



Cortocircuitos: Metodologías y aplicaciones en el Sistema Eléctrico Nacional



Jornada Técnica: Aumento de niveles de cortocircuitos en subestaciones críticas del Sistema Eléctrico Nacional – CIGRE Chile

Erick Zbinden A.

Jefe de Departamento de Integridad del Sistema.

28 de agosto de 2017

Agenda

- Introducción: Fallas v/s Perturbaciones.
- Metodologías de cálculo: IEC v/s IEEE
- Aplicaciones en Estudios.
 - Dimensionamiento de equipos
 - Medición secundaria.
- Interruptores de Poder
- Una mirada al Sistema Eléctrico Nacional.

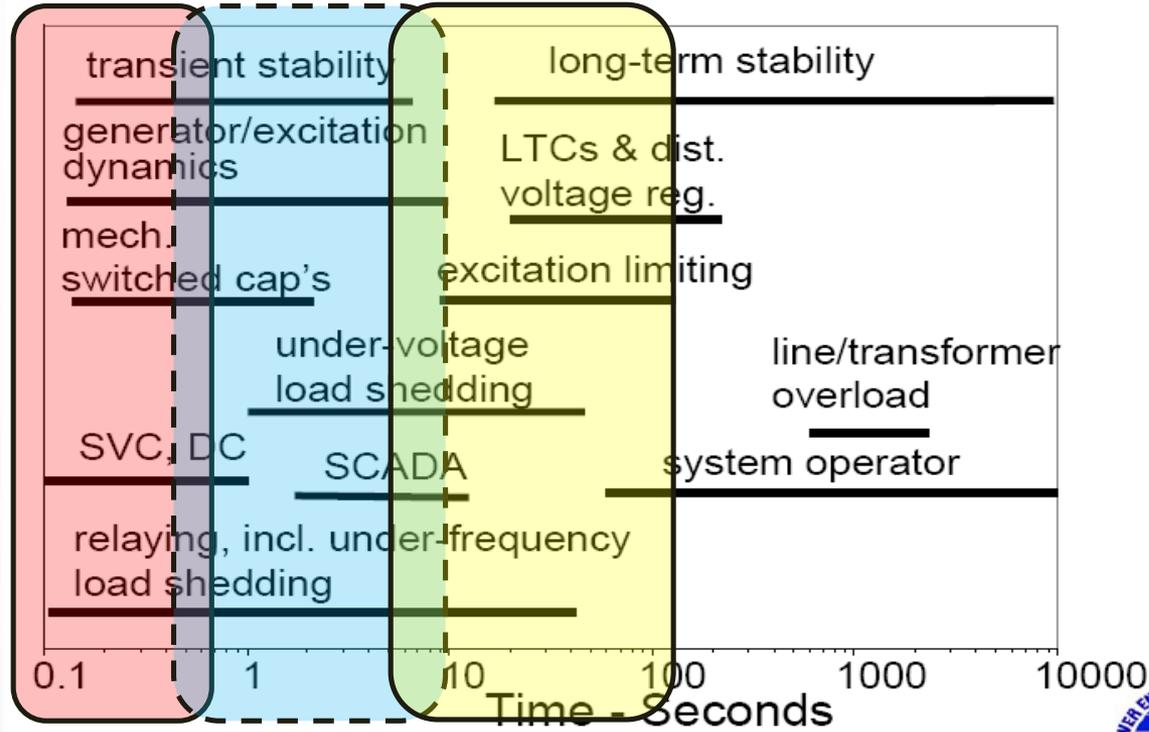
Introducción



¿Falla o Perturbación?



Introducción



S.I.P.S.

↑ Δt

S.P.R.

