

# Desconexión automática de carga del sistema eléctrico peruano Centro Oriente para mitigar desconexiones en cascada

Clifford Mostacero, Mijhael Tuesta, Enrique Moldauer, Ernesto Tito, Yofre Jácome, Roberto Ramírez

Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional,  
Lima, Perú  
clifford.mostacero@coes.org.pe

## RESUMEN

*Las líneas de transmisión en el sistema eléctrico peruano están expuestas a sufrir fallas eléctricas debido a descargas atmosféricas, pudiendo generar interrupción de servicio y daños a los equipos. Estas fallas pueden producir desconexiones en cascada generando apagones, por lo que se deben elaborar esquemas automáticos con el objetivo de mitigar estas desconexiones. En este trabajo se muestra el análisis para la implementación del esquema de desconexión automática de carga del área Centro Oriente utilizando el software DIgSILENT PowerFactory para verificar las lógicas y definir los ajustes adecuados para el esquema.*

**PALABRAS CLAVE:** Desconexión de carga, análisis de contingencias, automatización.

## ABSTRACT

*The transmission lines in the Peruvian electrical system are exposed to failure due to atmospheric discharges, which can produce service interruption and damages of devices. These failures can produce disconnection in cascade and blackouts, therefore, automatic schemes must be elaborated aiming to mitigate these disconnections. An analysis for the implementation of the automatic disconnection scheme in the Central East area using DIgSILENT PowerFactory software was used to verify logistics and define the proper adjustments for the scheme is shown in this work.*

**KEYWORDS:** Charge disconnection, contingency analysis, automation.

## NOMENCLATURA

SEIN: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional Peruano.

COES: Comité de Operación Económica del Sistema Peruano.

SE: Subestación.

CT: Central Térmica.

DSL: DIgSILENT *simulation language*.

## INTRODUCCIÓN

El sistema Centro Oriente del SEIN, es netamente radial alimentado a través de dos enlaces, uno de 220 kV y otro de 138 kV. En el área Centro Oriente del SEIN, la CT Aguaytía operaba para regular la tensión (figura 1), pero debido al ingreso de un equipo de compensación reactiva (STATCOM) en Pucallpa, la central no está siendo operada por despacho.

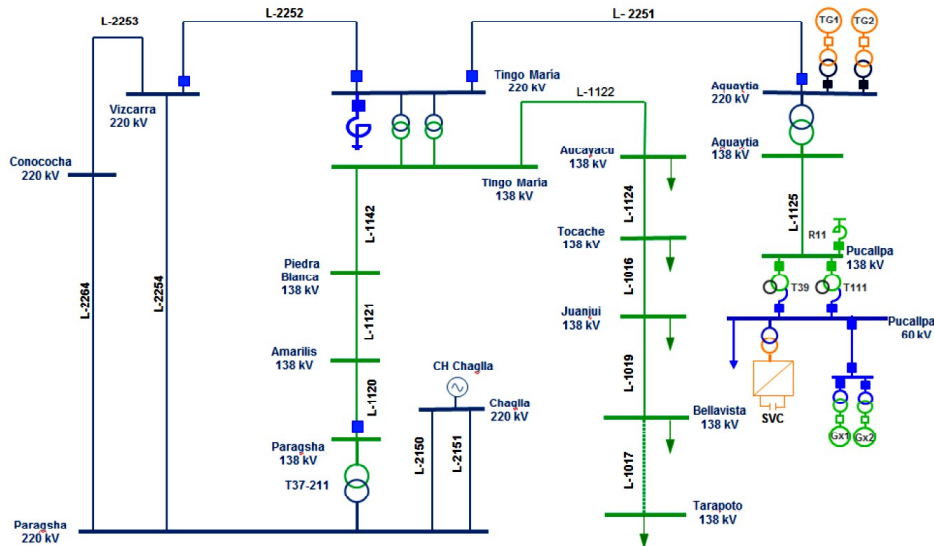


Fig. 1. Unifilar del sistema eléctrico área Centro Oriente.

Entre los meses de diciembre a abril, es la temporada de lluvias en la sierra y la selva de Perú, por lo que la probabilidad de fallas por descargas atmosféricas se incrementa, y con la configuración actual del SEIN al provocarse la desconexión por falla del enlace de 220 kV (línea L-2252), se originarían sobrecargas en el enlace de 138 kV. Es importante notar que la presencia de los equipos de compensación reactiva evitan que se produzca una caída de tensión suficiente para poder activar los relés de mínima tensión en los puntos de carga, produciendo la actuación de las protecciones de sobre corriente o distancia de las líneas y transformadores del enlace de 138 kV, y consecuencia de estos eventos se interrumpen grandes cantidades de carga en el centro oriente del SEIN.

Por ello es necesario implementar un esquema de rechazo automático de carga ante la desconexión del enlace de 220 kV, que permita disminuir las sobrecargas de forma rápida y evite la desconexión de líneas y transformadores en cascada.

## ANTECEDENTES

Debido al incremento de la demanda por el desarrollo en el Área Centro Oriente del Sistema Peruano se han venido realizando proyectos como la ampliación de la capacidad de transformación en las SS. EE. Aguaytía y Pucallpa, e instalación de un STATCOM en la SE Pucallpa 60 kV, tal y como se muestra en la figura 1.

Antes del ingreso del STATCOM, la CT Aguaytía operaba para mantener los niveles de tensión en la zona de Aguaytía y Pucallpa, pero con el ingreso de la compensación reactiva en Pucallpa, esta central no es operada por despacho económico; si bien en condiciones normales el sistema opera sin restricciones, ante la pérdida de un enlace, se pueden producir desconexiones en cascada.

Durante la temporada de lluvia se producen fallas por descargas atmosféricas en las líneas de transmisión, las cuales pese a contar con apantallamiento y recierre monofásico ocasionan desconexiones de líneas de transmisión. Luego del ingreso de las ampliaciones de subestaciones e implementación del STATCOM de la SE Pucallpa, se han producido eventos como la desconexión del enlace de 220 kV (línea L-2252) por falla, ocasionando la posterior desconexión del autotransformador 220/138 kV de la SE Paragsha, ocasionando pérdidas de suministro en ciudades importantes como Huánuco, Tingo María, Tarapoto y Cerro de Pasco, interrumpiendo alrededor de 130.4 MW. En la figura 2 se puede apreciar la ubicación de falla de este evento.

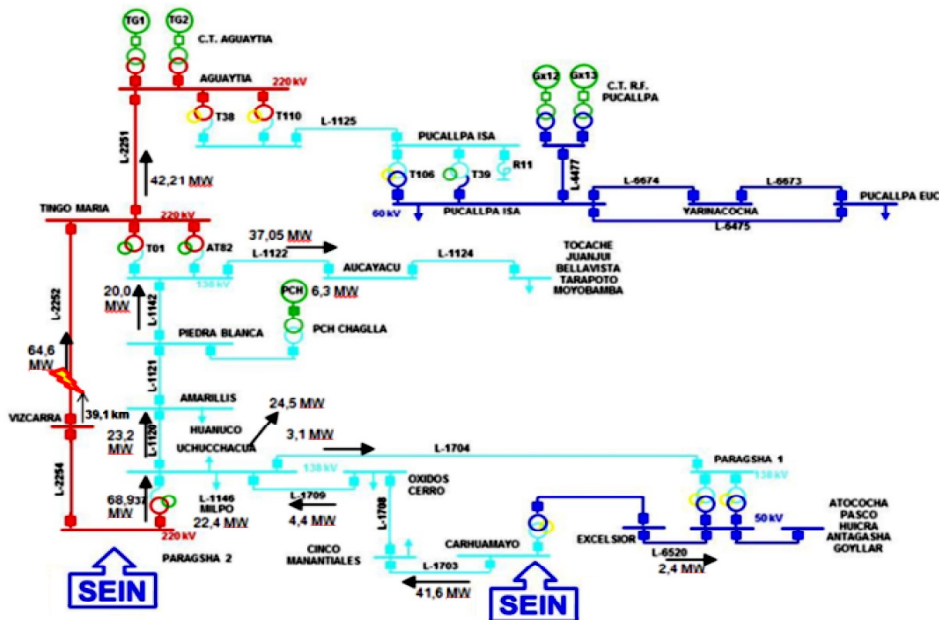


Fig. 2. Falla monofásica en la L-2252 a 39 km de SE Vizcarra 220 kV.

