ecuatoriano operando en forma aislada, en todos los periodos de demanda.

Demanda Máxima						
Evento	Desbalance Evento	Frecuencia Mínima [Hz]	Frecuencia a los 10 s [Hz]	Carga deslastrada [MW]	Carga deslastrada [%]	Actuación Etapas del EDAC
Pérdida de 450 MW de generación en Colombia	6.2%	59.34 Hz	60.08 Hz	339.55 MW	4.66%	1
Pérdida de 1640 MW de generación en Colombia	22.5%	58.41 Hz	60.54 Hz	2086.33 MW	28.65%	6
Pérdida de 100 MW de generación en Ecuador	4.9%	59.27 Hz	59.39 Hz	60.64 MW	3.00%	1
Pérdida de 300 MW de generación en Ecuador	14.8%	58.74 Hz	60.3 Hz	444.68 MW	22.00%	4
Demanda Media						
Evento	Desbalance Evento	Frecuencia Mínima [Hz]	Frecuencia Máxima [Hz]	Carga deslastrada [MW]	Carga deslastrada [%]	Actuación Etapas del EDAC
Pérdida de 450 MW de generación en Colombia	8.2%	59.17 Hz	60.23 Hz	483.5 MW	8.80%	2
Pérdida de 1640 MW de generación en Colombia	29.8%	58.05 Hz	60.00 Hz	1812.58 MW	32.98%	7
Pérdida de 100 MW de generación en Ecuador	6.6%	59.18 Hz	59.7 Hz	92.48 MW	6.00%	2
Pérdida de 300 MW de generación en Ecuador	19.5%	58.63 Hz	59.75 Hz	339.12 MW	22.00%	4
Demanda Mínima						
Evento	Desbalance Evento	Frecuencia Mínima [Hz]	Frecuencia Máxima [Hz]	Carga deslastrada [MW]	Carga deslastrada [%]	Actuación Etapas del EDAC
Pérdida de 450 MW de generación en Colombia	12.0%	59.03 Hz	59.88 Hz	315.78 MW	8.41%	2
Pérdida de 1640 MW de generación en Colombia	43.7%	55.97 Hz	58.02 Hz	1439.73 MW	38.34%	8
Pérdida de 100 MW de generación en Ecuador	9.1%	58.97 Hz	60.31 Hz	153.42 MW	14.00%	3
Pérdida de 300 MW de generación en Ecuador	27.4%	57.6 Hz	60.7 Hz	440.1 MW	40.16%	6

Tabla4 Resultados EDAC – Colombia Ecuador Aislados

FUNCIONAMIENTO DEL ESQUEMA COLOMBIA ECUADOR AISLADOS				
Evento	Demanda Máxima	Demanda Media	Demanda Mínima	Observaciones
Pérdida de 450 MW de generación en Colombia				
Pérdida de 1640 MW de generación en Colombia			x	Posible colapso del Sistema colombiano por baja frecuencia
Pérdida de 100 MW de generación en Ecuador				
Pérdida de 300 MW de generación en Ecuador			x	Posible colapso del Sistema ecuatoriano por baja frecuencia

Tabla5. Resultados EDAC – Colombia Ecuador Aislados

7.2. COLOMBIA- ECUADOR INTERCONECTADOS

En los casos analizados con los sistemas interconectados se tuvo en cuenta como máxima exportación Colombia - Ecuador 200 MW para todos los períodos de demanda y la máxima importación Ecuador - Colombia 100 MW en demanda máxima y media y 80 MW en demanda mínima

Adicionalmente, se considera el esquema de separación de áreas en Jamondino

7.2.1 Pérdida de 450 MW en Colombia

Exportación de Colombia a Ecuador (200 MW): ante la pérdida de 450 MW en demanda máxima, se observa un desbalance del 4.8% y una caída de la frecuencia hasta 59.48 Hz. En estas condiciones, no se presenta actuación del EDAC y se observa una adecuada recuperación de la frecuencia.

Para demanda media la salida de esta generación representa un desbalance del 6.4%, alcanzándose una frecuencia mínima de 59.35 Hz lo cual representa la actuación de una de las etapas del EDAC. En este caso se observa actuación del esquema en ambos países deslastrando un total de 282 MW (236 MW en Colombia y 45 MW en Ecuador)

En demanda mínima se observa una caída de la frecuencia hasta 59.14 Hz , ocasionando la actuación de dos etapas del EDAC tanto en Colombia como en Ecuador (se deslastran en total 379 MW).

En cuanto a la frecuencia a los 10 segundos de ocurrido el evento, presenta una buena recuperación quedando en todos los casos por encima del umbral de la primera etapa.

Importación Ecuador Colombia: para este caso, aunque la pérdida de generación representa los mismos desbalances que en el caso de exportación, se observa que el valor de la frecuencia es menor debido principalmente a la disminución de la inercia del sistema colombiano. Sin embargo este comportamiento puede ser muy variable dependiendo de los despachos simulados. Es así como para demanda máxima la frecuencia alcanza un valor de 59.38 Hz activando la primera etapa del EDAC (en el caso exportación no se activa ninguna etapa).

Para demandas media y mínima se observa prácticamente igual desconexión de carga que para el caso de exportación.

En el anexo 4 se presentan los resultados de la evolución de la frecuencia y el intercambio por los circuitos Jamondino – Pomasqui, para los diferentes periodos de demanda.

7.2.2 Pérdida de 1640 MW en Colombia

Exportación Colombia Ecuador (200 MW): en demanda máxima, se presenta un desbalance del 17.6% y una caída de la frecuencia hasta 58.63 Hz, ocasionando la actuación de cuatro etapas del EDAC. La desconexión total de carga es de 1785 MW (19.2%), de los cuales 1351 MW corresponden a Colombia y 434 MW a Ecuador.

En demanda media se presenta una frecuencia mínima de 58.45 Hz, activando seis etapas del EDAC correspondientes a un deslastre total de 1921 MW.

En demanda mínima se observa una caída de la frecuencia hasta 57.06 Hz. En este caso se produce aislamiento de ambos Sistemas por baja frecuencia, produciendo la actuación de todo el esquema de desconexión en ambos países.

En este caso se requeriría de un esquema suplementario para cubrir eventos de esta magnitud y evitar el colapso probable de ambos Sistemas.

