

## Electrical Studies of the Temporary Interconnection between Oil Electrical Power System of Petroamazonas EP (SEIP) and Ecuadorian Power System (S.N.I.)

### Estudios Eléctricos de la Interconexión Temporal del Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero Extendido (SEIP-E) de Petroamazonas EP al Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.)

R. Sanguil M. Solís

PETROAMAZONAS EP

E-mail: Ramiro\_Sanguil@petroamazonas.ec; Marcelo\_Solis@petroamazonas.ec

#### Abstract

Article 48 (Chapter No III) of “Reglamento para el Libre Acceso a los Sistemas de Transmisión y Distribución” published by ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad), promotes the free access of third agents to existing or remaining transmission and distribution capacity. In this context, the Oil Industry Petroamazonas EP planed the expansion project and the interconnection of its Electrical Power System (SEIP-E) to Ecuadorian Transmission System (SNT) at 69 kV in the First Stage.

The principal results of electrical studies of the interconnection between SNT and SEIP-E are presented in this document. Moreover, electrical studies in steady state and transient state are also included. In addition, this document presents the temporary interconnection proposal, which allows the interchange of Power/Energy between the SNT and SEIP-E.

**Index terms**– Electrical interconnections, transient stability, voltage stability, contingency analysis.

#### Resumen

El Artículo 48, CAPÍTULO III del “Reglamento para el Libre Acceso a los Sistemas de Transmisión y Distribución” de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) promueve el libre acceso de terceros agentes a la capacidad de transporte existente o remanente de los sistemas de transmisión y distribución. En este marco, la empresa hidrocarburífera Petroamazonas EP planifica el proyecto de expansión y la conexión de su Sistema Eléctrico Petrolero – Extendido (SEIP-E) al Sistema Nacional de Transmisión (SNT) a nivel de 69 kV – Fase 0.

En el presente documento se resumen los principales resultados de los estudios eléctricos en estado estable y dinámico de la interconexión. Además, se presenta la propuesta de interconexión temporal que permitirá el intercambio de potencia/energía desde el SNT al SEIP-E.

**Palabras clave**– Interconexiones eléctricas, estabilidad transitoria, estabilidad de voltaje, contingencias.

Recibido: 30-06-2017, Aprobado tras revisión: 24-11-2017

Forma sugerida de citación: Sanguil, R.; Solís, M. (2018). “Estudios Eléctricos de la Interconexión del Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero Extendido (SEIP-E) de Petroamazonas EP al Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.)”. Revista Técnica “energía”. No. 14, Pp. 92-100

ISSN 1390-5074.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el marco del Artículo 48, CAPÍTULO III del “Reglamento para el Libre Acceso a los Sistemas de Transmisión y Distribución” de la Agencia de Regulación y Control de Energía (ARCONEL) [1], la empresa hidrocarburífera Petroamazonas EP planifica el proyecto de expansión y la conexión de su Sistema Eléctrico Petrolero – Extendido (SEIP-E) al Sistema Nacional de Transmisión (SNT) a nivel de 69 kV.

Este proyecto de interconexión temporal permitirá, desde el punto de vista técnico y económico, el desarrollo de la industria petrolera, abasteciendo sus cargas con energía de tipo hidroeléctrico y dinamizando la matriz productiva, mediante [2]:

- 1) Optimización del uso de recursos naturales no renovables para generación eléctrica (gas, petróleo).
- 2) Desplazamiento de generación a diésel, del cual el país es deficitario (reducir gastos).
- 3) Incremento del volumen neto de producción de petróleo por el desplazamiento de centrales de generación eléctrica que operan con este combustible, que permitirá incrementar ingresos por venta de petróleo.
- 4) Reducción de emisión de gases de efecto invernadero por desplazamiento de combustibles fósiles utilizados para generación eléctrica.
- 5) Compartir recursos de generación y con ello reducir requerimientos de capital para inversión en centrales de generación eléctrica.
- 6) Gerenciamiento de energía en base a méritos económicos en el despacho de generación, en donde el orden de prioridad es: a) Generación con gas asociado, b) Hidroeléctrica, y c) Generación con petróleo.
- 7) Mejoramiento de índices de confiabilidad y disponibilidad del Sistema Eléctrico Petrolero.

Es importante destacar que, el desarrollo de esta interconexión temporal permite acceder en el corto plazo a los beneficios técnicos – económicos y desarrollo de la industria petrolera; toda vez, que esta interconexión responde a una baja inversión dada por los recortes presupuestarios consecuencia de la crisis económica.

Este proyecto permite la interconexión de dos sistemas eléctricos de potencia cuyas características eléctricas de generación y carga deben considerarse

en los estudios de factibilidad técnica. La factibilidad técnica se enmarca en el cumplimiento de los requerimientos mínimos de operación en estado estable y dinámico, analizados en diferentes estados operativos, que exige la prestación del servicio público de energía eléctrica dada en la Regulación No. CONELEC 004/01 “Calidad del servicio eléctrico de distribución” [3] y en la Regulación No. CONELEC 006/00 “Procedimientos de Despacho y Operación”. [4].