También, en otros escenarios, se ha producido una falla en la línea L-2252, dejando a esta zona conectada al SEIN con un enlace débil, provocando sobrecargas superiores al 120% de las líneas de 138 kV y del autotransformador 220/138 kV de la SE Paragsha. Como consecuencia de este evento, las tensiones disminuyeron en las barras de 138 kV del enlace, la sobrecarga y las caídas de tensión activaron protecciones que desconectaron líneas como se puede notar en la figura 3 (oscilografía del último evento registrado), por lo tanto se interrumpió el suministro en la zona Centro Oriente.

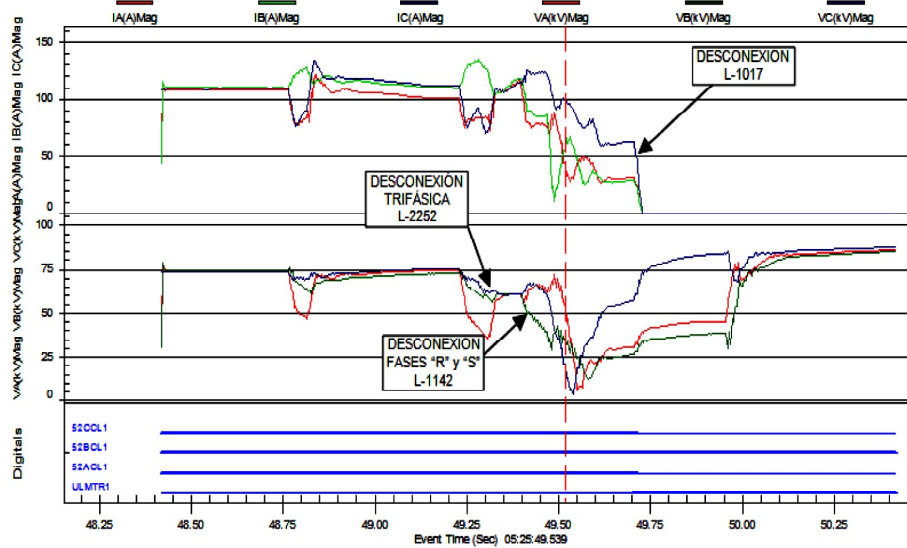


Fig. 3. Caída de tensión en el Centro Oriente y desconexión de la L-1017.

### ANÁLISIS DEL PROBLEMA

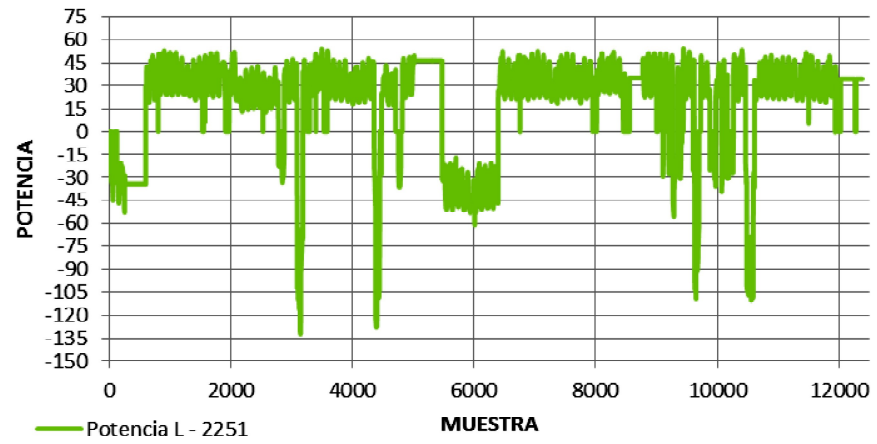
Ante los eventos suscitados, se ha realizado el análisis para evaluar las consecuencias al desconectar la línea L-2252, y en base a ello proponer soluciones de corto, mediano y largo plazo. Para ello en base a la información obtenida del SCADA del COES se determinó los límites de potencia activa para las líneas L-2252, L-2251 y la potencia del autotransformador de Paragsha, como se muestra en la figura 4, con esta información se elaboró los escenarios de operación para la simulación en DIGSILENT.

Adicionalmente, en la figura 5 se muestra los registros de operación de la CT Aguaytía, donde observa que esta central no opera por despacho y solo lo hace ante alguna contingencia en el SEIN.

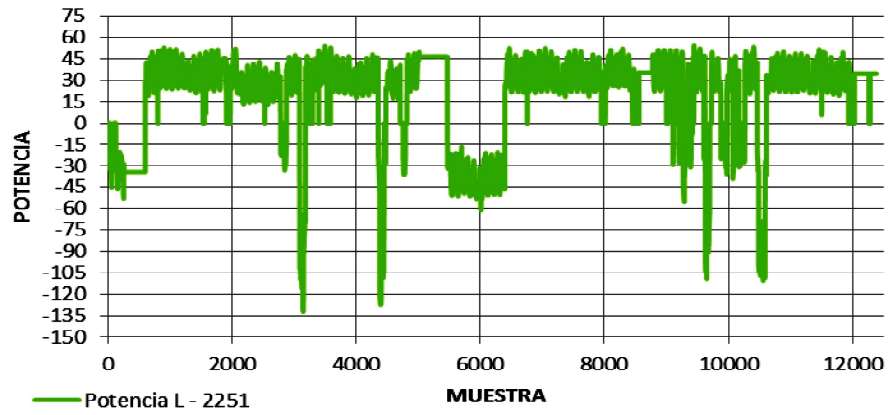
También, se realizó un análisis cualitativo sobre la carga que soportaría la línea de 138 kV L-1142 (Solo potencia activa MW), con la línea L-2252 fuera de servicio. En esta condición esta línea tendría que asumir la carga de Tingo María, Aguaytía, Pucallpa, Aucayacu, Tocache, Juanjui, Bellavista, Moyobamba y Tarapoto. Se observa que la potencia por el enlace de 138 kV llegaría a 110 MW (ver figura 6), lo cual representa una carga de 240% en este enlace, por este motivo es necesario la implementación de un esquema especial de protección que desconecte parte de la carga y evite el colapso en cascada.

Se han simulado en el software DIGSILENT los escenarios de máxima, media y mínima demanda. Siendo evidentes las sobrecargas en el enlace de 138 kV en máxima demanda sin considerar la operación de la CT Aguaytía como se puede ver en la figura 15. De esta sobrecarga, la más crítica se da en la L-1142, la cual llega hasta el 239% de carga.