↑ Δt

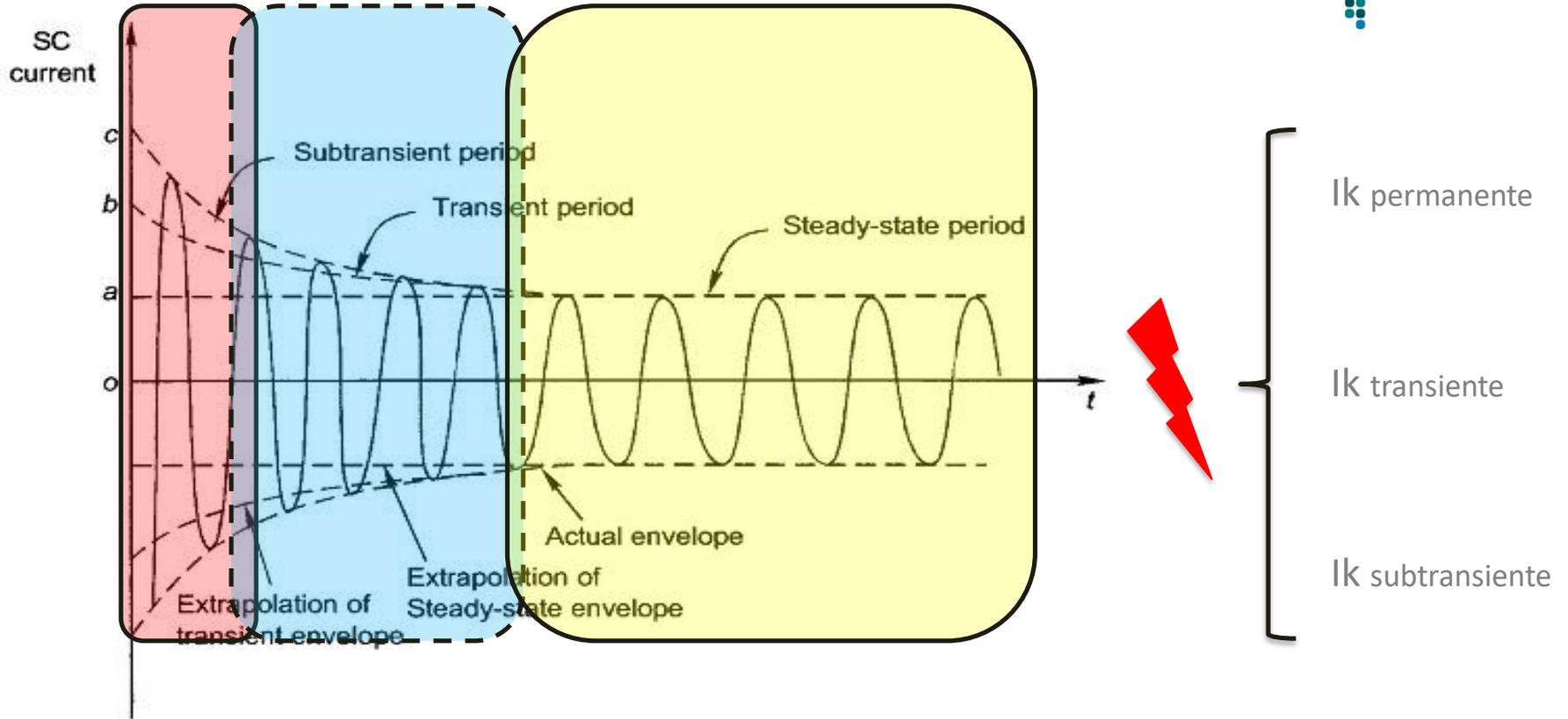
S.P.L.

