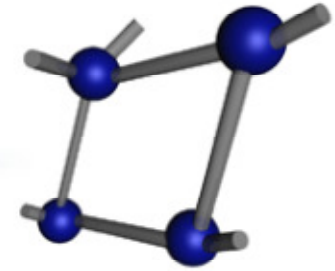


SYSTEM

Seguridad Energética en Chile: Mitos y Realidades

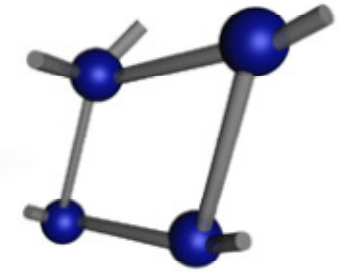


Tabla de Contenidos



- Motivación
- Seguridad vs Suficiencia
- Contingencia – terremoto 27 febrero 2010
- Apagón 14 marzo 2010
- Fundamentos de Seguridad
- Connotación Económica
- Lecciones Resultantes
- Comentarios Finales

Terremoto y Suministro Energético



Generación eléctrica registra caída histórica

La mer
la prod
debajo

28 LA TERCERA Miér

Negocios

Com
Variaci

17

Gobierno seguridad eléctrica

Ministerio de Energía
transmisión de electricidad
en tarifas para los clientes



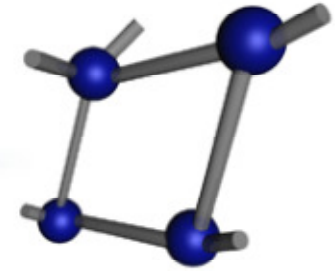
Alta tensión ¿Cómo abordar la seguridad del sistema eléctrico?

o trabajar en las áreas que hoy se advierten críticas para que, ante la ocurrencia de una nueva catástrofe de este u otro tipo, la vulnerabilidad del sistema-que finalmente no sufrió mayores daños a nivel de su infraestructura- sea menor.

La falla en Charrúa

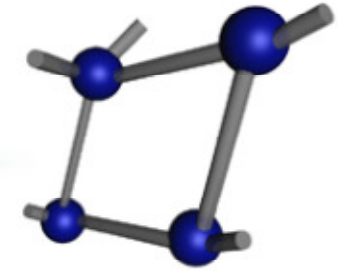
La inestabilidad de SIC pudo extenderse unos 18 meses y no

Terremoto y Suministro Energético



- Problemas de suministro se presentaron en
 - Generación eléctrica
 - Transmisión eléctrica
 - Distribución eléctrica
 - Distribución de gas
 - Abastecimiento, procesamiento y distribución de combustibles líquidos

Seguridad vs Suficiencia (Ley 19.940)



Suficiencia:

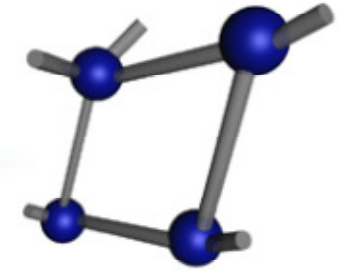
Atributo de un sistema eléctrico cuyas instalaciones son adecuadas para abastecer su demanda.

Seguridad de servicio:

Capacidad de respuesta de un sistema eléctrico, o parte de él, para soportar contingencias y minimizar la pérdida de consumos, a través de respaldos y de servicios complementarios.

CYCTEP

Efecto Terremoto en Generación



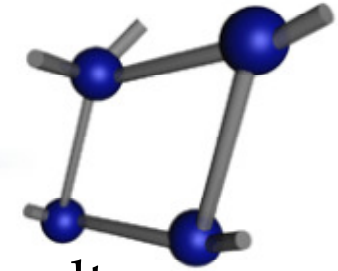
- Centrales hidráulicas: no presentaron daños apreciables.
- Centrales térmicas: daños en algunas unidades carboneras en operación.

Nombre Central	Capacidad Generación (MW)
Bocamina 1	128
Ventana 1	118
Renca	100
Nueva Ventanas	272
Constitución y Laja	24
Total	642

Esta pérdida en la potencia instalada representa el 6% de la capacidad instalada del SIC (11.311 MW).

La pérdida inicial fue de 3.000 MW, dejando igual suficiente oferta.

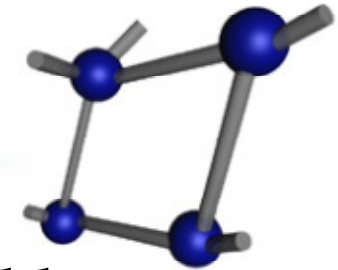
Efecto Terremoto en Transmisión



- Obras de transmisión diseñadas y construidas bajo altos estándares sísmicos (norma Endesa ETG-A.0.20) implicaron daños de alcance limitado.
- Daños focalizados en equipos puntuales en S/E Charrúa y Ancoa. S/E Alto Jahuel, Polpaico y Quillota con daños menores
- Fallas puntuales se presentan en bushings, desconectadores, e interruptores.



