

<p>Resumen Ejecutivo - ETOE "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN (ETOE) - 2010"</p>	<p>Cliente COES-SINAC Peru</p>	<p>ESC - 100605/71 05/06/2010 p. 1/23</p>
---	--	--

Cliente: **COES-SINAC**

Contrato de servicios de Consultoría N° 012-2009/COES-SINAC

La reproducción parcial de este documento está permitida solamente con la autorización escrita de E.S.C. srl

Objetivo: "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN (ETOE) - 2010"

RESUMEN EJECUTIVO

Relativo a la Parte I, II y III del estudio ETOE

Fecha: 05 de Junio del 2010

Preparado por: Ing. R. Gomez Martinelli; Ing. J. L. Perez

Índice del Contenido

1	Introducción	5
2	Resumen Ejecutivo Parte I	6
2.1	Resumen de las conclusiones principales de la Parte I	6
2.1.1	Revisión y validación de la Base de Datos.....	6
2.1.2	Modelos propuestos	6
2.1.3	Validación de los modelos de carga propuestos.....	6
2.1.4	Validación del modelo dinámico del SEIN.....	6
2.1.5	Recomendaciones.....	6
3	Resumen Ejecutivo Parte II	8
3.1	Resumen de las conclusiones principales de la Parte 2	8
3.1.1	Criterios y Metodología	8
3.1.2	Diagnostico de la situación para los escenario del 2010.....	9
3.1.3	Tensiones de operación para las barras del SEIN en el 2010	9
3.1.4	Procedimientos de control manual de tensiones.....	14
3.1.5	Conclusiones y Recomendaciones	15
4	Resumen Ejecutivo Parte III	17
4.1	Resumen de las conclusiones principales de la Parte 3	17
4.1.1	Metodología definición de Criterios.....	17
4.1.2	Validación del modelo para los estudios de dinámica	20
4.1.3	Determinación de los límites de transporte.....	21
4.1.4	Necesidades de modificaciones en los Controladores	22
4.1.5	Conclusiones y Recomendaciones	22

Resumen Ejecutivo - ETOE "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN (ETOE) - 2010"	Cliente COES-SINAC Peru	ESC - 100605/71 05/06/2010 p. 3/23
---	--------------------------------------	---

Índice de las Tablas

<i>Tabla 3.1: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Norte 1</i>	11
<i>Tabla 3.2: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Norte 2</i>	11
<i>Tabla 3.3: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Costa Centro</i>	12
<i>Tabla 3.4: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Sierra Centro 1</i>	12
<i>Tabla 3.5: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Sierra Centro 2</i>	12
<i>Tabla 3.6: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Costa Sur</i>	13
<i>Tabla 3.7: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Sierra Sur</i>	13
<i>Tabla 3.8: Periodos de tiempo para los días típicos laborables y festivos donde aplicar los resultados del estudio</i>	14
<i>Tabla 3.9: Barras "claves" en el Área Norte del SEIN</i>	14
<i>Tabla 3.10: Barras "claves" en el Área Centro 1 y Centro 2 del SEIN</i>	14
<i>Tabla 3.11: Barras "claves" en el Área Sur Este y Sur Oeste del SEIN</i>	14
<i>Tabla 3.12: Sensibilidad de las barras "claves" hacia los recursos de reactivo – zona Norte</i>	15
<i>Tabla 4.1: Límites Operativos de transporte para los enlaces entre las áreas del SEIN</i>	22

Índice de las Figuras

<i>Figura 1: Perfil de Tensiones en las principales Barras del SEIN, periodo Avenida – Área Norte</i>	10
<i>Figura 2: Perfil de Tensiones en las principales Barras del SEIN, periodo Avenida – Área Centro</i>	10
<i>Figura 3: Perfil de Tensiones en las principales Barras 138 kV del SEIN, periodo Avenida – Área Sur</i>	10
<i>Figura 4: Perfil de Tensiones en las principales Barras 220 kV del SEIN, periodo Avenida – Área Sur</i>	11
<i>Figura 5: Flujograma con la lógica para la determinación del límite por estabilidad de tensión</i>	17
<i>Figura 6: Flujograma con la lógica para la determinación del límite por estabilidad angular</i>	18
<i>Figura 7: Esquemas representativos de los criterios aplicados para la determinación de los límites de transporte</i>	19



Resumen Ejecutivo - ETOE "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN (ETOE) - 2010"	Cliente COES-SINAC Peru	ESC - 100605/71 05/06/2010
		p. 4/23

Historia de las Revisiones

Número revisión	Fecha	Rotulado	Lista de las modificaciones
0	05/06/2010	100605/71	

Resumen Ejecutivo - ETOE "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN (ETOE) - 2010"	Ciente COES-SINAC Peru	ESC - 100605/71 05/06/2010 p. 5/23
---	--	---

1 Introducción

El "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN (ETOE) - 2010" se divide en 3 partes, a saber:

- ✓ La Parte 1 desarrollada en el Informe "ESC_091226-142_1mer_Informe-ETOE_v0.doc", denominada "Modelamiento de Cargas del SEIN", se enfoca en la actualización y mejora de la base de datos que modela el Sistema Eléctrico Interconectado de transmisión del Perú (SEIN), y que actualmente se encuentra implementada en el simulador Power Factory de DlgSILENT. Dicha base de datos es la referencia para todos los estudios de operación y planificación que se desarrollan para el SEIN.
- ✓ La Parte 2 desarrollada en el Informe "ESC_100405-28_Informe-ETOE_Parte2_v1.doc", denominada "Tensiones de Operación de las principales barras del SEIN", requiere que se realice un diagnóstico de la capacidad actual de control de tensiones en el SEIN y, aprovechando los recursos de control de tensión existentes, se definan las tensiones de operación en las principales barras del SEIN para el periodo hidrológico de Avenida y Estiaje del 2010, de manera que se pueda operar el sistema en seguridad tanto en condiciones N como en N-1. Se deben suministrar en este ámbito, los procedimientos que el Coordinador de la Operación en Tiempo Real del SEIN aplicará para reducir o elevar manualmente las tensiones en las barras del SEIN, en los diversos estados de operación que se puedan presentar (N y N-1).
- ✓ La Parte 3 desarrollada en el Informe "ESC_100605-69_Informe-ETOE_Parte3_v0.doc" denominada "Análisis de Estabilidad del SEIN" se orienta a establecer los límites de transporte de los principales corredores de transmisión entre las áreas del SEIN; particularmente estos límites se refieren a límites de estabilidad permanente (pequeñas oscilaciones o estabilidad dinámica), a límites por estabilidad transitoria y a los límites por estabilidad de la tensión.

2 Resumen Ejecutivo Parte I

Este Resumen Ejecutivo relativo al "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN 2010" (llamado ETOE), presenta en forma resumida los aspectos mas importantes necesarios para cubrir los alcances solicitados y las relativas conclusiones referentes a la Parte I del ETOE.

Las principales actividades desarrolladas como parte de la metodología aplicada han sido:

- Revisión y validación de la Base de Datos;
- Modelos propuestos;
- Validación de los modelos de carga propuestos;
- Validación del modelo dinámico del SEIN;
- Recomendaciones;

2.1 Resumen de las conclusiones principales de la Parte I

Los capítulos siguientes ilustran los resultados obtenidos en el desarrollo de las actividades previstas en esta fase, con lo cual se han obtenido las conclusiones que se exponen a continuación.

2.1.1 Revisión y validación de la Base de Datos

Se ha revisado la información suministrada, para ajustar la representación del SEIN a esta nueva información, destacando la ausencia de algunas obras citadas en los Planes de Expansión, las cuales deben ser contrastadas por COES para ser incorporadas en las Etapas 2 y 3;

Se han incorporado las curvas de capacidad al modelo de generador, aprovechando las funciones de la nueva versión;

2.1.2 Modelos propuestos

Se ha mejorado sustancialmente la representación de los sistemas automáticos de control de tensión, reemplazando los modelos de versiones anteriores por los nuevos disponibles en las librerías del simulador versión 14, y agregando a éstos las señales de los limitadores de sobre y sub-excitación mediante nuevos frames que administran de modo correcto la interconexión de los componentes, evitando incompatibilidades para aprovechar las ventajas de los recursos de cálculo disponibles;

Se han incorporado las funciones de cambiadores automáticos de tomas de transformadores en dinámica, para aquellos equipos que disponen de esta función;

2.1.3 Validación de los modelos de carga propuestos

Se han expuesto datos, referencias y criterios diversos para modelar la variación de las cargas con la tensión y la frecuencia, y también diversas metodologías para ensayar cargas representativas, y contrastar modelos de cargas mediante perturbaciones programadas en el sistema.

La validación de los modelos se pospone para cuando se disponga de los Eventos para contrastar el modelo.

2.1.4 Validación del modelo dinámico del SEIN

El modelo dinámico de simulación se validará en las fases sucesivas Partes 2 y 3, cuando se disponga de los Eventos y/o se contrasten los límites actuales que deben ser revisados como parte del objetivo de este Proyecto.

2.1.5 Recomendaciones

Los modelos de los limitadores de sobre y sub-excitación son conceptualmente correctos, pero los datos que se emplearán en el estudio corresponden a las recomendaciones internacionales y la experiencia de este Consultor. En la versión de la Base de Datos que se

Resumen Ejecutivo - ETOE "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN (ETOE) - 2010"	Cliente COES-SINAC Peru	ESC - 100605/71 05/06/2010 p. 7/23
--	---	---

obtiene en esta Parte 1, los datos no garantizan una adecuada coordinación, sino que se han incorporado para verificar el correcto funcionamiento individual en cada generador. En las etapas sucesivas Partes 2 y 3 se ajustarán para garantizar un funcionamiento adecuado en relación a su función, y de acuerdo a su ubicación en el sistema y la celeridad del sistema de excitación.

Así mismo, los modelos de los cambiadores de tomas de los transformadores se incorporado en esta versión al final de la Parte 1, sólo con datos suficientes para garantizar su correcto funcionamiento. Los datos correctos y la verificación de la coordinación entre ellos se desarrollará en las Etapas 2 y 3.

Los modelos de cargas que están cargados en la Base de datos corresponden a los de uso actual en el COES. Las recomendaciones respecto de las cargas reportadas en este informe, serán aplicadas una vez se dispongan de los datos de las cargas especiales y de los Eventos para homologar la característica de las mismas.

3 Resumen Ejecutivo Parte II

Este Resumen Ejecutivo relativo al "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN 2010" (llamado ETOE), presenta en forma resumida los aspectos más importantes necesarios para cubrir los alcances solicitados y las relativas conclusiones referentes a la Parte 2 del ETOE.