En el anexo 4 se presentan los resultados de la evolución de la frecuencia y el intercambio por los circuitos Jamondino – Pomasqui, para los diferentes periodos de demanda.

Importación Ecuador Colombia : en todos los periodos de demanda se observa aislamiento de ambos Sistemas por baja tensión, produciéndose actuación del EDAC solamente en Colombia. En Ecuador por su condición de exportador no presenta ningún problema asumiendo el desbalance de la interconexión con su regulación primaria y/o AGC.

Para todas las demandas la frecuencia mínima presenta valores inferiores o iguales a 58.2 Hz lo cual puede representar riesgos para la operación del Sistema colombiano. En estos casos se requeriría de un esquema suplementario para cubrir desbalances de este orden.

7.2.3 Pérdida de 100 MW en Ecuador

El caso más crítico se presenta para el caso de exportación Colombia Ecuador en demanda mínima con una frecuencia de 59.85 Hz, por lo que no se presenta actuación del EDAC.

Debido a su bajo impacto el caso de importación Ecuador Colombia no se simuló para desbalances de este orden.

7.2.4 Pérdida de 300 MW en Ecuador

Exportación Colombia Ecuador (200 MW): para todas las demandas, aunque el mayor desbalance no supera el 7%, se presenta el aislamiento de ambos sistemas por baja tensión cuando la interconexión trata de asumir la pérdida de generación. En estas condiciones, se observan frecuencias que oscilan entre 56.98 Hz y 58.2 Hz con actuación de seis etapas del EDAC en Ecuador.

Para asumir estos desbalances sería necesaria la implementación de un esquema suplementario.

Es importante resaltar que a los 10 segundos de ocurrido el evento se observan valores de sobrefrecuencia (61.3 Hz), que pueden presentarse por el efecto combinado del deslastre de carga y la actuación de los reguladores de velocidad. Esta condición puede implicar la revisión del esquema EDAC de Ecuador en cuanto al ajuste de los porcentajes de desconexión de carga o la adecuación de etapas adicionales en el esquema.

En el anexo 4 se presentan los resultados de la evolución de la frecuencia y el intercambio por los circuitos Jamondino – Pomasqui, para los diferentes periodos de demanda.

Importación Ecuador Colombia : el caso más crítico se presenta en demanda mínima con una frecuencia de 59.3 Hz. En este caso parte del desbalance es

asumido por la interconexión, por lo que solo se presenta actuación de una de las etapas del EDAC en ambos países (42.8 MW en total).

Para demandas máxima y media la frecuencia queda por encima del umbral de la primera etapa y la recuperación es asumida por la regulación primaria de las unidades.

En el anexo 5 se presentan los resultados de la evolución de la frecuencia y el intercambio por los circuitos Jamondino – Pomasqui, para los diferentes periodos de demanda.

En conclusión, para el caso de *exportación Colombia - Ecuador*, se observa que con la pérdida de 300 MW en Ecuador, aunque el desbalance del Sistema es del orden del 6% aproximadamente, se presentan condiciones de baja tensión en Jamondino debido a las altas transferencias que se presentan ante la pérdida de generación. Esto ocasiona la separación de ambos países, y el posible colapso para el Sistema ecuatoriano.

Adicionalmente, en demanda mínima para desbalances del orden del 34% en Colombia, se presenta apertura de la interconexión por baja frecuencia y posible colapso de ambos Sistemas

En estos casos se requeriría la implementación de un esquema suplementario

De igual forma, para el caso de *importación Ecuador - Colombia*, se observa que ante desbalances entre el 17% y el 34% en Colombia (de acuerdo con el periodo de demanda), se presenta aislamiento de ambos países por baja tensión. En estas condiciones, la frecuencia mínima en Colombia alcanza valores del orden de 55.75 Hz que pueden ocasionar el colapso del Sistema colombiano. En este caso se requeriría la implementación de un esquema suplementario

En las tablas 6 a 9 se presenta el resumen de los resultados para los sistemas colombiano y ecuatoriano operando en forma interconectada.

De acuerdo con los registros históricos el 78% de los eventos ocasionan la actuación del EDAC dentro del umbral de la primera y segunda etapa, lo cual indica que el esquema implementado actualmente es lo suficientemente robusto para cubrir este tipo de eventos en cualquiera de los periodos de demanda.

En cuanto a la desconexión de carga se observa un buen comportamiento del esquema siempre y cuando no exista apertura de la interconexión. En estos casos los deslastres de carga corresponden al desbalance de cada Sistema y se ven afectados por una mayor caída de la frecuencia ocasionada por el aislamiento de los Sistemas y la disminución de la inercia.

En cuanto a la recuperación de la frecuencia se observa un buen comportamiento para el sistema colombiano, observándose en todos los casos valores del orden de 59.4 Hz a los 10 segundos. Sin embargo, para el sistema ecuatoriano, cuando se presenta desconexión de las 6 etapas del EDAC, se observan problemas de sobrefrecuencia ocasionados por el efecto combinado de la desconexión de carga en la última etapa (18% en 200 ms), el efecto de las altas tensiones y la actuación de los reguladores de velocidad.

DEMANDA MÁXIMA									
Caso	Evento	Desbalance Evento [%]	Frecuencia Mínima [Hz]	Frecuencia a los 10 s [Hz]	DAC Colombia [MW] / [%]	DAC Ecuador [MW] / [%]	DAC Total [MW] / [%]	Actuación Etapas EDAC	Observaciones
Exportación Colombia - Ecuador 200 MW	Pérdida de 1640 MW de generación en Colombia	17.6%	59.63 Hz	60.11 Hz	1351.61 MW (14.52%)	434.14 MW (4.66%)	1785.75 MW (19.2%)	4	
	Pérdida de 450 MW de generación en Colombia	4.8%	59.45 Hz	59.77 Hz	---	---	---	---	
	Pérdida de 100 MW de generación en Ecuador	1.1%	59.88 Hz	60.04 Hz	---	---	---	---	
	Pérdida de 300 MW de generación en Ecuador	3.2%	59.2 Hz	61.76 Hz	---	908.6 MW (9.76%)	908.6 MW (9.76%)	6	Aislamiento por baja tensión
Importación Ecuador - Colombia 100 MW	Pérdida de 1640 MW de generación en Colombia	17.6%	58.25 Hz	59.89 Hz	1885.82 MW (20.27%)	---	1885.82 MW (20.27%)	6	Aislamiento por baja tensión
	Pérdida de 450 MW de generación en Colombia	4.8%	59.38 Hz	59.89 Hz	339.55 MW (3.65%)	60.63 MW (0.65%)	400.19 MW (4.3%)	1	
	Pérdida de 300 MW de generación en Ecuador	3.2%	59.44 Hz	59.57 Hz	---	---	---	---	