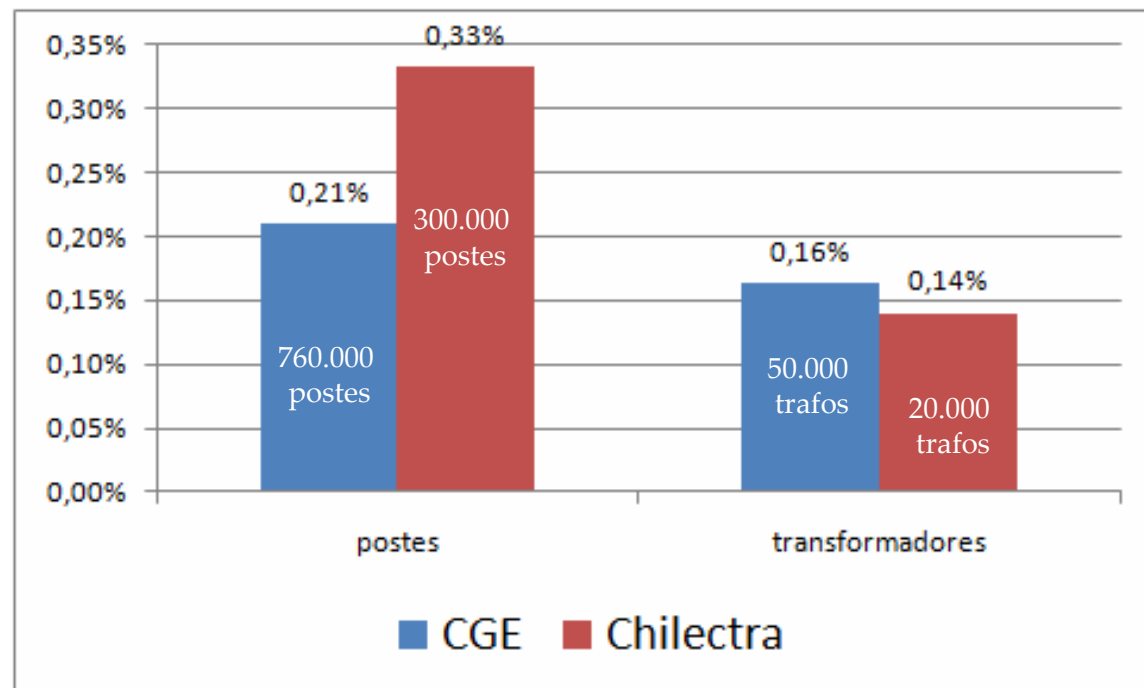
Efecto Terremoto en Distribución



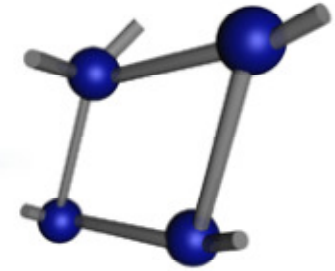
- Destrucción de postes, transformadores, cables y empalmes en las zonas más afectadas.



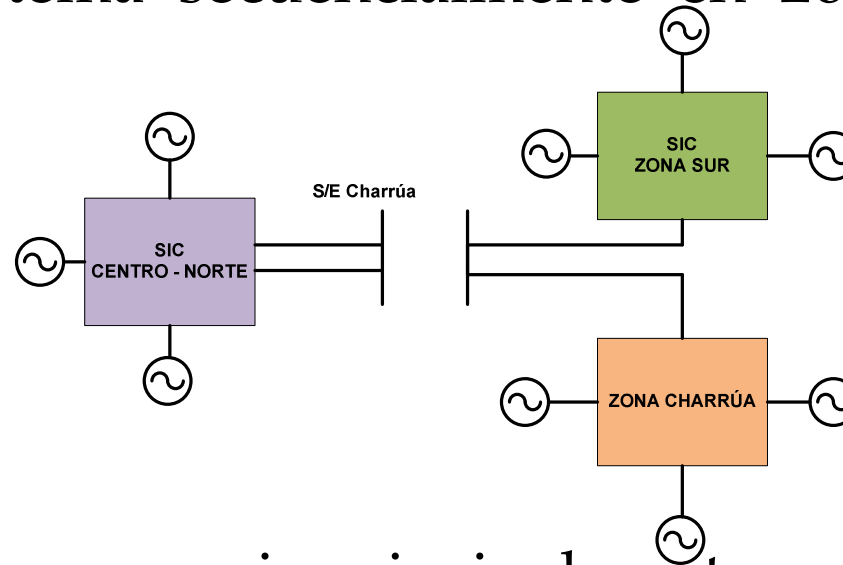
Equipamiento (postes y transformadores) dañados



Plan de Recuperación de Servicio

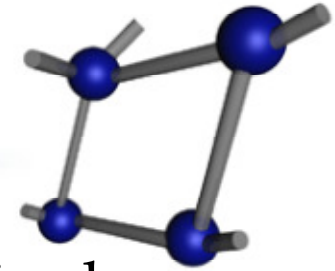


- Se logra operación en islas eléctricas, en pocas horas después de ocurrido el evento.
- Se levanta el sistema secuencialmente en zona centro, norte y sur



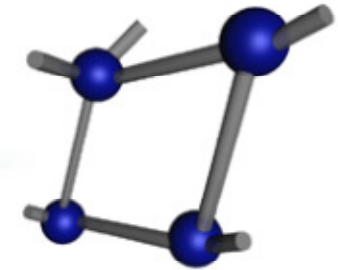
- Operación en islas necesaria principalmente por:
 - Daño y desconexión de elementos en subestaciones.
 - Actuación de protecciones y fallas puntuales a nivel de transmisión.