En general la interconexión del SEIP-E al SNT presenta un buen desempeño técnico para los dos sistemas eléctricos, tanto en condiciones normales de operación como bajo eventos de contingencia en estado dinámico. En estado estable, la integración de los sistemas permite mantener los voltajes en valores admisibles de operación en las barras de las subestaciones de los sistemas integrados, así como su factor de potencia en barra de interconexión, de acuerdo con los nuevos límites sobre bandas de variación de voltaje y factores de potencia del Sistema Nacional de Transmisión.

En estado dinámico se comprueba que, interconexión no afecta la integridad de los sistemas, debido a que, ante diferentes contingencias, los parámetros de frecuencia, voltaje y ángulo en barras de las subestaciones en el área de influencia del proyecto alcanzan una nueva condición de equilibrio que se encuentra dentro de condiciones aceptables de operación.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE INTERCONEXIÓN

### 2.1. Descripción y Ubicación

El SNT que opera CELEC EPTRANSELECTRIC interconecta los centros de generación y cargas mediante líneas de transmisión a nivel de 500 kV, 230 kV y 138 kV. Recientemente, con la finalización de la construcción del proyecto de transmisión a 230 kV San Rafael (Proyecto Coca-Codo Sinclair), Jivino y Shushufindi, es factible el suministro de energía eléctrica al SEIP-E desde el SNT.

Este proyecto consiste en la interconexión de la S/E Shushufindi de 69 kV de Petroamazonas EP a una estructura de retención GV58 de la línea Jivino –Shushufindi de 230 kV, cuyas coordenadas aproximadas de conexión son las siguientes:

- S/E Shushufindi Central: 0°11'30.4"S 76°39'14.5"O.
- Estructura de retención GV58 de Transelectric: 0°10'48.63"S78°40'57.01"O.

La interconexión se realizará por medio de cables de 69 kV, 244 mm<sup>2</sup> doble circuito, con una longitud aproximada de 4 km entre la S/E Shushufindi de 69 kV y la estructura de retención GV58. Para ello, un circuito de la línea de transmisión Jivino –Shushufindi de 230 kV de Transelectric EP será energizada a 69 kV desde el patio de la S/E Jivino mediante una bahía con esquema de barra principal y transferencia.

Es importante destacar que, la estructura de retención GV58 se encuentra aproximadamente a 20 km de la S/E Jivino 230/69 kV de CELEC EPTRANSELECTRIC. Las características de la línea de interconexión entre el SEIP-E y el SNT se muestran en la Fig. 1.

En la Tabla 1 se presentan las características eléctricas del cable de conexión del SEIP-E al SNT, el cual es un cable con conductor de aluminio monofásico con aislamiento XLPE en configuración enterrada triangular (trefoil).

Tabla 1: Características Eléctricas del Cable de Interconexión

Fabricante	Calibre	Inom	R	X	C
	[mm <sup>2</sup> ]	[A]	[Ω/km]	[Ω/km]	[uf/km]
LS Cable	240	236	0,1607	0,1780	0,1378

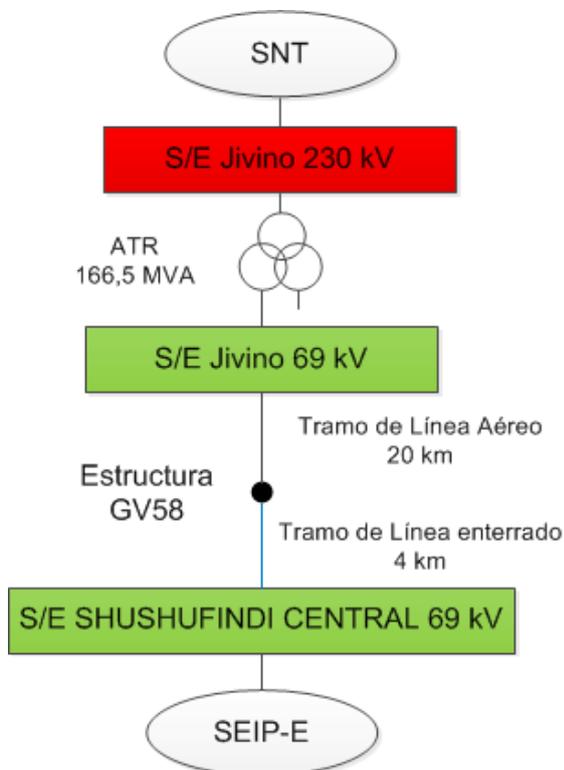


Figura 1: Diagrama Unifilar de la Interconexión del SEIP-E con el SNT

## 2.2. Modelo DiGSILENT Power Factory

La propuesta de interconexión ha sido modelada en el programa computacional Power Factory versión 2017 de DiGSILENT. Esta base de datos consolida el SNT y SEIP-E, considerando: a) plan de expansión de las redes transmisión; b) escenarios de la demanda de los sistemas eléctricos; y, c) períodos hidrológicos del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.).

Se modela el SEIP-E a nivel de 69kV formado por: 12 subestaciones de 69/13.8kV, 2 líneas de subtransmisión enterradas simple circuito de 69 kV, 10 líneas de subtransmisión aéreas simple circuito de 69 kV y centrales térmicas de generación petróleo, gas/petróleo, gas y diésel. La demanda del SEIP-E se caracteriza por su comportamiento prácticamente plano en el tiempo, cuyo valor se encuentra alrededor de 140 MW.