↑ Δt

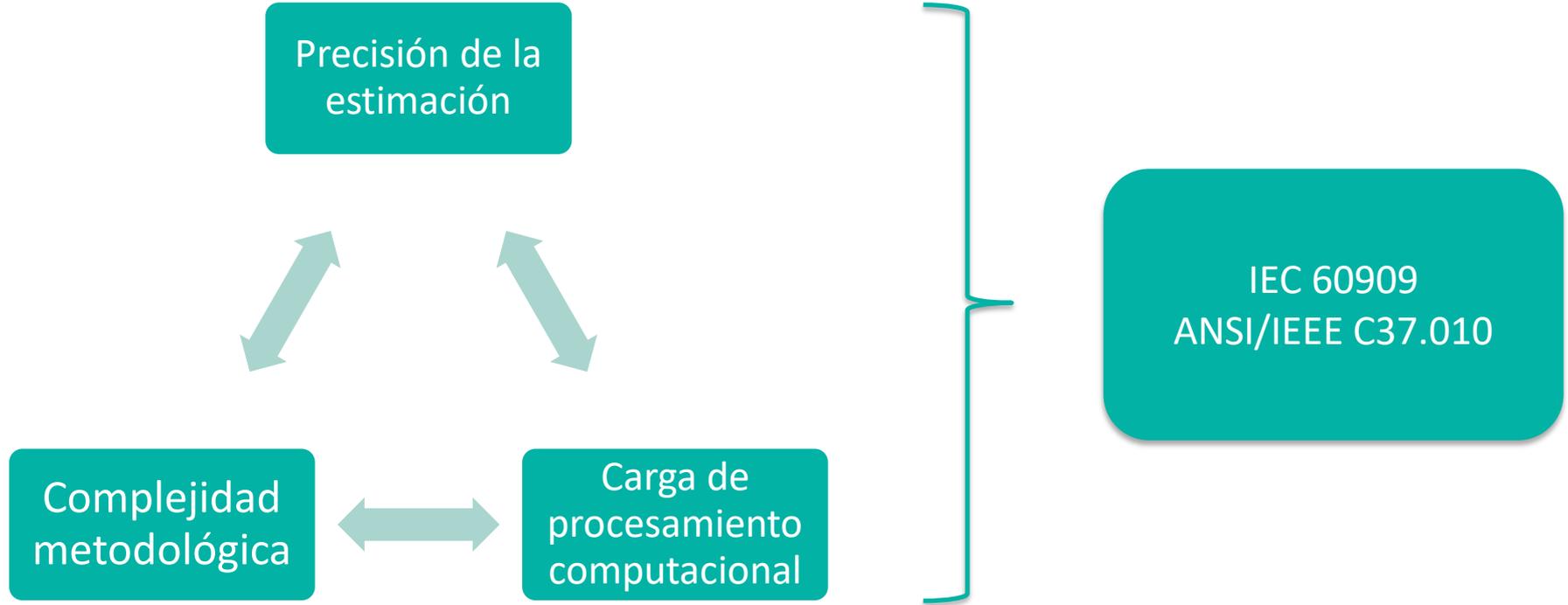


Fuente: Electric Power System Tutorial, IEEE-PES Febrero 6, 2004

Introducción



Metodologías de Cálculo



Metodologías de Cálculo

- IEC 60909: Short-circuit currents in three-phase A.C. systems
 - Aplicable a sistemas trifásicos BT y AT, con frecuencias de red de 50 Hz o 60 Hz.
 - Método conciso y de suficiente nivel de precisión para cálculo de cortocircuitos balanceados y desbalanceados.
 - Considera la tensión pre-falla a partir del factor $C=\{C_{min};C_{max}\}$.
 - Constituida por una serie de documentos:
 - IEC 60909-0: Cálculo de corrientes.
 - IEC 60909-1: Factores para el cálculo de acuerdo a IEC 60909-0.
 - IEC 60909-2: Datos de equipos eléctricos para el cálculo de cortocircuitos.
 - IEC 60909-3: Corrientes durante falla a tierra múltiple. (Voltajes inducidos)
 - IEC 60909-4: Ejemplos de cálculo.

Metodologías de Cálculo

- ANSI/IEEE C37.010/011:
 - Aplicable a instalaciones sobre 1000 V.
 - Orientado a la selección de interruptores de poder.
 - Basado en la aplicación de la razón X/R de la red equivalente. (Componente de asimetría)
 - Incluye factores de reducción (reconexión, cierre no-sincronizado, etc.)
 - Considera escaladas las impedancias sub-transientes de las máquinas mediante factores de corrección.
 - Considera despreciable la corriente pre-falla. (asume la red sin flujo de cargas)

Metodologías de cálculo

- Existe un tercer método para análisis convencional: Método de Superposición.
 - Paso 1: Calcular flujo pre-falla. (I y V de carga en el punto de falla.)
 - Paso 2: Determinar un Thevenin equivalente en el punto de falla, ignorando todas las fuentes de tensión adicionales.
 - Paso 3: Se superponen las dos condiciones anteriores para el cálculo del nivel de cortocircuito.
- Este método se prefiere cuando:
 - Se tiene poca capacidad computacional para el cálculo.
 - Se necesita una visión del cambio de estado de régimen permanente de la red, luego de ocurrido el transitorio (análisis de contingencias).
 - Existen condiciones especiales donde hay fuente débil de cortocircuito ($I_{\text{carga}} \approx I_{\text{cc}}$).