Las principales actividades desarrolladas como parte de la metodología aplicada han sido:

- Criterios y Metodología.
- Diagnostico de la situación en el 2010.
- Tensiones de operación para las barras del SEIN en el 2010.
- Procedimientos de control manual de tensiones.
- Conclusiones
- Recomendaciones

3.1 Resumen de las conclusiones principales de la Parte 2

Los capítulos siguientes ilustran los resultados obtenidos en el desarrollo de las actividades previstas en esta fase, con lo cual se han obtenido las conclusiones que se exponen a continuación.

3.1.1 Criterios y Metodología

La determinación de las Tensiones de Operación en las principales barras del SEIN aprovechando los recursos disponibles para el control de la potencia reactiva, se ha basado en el criterio **de la seguridad preventiva**. Es decir que el sistema en condiciones de red N o de contingencia N-1, cumple con las restricciones impuestas para la operación del sistema sin tener que modificar los ajustes o el estado de los recursos que controlan la potencia reactiva.

Las restricciones en tensión impuestas son:

- a) En estado normal de red (condición **N**), las tensiones en las principales barras del SEIN se deben mantener en el rango ± 2.5 % de su Tensión de Operación;
- b) En estado de emergencia (condición de contingencia de red **N-1**), se adopta que las tensiones en las barras del sistema se deben mantener en el rango 0.90 y 1.10 p.u. de la Tensión Nominal;

El estudio se ha llevado a cabo en las siguientes fases principales.

Se han identificado e impuesto las restricciones sobre los principales recursos de control de la potencia reactiva del sistema.

Se han seleccionado los escenarios y las condiciones de carga que mayormente solicitan el perfil de tensiones del sistema y presentan los menores márgenes de regulación.

Se han ejecutado sobre los escenarios seleccionados las simulaciones orientadas a definir el conjunto de contingencias N-1 adaptas al estudio para cada condición de carga.

Sucesivamente inician los estudios con las herramientas de calculo digital empleando entre ellas el simulador DlgSILENT Power Factory y un algoritmo de tipo OPF (Optimal Power Flow). El proceso de calculo ha iterado sobre el modelo de red obteniendo las soluciones de los flujos de potencia en diferentes estados de carga y en condiciones N (estado normal) y N-1 (en contingencia) de los componentes de red (líneas, transformadores y generadores), adquiriendo en cada uno de ellos el conjunto de Tensiones de Operación en las principales barras del SEIN.

Los resultados de cada escenario se han implementado en el simulador DigSILENT verificando en cada caso que las restricciones impuestas para la red se respeten ya sea en condiciones de red N como en N-1

3.1.2 *Diagnostico de la situación para los escenario del 2010*

Como resultado de los estudios se obtienen las recomendaciones operativas para aquellos Escenarios de Estudio que soportan las Tensiones de Operación en las principales barras del SEIN.

Las recomendaciones operativas se traducen a partir de los resultados en la siguiente forma:

- consignas de los generadores en servicio,
- consignas de los SVC's,
- la posición de las tomas para cada estado de carga en los transformadores con regulación bajo carga pero que operan en modo manual,
- la consigna que debe mantener cada transformador con capacidad de regulación bajo carga que opera en modo automático,
- la posición de las tomas en los transformadores sin posibilidad de regulación bajo carga durante todo un período estacional,
- y el estado operativo (en servicio o fuera de servicio) de los elementos de compensación fundamentalmente de tipo shunt existentes en el sistema.

Esta información ha sido plasmada en los casos optimizados con los resultados del estudio, y permite verificar en ellos el cumplimiento de las restricciones planteadas y los estados de operación resultantes.

Se han suministrado en el capítulo 5 del respectivo Informe de la Parte II y con mayor detalle en los Anexos, las indicaciones de base para operar el sistema en seguridad **N** y **N-1** definiendo de este modo las Tensiones de Operación en las principales barras del SEIN.

Una vez implementados los resultados del análisis en el simulador de la red y realizadas las verificaciones se observa que el SEIN no presenta problemas relevantes para la regulación de la tensión, alcanzando en general en las principales barras del sistema de transmisión los objetivos impuestos en la fase del diseño, es decir $\pm 5\%$ de la tensión nominal. Con excepción de pocas barras como por ejemplo Marcona 220 kV donde en la condición de máxima carga la tensión de Operación resulta en el entorno de 0.93 p.u.. Se observan otros casos para barras pertenecientes a sistemas a nivel de tensión de subtransmisión (60 kV o menores) donde también en condiciones de carga máxima se encuentran fuera del rango indicado. No obstante ello las simulaciones muestran que sobre las barras donde se ha representado la carga en general se respeta el rango de $\pm 5\%$ de la tensión nominal.

3.1.3 *Tensiones de operación para las barras del SEIN en el 2010*

Se han resumido las consignas necesarias a aplicar en los recursos disponibles para el control de la potencia reactiva y que, consecuentemente definen las Tensiones de Operación.

Un ejemplo del perfil de tensiones obtenido en las diferentes áreas del SEIN se ilustran en las siguientes figuras. Como mencionado precedentemente se mantienen dentro del rango de $\pm 5\%$ de la tensión nominal.

Sucesivamente se suministran las Tablas con las Tensiones de Operación en las principales barras del SEIN, estos resultados comprende además el análisis de otras variantes donde se modifica el despacho de potencia del parque de generadores. Se pueden observar en dichas tablas los valores de las tensiones recomendadas según los requerimientos de la Normativa.

Mientras en el capítulo 6.1.3.6 del respectivo Informe Parte II, se han reportado los márgenes de potencia reactiva que se obtienen de los principales recursos de control disponibles en el SEIN para las condiciones de operación recomendadas.

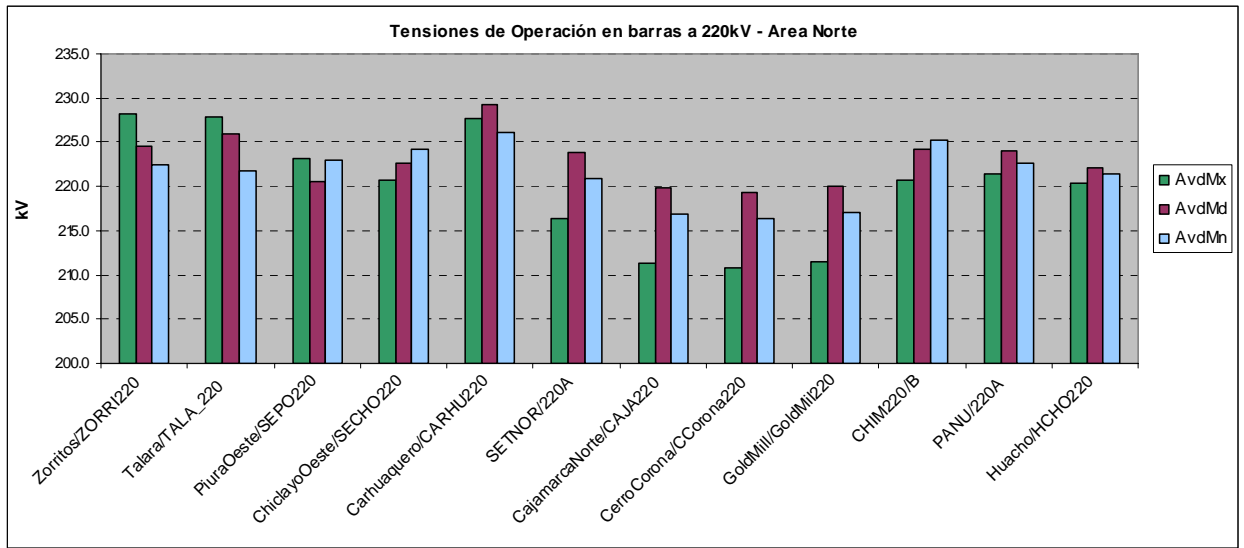


Figura 1: Perfil de Tensiones en las principales Barras del SEIN, periodo Avenida – Área Norte

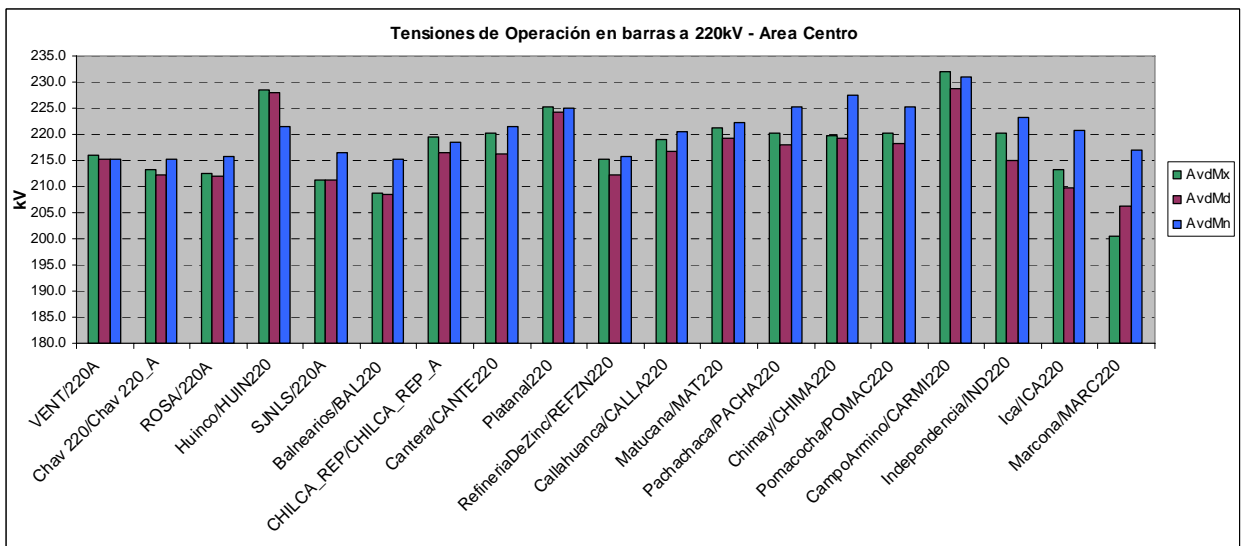


Figura 2: Perfil de Tensiones en las principales Barras del SEIN, periodo Avenida – Área Centro