Tabla6. Resultados EDAC – Demanda máxima

DEMANDA MEDIA									
Caso	Evento	Desbalance Evento [%]	Frecuencia Mínima [Hz]	Frecuencia a los 10 s [Hz]	DAC Colombia [MW] / [%]	DAC Ecuador [MW] / [%]	DAC Total [MW] / [%]	Actuación Etapas EDAC	Observaciones
Exportación Colombia - Ecuador 200 MW	Pérdida de 1640 MW de generación en Colombia	23.3%	58.45 Hz	60.13 Hz	1470.18 MW (20.89%)	451.47 MW (6.42%)	1921.65 MW (27.31%)	6	
	Pérdida de 450 MW de generación en Colombia	6.4%	59.35 Hz	59.91 Hz	236.92 MW (3.36%)	45.14 MW (0.64%)	282.07 MW (4.01%)	1	
	Pérdida de 100 MW de generación en Ecuador	1.4%	59.86 Hz	59.94 Hz	---	---	---	---	
	Pérdida de 300 MW de generación en Ecuador	4.3%	57.9 Hz	61.3 Hz	---	699.61 MW (9.94%)	699.61 MW (9.94%)	6	Aislamiento por baja tensión
Importación Ecuador - Colombia 100 MW	Pérdida de 1640 MW de generación en Colombia	23.3%	57.88 Hz	59.86 Hz	1841.81 MW (26.18%)	---	1841.81 MW (26.18%)	7	Aislamiento por baja tensión
	Pérdida de 450 MW de generación en Colombia	6.4%	59.35 Hz	59.94 Hz	236.92 MW (3.37%)	45.14 MW (0.64%)	282.07 MW (4.01%)	1	
	Pérdida de 300 MW de generación en Ecuador	4.3%	59.43 Hz	59.81 Hz	---	---	---	---	

Tabla7. Resultados EDAC – Demanda media

DEMANDA MÍNIMA									
Nombre del caso	Evento	Desbalance Evento [%]	Frecuencia Mínima [Hz]	Frecuencia a los 10 s [Hz]	DAC Colombia [MW] / [%]	DAC Ecuador [MW] / [%]	DAC Total [MW] / [%]	Actuación Etapas EDAC	Observaciones
Exportación Colombia - Ecuador 200 MW	Pérdida de 1640 MW de generación en Colombia	33.8%	57.06 Hz	59.23 Hz	1439.73 MW (29.68%)	458.08 MW (9.44%)	1897.81 MW (39.12%)	8	Aislamiento por baja frecuencia
	Pérdida de 450 MW de generación en Colombia	9.3%	59.14 Hz	59.97 Hz	315.78 MW (6.51%)	64.19 MW (1.32%)	379.97 MW (7.83%)	2	
	Pérdida de 100 MW de generación en Ecuador	2.1%	59.85 Hz	59.95 Hz	---	---	---	---	
	Pérdida de 300 MW de generación en Ecuador	6.2%	58.98 Hz	58.32 Hz	---	513.56 MW (10.59%)	513.56 MW (10.59%)	6	Aislamiento por baja tensión posible colapso Ecuador
Importación Ecuador - Colombia 80 MW	Pérdida de 1640 MW de generación en Colombia	33.8%	55.75 Hz	57.39 Hz	1439.73 MW (29.68%)	---	1439.73 MW (29.68%)	8	Aislamiento por baja tensión Posible colapso del sistema
	Pérdida de 450 MW de generación en Colombia	9.3%	59.12 Hz	59.88 Hz	315.78 MW (6.51%)	65.75 MW (1.36%)	381.53 MW (7.86%)	2	
	Pérdida de 300 MW de generación en Ecuador	6.2%	59.30 Hz	59.72 Hz	9.62 MW (0.2%)	32.87 MW (0.68%)	42.5 MW (0.88%)	1	

Tabla8. Resultados EDAC – Demanda mínima

FUNCIONAMIENTO DEL ESQUEMA COLOMBIA ECUADOR INTERCONECTADOS					
	Evento	Demanda Máxima	Demanda Media	Demanda Mínima	Observaciones
EXPORTACIÓN COLOMBIA - ECUADOR	Pérdida de 450 MW de generación en Colombia				
	Pérdida de 1640 MW de generación en Colombia			x	Aislamiento por baja frecuencia Posible colapso de ambos Sistemas
	Pérdida de 100 MW de generación en Ecuador				
	Pérdida de 300 MW de generación en Ecuador	x	x	x	Aislamiento por baja tensión Posible colapso del Sistema Ecuatoriano
IMPORTACIÓN ECUADOR - COLOMBIA	Pérdida de 450 MW de generación en Colombia				
	Pérdida de 1640 MW de generación en Colombia	x	x	x	Aislamiento por baja tensión Posible colapso del sistema colombiano
	Pérdida de 300 MW de generación en Ecuador				

Tabla 9. Resultados EDAC – Colombia Ecuador Interconectados

8. CONCLUSIONES

- ♦ Para los Sistemas operando en forma aislada se observa una buena actuación del EDAC. Para el sistema colombiano desbalances superiores al 40% requerirían implementación de etapas adicionales ó revaluación del esquema actual.
- ♦ Se mantiene el porcentaje de desconexión de carga en el 5% para Colombia, para todas las etapas por su efectividad ante los diversos desbalances al minimizar la carga desconectada.
- ♦ Con los Sistemas interconectados se presenta actuación del EDAC así:

Demanda máxima: pérdidas de generación > 450 MW

Demanda media: pérdidas de generación > 350 MW

Demanda mínima: pérdidas de generación > 230 MW

- ♦ Caso Exportación Colombia Ecuador: en la mayoría de los casos analizados se presenta un adecuado comportamiento de ambos Sistemas. Sin embargo, se observa posible colapso del sistema Ecuatoriano ante la salida de 300 MW de generación en Ecuador.