Recuperación en Transmisión

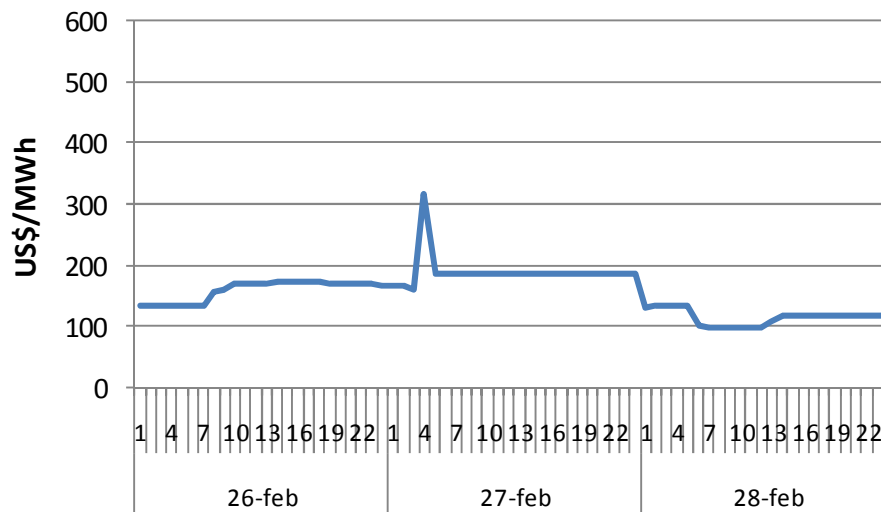


- En menos de 24 horas se ponen en servicio las instalaciones principales.
 - Proceso comenzó con la energización de la barra Diego de Almagro 220 kV y Alto Jahuel 220 kV a menos de una hora del sismo.
 - Culminó con el restablecimiento del sistema de 154 kV que suministra a las zonas de Talca y Linares, alrededor de las 14 horas del día 28.
- La interconexión del SIC permite unir ambas islas el 2 de marzo, mediante la energización de la línea de 500 kV entre Ancoa y Charrúa.

Operación en islas y costos



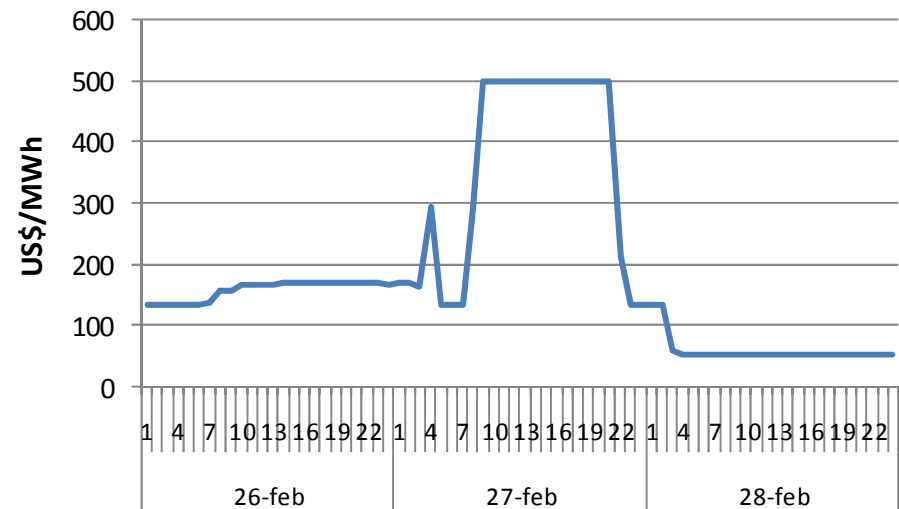
Costos Marginales Horarios Quillota 220



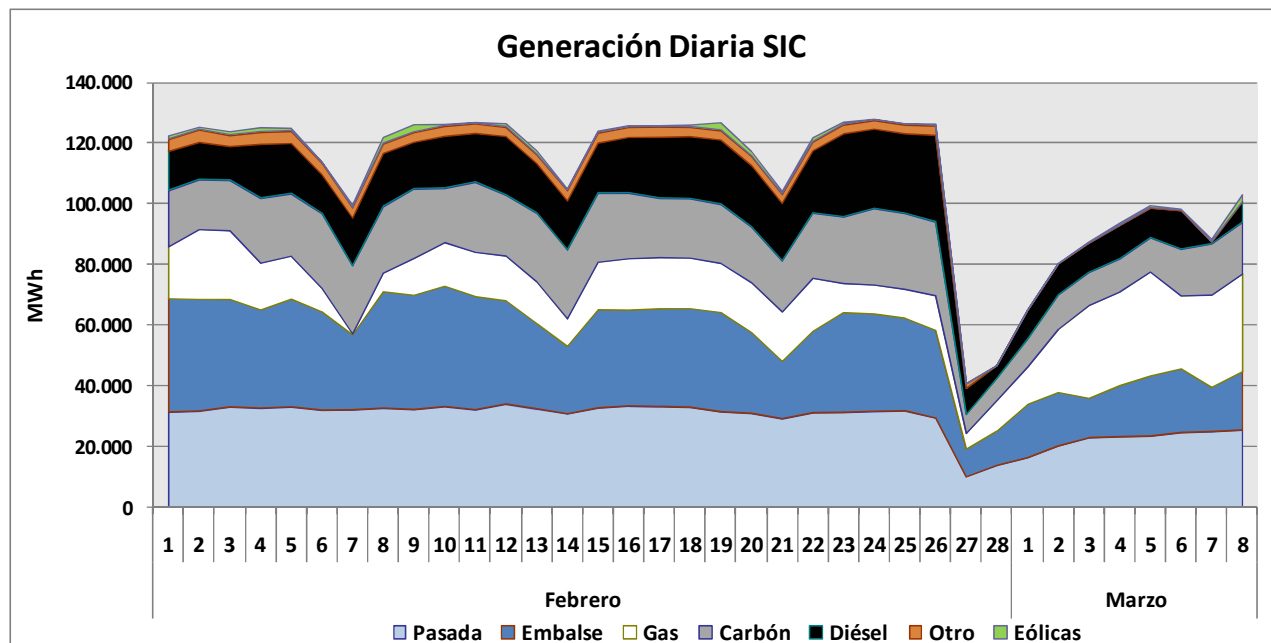
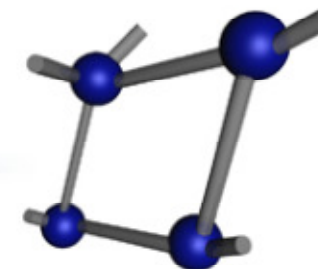
- Aplicación del costo de falla en el sur ante la falta de disponibilidad de energía eléctrica para abastecer todo el consumo.