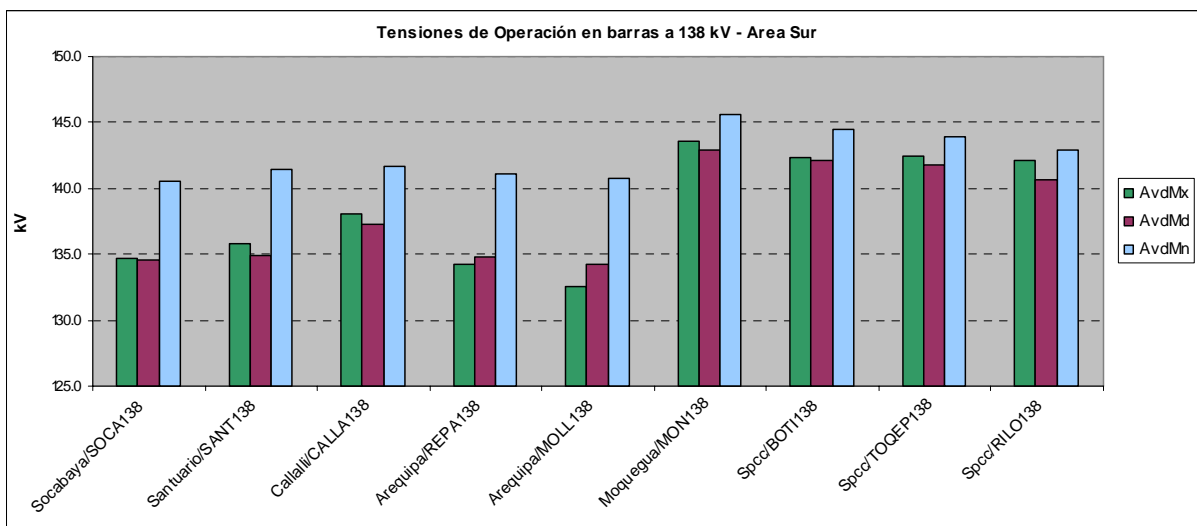


Figura 3: Perfil de Tensiones en las principales Barras 138 kV del SEIN, periodo Avenida – Área Sur

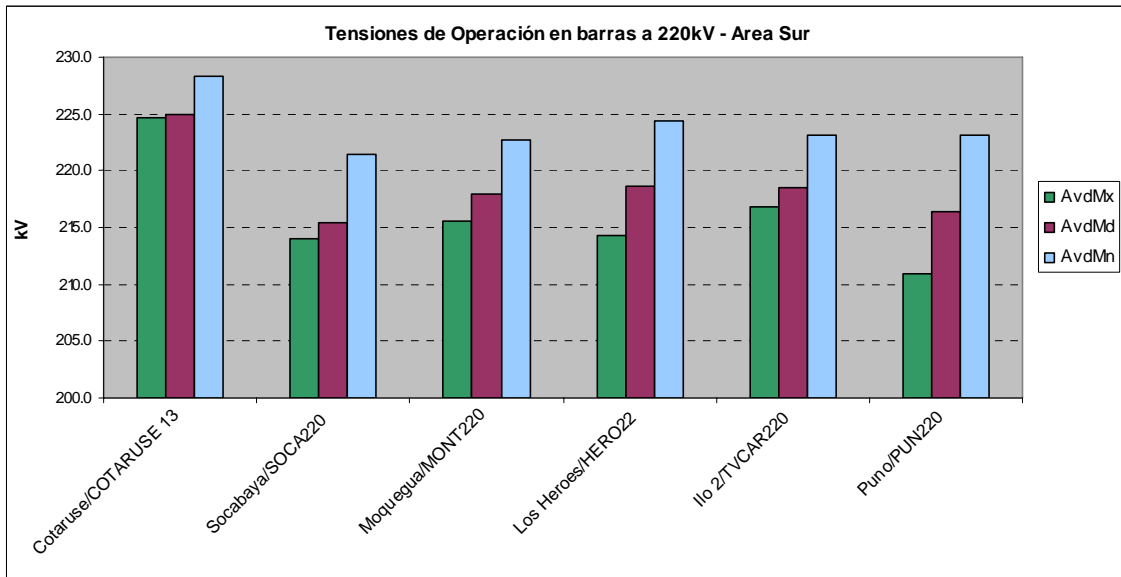


Figura 4: Perfil de Tensiones en las principales Barras 220 kV del SEIN, periodo Avenida – Área Sur

Area NORTE - Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa													
Subestación	Vnom	Periodo Hidrologico Avenida						Periodo Hidrologico Estiaje					
		V Operación max	V Operación	V Operación Min	V Operación max	V Operación	V Operación Min						
ID en DlgSILENT	kV	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.		
Zorritos/ZORRI220	220.0	231	1.05	225	1.02	220	1.00	229	1.04	224	1.03	218	0.99
Talara/TALA 220	220.0	230	1.05	225	1.02	219	1.00	228	1.04	223	2.03	217	0.99
PiuraOeste/SEPO220	220.0	227	1.03	222	1.01	216	0.98	226	1.03	220	3.03	215	0.98
ChiclayoOeste/SECHO220	220.0	228	1.04	222	1.01	217	0.99	227	1.03	222	4.03	216	0.98
Carhuaqueiro/CARHU220	220.0	233	1.06	228	1.03	222	1.01	232	1.05	226	5.03	221	1.00
CARHQ138	138.0	145	1.05	141	1.02	138	1.00	144	1.05	141	6.03	137	0.99
NJAEN138	138.0	146	1.06	142	1.03	138	1.00	145	1.05	141	7.03	138	1.00
SEGUA/220A	220.0	225	1.02	220	1.00	214	0.97	225	1.02	220	8.03	214	0.97
MOTUPE/MOTUP60	60.0	61	1.02	60	1.00	58	0.97	61	1.01	59	9.03	58	0.96
SULLANA/SULLA60	60.0	62	1.03	60	1.00	59	0.98	62	1.03	60	10.03	59	0.98
UNION/UNION60	60.0	61	1.02	59	0.99	58	0.97	61	1.01	59	11.03	58	0.97
ZORRITOS/ZORRI60	60.0	64	1.07	63	1.05	61	1.02	63	1.06	62	12.03	60	1.01

Tabla 3.1: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Norte 1

Area NORTE 2 - Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa													
Subestación	Vnom	Periodo Hidrologico Avenida						Periodo Hidrologico Estiaje					
		V Operación max	V Operación	V Operación Min	V Operación max	V Operación	V Operación Min						
ID en DlgSILENT	kV	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.		
SETNOR/220A	220.0	226	1.03	220	1.00	215	0.98	226	1.03	220	1.03	215	0.98
CajamarcaNorte/CAJA220	220.0	221	1.00	216	0.98	210	0.96	221	1.01	216	2.03	211	0.96
CerroCorona/CCorona220	220.0	221	1.00	215	0.98	210	0.95	221	1.00	215	3.03	210	0.95
GoldMill/GoldMil220	220.0	221	1.01	216	0.98	211	0.96	222	1.01	216	4.03	211	0.96
TrujilloNorte/SETNOR1_1	138.0	142	1.03	138	1.00	135	0.98	142	1.03	138	5.03	135	0.98
TrujilloNorte/MOTIL138	138.0	140	1.02	137	0.99	133	0.97	140	1.02	137	6.03	133	0.97
TrujilloNorte/TRUS138	138.0	139	1.01	135	0.98	132	0.96	139	1.01	135	7.03	132	0.96
TrujilloNorte/ALTCHI138	138.0	141	1.02	138	1.00	134	0.97	141	1.02	138	8.03	134	0.97
TrujilloNorte/CAO138	138.0	141	1.02	137	0.99	134	0.97	141	1.02	137	9.03	134	0.97
TrujilloNorte/CTTRUJ138	138.0	142	1.03	138	1.00	135	0.98	142	1.03	138	10.03	135	0.98
Chimbote/CHIM220/B	220.0	228	1.04	223	1.01	217	0.99	227	1.03	221	11.03	216	0.98
Chimbote/CHIM138/B	138.0	141	1.02	138	1.00	134	0.97	142	1.03	138	12.03	135	0.98
Chimbote/CHIM2138	138.0	141	1.02	137	0.99	134	0.97	141	1.02	138	13.03	134	0.97
Chimbote/HUALL138	138.0	147	1.07	144	1.04	140	1.02	148	1.07	144	14.03	141	1.02
Chimbote/PIERI138	138.0	147	1.06	143	1.04	140	1.01	147	1.07	144	15.03	140	1.02
Chimbote/CHIS138	138.0	140	1.01	136	0.99	133	0.96	140	1.02	137	16.03	133	0.97
Chimbote/CASM138	138.0	139	1.01	136	0.98	132	0.96	139	1.01	136	17.03	133	0.96
Chimbote/SJAC138	138.0	139	1.00	135	0.98	132	0.96	139	1.01	136	18.03	132	0.96
Chimbote/SIHU138	138.0	148	1.07	144	1.04	140	1.02	148	1.07	145	19.03	141	1.02
PIAS138	138.0	147	1.07	144	1.04	140	1.02	148	1.07	144	20.03	141	1.02
ParamongaNueva /220A	220.0	228	1.04	223	1.01	217	0.99	227	1.03	221	21.03	216	0.98
ParamongaNueva/PANU138	138.0	141	1.02	138	1.00	134	0.97	142	1.03	138	22.03	135	0.98
ParamongaNueva/PARAM138	138.0	142	1.03	138	1.00	135	0.98	143	1.04	139	23.03	136	0.99
ParamongaNueva/CAHUA138	138.0	147	1.06	143	1.04	139	1.01	148	1.07	144	24.03	140	1.02
Huacho/HCHO220	220.0	226	1.03	221	1.00	215	0.98	224	1.02	219	25.03	213	0.97
NEPENA/NEPE138	138.0	139	1.01	136	0.98	132	0.96	139	1.01	136	26.03	133	0.96
HUARAZ/HUARZ66	66.0	68	1.03	66	1.00	65	0.98	69	1.05	67	27.03	66	1.00

Tabla 3.2: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Norte 2

Area COSTA CENTRO - Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa													
Subestación	Vnom	Periodo Hidrologico Avenida						Periodo Hidrologico Estiaje					
		V Operación max		V Operación		V Operación Min		V Operación max		V Operación		V Operación Min	
ID en DigSILENT	kV	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.
ZAPA/220B	220.0	221	1.01	216	0.98	210	0.96	221	1.01	216	1.03	210	0.96
VENT/220A	220.0	219	1.00	214	0.97	209	0.95	219	1.00	214	2.03	209	0.95
Chillon/Chillon220	220.0	219	1.00	214	0.97	208	0.95	219	1.00	214	3.03	209	0.95
Chav 220/Chav 220_A	220.0	218	0.99	212	0.97	207	0.94	217	0.99	212	4.03	207	0.94
ROSA/220A	220.0	218	0.99	212	0.96	207	0.94	217	0.99	212	5.03	207	0.94
ROSA/220B	220.0	218	0.99	213	0.97	207	0.94	217	0.99	212	6.03	207	0.94
Huinco/HUIN220	220.0	230	1.04	224	1.02	218	0.99	226	1.03	220	7.03	215	0.98
SJNLS/220A	220.0	218	0.99	212	0.96	207	0.94	218	0.99	212	8.03	207	0.94
Balnearios/BAL220	220.0	215	0.98	210	0.95	205	0.93	215	0.98	210	9.03	205	0.93
CHILCA_REP/CHILCA_REP_A	220.0	223	1.02	218	0.99	212	0.97	222	1.01	217	10.03	211	0.96
Desierto/Desierto220	220.0	224	1.02	219	0.99	213	0.97	225	1.02	220	11.03	214	0.97
Cantera/CANTE220	220.0	224	1.02	218	0.99	213	0.97	225	1.02	219	12.03	214	0.97
Platana/220	220.0	230	1.05	225	1.02	219	1.00	228	1.04	223	13.03	217	0.99
RefineriaDeZinc/REFZ220	220.0	219	1.00	214	0.97	208	0.95	218	0.99	213	14.03	207	0.94
Callahuanca/CALLA220	220.0	223	1.02	218	0.99	212	0.97	223	1.01	218	15.03	212	0.97
Matucana/MAT220	220.0	226	1.03	220	1.00	215	0.98	226	1.03	220	16.03	215	0.98