Metodologías de cálculo



Metodologías de cálculo

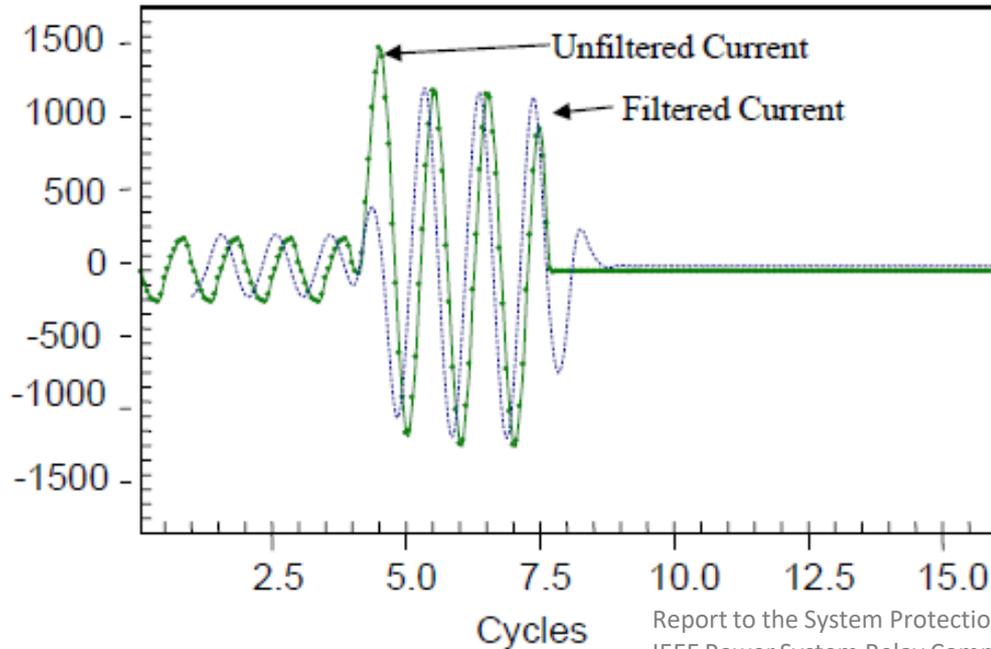


Metodologías de cálculo



Metodologías de cálculo

- Forma de onda de un cortocircuito:



- Dispositivos afectados por la componente DC.
- Elementos bajo régimen permanente.
- Dispositivos sometidos a transitorios electromagnéticos.
- Disipación de energía
- Armónicos.

Dimensionamiento y Estudios

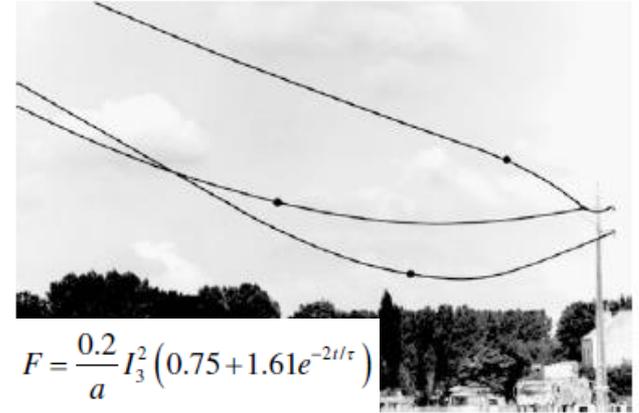
- Dimensionamiento de la malla de tierra.
 - Cálculo de falla a tierra (corriente residual).
 - Disipación de la corriente en la malla.
 - Voltajes de paso y de contacto.