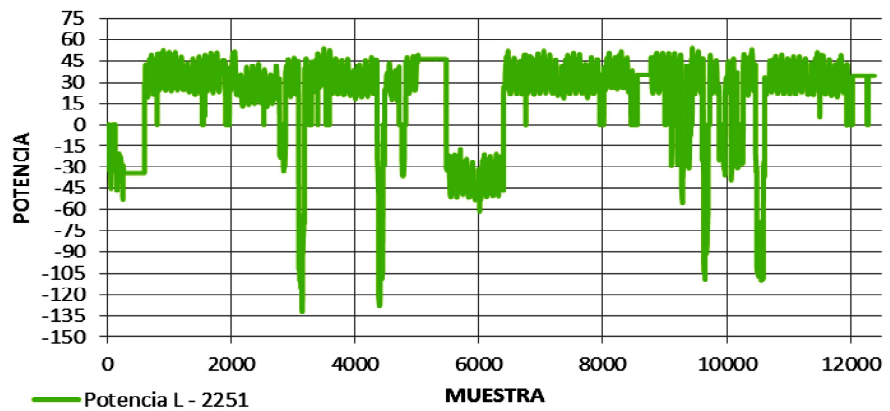
Cabe resaltar la posibilidad que en horas de máxima demanda, al producirse la falla de la línea L-2252 se desconecte el autotransformador de Paragsha por sobrecarga.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4. Potencia activa en (a) la línea L-2251, (b) la línea K- 2252, y (c) el transformador T37-211.

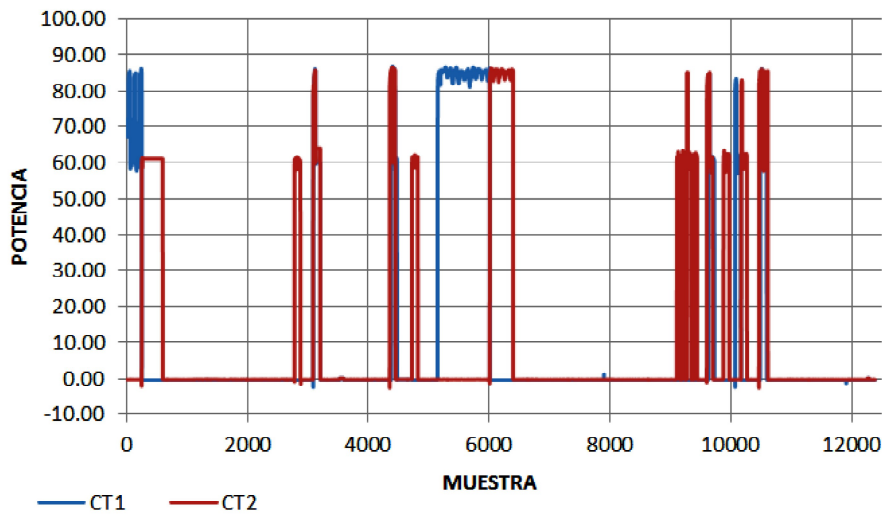


Fig. 5. Despacho de la CT Aguaytía.

Asimismo a consecuencia de estos eventos, las tensiones en la zona Centro Oriente disminuyen muy por debajo de los valores permitidos por la NTCSE,<sup>1</sup> como se puede ver en la figura 6, la mínima tensión y la sobrecarga activan las protecciones, desconectando líneas, por lo tanto interrumpen el suministro de energía eléctrica.

Por ello es necesario implementar un esquema especial de protección que rechace automáticamente carga ante la desconexión del enlace de 220 kV (L-2252), y permita controlar las sobrecargas en las líneas de 138 kV. Además, evita la desconexión indebida del autotransformador 220/138 kV de la SE Paragsha y la desconexión por mínima tensión de las líneas que unen el enlace Centro Oriente.

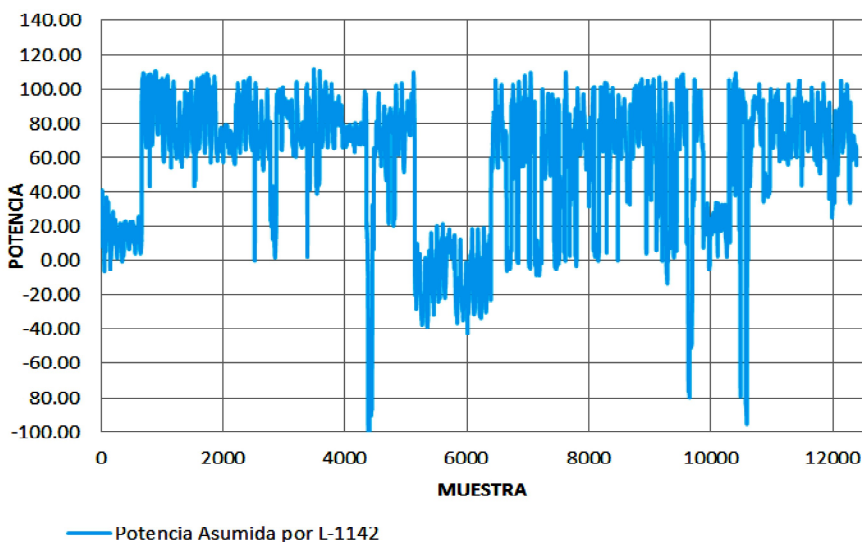


Fig. 6. Potencia activa por la L-1142.

## PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL ESQUEMA PROPUESTO

Para la implementación del esquema se realiza con los relés de distancia ABB REL670 de las líneas L-2251 y L-2252 instalados en la SE Tingo María, los cuales se muestran en la figura 7.

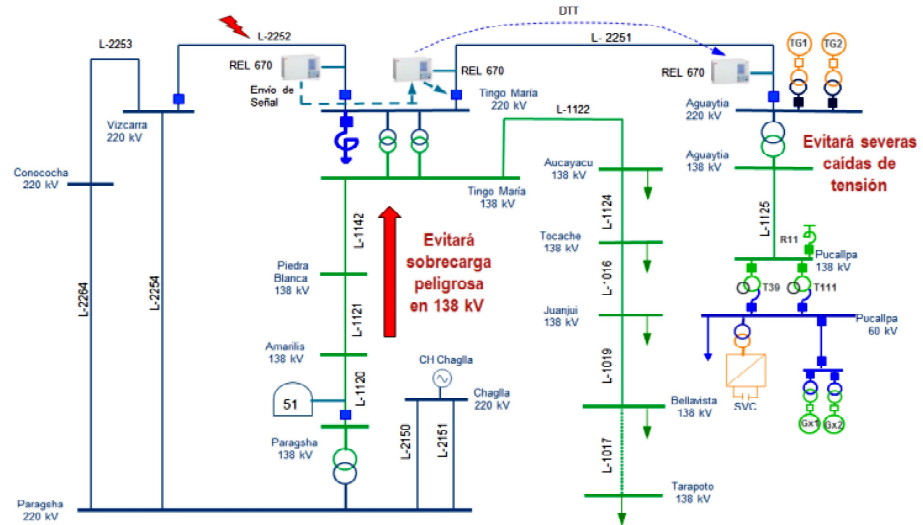


Fig. 7. Esquema de desconexión de carga del sistema eléctrico Centro Oriente.

La activación del esquema, debe producirse ante una desconexión súbita de la línea L-2252 por maniobra accidental o falla, en condiciones en la que el flujo de potencia en la línea supere niveles tales que al desconectar la L-2252 se provoque sobrecarga y posterior desconexión en las líneas del enlace de 138 kV o el autotransformador 220/138 kV de la SE Paragsha. Para la determinación de los ajustes se han evaluado tres condiciones de flujo de potencia prefalla en las líneas L-2251 y L-2252 los cuales se presentan en las siguientes condiciones:

**Escenario 1.** Máxima demanda sin unidades de generación en la CT Aguaytia.

**Escenario 2.** Dos unidades de generación de la CT Aguaytia en servicio.

**Escenario 3.** Una o dos unidades de generación de la CT Aguaytia en servicio y desconexión de los mismos ante una falla en la línea L-2252.