En demanda mínima se observa posible colapso de ambos Sistemas ante un desbalance del 34% (salida de 1640 MW) de generación en Colombia.

Para cubrir estos eventos sería necesaria la implementación de un esquema suplementario.

- ♦ Caso Importación Ecuador Colombia: en la mayoría de los casos analizados se presenta un adecuado comportamiento de ambos Sistemas, excepto ante la salida de 1640 MW de generación en Colombia (desbalances entre el 17% y el 34% en Colombia de acuerdo con el periodo de demanda), donde se observa posible colapso del Sistema colombiano.

Para cubrir estos eventos sería necesaria la implementación de un esquema suplementario.

- En cuanto a la desconexión de carga se observa un buen comportamiento del esquema siempre y cuando no exista apertura de la interconexión. En estos casos los deslastes de carga corresponden al desbalance de cada Sistema y se ven afectados por una mayor caída de la frecuencia ocasionada por el aislamiento de los Sistemas y la disminución de la inercia.
- En cuanto a la recuperación de la frecuencia se observa un buen comportamiento para el sistema colombiano, observándose en todos los casos valores del orden de 59.4 Hz a los 10 segundos. Sin embargo, para el sistema ecuatoriano cuando se presenta desconexión de las 6 etapas del EDAC, se observan problemas de sobrefrecuencia ocasionados por el efecto combinado de la desconexión de carga en la última etapa (18% en 200 ms), el efecto de las altas tensiones y la actuación de los reguladores de velocidad.

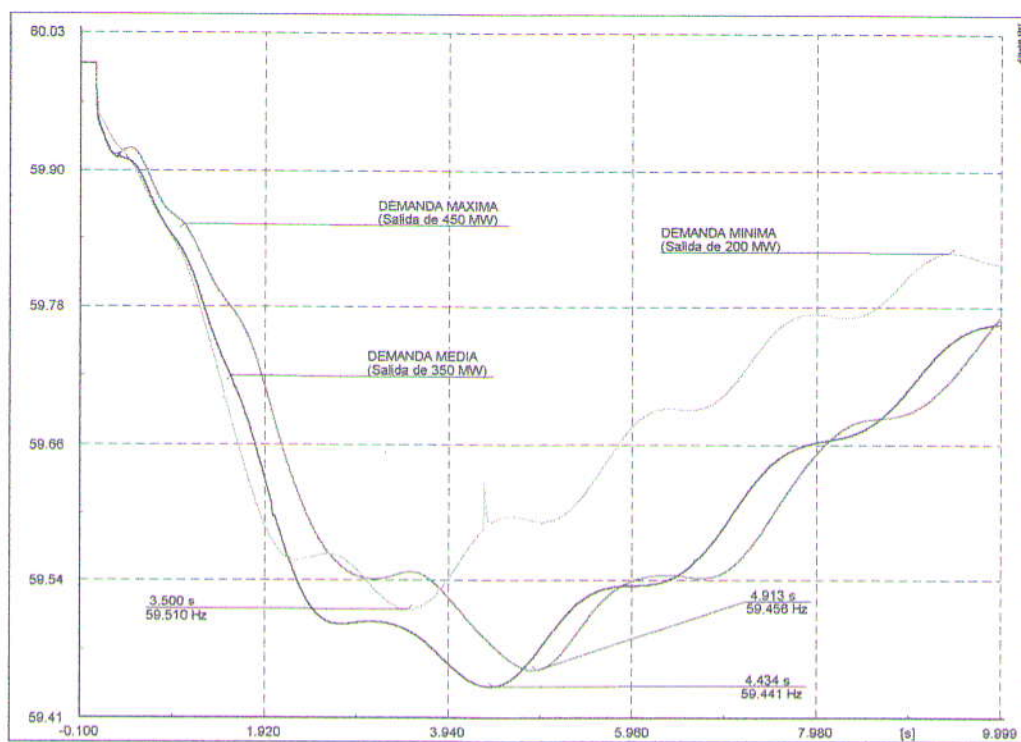
- De acuerdo con los registros históricos el 78% de los eventos ocasionan la actuación del EDAC dentro del umbral de la primera y segunda etapa, lo cual indica que el esquema implementado actualmente es lo suficientemente robusto para cubrir este tipo de eventos en cualquiera de los periodos de demanda.