Tabla 3.3: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Costa Centro

Area SIERRA CENTRO 1 - Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa													
Subestación	Vnom	Periodo Hidrologico Avenida						Periodo Hidrologico Estiaje					
		V Operación max		V Operación		V Operación Min		V Operación max		V Operación		V Operación Min	
ID en DigSILENT	kV	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.
OROY_N/ONU138	120.0	124	1.04	121	1.01	118	0.98	124	1.03	121	1.03	118	0.98
Pachachaca/PACHA220	220.0	226	1.03	221	1.00	215	0.98	226	1.03	221	2.03	215	0.98
Yanango/YANA220	220.0	228	1.04	222	1.01	217	0.98	228	1.03	222	3.03	216	0.98
Chimay/CHIMA220	220.0	229	1.04	223	1.01	218	0.99	228	1.03	222	4.03	217	0.98
OROY_N/ONU220	220.0	224	1.02	219	0.99	213	0.97	223	1.01	218	5.03	212	0.97
Pomacocha/POMAC220	220.0	226	1.03	221	1.00	215	0.98	227	1.03	221	6.03	216	0.98
CampoArmino/CARMI220	220.0	236	1.07	230	1.05	225	1.02	236	1.07	230	7.03	225	1.02
Huaycachi/HUAYU220	220.0	233	1.06	228	1.03	222	1.01	233	1.06	228	8.03	222	1.01
Huancavelica/HVELI220	220.0	233	1.06	228	1.04	222	1.01	235	1.07	229	9.03	223	1.02
Independencia/IND220	220.0	224	1.02	219	0.99	213	0.97	225	1.02	219	10.03	214	0.97
Ica/ICA220	220.0	220	1.00	215	0.98	209	0.95	218	0.99	213	11.03	208	0.94
Marcona/MARC220	220.0	214	0.97	208	0.95	203	0.92	211	0.96	206	12.03	201	0.91

Tabla 3.4: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Sierra Centro 1

Area SIERRA CENTRO 2 - Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa													
Subestación	Vnom	Periodo Hidrologico Avenida						Periodo Hidrologico Estiaje					
		V Operación max		V Operación		V Operación Min		V Operación max		V Operación		V Operación Min	
ID en DigSILENT	kV	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.
Carhuamayo 138/CARHUA138	120.0	126	1.05	123	1.02	120	1.00	125	1.04	122	1.03	119	0.99
Caripa/CARIPA	120.0	124	1.04	121	1.01	118	0.99	123	1.03	120	2.03	117	0.98
Caripa/COND138	120.0	124	1.03	121	1.01	118	0.98	122	1.02	119	3.03	116	0.97
Carhuamayo Isa/CMAYO220	220.0	225	1.02	220	1.00	214	0.97	224	1.02	219	4.03	213	0.97
Yuncan/YUN220	220.0	225	1.02	219	1.00	214	0.97	223	1.01	218	5.03	212	0.97
Yuncan/YUNCAN	138.0	140	1.02	137	0.99	133	0.97	138	1.00	135	6.03	132	0.95
Paragsha220/PARAG220	220.0	226	1.03	221	1.00	215	0.98	225	1.02	220	7.03	214	0.97
Paragsha220/PARAGII	120.0	127	1.06	124	1.04	121	1.01	126	1.05	123	8.03	120	1.00
Paragsha138/PARAG138	120.0	127	1.06	124	1.03	121	1.01	126	1.05	123	9.03	120	1.00
Aguaytia/AGUA220	220.0	227	1.03	222	1.01	216	0.98	229	1.04	223	10.03	218	0.99
Aguaytia/AGUA138	138.0	147	1.06	143	1.04	140	1.01	148	1.07	144	11.03	141	1.02
Aguaytia/PUCAL138	138.0	138	1.00	134	0.97	131	0.95	139	1.01	135	12.03	132	0.96
Tingo Maria/TMAR138	138.0	142	1.03	138	1.00	135	0.98	142	1.03	138	13.03	135	0.98
Tingo Maria/TMAR220	220.0	228	1.04	223	1.01	217	0.99	229	1.04	223	14.03	218	0.99
Tingo Maria/HUANU	130.0	134	1.03	131	1.01	128	0.98	134	1.03	130	15.03	127	0.98
Tingo Maria/AUCA138	138.0	143	1.04	140	1.01	136	0.99	143	1.04	139	16.03	136	0.99
Tingo Maria/TOCA138	138.0	144	1.04	141	1.02	137	0.99	144	1.04	140	17.03	137	0.99
VIZC/VIZC220	220.0	230	1.05	224	1.02	219	0.99	230	1.05	224	18.03	219	0.99
Antamina/ANTA220	220.0	229	1.04	224	1.02	218	0.99	231	1.05	225	19.03	220	1.00
Huallanca/HUALL_N220	220.0	230	1.05	224	1.02	219	0.99	230	1.05	224	20.03	219	0.99

Tabla 3.5: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Sierra Centro 2

Area COSTA SUR - Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa													
Subestación	Vnom	Periodo Hidrologico Avenida						Periodo Hidrologico Estiaje					
		V Operación max		V Operación		V Operación Min		V Operación max		V Operación		V Operación Min	
ID en DlgSILENT	kV	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.
Cotaruse/COTARUSE 14	220.0	232	1.06	226	1.03	221	1.00	230	1.04	224	1.03	218	0.99
Cotaruse/COTARUSE 13	220.0	232	1.06	226	1.03	221	1.00	230	1.04	224	2.03	218	0.99
Socabaya/SOCA220	220.0	223	1.01	218	0.99	212	0.96	218	0.99	213	3.03	208	0.94
Socabaya/SOCA138	138.0	141	1.02	138	1.00	134	0.97	137	1.00	134	4.03	131	0.95
Santuario/SANT138	138.0	142	1.03	138	1.00	135	0.98	138	1.00	134	5.03	131	0.95
Callalli/CALLA138	138.0	143	1.03	139	1.01	136	0.98	141	1.02	138	6.03	134	0.97
Arequipa/CHIL138	138.0	140	1.01	137	0.99	133	0.96	136	0.98	133	7.03	129	0.94
Arequipa/YURA138	138.0	139	1.01	136	0.99	133	0.96	136	0.98	132	8.03	129	0.94
Arequipa/CVER138	138.0	141	1.02	137	0.99	134	0.97	137	0.99	134	9.03	130	0.94
Arequipa/REPA138	138.0	141	1.02	138	1.00	134	0.97	137	1.00	134	10.03	131	0.95
Arequipa/MOLL138	138.0	140	1.01	137	0.99	133	0.96	136	0.99	133	11.03	130	0.94
Arequipa/ALTO138	138.0	142	1.03	138	1.00	135	0.98	138	1.00	134	12.03	131	0.95
Arequipa/CAMANA138	138.0	141	1.03	138	1.00	135	0.98	138	1.00	134	13.03	131	0.95
Arequipa/CYPR138	138.0	141	1.02	137	0.99	134	0.97	137	0.99	134	14.03	130	0.94
Arequipa/LaJoya138	138.0	141	1.02	138	1.00	134	0.97	137	1.00	134	15.03	131	0.95
Moquegua/MONT220	220.0	225	1.02	219	1.00	214	0.97	222	1.01	216	16.03	211	0.96
Moquegua/MON138	138.0	148	1.07	144	1.05	141	1.02	146	1.06	143	17.03	139	1.01
Spcc/BOTI138	138.0	147	1.06	143	1.04	140	1.01	146	1.06	142	18.03	139	1.00
Spcc/SPCC138	138.0	145	1.05	142	1.03	138	1.00	145	1.05	141	19.03	138	1.00
Spcc/MILLS138	138.0	146	1.06	143	1.03	139	1.01	145	1.05	142	20.03	138	1.00
Spcc/TOQEP138	138.0	146	1.06	143	1.03	139	1.01	145	1.05	142	21.03	138	1.00
Spcc/PUSHB138	138.0	146	1.06	143	1.04	139	1.01	145	1.05	142	22.03	138	1.00
Spcc/QHON138	138.0	146	1.06	143	1.03	139	1.01	145	1.05	142	23.03	138	1.00
Spcc/RILO138A	138.0	146	1.05	142	1.03	138	1.00	145	1.05	141	24.03	138	1.00
Spcc/RILO138	138.0	145	1.05	142	1.03	138	1.00	144	1.05	141	25.03	137	1.00
Tacna/ARIC138	138.0	147	1.06	143	1.04	139	1.01	146	1.06	142	26.03	139	1.01
Spcc/LIXI138	138.0	146	1.06	143	1.03	139	1.01	145	1.05	142	27.03	138	1.00
Spcc/LOES138	138.0	145	1.05	142	1.03	138	1.00	145	1.05	141	28.03	138	1.00
Los Heroes/HERO22	220.0	225	1.02	219	1.00	214	0.97	222	1.01	216	29.03	211	0.96
Ilo 2/TVCAR220	220.0	225	1.02	220	1.00	214	0.97	223	1.01	217	30.03	212	0.96