A continuación se muestran las lógicas propuestas y sus ajustes determinados.

## LÓGICAS DE DISPARO

### Escenario 1

En el escenario de máxima demanda, sin la CT Aguaytia, de producirse la desconexión de la línea L-2252, se debe activar el esquema

desconectando la línea L-2251. Para implementar un esquema de desconexión de carga adecuado para este escenario, se debe contar con la medición del flujo de potencia activa de las líneas L-2251 y L-2252 en la SE Tingo María, ya que en escenarios como mínima demanda no es necesario desconectar cargas. En el caso de la línea L-2251 el flujo de potencia tendrá signo positivo (flujo saliente) en la SE Tingo María, mientras que en el caso de la línea L-2252 el flujo de potencia signo negativo (flujo entrante) en la SE Tingo María. La condición de la línea fuera de servicio (L-2252 F-S) se debe activar en caso esta línea quede desconectada por una maniobra accidental. En la figura 8 se muestra el esquema lógico propuesto.

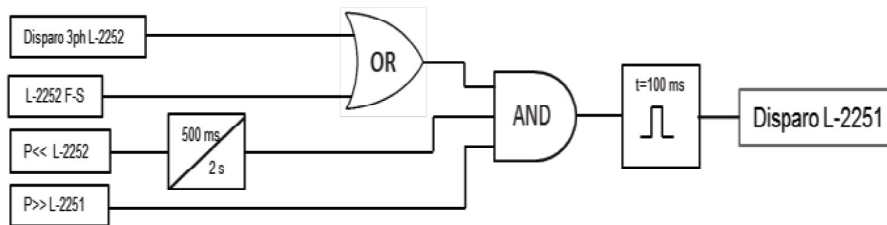


Fig. 8. Esquema lógico propuesto para el escenario 1.

### Escenario 2

Para esta lógica se requiere contar con la medición del flujo de potencia activa en las líneas L-2251 y L-2252 en la SE Tingo María los cuales deben tener el signo negativo ( $P < < 0$ ) y positivo ( $P > > 0$ ) respectivamente en la condición de prefalla. Ante esta condición, la desconexión de la línea L-2252 por falla o maniobra accidental debe conducir a la desconexión de la línea L-2251, de acuerdo al esquema lógico de la figura 9.

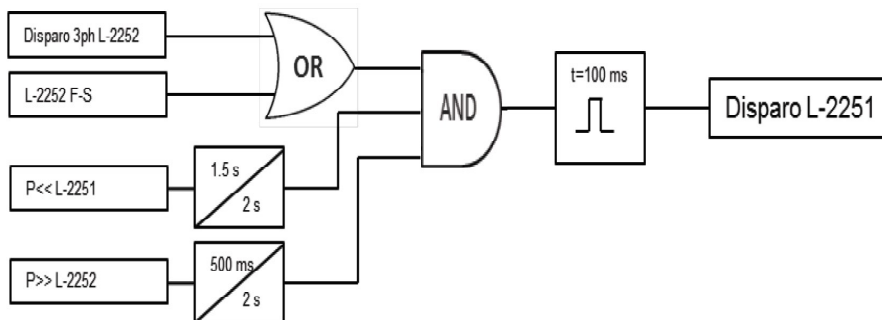


Fig. 9. Esquema lógico propuesto para el escenario 2.

### Escenario 3

En este escenario se considera la condición de prefalla con la SE Aguaytia (una o dos unidades en servicio), y que posterior a la desconexión de la línea L-2252 estas unidades desconecten (se observó en las simulaciones que hay la posibilidad de que estas unidades pierdan el sincronismo ante este tipo de contingencias). Con esta secuencia de eventos el flujo de potencia activa en la línea L-2251 cambiará de



signo pudiendo ocasionar una operación indebida de los esquemas correspondientes a los escenarios 1 y 2. Por lo tanto, se debe considerar este cambio de signo de la potencia como una condición de disparo, pero con la señal permisiva de que la línea L-2252 se encuentre desconectada (L-2252 F-S). En la figura 10 se muestra el esquema lógico propuesto.

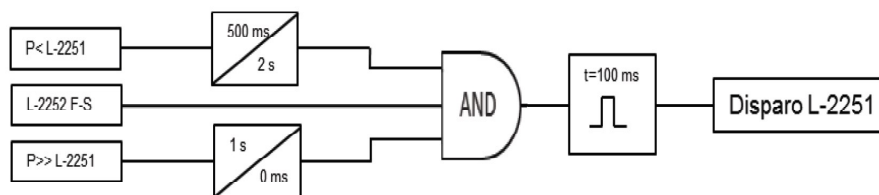


Fig. 10. Esquema lógico propuesto para el escenario 3.

### Ajustes propuestos para las lógicas

Para la determinación de los ajustes de los esquemas lógicos se han realizado simulaciones de falla en la línea L-2252 con disparo trifásico definitivo utilizando el módulo RMS/EMT del software DIGSILENT.

Como resultado de estas simulaciones se han determinado los siguientes ajustes:

Para el escenario 1, los ajustes recomendados son los mostrados en la tabla I. Para el escenario 2, los ajustes recomendados son los mostrados en la tabla II. Para el escenario 3, los ajustes recomendados son los mostrados en la tabla III. Se debe tener en cuenta que se utilizará una señal del escenario 1 ( $P \rightarrow 2251$ ).

Señal	Ajuste
$P \gg L-2251$	20 MW
$P \ll L-2252$	-30 MW

Señal	Ajuste
$P \gg L-2251$	-100 MW
$P \ll L-2252$	20 MW

Señal	Ajuste
$P \gg L-2251$	20 MW
$P \ll L-2252$	2 MW

### SIMULACIONES REALIZADAS

Con la finalidad de verificar la correcta actuación de los esquemas propuestos con los ajustes definidos se procedió a simular las lógicas en el software DIGSILENT (mediante el uso de DSL).

Se desarrolló el composite frame (figura. 11), en el cual se modela la conexión de las señales de los equipos existentes que serán utilizadas por las lógicas a implementar (potencias de las líneas L-2251 y L-2252 y actuación de los relés de protección, representadas por la actuación de los interruptores).

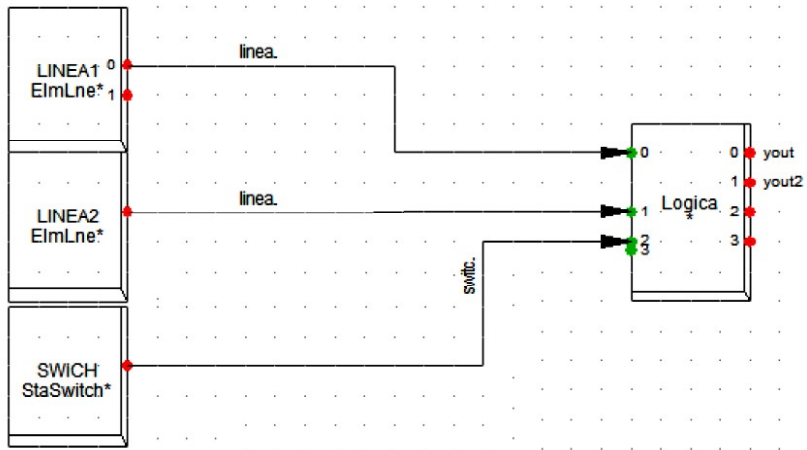


Fig. 11. Esquema del composite frame.