ANEXO 1

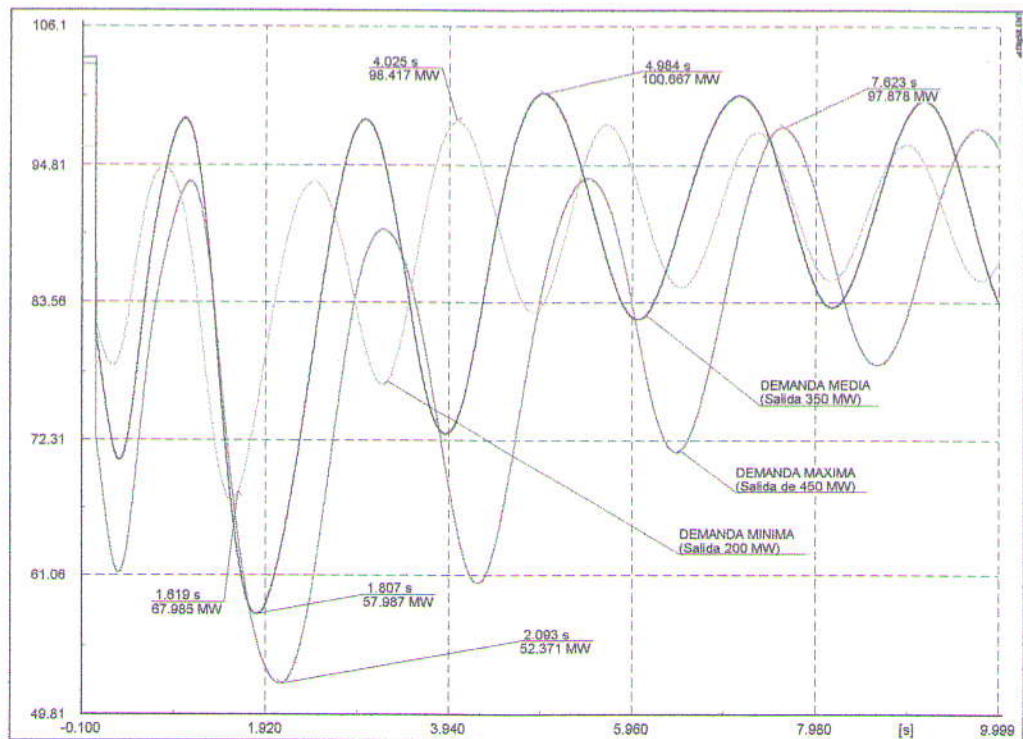
EXPORTACIÓN COLOMBIA ECUADOR

PÉRDIDA DE GENERACIÓN SIN PRODUCIR ACTUACIÓN DEL EDAC

- . Resultados de frecuencia en demanda máxima, media y mínima
- . Transferencia Jamondino Pomasqui 230 kV en demanda máxima, media y mínima



Anexo 1.1. Frecuencia



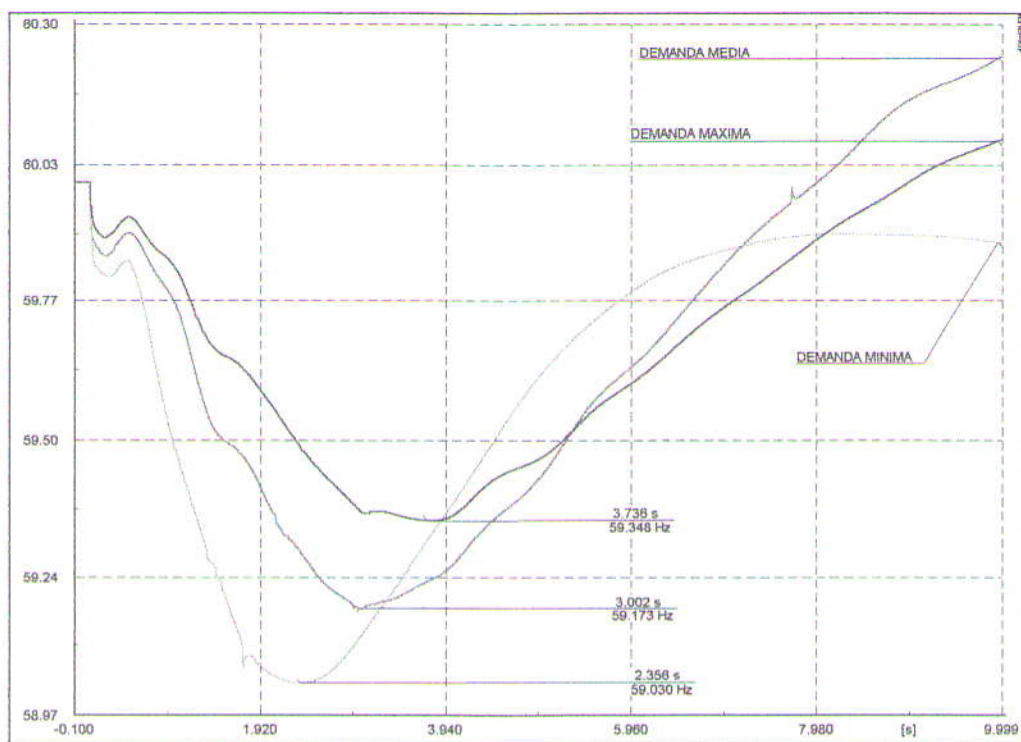
Anexo 1.2. Intercambio Jamondino Pomasqui