Tabla 3.6: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Costa Sur

Area SIERRA SUR - Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa													
Subestación	Vnom	Periodo Hidrologico Avenida						Periodo Hidrologico Estiaje					
		V Operación max		V Operación		V Operación Min		V Operación max		V Operación		V Operación Min	
ID en DlgSILENT	kV	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.	kV	p.u.
Puno/PUN220	220.0	222	1.01	217	0.99	211	0.96	222	1.01	216	1.03	211	0.96
Puno/PUNO138	138.0	140	1.02	137	0.99	133	0.97	141	1.02	138	2.03	134	0.97
Juliaca/JULIA138	138.0	139	1.01	136	0.98	133	0.96	140	1.02	137	3.03	134	0.97
Azangaro/AZANG138	138.0	143	1.03	139	1.01	136	0.98	143	1.04	140	4.03	136	0.99
Azangaro/SRAF138	138.0	145	1.05	141	1.02	138	1.00	145	1.05	142	5.03	138	1.00
Azangaro/SGAB138	138.0	147	1.07	144	1.04	140	1.02	147	1.07	144	6.03	140	1.02
Azangaro/MAZUCO138	138.0	146	1.06	143	1.03	139	1.01	146	1.06	142	7.03	139	1.01
Azangaro/PTO_MDO138	138.0	147	1.06	143	1.04	140	1.01	146	1.06	143	8.03	139	1.01
Azangaro/AYAVI138	138.0	143	1.03	139	1.01	136	0.98	143	1.04	139	9.03	136	0.98
Tintaya/TINTA138	138.0	141	1.03	138	1.00	135	0.98	141	1.03	138	10.03	135	0.98
Callalli/CALLA138	138.0	143	1.03	139	1.01	136	0.98	141	1.02	138	11.03	134	0.97
Santuario/SANT138	138.0	142	1.03	138	1.00	135	0.98	138	1.00	134	12.03	131	0.95
Callalli/ARES138	138.0	143	1.03	139	1.01	136	0.98	142	1.03	139	13.03	135	0.98
Tintaya/COMBA138	138.0	143	1.04	139	1.01	136	0.98	144	1.05	141	14.03	137	0.99
Cachimayo/QUEN138	138.0	143	1.04	140	1.01	136	0.99	146	1.06	142	15.03	139	1.01
Cachimayo/DOLOR138	138.0	143	1.04	140	1.01	136	0.99	146	1.06	142	16.03	139	1.01
Cachimayo/INCA138	138.0	143	1.04	140	1.01	136	0.99	146	1.06	142	17.03	139	1.01
Cachimayo/ABAN138	138.0	145	1.05	141	1.02	138	1.00	148	1.07	144	18.03	141	1.02
Cachimayo/MACH138	138.0	145	1.05	141	1.02	138	1.00	148	1.07	144	19.03	141	1.02

Tabla 3.7: Tensiones de Operación recomendadas según los requerimientos de la Normativa – área Sierra Sur

3.1.4 Procedimientos de control manual de tensiones

Se han delineado en términos generales los procedimientos a seguir para alcanzar las Tensiones de Operación resultante de los estudios, es decir, aplicando las consignas obtenidas en los estudios en cada uno de los diferentes periodos que caracterizan el perfil de la demanda correspondiente a un día laboral y festivo típico, según se resume en la tabla siguiente:

	Periodos en Día Laborable	Periodos en Día No - Laborable de Avenida	Periodos en Día No - Laborable de Estiaje
Mínima Carga	Desde 01 hasta las 07 horas	Desde 23 hasta las 18 horas	Desde 23 hasta las 17 horas
Media Carga	Desde las 23 hasta la 01 y desde 07 hasta las 18 horas	Desde 18 hasta las 23 horas	Desde 17 hasta las 23 horas
Máxima Carga	Desde las 18 a las 23 horas		

Tabla 3.8: Periodos de tiempo para los días típicos laborables y festivos donde aplicar los resultados del estudio

En consecuencia para facilitar el control y la supervisión de las Tensiones de Operación se han definido las barras "claves" donde es necesario que se respeten dichos niveles de tensión de manera que sobre las restantes barras principales se asegure el funcionamiento en rango impuesto por la Norma del $\pm 2.5\%$ de la Tensión de Operación.

Estas barras "claves" son reportadas en las siguientes tablas:

BARRAS "CLAVES" AREA NORTE		
codigo	Nombre de la S/E	Area del SEIN
ZORRI220	ZORRITOS 220kV	Area Norte
ZORRI60	ZORRITOS 60kV	Area Norte
TALA_220	TALARA 220kV	Area Norte
SEPO220	PIURA OESTE 220kV	Area Norte
SULLA60	PIURA OESTE 60kV	Area Norte
UNION60	PIURA OESTE 60kV	Area Norte
SECHO220	CHICLAYO OESTE 220kV	Area Norte
NJAEN138	CHICLAYO OESTE 138kV	Area Norte
MOTUP60	CHICLAYO OESTE 60kV	Area Norte
220A_SEGUA_1	GUADALUPE 220kV	Area Norte
CAJA60	GUADALUPE 60kV	Area Norte
SETNOR220	TRUJILLO NORTE 220kV	Area Norte
TRUS138	TRUJILLO NORTE 138kV	Area Norte
CAJA220	CAJAMARCA NORTE 220kV	Area Norte
CCorona220	CERRO CORONA 220kV	Area Norte
GoldMil220	GOLD MILL 220kV	Area Norte
CHIM220	CHIMBOTE 220kV	Area Norte
NEPE138	CHIMBOTE 138kV	Area Norte
HUARZ66	CHIMBOTE 66kV	Area Norte

Tabla 3.9: Barras "claves" en el Área Norte del SEIN

BARRAS "CLAVES" AREA CENTRO 1		
codigo	Nombre de la S/E	Area del SEIN
PANU220	PARAMONGA NUEVA 220kV	Area Centro 1
CHAVA220	CHAVARRIA 220kV	Area Centro 1
ROSA220	SANTA ROSA 220kV	Area Centro 1
BAL220	BALNEARIOS 220kV	Area Centro 1
ChilcaREP	CHILCA 220kV	Area Centro 1
IND220	INDEPENDENCIA 220kV	Area Centro 1
CARMI220	CAMPO ARMIÑO 220kV	Area Centro 1

BARRAS "CLAVES" AREA CENTRO 2		
codigo	Nombre de la S/E	Area del SEIN
ONU220	OROYA NUEVA 220kV	Area Norte
AGUA220	AGUAYTIA 220kV	Area Norte
CMAYO220	CARHUAMAYO 220kV	Area Norte
PARAG138	PARAGSHA 138kV	Area Centro 1
VIZC220	VIZCARRA 220kV	Area Centro 1

Tabla 3.10: Barras "claves" en el Área Centro 1 y Centro 2 del SEIN

BARRAS "CLAVES" AREA SUR OESTE		
codigo	Nombre de la S/E	Area del SEIN
SOCA220	SOCABAYA 220kV	Area Sur Oeste
MONT220	MOQUEGUA 220kV	Area Sur Oeste
SPCC138	ILO 1 138kV	Area Sur Oeste
SANT138	SANTUARIO 138kV	Area Sur Oeste

BARRAS "CLAVES" AREA SUR ESTE		
codigo	Nombre de la S/E	Area del SEIN
PUN220	PUNO 220kV	Area Centro 2
MACH138	MACHUPICCHU 138kV	Area Centro 2
TINTA138	TINTAYA 138kV	Area Centro 2
AZANG138	AZANGARO 138kV	Area Centro 2
CALLA138	CALLALLI 138kV	Area Sur Oeste

Tabla 3.11: Barras "claves" en el Área Sur Este y Sur Oeste del SEIN

Dadas estas barras "claves" se han determinado en consecuencia las sensibilidades de estas barras respecto a los diferentes recursos de control de la potencia reactiva, como por ejemplo unidades de generación, compensadores sincrónicos, dispositivos de tipo SVC y transformadores de interconexión entre subsistemas.

Estas indicaciones de sensibilidad facilitan al operador del sistema la selección para poder hacer un uso mas eficaz de los recursos de control de la tensión, mas aún en el caso en que algunas unidades durante el escenario en curso se encuentren fuera de servicio por mantenimiento preventivo.

Como ejemplo se reporta a continuación la tabla de sensibilidades con la lista de los recursos mas influyentes para las barras "claves" del área Norte (los valores de sensibilidad se relativizan o normalizan respecto del recurso de generación de reactivo que ejerce la mayor influencia, la cual adopta el valor unitario):

Nodo Clave: ZORRITOS 220kV			Nodo Clave: PIURAOESTE 220kV			Nodo Clave: TRUJILLO NORTE 220kV		
Centrales y SVC		Sensibilidad	Centrales y SVC		Sensibilidad	Centrales y SVC		Sensibilidad
Unidad Principal	dVn/dVg [pu/pu]	dVn/dQg [kV/Mvar]	Unidad Principal	dVn/dVg [pu/pu]	dVn/dQg [kV/Mvar]	Unidad Principal	dVn/dVg [pu/pu]	dVn/dQg [kV/Mvar]
Malac G4	0.45582	0.18040	Malac G4	0.28932	0.11450	svc svctrj	0.79174	0.16711
Tumb G1	0.19682	0.85441	Piura G1	0.14551	1.02304	Truj G2	0.23211	0.27398
Piura G1	0.04613	0.32435	svc Chiclayo	0.13481	0.04019	Truj G1	0.21437	0.26680
svc Chiclayo	0.04274	0.01274	Chicl G1	0.05964	0.34456	CPato G1	0.09998	0.01828
Chicl G1	0.01891	0.10923	svc svctrj	0.04194	0.00885	Chicl G1	0.07562	0.43692
svc svctrj	0.01329	0.00281	Curum G1	0.03820	0.07302	SidSur TG3	0.07363	0.09320
Curum G1	0.01211	0.02315	Carhq G1	0.03621	0.02639	Pacas G1	0.06342	0.34231
Carhq G1	0.01148	0.00837	Tumb G1	0.02897	0.12576	svc Chiclayo	0.05181	0.01545
Truj G2	0.00605	0.00714	Truj G2	0.01910	0.02254	Carhq G1	0.04370	0.03185
Carhq G4	0.00571	0.00675	Carhq G4	0.01800	0.02128	SVC Vizcarra	0.04278	0.00448
Truj G1	0.00559	0.00695	Truj G1	0.01764	0.02195	GCiego G1	0.04036	0.04442
Pacas G1	0.00506	0.02732	Pacas G1	0.01597	0.08621	Ventan G4	0.03328	0.00490
Poech G1	0.00471	0.00959	Poech G1	0.01487	0.03024	Antam CS1	0.03264	0.07796
GCiego G1	0.00328	0.00361	GCiego G1	0.01035	0.01139	Malac G4	0.03261	0.01291
CPato G1	0.00261	0.00000	CPato G1	0.00823	0.00150	Sam G5	0.02850	0.03318
SidSur TG3	0.00192	0.00243	SidSur TG3	0.00606	0.00767	Sam G1	0.02664	0.02309
Ventan G4	0.00087	0.00000	Ventan G4	0.00274	0.00000	Rest G1	0.02542	0.03365
Antam CS1	0.00085	0.00203	Antam CS1	0.00269	0.00641	Cahua G1	0.02397	0.02357
Sam G5	0.00074	0.00000	Sam G5	0.00234	0.00273	Carhq G4	0.02249	0.02658
Sam G1	0.00069	0.00000	SVC Vizcarra	0.00226	0.00000	Enersur G3	0.02079	0.00201
CH_MUYO_G1	0.00069	0.00937	Sam G1	0.00219	0.00190	SRosa TG8	0.01988	0.00337
Rest G1	0.00066	0.00000	CH_MUYO_G1	0.00218	0.02957	Piura G1	0.01569	0.11033
Cahua G1	0.00062	0.00000	Rest G1	0.00209	0.00277	SRosa G7	0.01414	0.00305
Enersur G3	0.00054	0.00000	Cahua G1	0.00197	0.00194	Las Flores G1	0.01327	0.00190
SRosa TG8	0.00052	0.00000	Enersur G3	0.00171	0.00000	Kallpa G2	0.01271	0.00184
Caña Brava	0.00041	0.00217	SRosa TG8	0.00164	0.00000	Aguayt G1	0.01236	0.00546
SRosa G7	0.00037	0.00000	Caña Brava	0.00128	0.00685	Enersur G1	0.01187	0.00175
Las Flores G1	0.00035	0.00000	SRosa G7	0.00116	0.00000	svc Chavarria	0.00915	0.00000
CH_PELOTA_G1	0.00034	0.00648	Las Flores G1	0.00109	0.00000	Pias G1	0.00706	0.01630
Kallpa G2	0.00033	0.00000	CH_PELOTA_G1	0.00107	0.02045	SRosa G5	0.00659	0.00253

Tabla 3.12: Sensibilidad de las barras "claves" hacia los recursos de reactivo – zona Norte

3.1.5 Conclusiones y Recomendaciones

El estudio realizado ha tenido como objetivo principal el de definir las Tensiones de Operación en las principales barras del sistema de Transmisión Interconectado Nacional (SEIN), aprovechando los recursos disponibles actualmente para el control de la potencia reactiva.