Para la elaboración de las lógicas creadas en DIGSILENT mediante el *model definition* se desarrollaron las ecuaciones mostradas según la figura 12, y luego se procedió a ingresar los ajustes propuestos que se muestran en la figura. 13.

```

a=picdro (linea1<PL1,0.5,2)
b=select (linea2>PL2,1,0)
c=picdro (linea2<PL3,1.5,2)
d=picdro (linea1>PL4,0.5,2)

f=select (linea1<UMBRAL.and.linea1>(UMBRAL*-1),1,0)

g=picdro (linea2<PL5,0.5,2)
h=delay (b,1)
posicion=(switch*-1)+1

g1=posicion=1.or.f=1
g2=posicion=1.or.f=1

yout=select (a=1.and.b=1.and.g1=1,1,0)
yout2=select (c=1.and.d=1.and.g2=1,1,0)
yout3=select (f=1.and.g=1.and.h=1,1,0)

inc (yout)=0
inc (yout2)=0
inc (yout3)=0

inc (a)=0
inc (b)=0
inc (c)=0
inc (d)=0
inc (f)=0
inc (g1)=0
inc (g2)=0

inc (disparo)=0

disparo=yout.or.yout2.or.yout3

event (Mxt,disparo,'name=Trip dtime=TB')
event (Mxt,disparo,'name=Trip2 dtime=TB')

vardef (PL1)=:'(P >> L-2251)'
vardef (PL2)=:'(P << L-2252)'
vardef (PL3)=:'(P << L-2251)'
vardef (PL4)=:'(P >> L-2252)'
vardef (PL5)=:'(P < L-2251)'
vardef (TB)=:'Tiempo del Interruptor'
    
```

Fig. 12. Ecuaciones del *model definition*.

► Mxt		1.
TB Tiempo del Interruptor		0.1
PL1 (P >> L-2251)		-30.
PL2 (P << L-2252)		20.
PL3 (P << L-2251)		-100.
PL4 (P >> L-2252)		20.
PL5 (P < L-2251)		2.
UMBRAL		1.

Fig. 13. Ajustes propuestos ingresados en el *software*.

Una vez implementadas las lógicas, se procedió a simularlas para verificar su operación.

### Verificación del esquema 1

En las figuras 14, 15 y 16 se muestran los resultados sin el esquema propuesto y luego en las figuras 17 y 18 se muestran los resultados con el esquema propuesto.

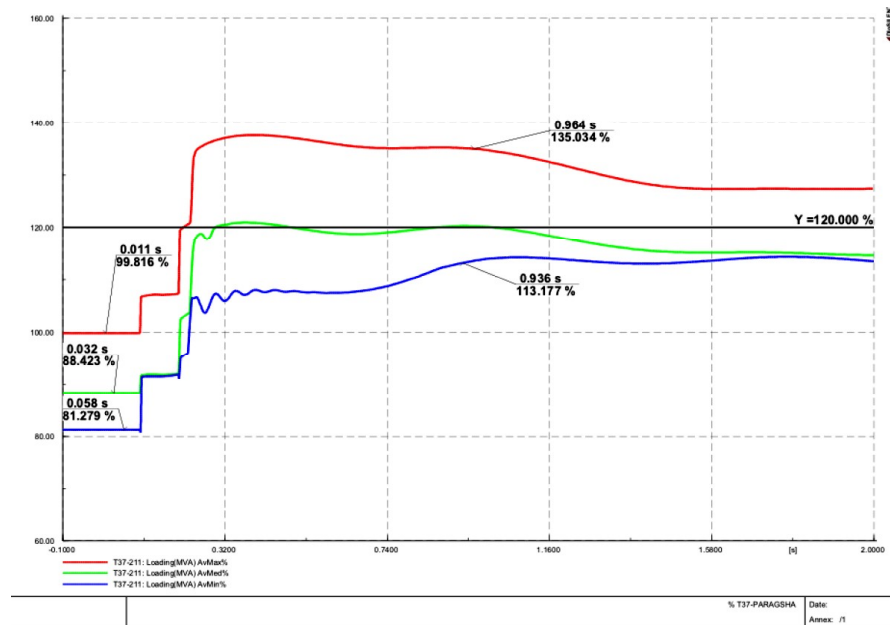


Fig. 14. Sobrecarga del autotransformador de Paragsha luego del evento en los períodos de avenida máxima, media y mínima.

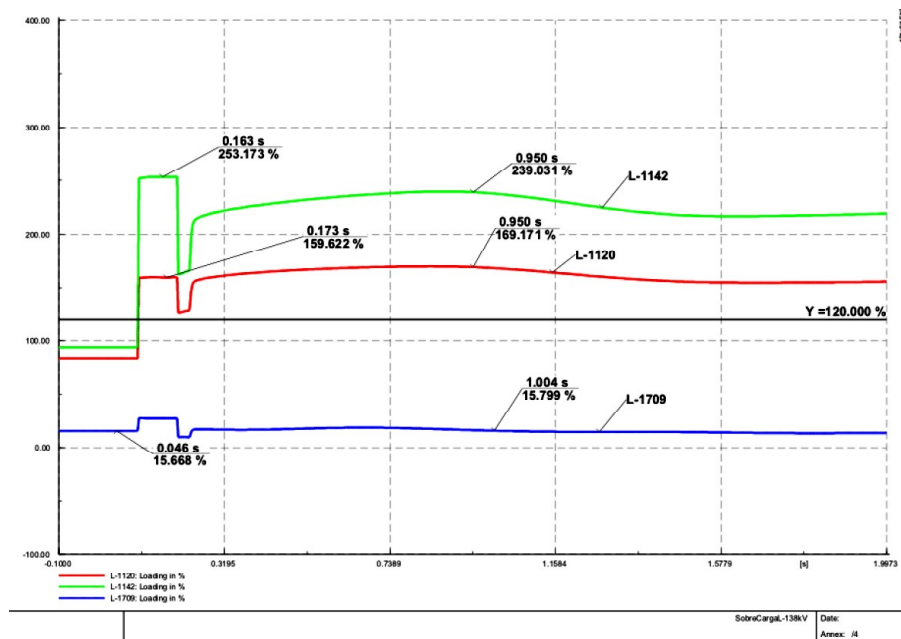


Fig. 15. Sobrecarga de las líneas de transmisión cercanas en el período de avenida máxima.

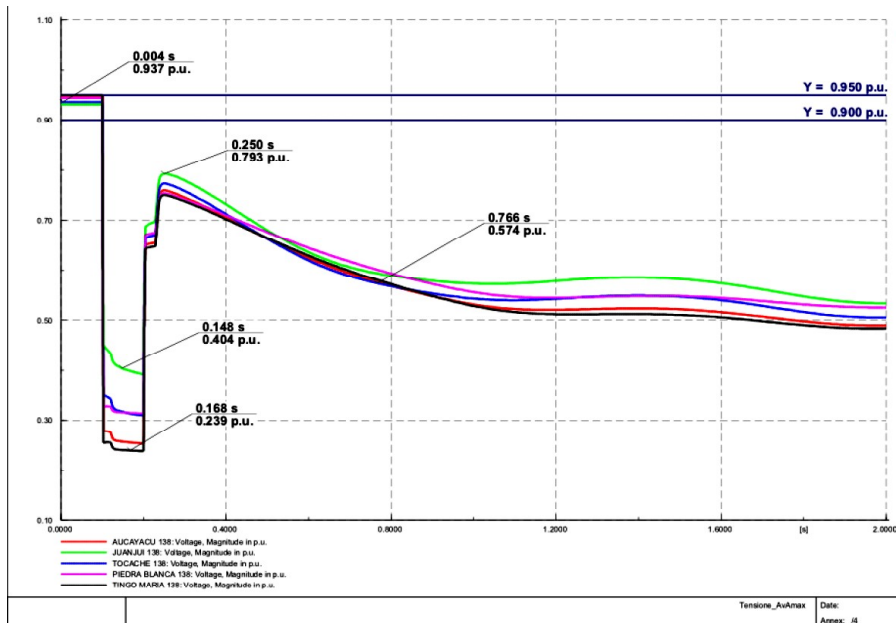


Fig. 16. Perfil de tensiones en barra del oriente en el período de avenida máxima.