- Dimensionamiento de equipos primarios:
 - Equipos con cambio de estado.
 - Ejemplo: Interruptor de poder.
 - Equipos sin cambio de estado.
 - Ejemplo: Transformador de medida, Transformador de poder

Dimensionamiento y Estudios

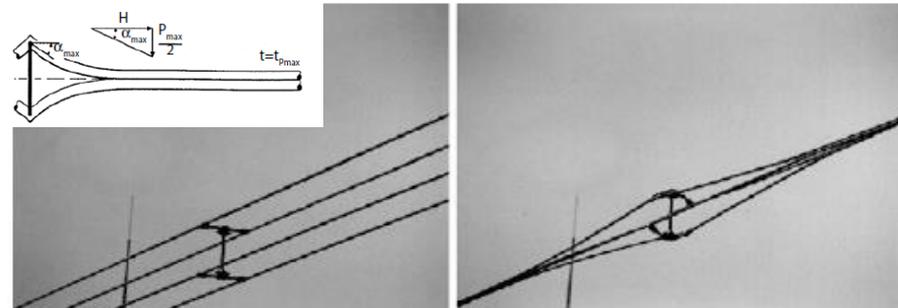
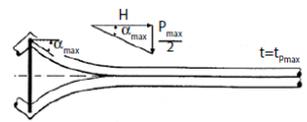
Esfuerzos electrodinámicos:

- Fuerza electromagnética actúa sobre los conductores.
- El diseño mecánico requiere la corriente de cortocircuito para determinar los esfuerzos.
- Los conductores de un haz de la misma fase se atraen.
- Los conductores de distintas fases se repelen.
- Factor de diseño de líneas y barras.



$$F = \frac{0.2}{a} I_3^2 (0.75 + 1.61e^{-2t/\tau})$$

Fuente: Lilien and Vercheval 1987



Fuente: Pfisterer Sefag AG

Dimensionamiento y Estudios

- Ejemplo comparativo

IEC

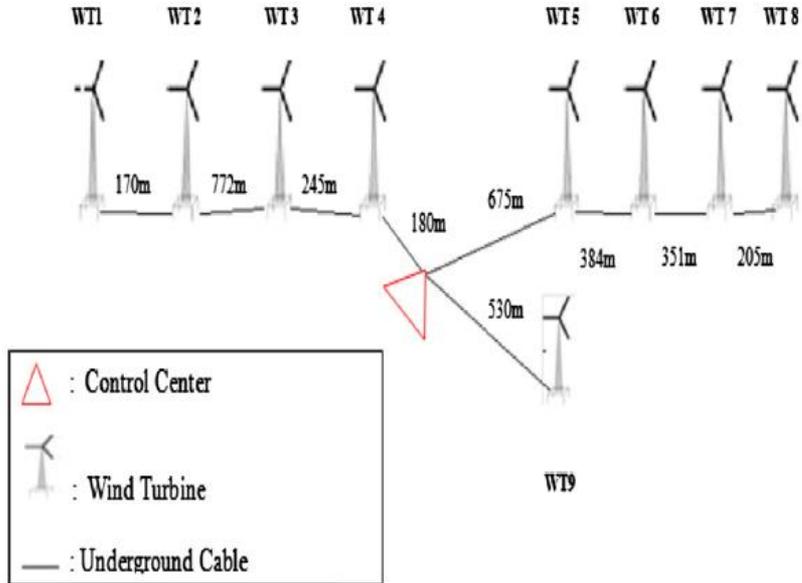
- Initial
- Peak
- Break
- Steady state

ANSI/IEEE

- First Cycle
- Closing Latching
- Contact parting
- Time delayed

Dimensionamiento y Estudios

- Ejemplo comparativo



Rms LG fault current at W/F's MV busbars using three SCC methods.

WTID	Bus ID	IEC	ANSI	CFA	U_n
		LG	LG	LG	
		I_f [A]	I_f [A]	I_f [A]	
WT1	B2	833.3	711.3	757.6	>1 kV
WT2	B4	827.2	706.5	752.8	
WT3	B6	808.3	691.4	737.2	
WT4	B8	804.1	688.1	733.8	
WT5	B10	821.5	701.9	748.4	
WT6	B12	812.3	694.7	741.0	
WT7	B14	803.9	687.9	734.1	
WT8	B16	795.5	681.2	727.0	
WT9	B18	823.9	703.8	749.5	

Dimensionamiento y Estudios

- Utilización en Estudios:

- Estudios RMS: Flujos de potencia, Estabilidad transitoria RMS, Coordinación y Ajuste de Protecciones

Ejemplos de aplicaciones: Protecciones, SCADA, WAM/WAMPAC.