- Desacoplamiento del sistema-operación de centrales de costos de operación mayores en el norte en proceso de recuperación del suministro.

Costos Marginales Horarios Charrúa 220

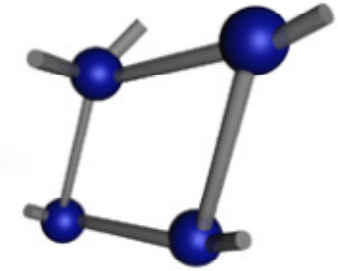


Recuperación Generación-Transmisión

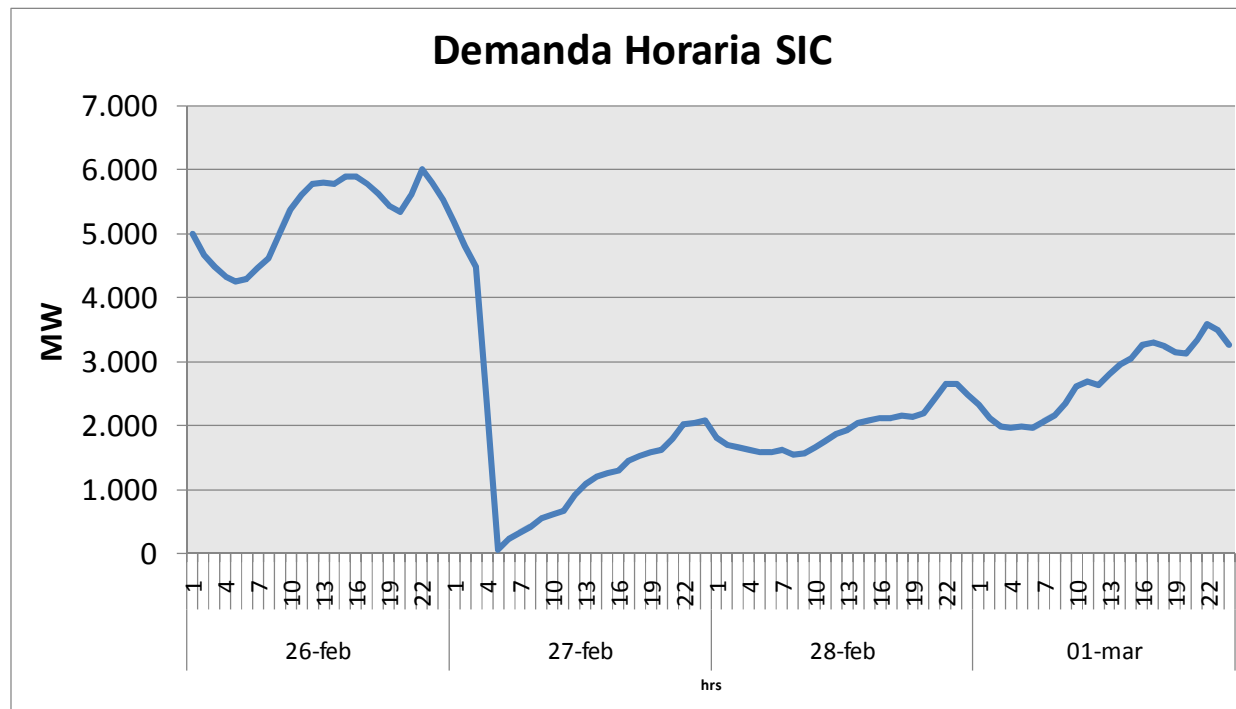


- A las 24 horas el abastecimiento alcanzó el 40% de un día normal (no había mayor demanda).
- A los 7 días se restituyó el suministro al 98% de la población, no obstante la demanda alcanza el 80% de un día normal.

Demanda se recupera lentamente



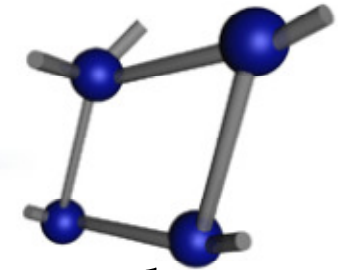
- La demanda se redujo cerca de 3.000 MW
- ❑ Recuperación más lenta a nivel de distribución sumado a ausencia de clientes libres (con instalaciones dañadas) en la zona afectada.



- Posterior al evento, existe oferta suficiente de generación para abastecer la demanda

*Fuente: CDEC-SIC

Recuperación en Distribución



➤ Mayores problemas y dificultades en reestablecer el suministro



VII Región del Maule

63% de la población Constitución, definitivamente, mientras que las comunas Licantén, Pelluhue y Constitución están siendo abastecidas por camiones aljibe.

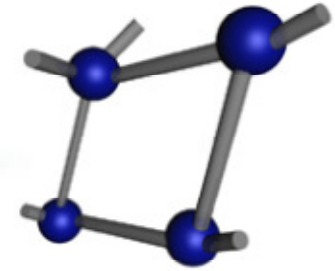
- Talca
 - Curicó
 - Zonas rurales de Curicó
 - Linares
 - Parral
 - San Carlos
 - Cauquenes
 - Constitución
 - Costa del Maule
- Dada la magnitud del terremoto que afectaron a la zona, las zonas muestra importación de agua por desaparición de éstas.