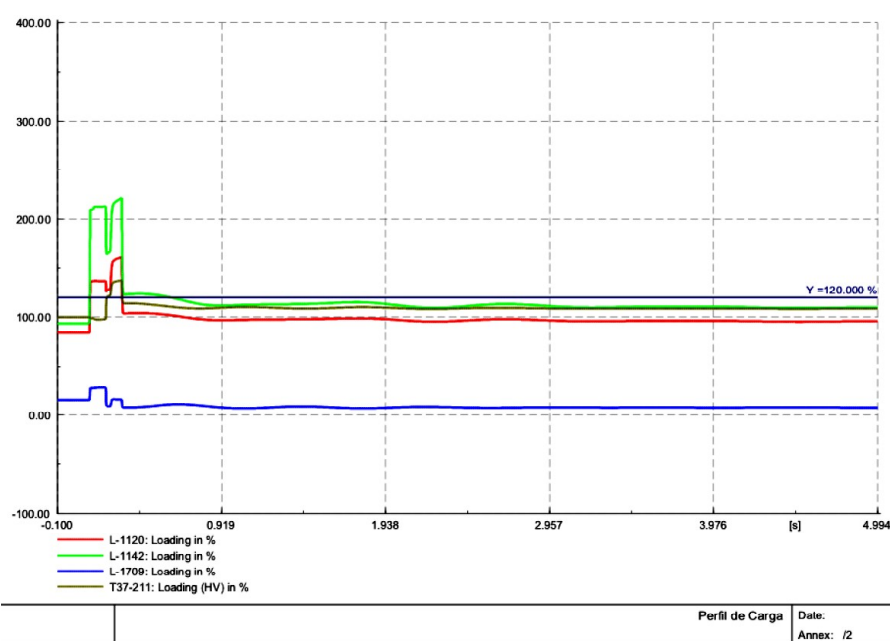


Fig. 17. Sobrecarga de las líneas de transmisión cercanas y del transformador de Paragsha en el período de avenida máxima.

### Verificación del esquema 2

En las figuras 19 y 20 se muestran los resultados sin el esquema propuesto, y en las figura. 21 y 22 con el esquema propuesto.

### Verificación del esquema 3

En la figuras 23 y 24 se muestran los resultados sin el esquema propuesto, y en las figuras 25 y 26 con el esquema propuesto.

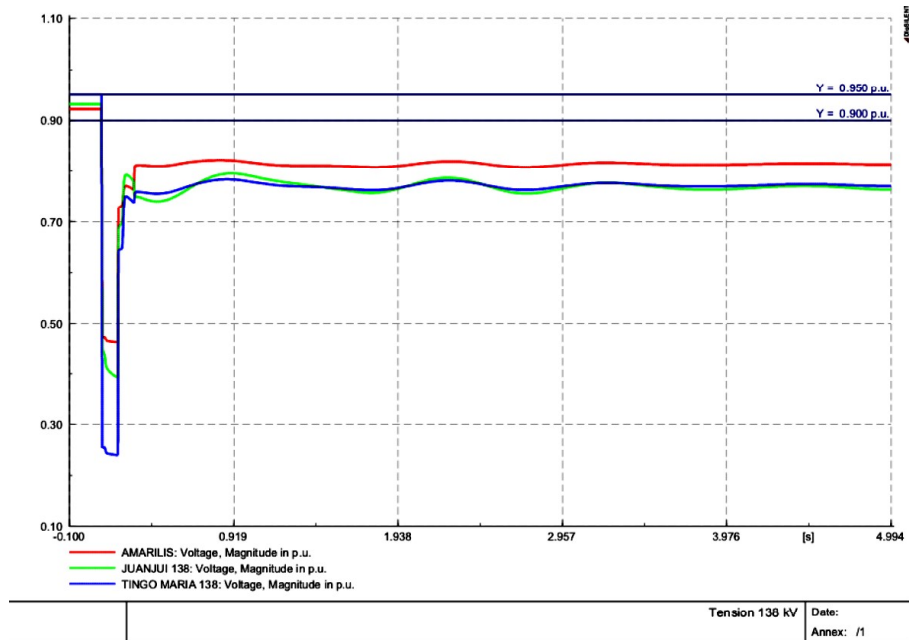


Fig. 18. Perfil de tensiones en barras del oriente en el período de avenida máxima.

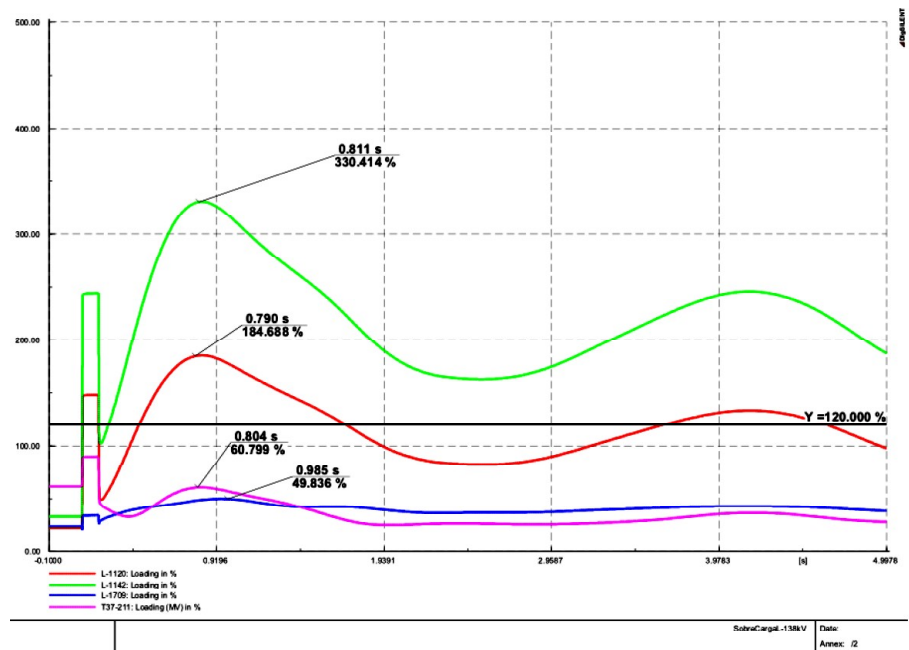


Fig. 19. Sobrecarga de las líneas de transmisión cercanas y del transformador de Paragsha en el período de avenida máxima.

### COMENTARIOS FINALES

En la configuración actual del sistema eléctrico peruano (con la CT Aguaytía fuera de servicio por despacho económico), la desconexión intempestiva del enlace de 220 kV (línea L-2252), generará:

- Sobrecargas en las líneas de transmisión del enlace de 138 kV de la zona Centro Oriente, siendo la más crítica en la línea L-1142.