ANEXO 2

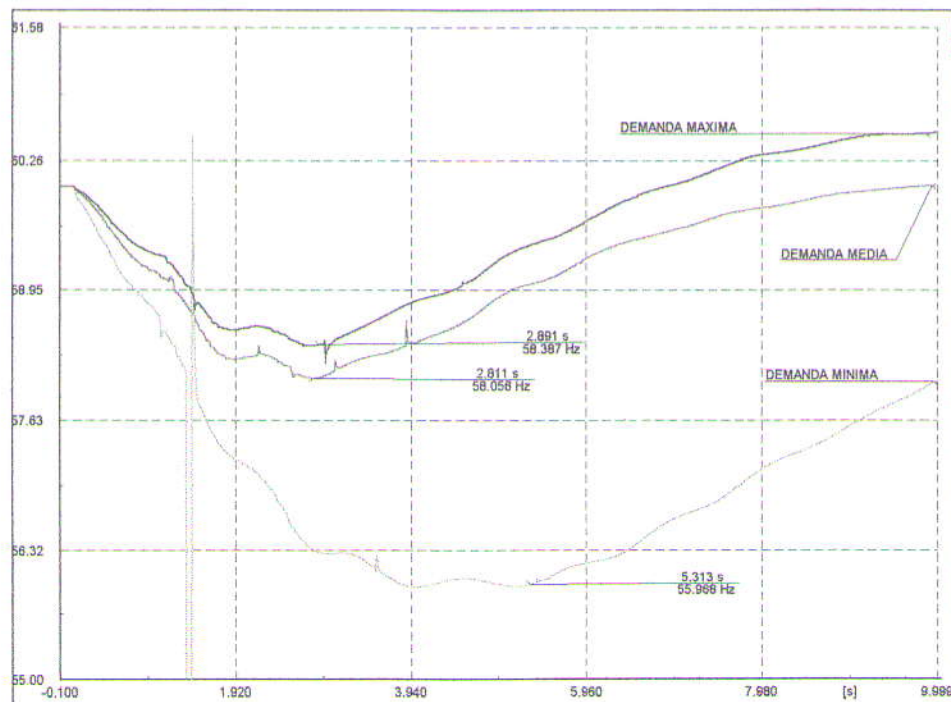
COLOMBIA ECUADOR AISLADOS

RESULTADOS DE FRECUENCIA

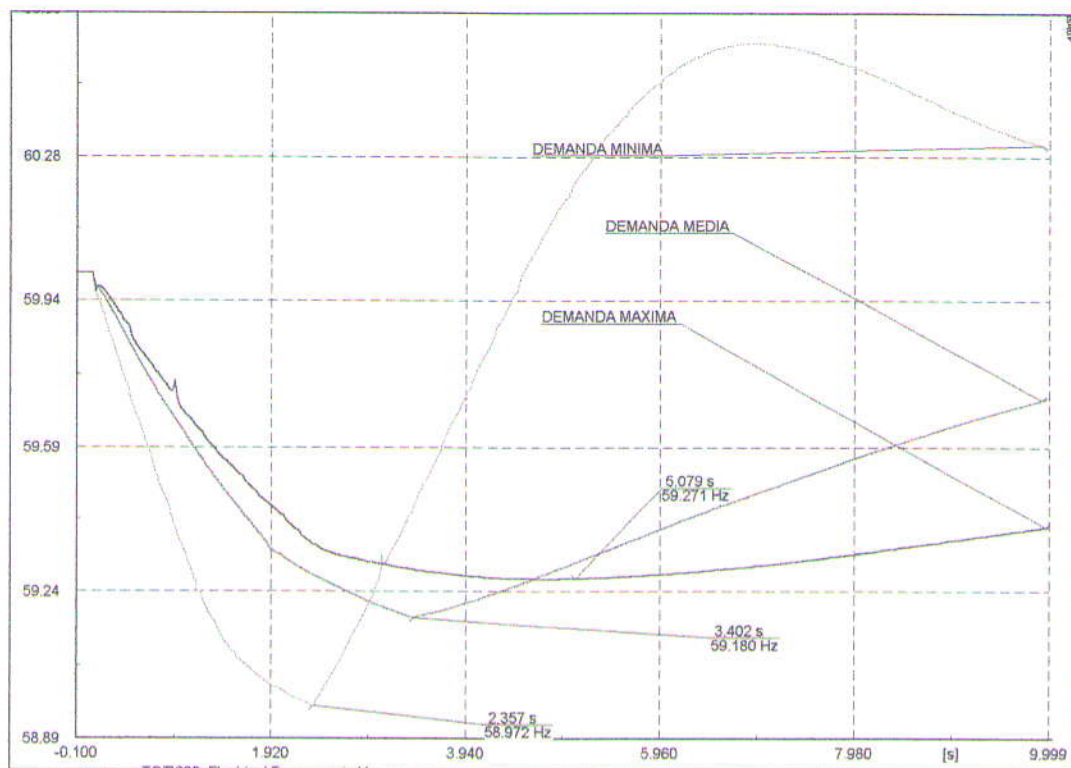
- . Pérdida de 1640 MW en Colombia (Guavio + 1 etapa de Chivor).
- . Pérdida de 450 MW en Colombia (3 unidades de Betania).
- . Pérdida de 100 MW en Ecuador (1 unidad de Paute).
- . Pérdida de 300 MW en Ecuador (3 unidades de Paute).



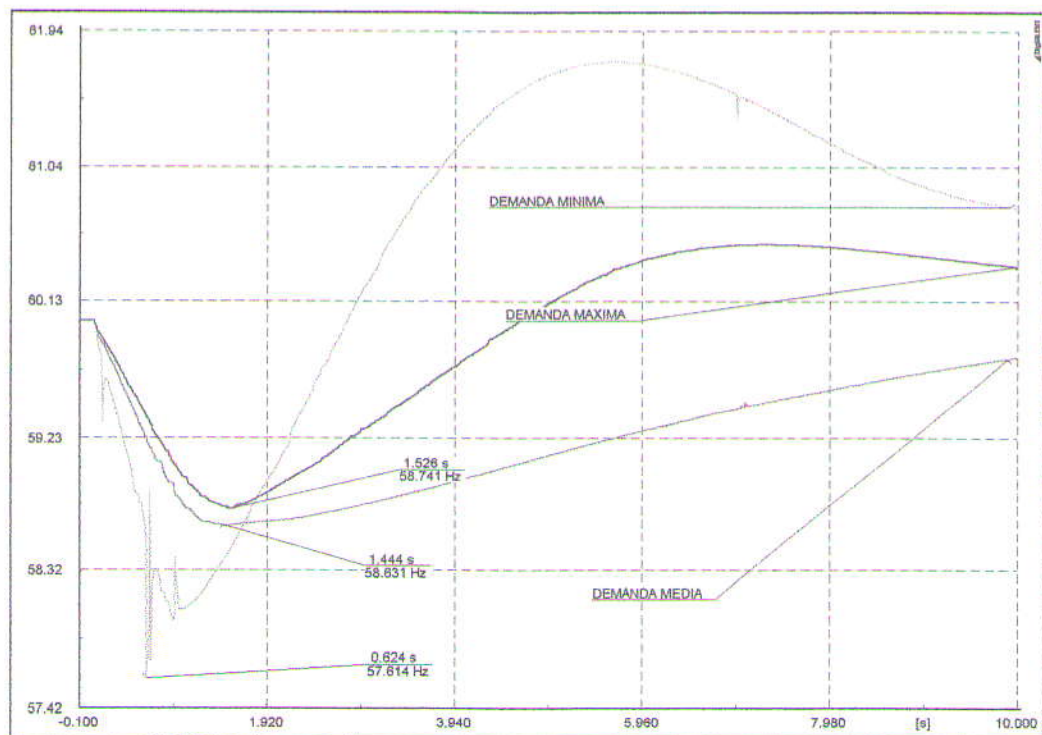
Anexo 2.1. Frecuencia- Perdida 450 MW Colombia