VIII Región del Biobío

57% de la población abastecida por redes. Sólo el 20% de Constitución y Talcahuano es abastecido por redes; el otro 80% del agua se entrega con camiones aljibe. Las comunidades de Dichato y Tomé no tienen agua, ni por redes ni por camiones suministradores.

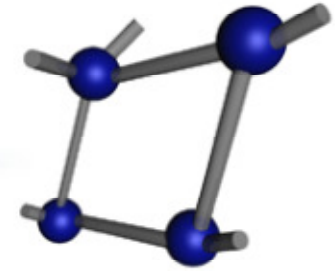
- Los Ángeles 85% de suministro
- Chillán 85% de suministro
- Concepción 40% de suministro
- Talcahuano 40% de suministro
- Coronel 35% de suministro
- Penco 70% de suministro
- Tomé 70% de suministro
- San Pedro de la Paz 70% de suministro

Suficiencia y Seguridad



- La contingencia del terremoto fue *múltiple*, en términos eléctricos
- El sistema eléctrico no puede ser seguro ante esa multiplicidad de impactos
- Sin embargo, podría afirmarse que, en términos de *suficiencia*, el sistema de generación- transmisión Chileno se comportó bien, y fue capaz de continuar abasteciendo la demanda, aún ante un cataclismo grado 8,8
- Pero...

Apagón 14 de marzo 2010 (20:44 hrs)



➤ Falla instalación importante del sistema:

- ❑ Se produce desconexión de un conductor de control del banco de transformadores en la subestación Charrúa.
- ❑ La consecuente desconexión de un transformador produce sobrecarga del segundo transformador y pérdida de 1.200 MW de inyección a la zona central.
- ❑ Apagón generalizado en el Sistema Interconectado Central

➤ Esta es una falla en la seguridad del sistema, se produce una contingencia al fallar una componente y no se logra minimizar la pérdida de consumos, se produce pérdida total.

➤ Se constata que no está vigente en este caso el criterio de seguridad n-1 (criterio que considera puede fallar cualquier componente del sistema de generación y transmisión, sin propagar la falla).

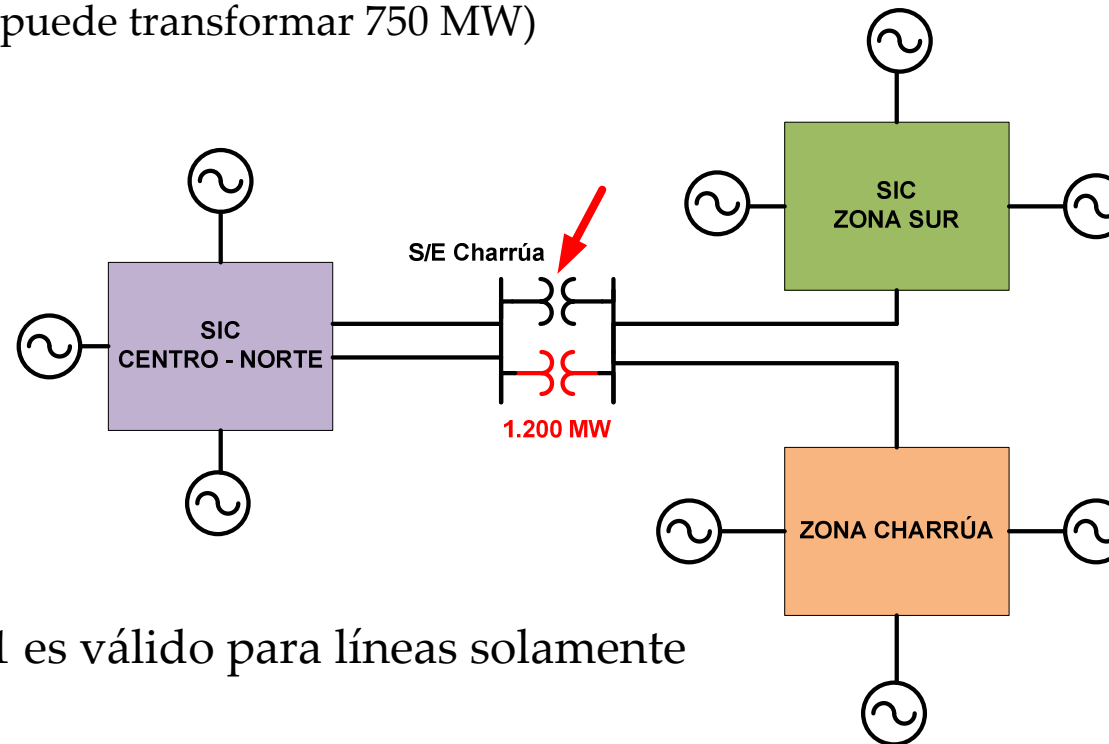
Apagón 14 de marzo 2010 (20:44 hrs)



➤ Condición de operación previo a la falla.

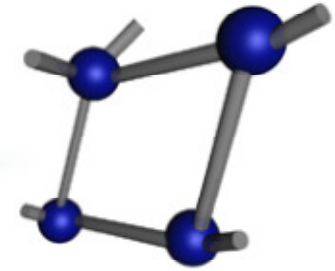
❑ Flujos de potencia en sistema Charrúa-Santiago

- Líneas (permiten transmitir 2.400 MW, pero máximo se transmite 1.200 MW)
- Transformadores (permiten transformar 1.500 MW, pero si falla un equipo sólo se puede transformar 750 MW)