Para cada condición de carga del sistema (Máxima, Media y Mínima) y para el periodo estacional de Avenida y Estiaje, el estudio ha definido el conjunto de Tensiones de Operación en las principales barras del SEIN, las cuales se soportan con las "consignas" que se deben aplicar sobre los recursos que controlan la potencia reactiva. Estas tensiones de Operación como indica la NTCOTR serán supervisadas y controladas por el Coordinador. En el Estado Normal de funcionamiento se debe asegurar que la tensión en las principales barras del sistema se mantenga dentro del rango de $\pm 2.5\%$ de la Tensión de Operación asignada para dicha barra.

Se han suministrado en detalle para cada escenario y estado de carga, todas las consignas a aplicar en los recursos para el control de la potencia reactiva, que dan lugar a un estado operativo del sistema donde se respetan los vínculos impuestos.

La metodología aplicada se ha fijado en principio de "limitar" dentro de un rango ($\pm 5\%$ de la tensión nominal de la barra) las desviaciones para las Tensiones de Operación dado que el diseño, en particular de aislación, de los equipos involucrados en ese nivel cumplan con los

Resumen Ejecutivo - ETOE "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN (ETOE) - 2010"	Cliente COES-SINAC Peru	ESC - 100605/71 05/06/2010 p. 16/23
---	---	---

requisitos impuestos para dicha tensión nominal. Además la metodología realiza la optimización de los recursos de control de la potencia reactiva de modo que en condición de contingencia N-1 de un componente del sistema, las tensiones en las principales barras se mantengan en el rango de $\pm 10\%$ de la tensión nominal.

En general para todos los escenarios y condiciones de carga se han podido respetar estos vínculos en las principales barras del sistema, haciendo uso de los recursos disponibles y manteniendo una reserva que asegure la operación del sistema en los rangos impuestos aún en condiciones de contingencias. Salvo pocas excepciones, como por ejemplo la barra de Marcona 220 kV y en condiciones de carga máxima, la Tensión de Operación asignada para dicha barra se encuentra fuera del mencionado rango (≈ 0.93 p.u.). Prácticamente los estudios realizados con el modelo digital del sistema han demostrado que las tensiones en las barras a niveles de tensión inferior donde se ha representado la carga se encuentran en general dentro del rango de $\pm 5\%$ de la tensión nominal.

Se han definido por ultimo un conjunto de barras a nivel del sistema de transmisión, denominadas "claves", que deberán ser supervisadas por el Coordinador mediante las cuales se podrán regular las Tensiones de Operación en las principales barras del sistema. Se han suministrado también para cada barra "clave" la lista de los recursos de control a los cuales dicha barra es mas sensible.

En la fase de definición de las contingencias N-1 (ver cap. 3.2.1.3) se han individuado una serie de eventos de este tipo que no obtienen una solución de estado estacionario. Investigado mas en detalle dichos eventos por medio de simulaciones en el tiempo se ha verificado que en ciertos casos podrían ocasionar un impacto significativo, un ejemplo de ello es la contingencia sobre la línea a 60 kV entre la S/S Balnearios y la S/S de Salamanca (ver en ANEXO A los detalles). A juicio de este Consultor se recomienda, si no se dispone aún, de dotarse de un dispositivo especial de protección (Special Protection Device SPD) en modo que se puedan limitar los eventuales daños a los usuarios finales.

Otro aspecto que se ha evidenciado luego de implementar los resultados en el simulador de la red concierne la regulación de las tensiones, en particular para condiciones de carga máxima, de algunas barras pertenecientes a sistemas con tensiones nominales de subtransmisión (≈ 60 kV). Un ejemplo de ello es el subsistema a 69 kV de Cobriza alimentado desde la S/S de Mantaro. En este caso se recomienda de prever una compensación di tipo shunt que pueda mejorar el perfil de tensiones, sin tener la necesidad de aumentar la consigna de la central de Mantaro para mantener alta la tensión sobre el nivel a 220 kV y beneficiar en parte este subsistema.

Para los escenarios donde se han implementado los resultados del estudio, se han efectuado las verificaciones orientadas a evaluar las "distancias" al colapso de tensión en algunas barras principales del SEIN. Los resultados obtenidos, si bien no exhaustivos, han mostrado valores aceptables en cada uno de los niveles de tensión que se han analizado. En el ámbito de estas simulaciones se ha detectado la sensibilidad de la central hidráulica de Pelotas a oscilar y perder el paso ante los eventos, muy probablemente por la gran distancia eléctrica en la cual está ubicada, se recomienda por ello de verificar que disponga de las respectivas protecciones de perdida de paso.

4 Resumen Ejecutivo Parte III

Este Resumen Ejecutivo relativo al "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN 2010" (llamado ETOE), presenta en forma resumida los aspectos más importantes necesarios para cubrir los alcances solicitados y las relativas conclusiones referentes a la Parte 3 del estudio ETOE.

Las principales actividades desarrolladas han sido:

- Elaboración de la Metodología y definición de Criterios;
- Validación del modelo para los estudios de dinámica;
- Reconstrucción de eventos;
- Determinación de los límites de transporte;
- Necesidades de modificaciones en los Controladores de las unidades de generación;
- Conclusiones, y Recomendaciones

4.1 Resumen de las conclusiones principales de la Parte 3

Los capítulos siguientes ilustran los resultados obtenidos en el desarrollo de las actividades previstas en esta fase, con lo cual se han obtenido las conclusiones que se exponen a continuación.

4.1.1 Metodología definición de Criterios

La metodología seguida comprende en breve los siguientes pasos:

- i. utilizar el modelo dinámico del SEIN implementado en el simulador DlgSILENT Power Factory cuya Base de Datos se ha debidamente ajustado y mejorado;
- ii. "Ajustar" escenarios que tengan en cuenta las condiciones de demanda y despachos que mas frecuentemente se presentan en la operación del SEIN, sin descartar aquellas situaciones extremas que pueden en alguna medida influir significativamente en la determinación de los límites de transporte;
- iii. Determinar los límites por estabilidad de tensión y transitoria para los enlaces representados en la Figura 1, en condiciones normales y N-1 en el SEIN las cuales son una consecuencia de una contingencia imprevista (evento) o bien fuera de servicio por mantenimiento programado. Entre los eventos a considerar para verificar la estabilidad angular se tienen: fallas monofásicas con y sin reconexión exitosa, bifásicas y trifásicas, al 50 % de la línea y con resistencias de falla de 10Ω y 30Ω .

La lógica aplicada en la determinación de los límites por estabilidad de tensión se resume de la siguiente forma:

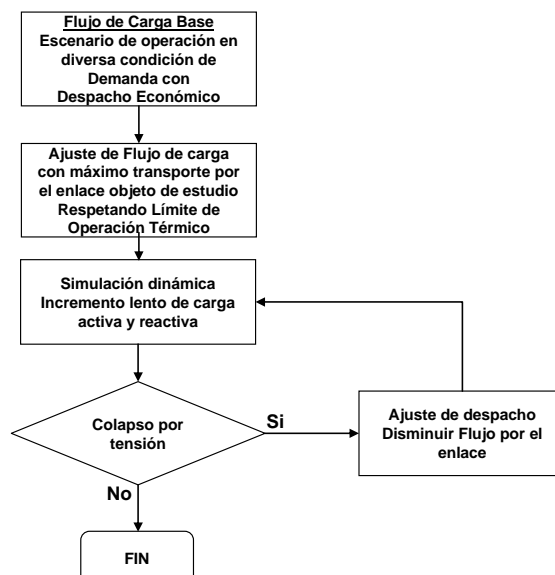


Figura 5: Flujograma con la lógica para la determinación del límite por estabilidad de tensión

Mientras aquella para la determinación del límite por estabilidad angular es:

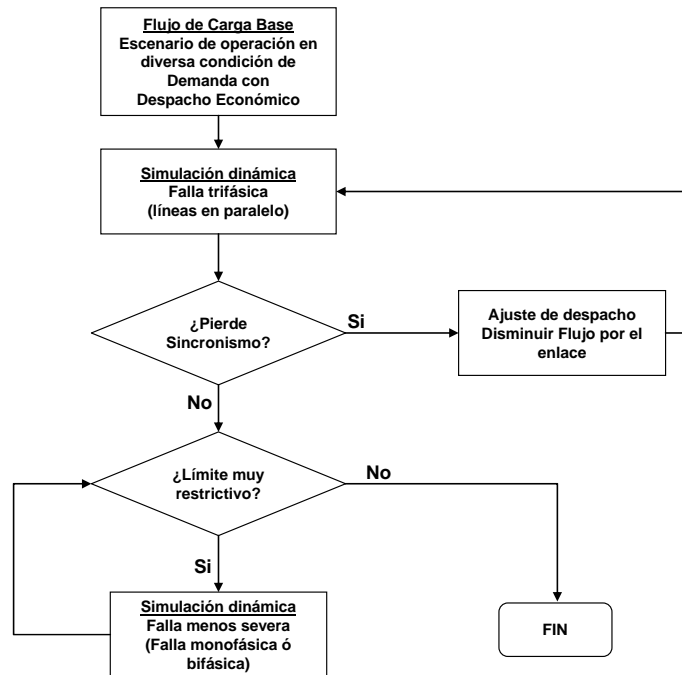
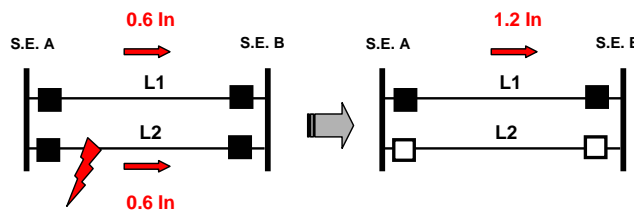