Anexo 2.2. Frecuencia- Perdida 1640 MW Colombia



Anexo 2.3. Frecuencia- Perdida 100 MW Ecuador



Anexo 2.4. Frecuencia- Perdida 300 MW Ecuador

ANEXO 3

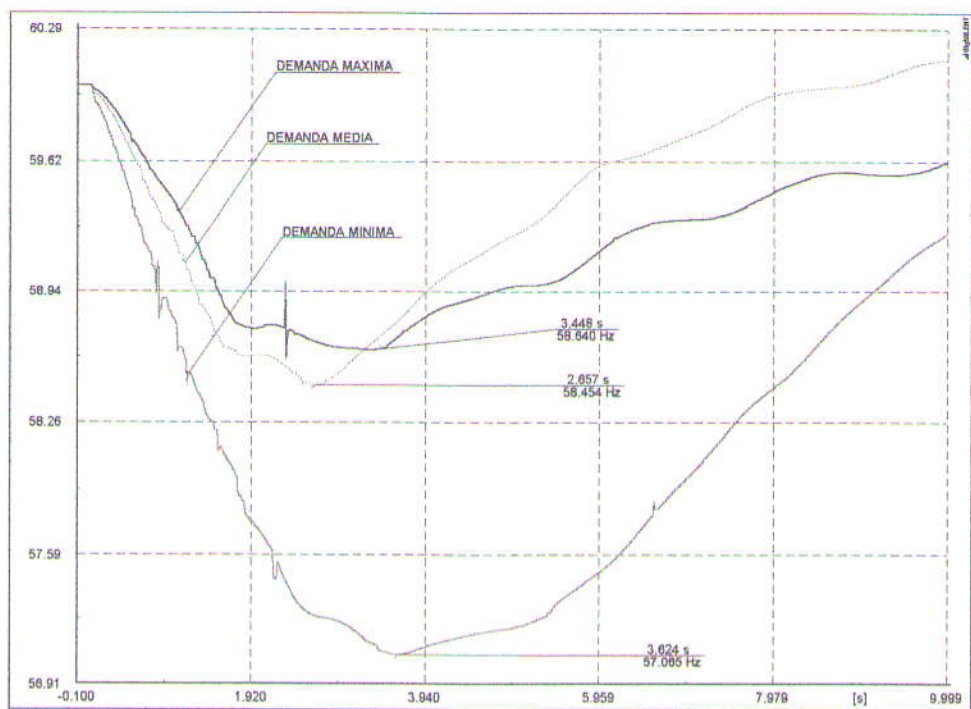
EXPORTACIÓN COLOMBIA ECUADOR

PÉRDIDA DE 1640 MW DE GENERACIÓN EN COLOMBIA.

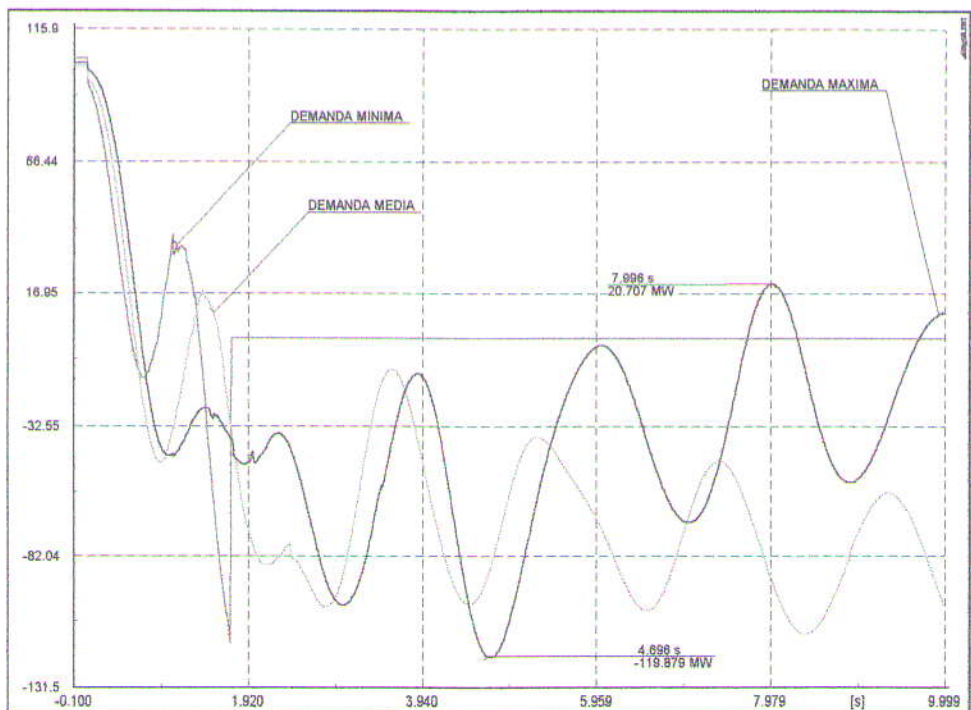
(GUAVIO + UNA ETAPA DE CHIVOR)