## 3. METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE INTERCONEXIÓN

Como se mencionó anteriormente, es la primera vez que un sistema eléctrico petrolero se interconecta al SNT, para importar potencia/energía desde el S.N.I. El sistema petrolero se caracteriza por su gran extensión en redes radiales de subtransmisión, generación distribuida y una alta demanda.



Figura 2: Metodología de Estudios Eléctricos de Interconexión

Estas características deben considerarse en los estudios de factibilidad de interconexión de estado estable y dinámico considerando las regulaciones de interconexión de cargas y/o sistemas eléctricos, dadas por la ARCONEL. En este contexto, a continuación, se presenta un esquema que resume los pasos necesarios para la factibilidad de la interconexión.

#### 4. ESTUDIOS DE ESTABLE

A continuación, para tres años de interconexión se muestran los resultados de flujos de potencia en la zona de influencia de la interconexión del SEIP-E al SNT. Estos resultados se obtienen de la consultoría realizada por SMARTPRO [5].

##### 4.1. Transferencia y Factor de Potencia

En la Fig. 3 se presentan, para cada período (lluvioso y estiaje), las potencias activa y reactiva importadas por el SEIP-E desde el SNT, las cuales son medidas en la línea Nueva Jivino\_69 kV - Estructura de retención GV58, barra Nueva Jivino\_69 kV.

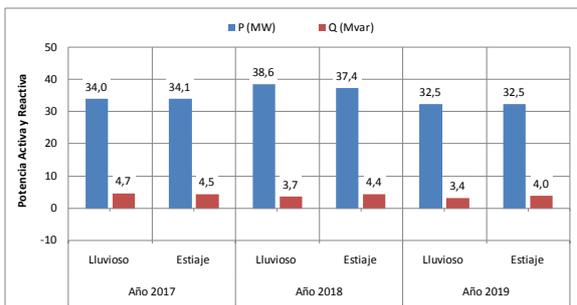


Figura 3: Transferencia del SNT al SEIP-E

En esta figura se observa que:

- En el año 2017, el SEIP-E importaría un promedio de 34 MW y 4,5 Mvar de potencia activa y reactiva, respectivamente.
- Para el año 2018, el promedio de potencia activa y reactiva importada por el SEIP-E es de aproximadamente 38 MW y 4 Mvar, respectivamente. El aumento de importación de potencia activa con respecto al año 2017, se debe al incremento de demanda en el SEIP-E.
- En el año 2019, la potencia activa importada por el SEIP-E es 32,5 MW, disminuye con respecto al año 2018; debido a que, se proyecta la instalación de un sistema de generación a gas con 14 MW de potencia efectiva, en cambio la demanda del sistema eléctrico petrolero se incrementa levemente.

En la Fig. 4 se presentan los factores de potencia medidos en las barras que interconectan los sistemas eléctricos: Nueva Jivino 69 kV del SNT y Shushufindi del SEIP-E. Estos factores de potencia se indican para cada período y años de análisis de la interconexión temporal del SEIP-E al SNT. Se observa que los factores de potencia se encuentran dentro de los límites establecidos por ARCONEL; es decir los factores son mayores o iguales que 0,96 inductivo. El menor valor de factor de potencia se presenta en

la barra Nueva Jivino 69 kV del SNT hacia la barra Shushufindi 69 kV del SEIP-E, para el año 2019, período lluvioso y demanda media con 0,962.

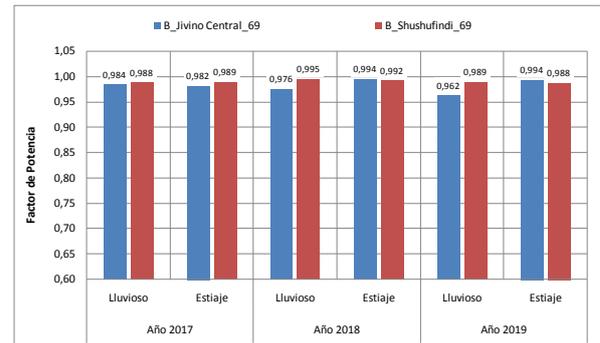


Figura 4: Factor de Potencia

##### 4.2. Nivel de Carga

A continuación, en la Fig. 5, para el año 2017 SIN y CON proyecto de interconexión, se muestran los máximos niveles de carga en los períodos lluvioso y de estiaje.