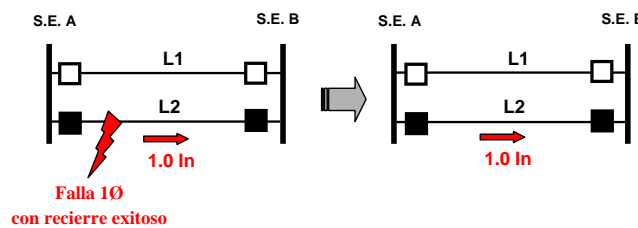
Figura 6: Flujograma con la lógica para la determinación del límite por estabilidad angular

Entre los Criterios podemos citar:

- i. Criterio térmico en los circuitos que operan en paralelo

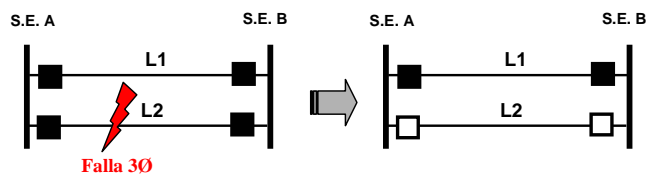


- ii. Criterio térmico en circuito simple entre áreas

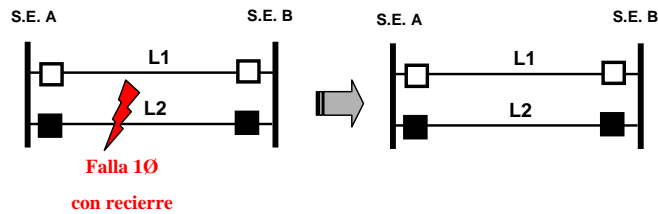


- iii. Criterio para el proceso de determinación de la estabilidad transitoria

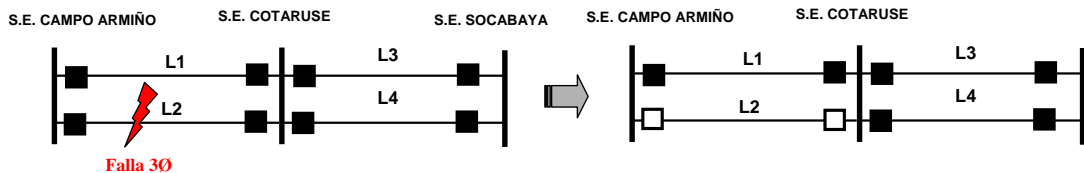
Caso con 2 Ternas en servicio:



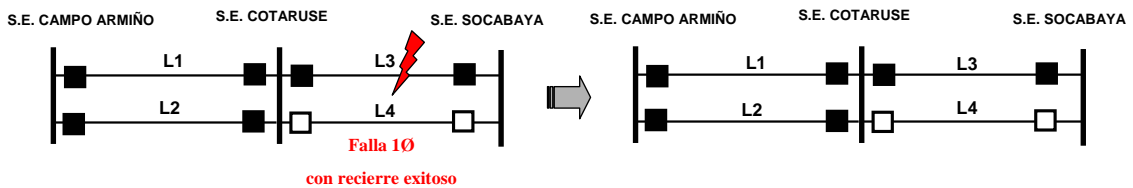
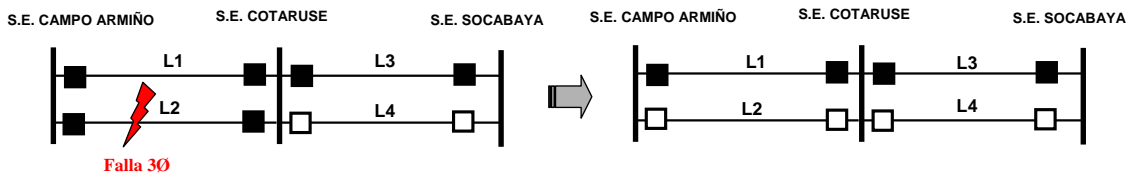
Caso con 1 Ternas en servicio:



Cuatro ternas en servicio:



Tres ternas en servicio:



Dos ternas en servicio:

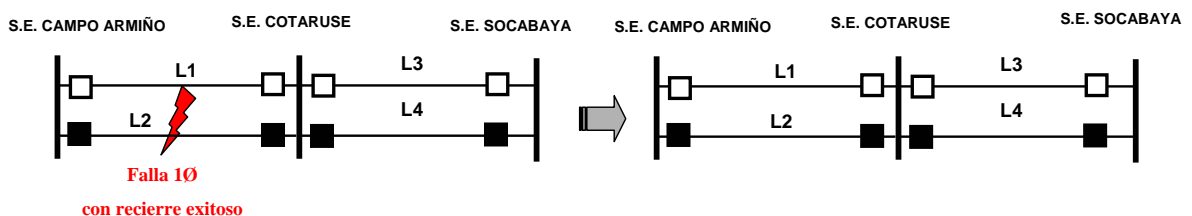


Figura 7: Esquemas representativos de los criterios aplicados para la determinación de los límites de transporte

- iv. La falla se aplica sobre la línea, inmediatamente después del interruptor de línea, por cuanto se considera que impone para cada extremo la menor impedancia de falla, y en consecuencia, provocará una mayor caída de tensión sobre el subsistema exportador ocasionando con ello una mayor potencia acelerante durante la aplicación de la falla. Se realizarán también evaluaciones según fallas al 50 % de la línea.
- v. El tiempo de aplicación de fallas para líneas de 220 kV es de 100 ms, y 150 ms para líneas de 138 kV;
- vi. Para las evaluaciones de estabilidad transitoria, el criterio de aceptación que se adopta es que ningún generador del sistema pierda el sincronismo, y evitar que la tensión del transitorio en post-falla sea menor a 0.70 pu (mínimo 0.60 pu) en cualquier punto del sistema de transmisión de Alta Tensión (220 y 138 kV)
- vii. Los límites establecidos por estabilidad permanente o de pequeña señal para condiciones N de la red, se determinan para satisfacer un $\zeta > 5\%$ de relación de amortiguamiento, mientras en N-1 un $\zeta > 3\%$,

Resumen Ejecutivo - ETOE "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN (ETOE) - 2010"	Cliente COES-SINAC Peru	ESC - 100605/71 05/06/2010 p. 20/23
---	--------------------------------------	---

4.1.2 Validación del modelo para los estudios de dinámica

Para la realización de los estudios necesarios a la determinación de los límites de transporte resulta indispensable disponer de una Base de Datos y de un modelo apto para reproducir el comportamiento del sistema ante perturbaciones más o menos severas. Esto significa que la evolución en el tiempo de las principales magnitudes de la red: Frecuencia, Tensión, Corriente y sus derivadas, se deben poder reproducir también en el modelo matemático implementado en la herramienta de cálculo, en este caso el simulador DlgSILENT Power Factory, al menos en el rango de validez del modelo que se utiliza con referencia al intervalo de tiempo analizado y a la magnitud de las perturbaciones estudiadas

Se realizan una serie de actividades orientadas a la preparación del modelo y a la relativa validación del mismo por medio de la reproducción de eventos reales que se han presentado en en el SEIN, a saber:

- i. Análisis del modelo digital para las simulaciones dinámicas, revisión y migración a la nueva versión del simulador DlgSILENT, entre los cuales:
 - Reguladores de tensión AVR;
 - Estabilizadores de las Oscilaciones de Potencia "PSS";
 - Reguladores de Velocidad;
 - Unidades de Generación sin Sistemas de Control;
 - Dispositivos Static VAR tipo SVC;
 - Modelo de la Carga;
 - Las cargas en general;
 - Relés de sub y sobre frecuencia;
 - Relés de sub y sobre tensión;
- ii. Reproducción de Eventos, se efectuaron los análisis y la reproducción de:
 - Evento 1: Salida intempestiva de las Unidades de la Central de Mantaro;
 - Evento 2: Desconexión de la LT Mantaro – Socabaya;
 - Evento 3: Desconexión del Acoplador en 220 kV de la S.E. Guadalupe;
 - Evento 4: Salida intempestiva de las Unidades TG y TV de Ventanilla;

En los Anexos del presente Informe se han detallado todos los pasos seguidos en la preparación de la Base de Datos, la migración a la nueva versión se ha realizado comparando las respuestas de los controladores antes y después de la conversión.

Las evaluaciones efectuadas con la finalidad de reproducir los eventos de una cierta severidad ocurridos en el SEIN han mostrado la validez del modelo digital que representa el sistema de generación/transmisión del SEIN.

En general se ha observado que las principales magnitudes como la frecuencia, la tensión, los tránsitos de potencia obtenidas a través de las simulaciones con el modelo digital representan satisfactoriamente las magnitudes relevadas durante los eventos reales. Con una validez dentro de una ventana de tiempo correspondiente a los fenómenos de tipo electromecánicos, es decir algunas decenas de segundos.

Se observa que el modelo digital representa fielmente las desviaciones de la frecuencia que ocurren de frente a fenómenos que dan lugar a un déficit o bien a un superávit de generación del SEIN o, de algún subsistema comprendiendo generación local. Lo cual significa que se han representado correctamente la inercia, la primera contribución de los reguladores de velocidad y los esquemas de defensa (rechazos de carga, desconexión de generación/motor), dependientes de la frecuencia y de la tensión, en particular los umbrales y las derivadas y sus respectivos retardos de actuación para coordinación. Se observa, no obstante, menos precisión en la fase de recuperación de la magnitud frecuencia, pero sobre este aspecto juegan una serie de factores de mayor relevancia, como por ejemplo:

- la información reportada sobre la totalidad del rechazo de carga ocurrido en la realidad;

- la información respecto a la operación de los reguladores de potencia/frecuencia en cuanto a precisar cuales de ellos se encuentran en servicio y operan realmente,;
- la respuesta actualizada de los reguladores de velocidad, en particular algunos parámetros fundamentales del sistema de control, por lo que se recomienda una campaña de pruebas sobre los generadores y sus controladores existentes en el SEIN;

Se recomienda que los aspectos mencionados anteriormente se requieran a todos los Agentes participantes de manera que se mejore la representación del comportamiento del sistema por medio de la herramienta digital, permitiendo con ello realizar una mejor prevención para limitar los efectos nocivos sobre el consumidor final a causa de estos eventos más o menos severos.

Los análisis realizados han permitido "ajustar" la caracterización de la demanda con la frecuencia y la tensión, teniendo también presente de las recomendaciones internacionales al respecto.

4.1.3 Determinación de los límites de transporte

Con el modelo digital "ajustado" se ha procedido, aplicando la metodología y los criterios, a determinar los límites de transporte por estabilidad transitoria y permanente y por tensión. Se ha también investigado, para las áreas del Norte y Sur del SEIN, cuales podrían ser los límites de transporte admisibles mas allá de los criterios adoptados para la operación normal de los enlaces.