❑ Criterio n-1 es válido para líneas solamente

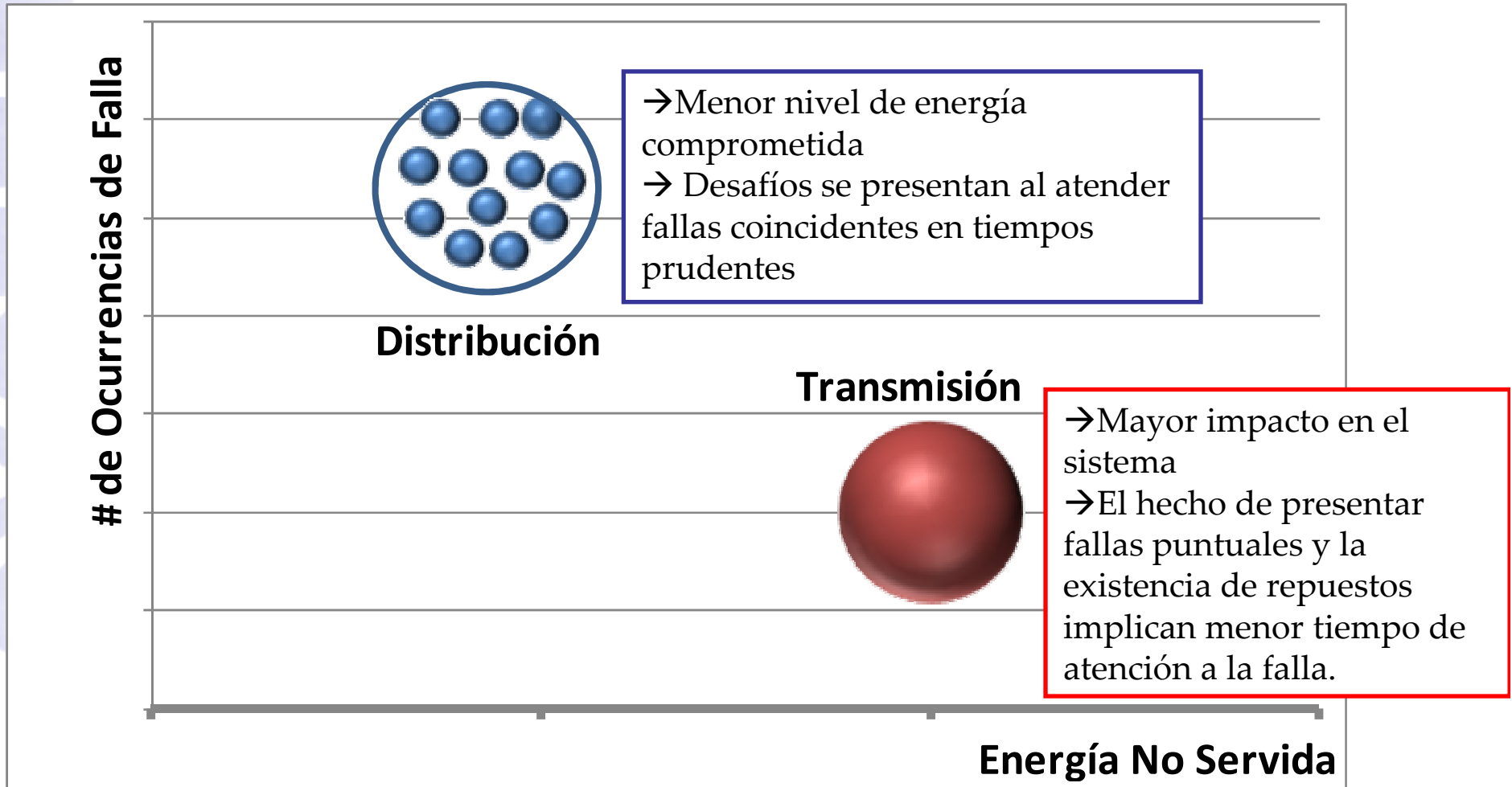
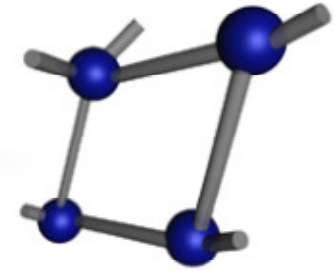
Fundamentos de Seguridad



¿Como se logra seguridad en los mercados eléctricos y qué nivel es el adecuado?

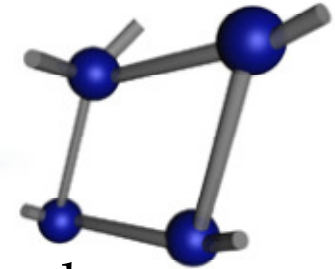
¿Qué relación hay entre la seguridad y el costo de suministro?

Seguridad en Redes



*ENS: Energía no Suministrada Fuente: Elaboración propia

Fundamentos de Seguridad

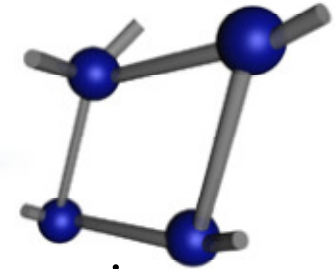


➤ Un sistema debe ser diseñado y operado de tal manera que la ocurrencia de una contingencia pre definida no ocasione la caída en cascada de éste y un apagón generalizado.

❑ ¿Qué es una contingencia predefinida?

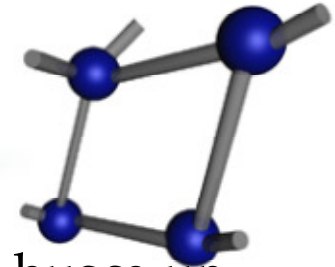
- Es una contingencia con una probabilidad de ocurrencia mayor a un cierto valor.
- En Chile, contingencias simultáneas no son consideradas, no se espera el sistema responda a la falla de varias componentes simultáneamente.
- Se protege el sistema solo con criterio N-1, para generación y líneas de transmisión.
- A nivel de transformación no se aplica el criterio N-1.
- Hay una connotación económica en estos criterios.