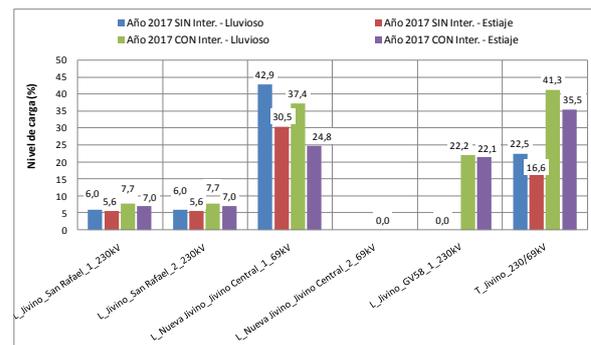


Figura 5: Máximo Nivel de Carga por Período – L/T del SNT – Año 2017 SIN y CON Interconexión

En esta figura se observa que:

- Las líneas de transmisión Jivino – San Rafael de 230 kV incrementan su nivel de carga con la interconexión del SEIP-E al SNT. Para período lluvioso y demanda media, el nivel de carga incrementa de 6,0% a 7,7%; mientras que para el período estiaje y demanda mínima, el nivel de carga se incrementa desde 5,6% hasta 7,0%.
- Disminuye el nivel de carga de la línea de transmisión Nueva Jivino - Jivino Central circuito 1(L\_NuevaJivino\_Jivino Central\_1\_69 kV) desde 42,9% a 37,4% en período lluvioso y demanda media, y desde 30,5% hasta 24,8% en período estiaje y demanda mínima. Esto se debe a que los flujos de potencia se redistribuyen en el SNT.
- El nivel de carga del circuito 2 de la línea de transmisión Nueva Jivino - Jivino Central

(L\_NuevaJivino\_Jivino Central\_2\_69 kV) es cero, debido a que la construcción de esta línea está programado para el año 2018.

- El circuito del tramo de línea Jivino –GV58 de 230 kV, energizado a 69 kV para interconectar el SEIP-E al SNT, tiene un nivel de carga aproximado de 22%, tanto en período lluvioso como estiaje.
- El nivel de carga del transformador Jivino 230/69kV se incrementa desde 22,5% hasta 41,3% en el período lluvioso y demanda media; y, desde 16,6% hasta 35,5% en el período de estiaje y demanda mínima.

### 4.3. Voltajes

A continuación, para el año 2017, se presenta los voltajes en las barras del SEIP-E y SNT de la zona de influencia de la interconexión. Se observa que, los voltajes tienen valores admisibles de operación y cumplen con la regulación dada por ARCONEL.

En el SEIP-E (Fig. 6), los voltajes se encuentran entre 0,976 p.u. y 1,015 p.u.; cuyos valores corresponden a las barras Shushufindi Sur 69 kV y Sacha 69 kV, respectivamente.

En el SNT (Fig. 7), el mínimo voltaje de 1,000 p.u. corresponde a la barra Jivino Central de 69 kV; mientras que, el máximo voltaje de 1,015 p.u. se encuentra en la barra Nueva Jivino de 69 kV en el período lluvioso y escenario de demanda máxima.



Figura 6: Voltajes en Barras del SEIP-E - Año 2017 CON Interconexión

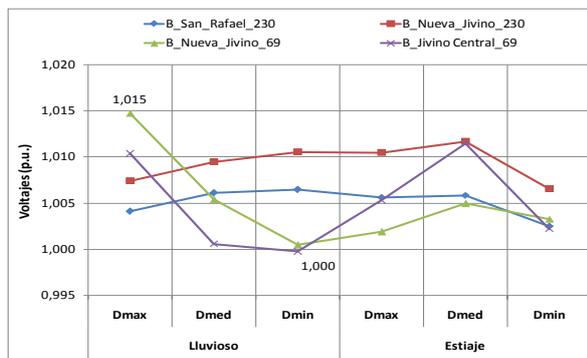


Figura 7: Voltajes en Barras del SNT - Año 2017 CON Interconexión

## 5. ESTUDIOS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA

Para realizar el análisis de estabilidad se consideran cuatro contingencias N-1 en el área influencia del proyecto de interconexión SEIP-S.N.I., las cuales son:

- Contingencia 1: Apertura con cortocircuito trifásico del circuito 2 de la línea San Rafael – Jivino de 230kV.
- Contingencia 2: Apertura con cortocircuito trifásico del circuito 2 de la línea Jivino Central – Jivino Nueva de 69 kV.
- Contingencia 3: Apertura con cortocircuito trifásico de la línea de interconexión temporal Jivino– Shushufindi Central de 69 kV.
- Contingencia 4: Desconexión súbita del transformador ATR Jivino 165,5 MVA 230/69/13,8 kV.

### 5.1. Análisis de las Contingencias 1 y 2

Las contingencias 1 y 2 no afectan la integridad de los sistemas debido a que, luego del despeje de las fallas, los parámetros de frecuencia, voltaje y ángulo de voltaje en barras de las subestaciones alcanzan una nueva condición de equilibrio.

A continuación, para la contingencia 1, en la Fig. 8 se muestra como los parámetros de voltaje, ángulo de voltaje frecuencia y derivada de la frecuencia en barras de 69 kV del SNT. En la Fig. 9 se presenta la respuesta de frecuencia de las unidades de generación del SEIP-E, y en la Fig. 10 se muestra el ángulo de rotor de las unidades de generación del SEIP-E. En estas figuras se observa que las variables analizadas alcanzan nuevas condiciones de equilibrio, la cuales se encuentran dentro de los rangos aceptables de operación poscontingencia.