Las evaluaciones realizadas para la determinación de los límites por estabilidad de la tensión y angular han sido ejecutadas para diversos escenarios y en diversas condiciones de demanda, aplicando redespachos de generación para alcanzar condiciones de operación extremas que pudieran poner en evidencias eventuales situaciones de colapso del sistema o de subsistemas por degrado de la tensión.

Los límites de transporte individuados solo en pocos casos difieren de los valores con los que actualmente se está operando el sistema y son válidos para el escenario del SEIN que será presente prácticamente el resto del 2010 e inicio del 2011, o mas bien hasta tanto no entren en servicio una serie de refuerzos y expansiones significativas en ciertos enlaces que en el presente estudio han sido considerados. A partir del momento que entren en servicio estas ampliaciones resultará necesario llevar a cabo los estudios pertinentes para aprovechar en todo sentido estas inversiones. Es claro que los límites que resultan del presente estudio son sin embargo válidos en el futuro pero demasiados conservativos para las nuevas capacidades que se pondrán en servicio.

En resumen los Límites Operativos resultan:

ZONAS INVOLUCRADAS			CAPACIDAD DE DISEÑO		LIMITE OPERATIVO
Desde la zona	Hacia la zona	Enlaces	En operación continua	Por 4 horas (120%)	
			MVA	MVA	
Costa Centro	Costa Norte	Chimbote-ParamongaNueva_L2215	180	216	
Costa Centro	Costa Norte	Chimbote-ParamongaNueva_L2216	180	216	
		2 TERNAS EN SERVICIO	Los tránsitos de potencia son medidos en el lado Paramonga		216
		1 TERNA EN SERVICIO			170
Costa Centro	Costa Norte	Chimbote-TrujilloNorte_L2232	152	182	
Costa Centro	Costa Norte	Chimbote-TrujilloNorte_L2233	152	182	
		2 TERNAS EN SERVICIO	Los tránsitos de potencia son medidos en el lado Chimbote		182
		1 TERNA EN SERVICIO			152
	Para tránsitos desde Costa Centro --> Costa Norte				
Sierra Centro	Costa Sur	CampoArmino-Cotaruse_L2051	300	-	
Sierra Centro	Costa Sur	CampoArmino-Cotaruse_L2052	300	-	
Sierra Centro	Costa Sur	Lne Cotaruse-Socabaya_L2053	300	-	
Sierra Centro	Costa Sur	Lne Cotaruse-Socabaya_L2054	300	-	
		4 TERNAS EN SERVICIO	Los tránsitos de potencia son medidos en el lado Mantaro		325
		3 TERNAS EN SERVICIO			255
		2 TERNAS EN SERVICIO			250
	Para tránsitos desde Sierra Centro --> Costa Sur				
Sierra Centro	Costa Centro	Pachachaca-Callahuanca2_L2222	152	182	
Sierra Centro	Costa Centro	Pachachaca-Callahuanca2_L2223	152	182	
Sierra Centro	Costa Centro	Huayucachi-Zapallal_L2221	152	182	
Sierra Centro	Costa Centro	Pomacocha-SanJuan_L2205	152	182	
Sierra Centro	Costa Centro	Pomacocha-SanJuan_L2206	152	182	
Sierra Centro	Costa Centro	Independencia-CampoArmino_L2203	152	182	
Sierra Centro	Costa Centro	CampoArmino-Huancavelica_L2204	152	182	
		TODAS LAS TERNAS EN SERVICIO	Los tránsitos de potencia son medidos en el lado de la Sierra		1000
		1 TERNA OFF (L2203)			860
		1 TERNA OFF (L2206)			720
	Para tránsitos desde Mantaro --> Lima				

ZONAS INVOLUCRADAS			CAPACIDAD DE DISEÑO		LIMITE OPERATIVO
Desde la zona	Hacia la zona	Enlaces	En operación continua	Por 4 horas (120%)	
			MVA	MVA	
		1 TERNA OFF (L2716)			550
		2 TERNA OFF (L2206 y L2716)			400
Costa Centro	Sierra Centro Norte	Vizcarra-ParamongaNueva_L2253	191	229	
Sierra Centro	Sierra Centro Norte	Pachachaca-OroyaNueva_L2224	152	183	
		2 TERNAS EN SERVICIO			230
		1 TERNA OFF (L2259)			152
		1 TERNA OFF (L2253)			152
Independencia	Ica	Independencia-Ica	140	168	
		TODAS LAS TERNAS EN SERVICIO			140
		1 TERNA OFF (L2203)			115
Costa Sur	Sierra Sur	Tintaya-Callalli_L1008	110	132	
		1 TERNA OFF (L2030)			44

Notas
 (*) Tienen en cuenta contingencia N-1
 (**) Medido en Socabaya
 (***) Medido en Cotaruse

Tabla 4.1: Límites Operativos de transporte para los enlaces entre las áreas del SEIN

4.1.4 Necesidades de modificaciones en los Controladores

En la fase de validación del modelo digital por medio de la reproducción de algunos eventos que han sucedido en el SEIN se ha puesto en evidencia la respuesta del modelo digital con respecto al correspondiente en la realidad.

En general se ha verificado una respuesta por parte de los controladores aceptable, sin embargo se recomienda profundizar en lo que respecta a los reguladores de velocidad de las principales unidades de generación del SEIN. Llevar adelante una campaña de ensayos sobre los reguladores existentes a fin de comprobar el desempeño dinámico de los componentes, de definir los límites de salida del regulador, los límites de salida del servomotor, el límite de carga controlable por el operador, y las bandas muertas. Ya que sobre estos aspectos de base no se dispone de una información precisa, y más aún de como el propietario de la planta predispone el regulador sobre la base de despacho que le asigna el Coordinador del Sistema. Se observa en algunos casos que la reserva de regulación primaria fijada al nivel del despacho, al momento de deber recurrir a ella no se encuentra totalmente disponible, muy probablemente por la amplitud de la banda muerta estipulada al regulador o bien a causa de un estatismo no correctamente asignado.

En lo que respecta a los estabilizadores de las oscilaciones de potencia se observa que el sistema dispone de un amortiguamiento que en general se encuentra por encima de los valores recomendados para las oscilaciones interárea. Solo en algunos casos particulares se ha individuado que estos valores se encuentran en el límite de lo recomendado pero siempre con un amortiguamiento que es positivo, ello se ha notado para los enlaces entre al Sierra Centro y la Costa Centro donde puede ser recomendable realizar un estudio de detalle verificando también en campo el estado y ajustes actuales de los dispositivos PSS en particular para la zona de Aguaytia.

Otra zona donde se evidencia un amortiguamiento en el límite de lo recomendado es en los enlaces entre la Costa Centro y la Costa Norte cuando se presenta un despacho particular con las unidades de TG1 y TG2 de Trujillo (20 + 20 x 2.575 MVA), las cuales probablemente no están dotadas de estabilizadores, esta es también una condición que requiere de estudios de detalle orientados a ajustar diversamente los dispositivos PSS de las restantes unidades de generación de modo de compensar la escasa participación de las TG1 y TG2.

4.1.5 Conclusiones y Recomendaciones

Se ha elaborado una metodología y se han fijado los criterios con lo cual es posible verificar los límites de transporte por los principales enlaces entre la áreas del SEIN. Con la aplicación de esta metodología se definen principalmente los límites por estabilidad transitoria, permanente y de tensión de las áreas interconectadas por los mencionados enlaces.

Se han realizado una serie de fases preparatorias antes de la definición de los límites de transporte que luego han permitido validar el modelo digital con el cual se han ejecutado los

Resumen Ejecutivo - ETOE "Estudio de Tensiones de Operación y Estabilidad del SEIN (ETOE) - 2010"	Cliente COES-SINAC Peru	ESC - 100605/71 05/06/2010 p. 23/23
---	---	--

estudios. Entre estas tareas mencionamos la migración de la base de datos y modelos a la nueva versión del simulador DigSILENT Power Factory, la puesta a punto, a través de la reproducción de eventos ocurridos en el SEIN, de los diferentes componentes que conforman el modelo digital, entre ellos todos los controladores de las unidades de generación así como los dispositivos de tipo SVC, el modelos de la demanda, los diferentes relés de protección (por sub y sobre frecuencia, por sub y sobretensión).

Finalmente con el modelo digital "ajustado" se ha procedido, aplicando la metodología y los criterios, a determinar los límites de transporte por estabilidad transitoria, permanente y por tensión. Se ha también investigado, para las áreas del Norte y Sur del SEIN, cuales podrían ser los límites de transporte admisibles mas allá de los criterios adoptados para la operación normal de los enlaces.

Los límites de transporte individuados solo en pocos casos difieren de los valores con los que actualmente se está operando el sistema y son válidos para el escenario del SEIN que será presente prácticamente el resto del 2010 e inicio del 2011, o mas bien hasta tanto no entren en servicio una serie de refuerzos y expansiones significativas en ciertos enlaces que en el presente estudio se han analizado. A partir del momento que entren en servicio estas ampliaciones resultará necesario llevar a cabo los estudios pertinentes para aprovechar en todo sentido estas inversiones, ya que es claro que los límites que resultan del presente estudio son válidos para una configuración futura pero demasiados conservativos para las nuevas capacidades que se pondrán en servicio.

En cuanto a recomendaciones en general están orientadas a la mejora del modelo digital con el cual se realizan todos los estudios operativos y de planeamiento del SEIN.

En particular sería conveniente disponer de una información mas precisa respecto a la operación de los reguladores de potencia/frecuencia en cuanto a detallar cuales de ellos se encuentran en servicio y operan realmente, en particular con cual límite superior se opera en cada tipo de máquina: limitador de apertura (máquinas hidráulicas), limitador por control de temperatura (máquinas turbogas) o limitador de potencia (máquinas térmicas que operan con control de caldera), y si este valor viene fijado por el Agente propietario de la central en base a la reserva programada que se le ha asignado; es de interés también conocer que sucede con los reguladores de potencia/frecuencia de aquellas unidades a las cuales no se le asigna reserva, en el sentido si están en condiciones de regular reduciendo su potencia cuando hay eventos de sobrefrecuencia.

Disponer también de la respuesta actualizada de los reguladores de velocidad, en particular algunos parámetros fundamentales del sistema de control, por lo que se recomienda una campaña de pruebas sobre los generadores y sus controladores existentes en el SEIN, y la sucesiva síntesis sobre modelos que permitan validar completamente la respuesta de los sistemas de control representados en el simulador digital del SEIN.

Estos aspectos están orientados a que se mejore la representación del comportamiento del sistema real por medio de la herramienta digital, permitiendo con ello realizar una mejor prevención con la finalidad de limitar los efectos nocivos sobre el consumidor final que pueden causar los eventos más o menos severos que ocurren en el SEIN.