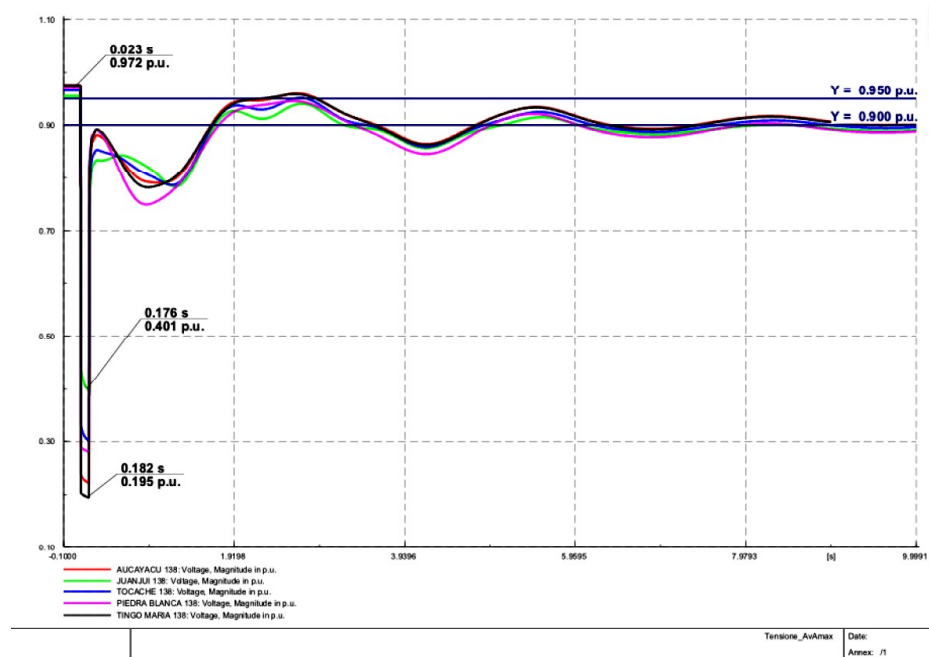


Fig. 20. Perfil de tensiones en barras del oriente en el período de avenida mínima.

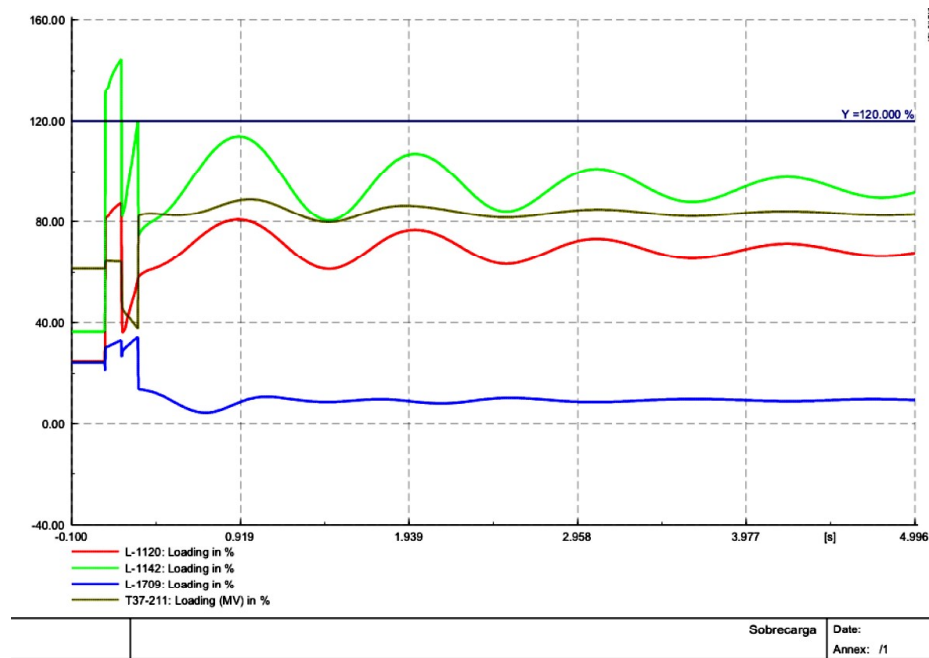


Fig. 21. Sobre carga de tensiones en barras del oriente en el período de avenida mínima.

- Los niveles altos de carga, y la caída de tensión en el enlace de 138 kV de la zona Centro Oriente, activa las protecciones de sobrecorriente y distancia de las líneas del enlace, provocando su operación.

La operación de la CT Aguaytía evitaría las fuertes caídas de tensión, sin embargo estas unidades no están siendo operadas por despacho económico.

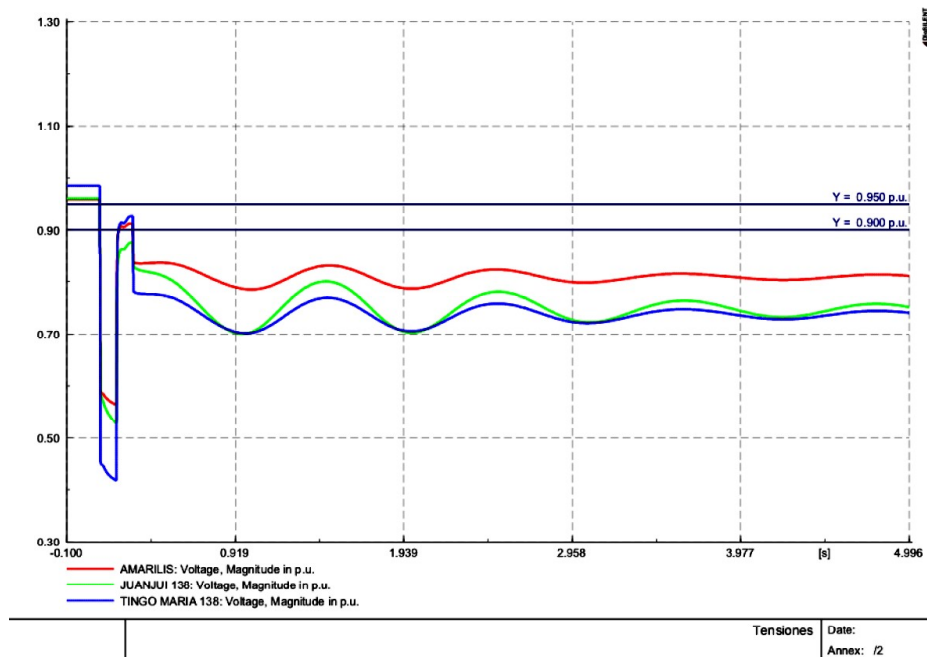


Fig. 22. Perfil de tensiones en barras del oriente en el período de avenida mínima.

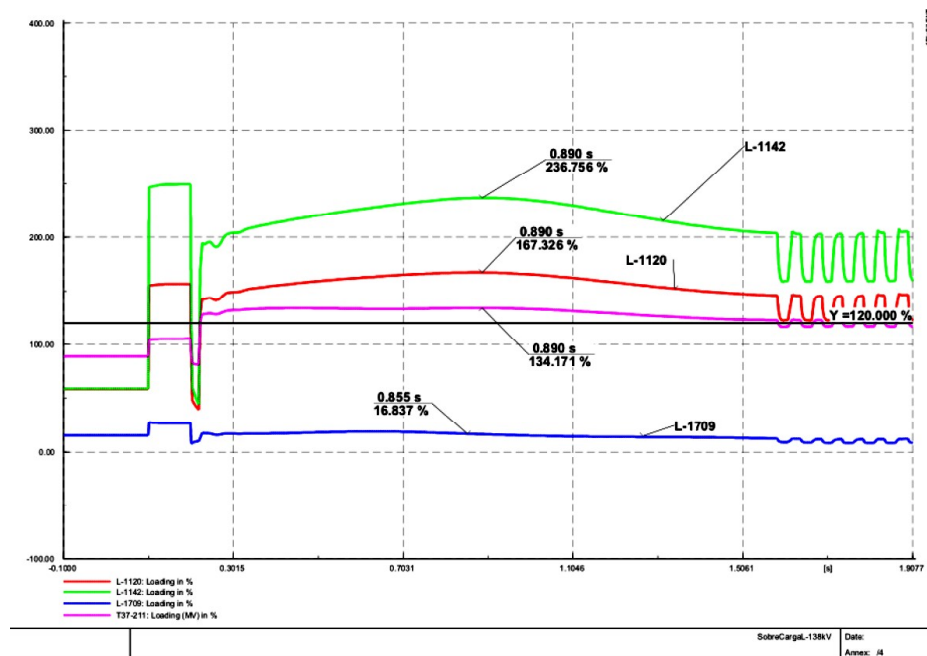


Fig. 23. Sobrecarga de las líneas de transmisión cercanas y del autotransformador de Paragsha en el período de avenida máxima.