Del análisis de las fig. 9 y 10 se observa que existe un error en la inicialización de las variables, este error es causado por la inicialización de los modelos dinámicos del SVC Chinu y de las Centrales Hidráulicas Chivor y Guavio, estos elementos pertenecen al sistema colombiano.

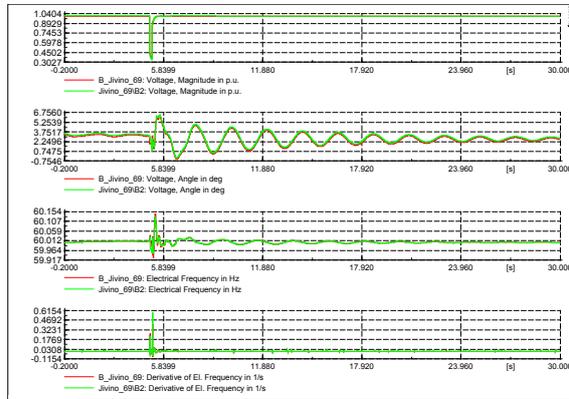


Figura 8: Parámetros en las Barras Jivino Nueva 69 kV y Jivino Central 69 kV, Contingencia 1

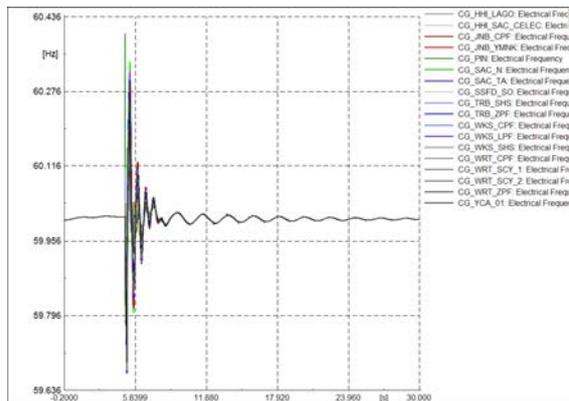


Figura 9: Respuesta de la Frecuencia de las Unidades del SEIP-E, Contingencia 1

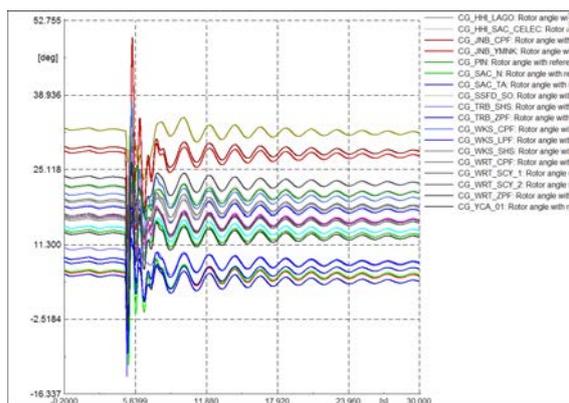


Figura 10: Respuesta del Ángulo del Rotor de las Unidades del SEIP-E, Contingencia 1

## 5.2. Análisis de las Contingencias 3 y 4

Las contingencias 3 y 4 se caracterizan por su criticidad en la estabilidad del SEIP-E. Para estabilizar el SEIP-E ante estas contingencias es necesario

homologar Esquema de Alivio de Carga (EAC) instalado en el sistema petrolero, considerando:

- Los ajustes de deslastre de carga del S.N.I.
- La contingencia más severa para el SEIP-E (pérdida de la interconexión del SEIP-E y S.N.I.).
- La frecuencia de operación de las unidades de generación del SEIP-E.
- La máxima transferencia de energía desde el S.N.I. hacia el SEIP-E.

En la Tabla 2 se presenta el Esquema de Alivio de Carga del SEIP-E, el cual es resultado del análisis de las contingencias dinámicas en la interconexión del SEIP-E con el SNT.

Tabla 2: Ajustes del Esquema de Alivio de Carga por Escalón de Frecuencia del SEIP-E

Paso	Campo	Carga total paso [MW]	Frecuencia [Hz]	Tiempo [s]
1	Lago Agrio, CPF, Sacha	6,37	59,40	0,5
2	CPF, Shushufindi, ZPF	6,92	59,20	0,6
3	Shushufindi, ZPF	5,90	59,00	0,7
4	Auca, CPF, ZPF	4,38	58,80	0,8
5	CPF, Libertador	2,88	58,60	0,9
6	Auca, Libertador	6,35	58,40	1,0

El EAC propuesto para el sistema petrolero permite tolerar la desconexión del SEIP-E y S.N.I. (contingencia 3), tal como se observa en la Fig. 11. En esta figura se presenta que, para una transferencia máxima de 38 MW, la respuesta de frecuencia de las unidades de generación del SEIP-E se estabilizan en valores cercanos a 60 Hz, operando todos los pasos de frecuencia del EAC propuesto, cuya suma de potencia deslastrada es de 32.8 MW