Fundamentos de Seguridad



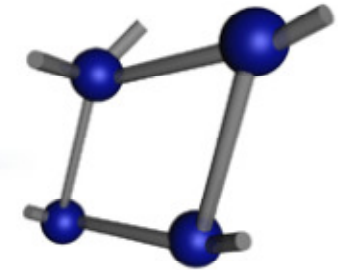
- Dar mayor seguridad implica necesariamente mayores inversiones y/o mayores costos de operación
 - ❑ Se puede lograr mayores niveles de seguridad
 - Realizando mayor inversión en equipos eléctricos redundantes
 - criterios n-1 absoluto independiente del costo
 - criterio n-2, como se aplica en países desarrollados.
 - Privilegiando la seguridad de servicio (acciones preventivas) frente a la minimización de los costos de operación- Redefiniendo el despacho económico para que todas las componentes tengan n-1.
 - Incrementando exigencias de la norma técnica, vinculadas a inversión y operación
 - Aumentando las exigencias y normas (criterios de diseño, construcción y montaje, normas antisísmicas, etc.) de equipamiento eléctrico y obras civiles.

Connotación Económica



- Hay una connotación económica en estos criterios, donde se busca un balance entre no fallar en el suministro y los niveles de inversión o costos de operación requeridos para ello. Puede ser socialmente más económico dejar sin suministro por algunas horas cada 20 años a un cierto consumo, que invertir en instalaciones o incrementar el costo de operación para asegurar suministro ante fallas de baja probabilidad de ocurrencia.
- Se debe proteger al sistema siempre y cuando la variación en inversión u operación sea menor que la variación en costo esperado de la energía no suministrada.
- El desafío es evaluar correctamente el costo de energía no suministrada y la probabilidad de aquellos eventos críticos que pongan a prueba la seguridad del sistema.
- El costo de energía no suministrada en la actualidad se determina mediante estudios regulados, donde es considerado el costo de interrumpir el suministro tanto a clientes libres como regulados.
- Se debe asignar probabilidad de ocurrencia a contingencias y ordenarlas de acuerdo a su valor.

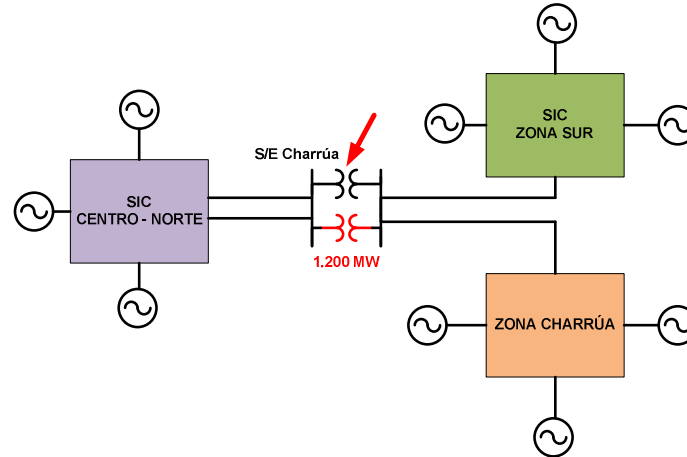
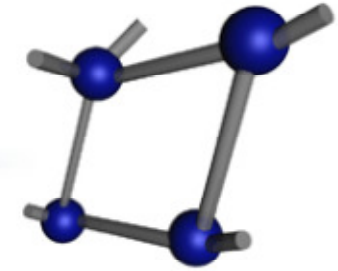
Seguridad y Costos



➤ Seguridad a través de mayor inversión

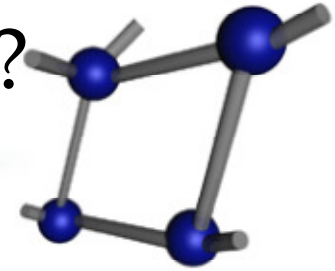
- ❑ Es probable que no todas las fallas tengan que ser protegidas, con criterio n-1, por su bajo impacto.
 - Su ocurrencia no implica extensión de la falla. Seguridad global de abastecimiento no es amenazada.
 - Aplicación reciente de criterio n-1 económico.
- ❑ Se podría considerar el efecto de fallas en elementos de transformación.
- ❑ Posibilidad alta de una contingencia podría llevar a futuro a que algunas instalaciones tengan que ser protegidas con criterio n-2, dado el alto impacto de la contingencia. En Chile se usa el criterio económico para relajar el criterio n-1, pero no para aumentarlo a n-2.

N-1 para transformación



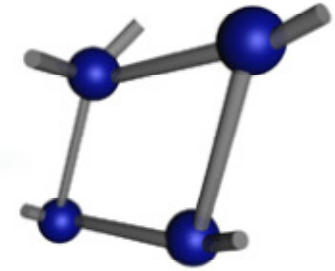
- Si se agrega un transformador más de 500 kV en S/E Charrúa y otro en S/E Alto Jahuel o Polpaico
 - AVI + COMA adicional de US\$ 4,2 millones, equivalentes a 0,1 US\$/MWh (prorratedo en todos los retiros del SIC). En pesos chilenos, apróx. 0,054 \$/kWh
 - Un consumidor residencial en Santiago paga 78,56 \$/kWh, el aumento sería de 0,13%
- Aún así, ¿se justifica?, ¿se reducirá significativamente la probabilidad de un apagón?
- Análisis internacionales argumentan que es mejor un error por sobreinversión que por subinversión.

¿Qué razones justifican mayor inversión?