Resultados de frecuencia en demanda máxima,
media y mínima

Transferencia Jamondino Pomasqui 230 kV en
demanda máxima, media y mínima



Anexo 3.1. Frecuencia



Anexo 3.2. Intercambio Jamondino Pomasqui

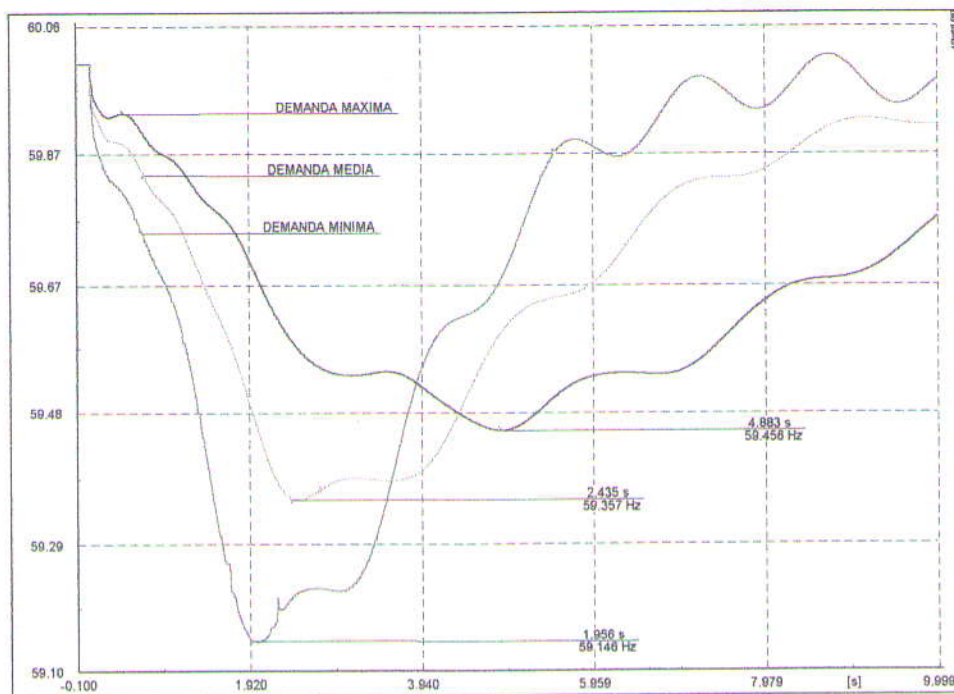
ANEXO 4

EXPORTACIÓN COLOMBIA ECUADOR

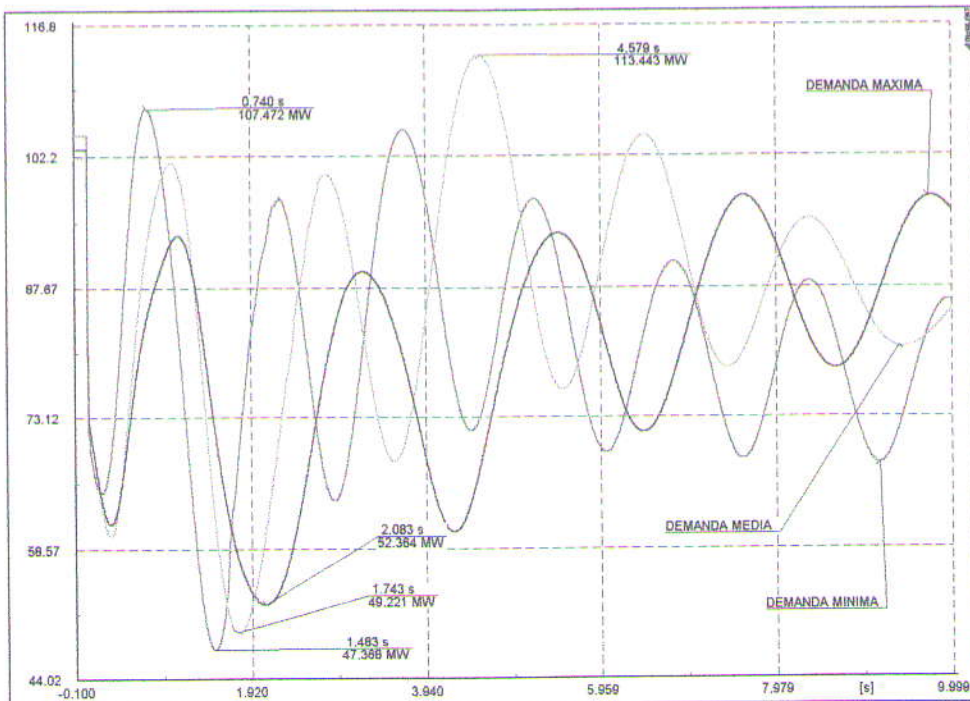
PÉRDIDA DE 450 MW DE GENERACIÓN EN COLOMBIA.

(3 UNIDADES DE BETANIA)

- . Resultados de frecuencia en demanda máxima, media y mínima
- . Transferencia Jamondino Pomasqui 230 kV en demanda máxima, media y mínima



Anexo 4.1. Frecuencia



Anexo 4.2. Intercambio Jamondino Pomasqui

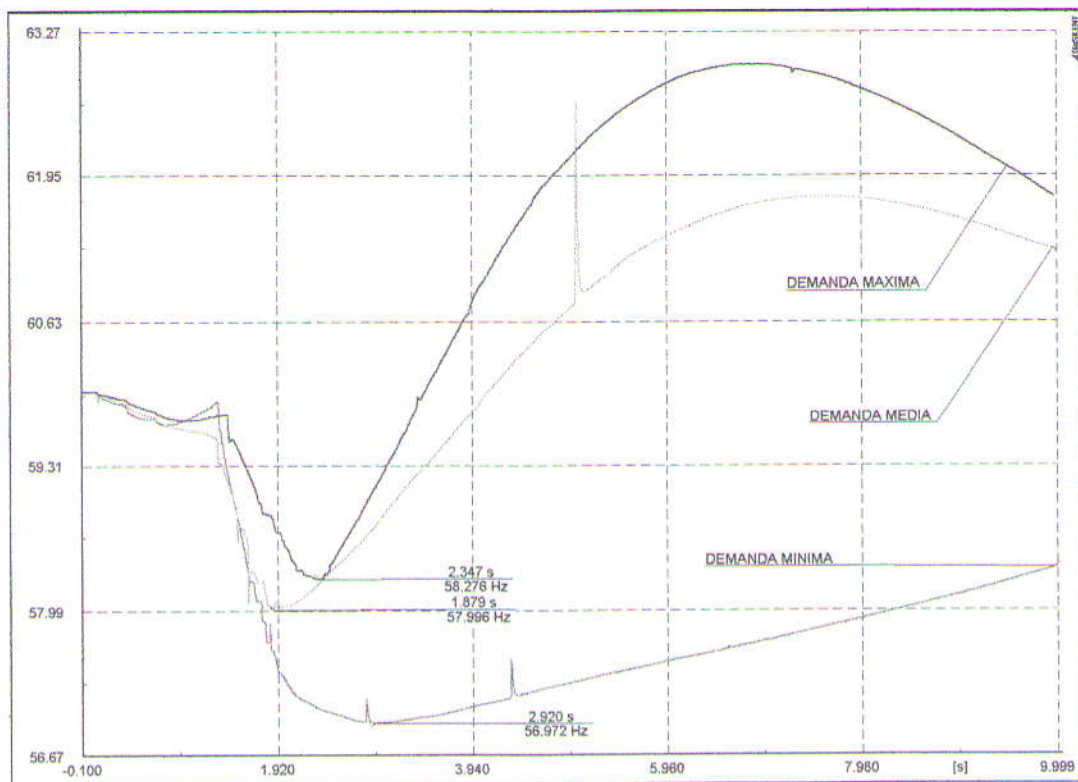
ANEXO 5

EXPORTACIÓN COLOMBIA ECUADOR

PÉRDIDA DE 300 MW DE GENERACIÓN EN ECUADOR.

(3 UNIDADES DE PAUTE)

- . Resultados de frecuencia en demanda máxima, media y mínima



Anexo 5.1. Frecuencia