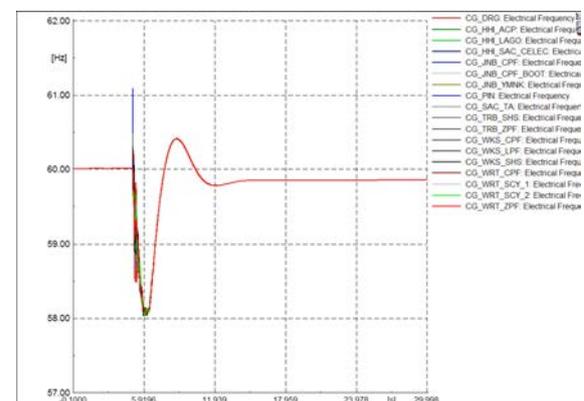


Figura 11: Respuesta de la Frecuencia de las Unidades del SEIP-E, Contingencia 3

Es importante destacar que, los parámetros de voltaje y frecuencia en las barras de interconexión se estabilizan en valores y tiempo aceptables de operación, tal como se muestra en la Fig. 12, para la barra de interconexión del SEIP-E.

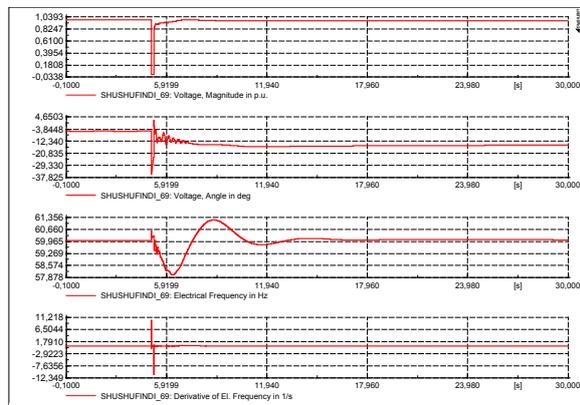


Figura 12: Parámetros en la Barra Shushufindi Central 69 kV del SEIP-E, Contingencia 3

Desde el punto de vista del S.N.I., esta contingencia es imperceptible para la máquina de referencia. Las variaciones de ángulo, frecuencia y voltaje son relativamente pequeñas en las barras cercanas al punto de interconexión del SEIP-E con el S.N.I. Además, el voltaje se recupera a valores aceptables de operación luego del despeje del cortocircuito; mientras que, el ángulo del voltaje y la frecuencia alcanzan una nueva condición de equilibrio.

Por otro lado, ante la contingencia 4, el escenario operativo del S.N.I. considera que la subestación Jivino 230/69 kV tiene dos puntos de abastecimiento de energía: 1) a nivel de 230 kV alimentado por los dos circuitos de la línea San Rafael Jivino de 230 kV y, 2) a través del sistema de subtransmisión de 69 kV de CNEL Sucumbíos. Luego de la contingencia 4, se observa lo siguiente:

- Las barras de las subestaciones Pomasqui, San Rafael y Jivino (con una conexión fuerte al sistema) recuperan el voltaje a condiciones operativas normales inmediatamente después del despeje del cortocircuito.
- Los ángulos de voltaje y la frecuencia en las barras alcanzan una nueva condición de equilibrio luego de que se despeje el cortocircuito, tal como se muestra en la Fig. 13. Se observa que, la barra Francisco de Orellana de 138 kV recupera sus condiciones de equilibrio con la desconexión del SEIP-E.
- Cuando el SEIP-E se mantiene conectado al S.N.I., los voltajes poscontingencia son menores a los mínimos voltajes operables a nivel de 69 kV y 138 kV (Fig.13). En este caso, el SEIP-E exporta potencia reactiva hacia el S.N.I., tal como se observa en la Fig.14. Este comportamiento del sistema provoca la disminución considerable de los voltajes y el

factor de potencia (menores a 0,65).

La frecuencia logra mantenerse en rangos de operación, tanto con y sin la desconexión del SEIP-E (Fig. 15). Sin embargo, se observa que existe una mejor respuesta de la frecuencia, cuando los sistemas se aíslan o separan después de la contingencia.

Para separar a los sistemas se pueden utilizar las funciones gradiente de frecuencia ANSI 81R, bajo voltaje ANSI 27 y potencia inversa ANSI 32P.

En este caso se utilizaron las funciones ANSI 81R y ANSI 27, con los siguientes ajustes:

- ANSI 81R: -3.20 Hz/s – 60 ms.
- ANSI 27: 0.8 p.u. – 500 ms.

Estos ajustes se obtuvieron simulando contingencias para todas las combinaciones de escenarios hidrológicos y de demanda del SNI, permitiendo salvaguardar la operación de los sistemas interconectados.

Para evitar que los generadores instalados en el SEIP-E operen fuera de su curva de capacidad y que los voltajes en barras del SEIP-E operen dentro de los parámetros de calidad y seguridad, se propone que el SEIP-E se aisle del S.N.I. luego de contingencia.