La implementación del esquema es realizado sin la necesidad de la instalación de nuevos equipos de protección, debido a que actualmente la SE Tingo María cuenta con relés de protección REL670 que pueden ser integrados a través del protocolo de comunicación IEC 61850.

Con la implementación del esquema de rechazo automático de carga, se disminuyen las sobrecargas en las líneas de transmisión de la zona Centro

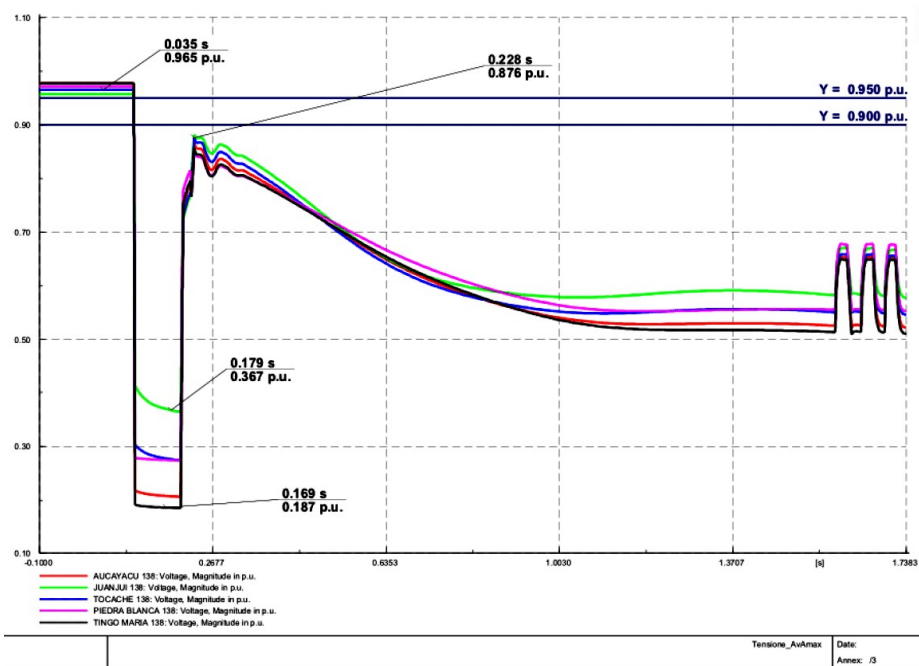


Fig. 24. Perfil de tensiones en barras del oriente en el período de avenida máxima.

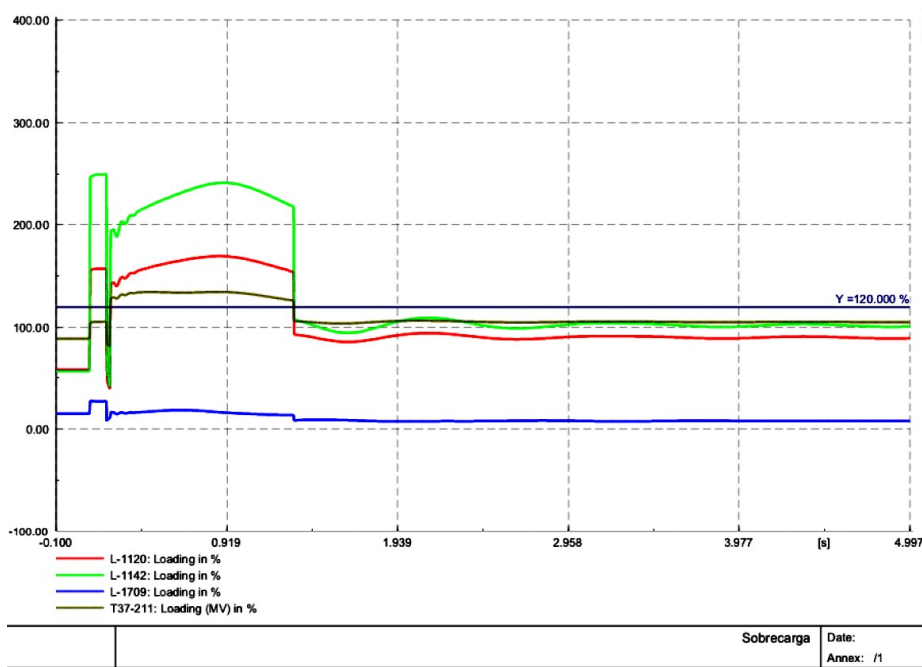


Fig. 25. Sobrecarga de las líneas de transmisión cercanas y del transformador de Paragsha en el período de avenida máxima.

Oriente por debajo y las caídas de tensión, por lo que no se produce la actuación de la protección de las líneas del enlace de 138 kV.



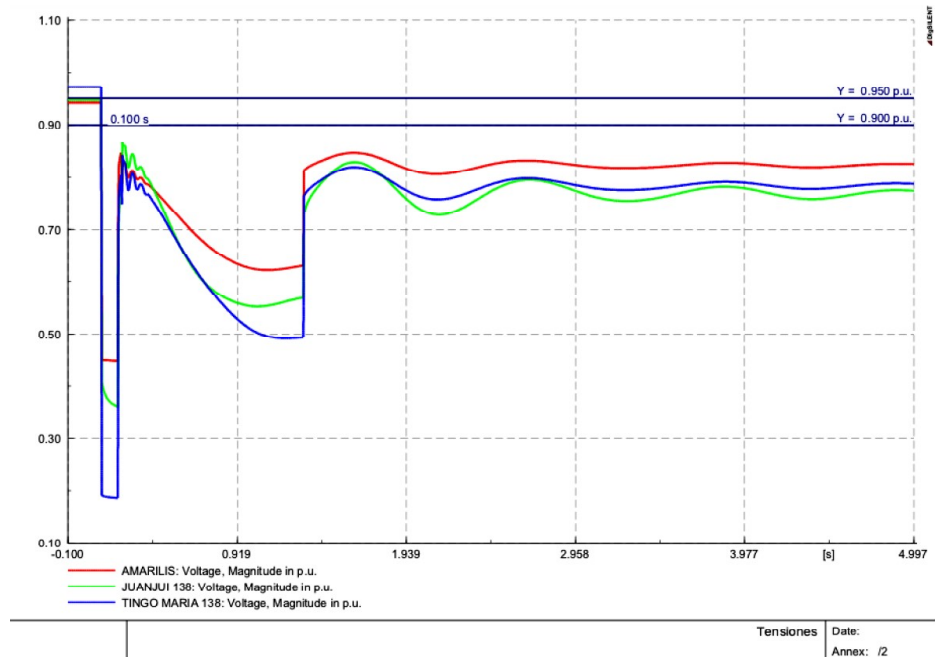


Fig. 26. Perfil de tensiones en barra del oriente en el período de avenida máxima.

## REFERENCIAS

1. Ministerio de Energía y Minas DGE, Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos. Perú.

**INGENIERÍAS**  
en línea

<http://ingenierias.uanl.mx>