- Para cambiar los actuales niveles de seguridad y aumentar inversión y costos de operación, había que justificar si:
 - ❑ ¿Cambiaron las probabilidades de las eventuales contingencias?
 - ❑ ¿Aumentó el costo de la energía no suministrada (costo de falla)?
 - ❑ ¿Exige nuestro desarrollo económico proporcionar más seguridad?
 - ❑ ¿Se ha subestimado el impacto de la(s) falla(s)?
 - ❑ ¿Queremos invertir en el sistema eléctrico para hacerlo más seguro, que lo que ya es, ante la probabilidad de nuevos terremotos?
 - ❑ ¿Algún otro aspecto del cálculo anterior que sub o sobre estime el impacto de mayor o menor seguridad?

Condiciones de riesgo de apagón



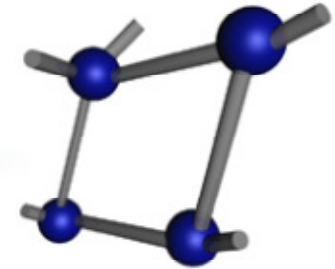
- Si hay criterios de seguridad, ¿por qué continúan ocurriendo apagones a nivel mundial, aún sin terremotos?

“...either the rules were not followed or the rules are not adequate...”

Michhehl R. Gent, president and CEO of NERC (2003)

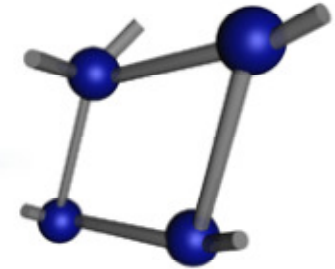
- Información aún no disponible en Chile (a la espera de estudios SEC) de cómo se siguieron las reglas (construcción y operación) y si las reglas son o no las adecuadas.
- Con los antecedentes disponibles, se puede concluir que el apagón de marzo podría haberse producido independiente de la ocurrencia previa del terremoto

Lecciones Resultantes



- Inversiones por seguridad deben continuar siendo analizadas de acuerdo a criterios económicos.
- Los criterios económicos deben ser revisados en el tiempo, en concordancia con el desarrollo del país y sus requerimientos.
- Chile ya aplica un análisis de costo beneficio en las reglas de seguridad, una metodología muy avanzada comparada con el resto de los países (n-1 económico).
- Dicho criterio ha sido utilizado en procesos tarifarios (transmisión troncal) y aprobado por el regulador y el panel de expertos.

Lecciones Resultantes



- El sistema eléctrico, a nivel de generación y transporte, pareciera haber respondido adecuadamente al terremoto.
- Dada la naturaleza del evento (terremoto y maremoto), se originó un mayor número de fallas en distribución.
- El apagón posterior podría haberse producido independiente del terremoto.
- Paralelo a lo anterior, merecerían una revisión:
 - ❑ La norma técnica y los procedimientos para la operación del sistema eléctrico ante contingencias, incluida la operación en islas ante contingencias extremas.
 - ❑ La revisión de normas de obras civiles (normas sísmicas, de anclaje y conexión de equipos) y las pruebas y ensayos físicos al momento de adquisición de equipamiento.
 - ❑ El desarrollo integral de programas preventivos y correctivos de la seguridad de servicio
 - ❑ La evaluación económica del criterio n-1 para transformadores

Desafíos Tecnológicos

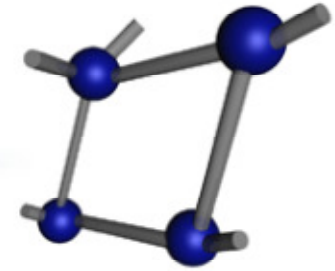


- Hoy en día existen practicas, tecnologías, técnicas de operación, apoyo de herramientas computacionales, flexibilidad en generación y un gran numero de herramientas que podrían proporcionar seguridad extra en el sistema, como ejemplo:
 - ❑ Esquemas de protección especial (EDAC, EDAG, otros)
 - ❑ Técnicas de control de voltaje
 - ❑ Simulación en tiempo real y análisis preventivo
 - ❑ Sistemas robustos de comunicación y control a nivel de los CDECs
 - ❑ Nuevas técnicas de monitoreo y control (wide area monitoring and control)
- Estas herramientas, dependiendo del carácter de las contingencias, permitirían disminuir (o eliminar) el impacto o energía no suministrada asociado a las contingencias.
- Cuidado con la panacea de la generación distribuida, está por verse si la complejidad de su operación dará mayor seguridad o hará más frágiles los sistemas interconectados. Se necesita aún mas experiencia.

Comentarios Generales



- Es un hecho que el sistema generación-transmisión pudo ser reestablecido con rapidez luego del terremoto.
- El sistema de distribución presentó un mayor número de fallas, producto de la naturaleza del desastre.
- Mayor inversión en redundancia del sistema de transmisión, aunque puede resultar de bajo impacto en tarifas, no necesariamente significa mayor seguridad del sistema.
- **Las inversiones en seguridad del sistema deben ser consistentes con los que los consumidores están dispuestos a pagar, lo que se refleja a través del costo de falla de corto plazo.**
- Nuevas tecnologías son atractivas por tres razones: a) incrementan seguridad, estabilidad, etc., a un precio generalmente menor que la redundancia; b) proporcionan flexibilidad al sistema, útil para manejar generación intermitente, ie renovables; c) permiten incorporar desarrollos recientes a una red moderna de transmisión.



**Hugh Rudnick⁺, Sebastian Mocarquer[&],
Rodrigo Moreno^{*}**

Jorge Moreno, Pedro Miquel, Oscar Álamos[&]

⁺ Pontificia Universidad Católica de Chile

[&] Systep Ingeniería y Diseños Chile,

^{*} Imperial College Londres.

26 Mayo 2010