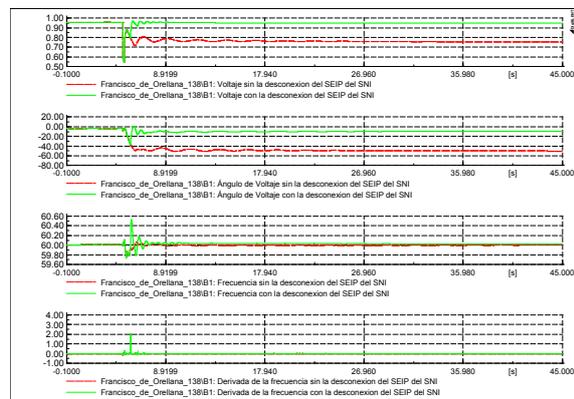


Figura 13: Parámetros en la Barra Francisco de Orellana 138 kV, con y sin la Desconexión del SEIP-E del SNI

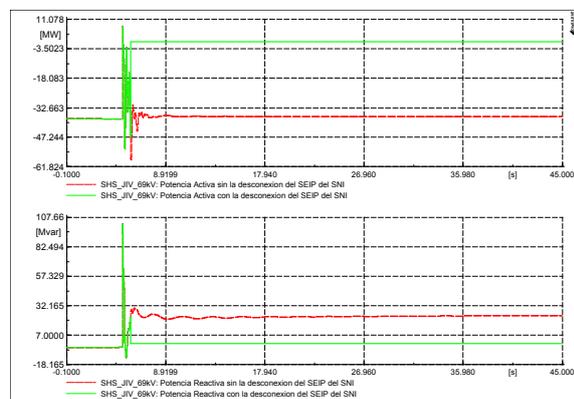
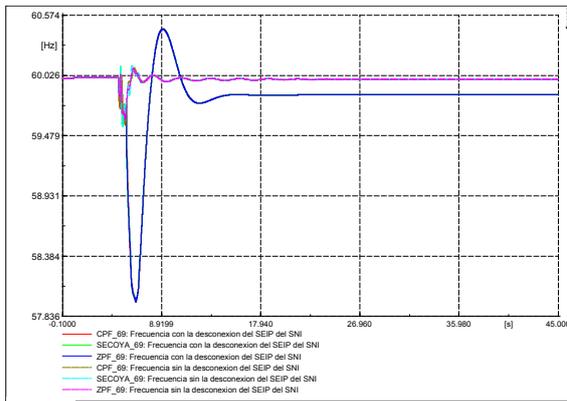
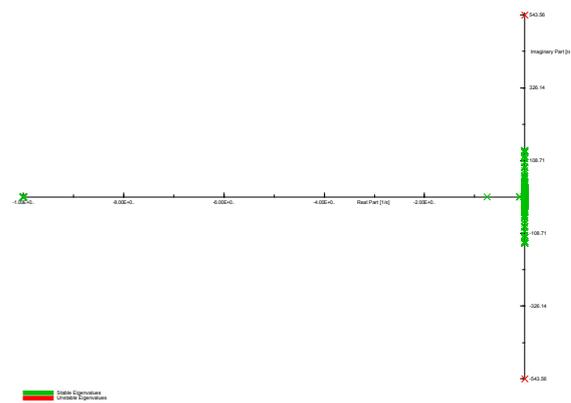


Figura 14: Potencia Activa y Reactiva por la Línea de Interconexión Temporal Jivino Nueva Shushufindi Central de 69 kV, con y sin la Desconexión del SEIP-E del S.N.I.



**Figura 15: Frecuencia en las Barras de las Subestaciones más Representativas del SEIP-E con y sin la Desconexión del SEIP-E del S.N.I.**



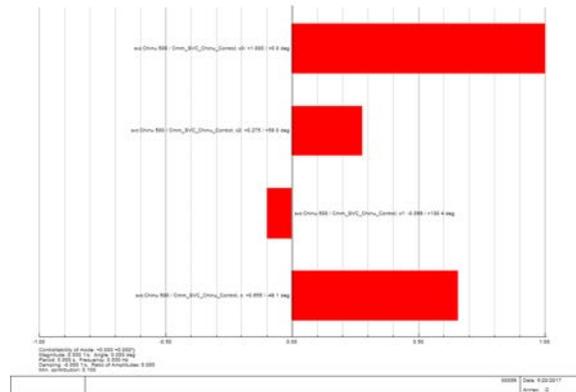
**Figura 16: Valores Propios para el Escenario Demanda Máxima S.N.I. Año 2018**

## 6. ESTUDIOS DE PEQUEÑA SEÑAL

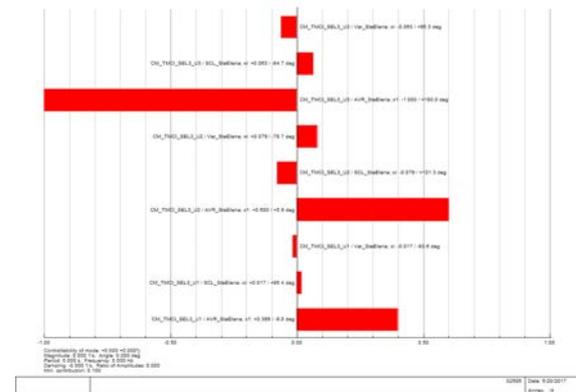
Se analiza el comportamiento del SEIP-E mediante análisis de pequeña señal para identificar modos de oscilación cuyo factor de amortiguamiento sea menor al 5% en las máquinas del S.N.I. Para este análisis se utiliza la base de datos Power Factory que incluye la dinámica del S.N.I., SEIP-E y sistema colombiano.

A continuación, se resumen el comportamiento oscilatorio en diferentes escenarios operativos:

- En todos los casos de estudio se tienen oscilaciones entre áreas en las Centrales Hidráulicas Chivor y Guavio pertenecientes al sistema colombiano.
- En todos los casos de estudio analizados se tienen oscilaciones locales con aportes de Centrales de Generación pertenecientes a los sistemas eléctrico colombiano y ecuatoriano. Es preciso indicar que en estos modos no existe participación de elementos instalados en el SEIP-E.
- En los escenarios de demanda máxima de los años 2017 y 2018, se tienen modos con amortiguamiento negativo (modos inestables) tal como se observa en la Fig. 16. Estos modos están dados por el compensado SVC Chinu (Stactic var compensator) instalado en el sistema colombiano y la Central de Generación Térmica Santa Elena 3 instalada en el sistema eléctrico ecuatoriano, como se observa en las Fig. 17 y Fig. 18.
- En los escenarios de demanda mínima del año 2017 se tienen modos con amortiguamiento negativo (modos inestables), relacionados únicamente a la participación del SVC Chinu.



**Figura 17: Factores de Controlabilidad de Modos Inestables, SVC Chinu, Escenario Demanda Máxima S.N.I. Año 2018**



**Figura 18: Factores de Controlabilidad de Modos Inestables, Central de Generación Térmica Santa Elena 3, Escenario Demanda Máxima S.N.I. Año 2018**

Como resultado del análisis se observa que los elementos del SEIP-E no tienen influencia en los modos de oscilación. Por lo tanto, la interconexión del SEIP-E al S.N.I. no causa oscilaciones de naturaleza electromecánica ni oscilaciones asociadas a modos de control en el sistema eléctrico.

Por último, debido a que el SEIP-E no tiene participación en los factores de amortiguamiento menores al 5%, no es necesario modificar los parámetros de ajuste de Reguladores de Voltaje (AVR) y Reguladores de Velocidad (Gobernadores) de los generadores instalados en el SEIP-E.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados mostrados en este informe muestran que la alternativa de interconexión posee un buen desempeño técnico en estado estable y dinámico. Adicionalmente, es importante recalcar que el proyecto de interconexión temporal permitirá el desarrollo de la industria de explotación petrolera, abasteciendo sus cargas con generación hidroeléctrica de bajo costo, logrando mejorar su matiz energética y dinamizar la matriz productiva.

Se demuestra que ante contingencias severas en el S.N.I. es necesaria la desconexión del SEIP-E. Esto con la finalidad de evitar el colapso de los sistemas interconectados. Para aislar el SEIP-E del SNI se utilizaron las funciones de protección gradiente de frecuencia y bajo voltaje, cuyos parámetros fueron analizados en los diferentes escenarios operativos, hidrológicos y de demanda del SNI. Además, la actualización del EAC del SEIP-E, permite mantener parámetros eléctricos dentro de los rangos admisibles de operación.

Por último, es importante recomendar la actualización o generación de nuevas regulaciones para análisis de interconexión de sistemas eléctricos. En estas regulaciones se deberá profundizar en el análisis dinámico, modos de oscilaciones, factores de amortiguamiento, modelación de la carga, entre otros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), “Reglamento para el Libre Acceso a los Sistemas de Transmisión y Distribución”. [Online] Available at: <http://www.regulacioneolica.gob.ec>
- [2] Cela, R.; Chamba, M.; Sanguil, R.; Solís, M. (2016). “Análisis de la energización de la línea eléctrica enterrada de 69 kV entre CPF (Bloque 15) y Sacha (Bloque 60) en el Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero - Extendido”. Revista Técnica “energía”. No 12, Pp. 47-55.

- [3] Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), “Regulación No. CONELEC 004/01 Calidad del servicio eléctrico de distribución”. [Online] Available at: <http://www.regulacioneolica.gob.ec/regulaciones>
- [4] Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), “Regulación No. CONELEC 006/00 Procedimientos de Despacho y Operación”. [Online] Available at: <http://www.regulacioneolica.gob.ec/regulaciones>
- [5] SMARTPRO S.A., “Estudios eléctricos en estado estable de la interconexión del sistema eléctrico interconectado petrolero extendido (SEIP-E) de Petroamazonas EP al sistema nacional interconectado (S.N.I.) – fase 0”, Consultoría de Petroamazonas EP, Quito, Ecuador, Mayo, 2017.
- [6] DlgSILENT Power Factory, “User’s Manual Version 15”, DlgSILET GmbH, Gomaringen, Germany, 2013



### **Ramiro Sanguil Andrade.-**

Nació en Ambato en 1985. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Escuela Politécnica Nacional en 2012. Desde 2015 trabaja en el Departamento de Soluciones Energéticas de Petroamazonas EP. Actualmente cursa la

Maestría en Redes Eléctricas Inteligentes en la Escuela Politécnica Nacional.



### **Marcelo Solís Sanchez.-**

Nació en Ambato en 1984. Obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica en la Escuela Politécnica del Ejército en 2009. Actualmente trabaja en el Departamento de Soluciones Energéticas de Petroamazonas EP.