- Estudios de régimen transitorio EMT: Energización de transformadores, TRV/RRRV, Coordinación de Aislamiento.

Ejemplos de aplicaciones: Especificación de Interruptores de poder, blindaje por descargas atmosféricas, diseño de materiales dieléctricos.

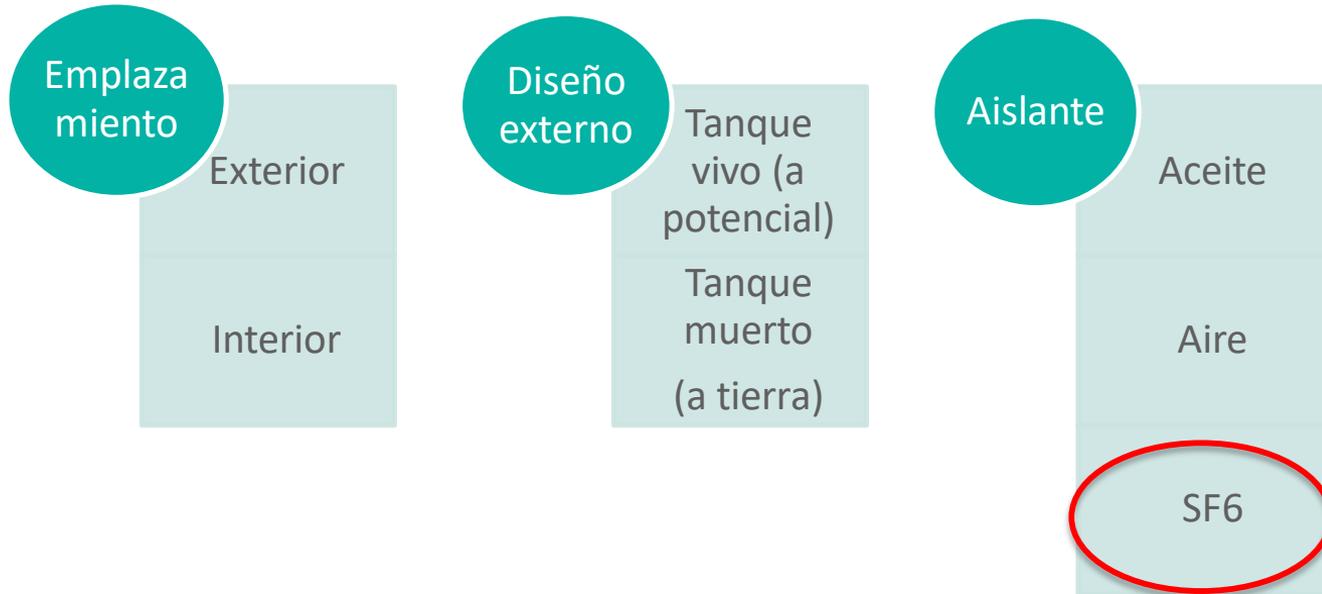
¿IEC 60909?

¿Superposición?

¿ANSI C37.010?

Interruptores de poder

- Dispositivos mecánicos de interrupción de corriente eléctrica.
- Clasificaciones:



Interruptores de poder

- Actualmente la industria se ha ido estandarizando a dos tecnologías: SF6 desde MT hasta EAT, y Vacío hasta MT.
- Aislante SF6:
 - Gas inerte y térmicamente estable.
 - Bajo punto de condensación (9°C @ 15 kg/cm²)
 - 5 veces más denso que el aire.
 - No es inflamable, Inodoro, Inocuo.
 - El plasma de arco en el SF6 produce derivados tóxicos (MTTO).
 - A 3 atm su rigidez dieléctrica es 2,4 veces mayor al aire.
 - Se lo utiliza como medio de interrupción de arco, y aislante dieléctrico.

Interruptores de poder

- Aislante Vacío:
 - Los contactos móviles están encapsulados al vacío.
 - Recuperación dieléctrica del orden de 10 microsegundos.
 - Productos del arco (plasma) se depositan rápidamente en pantallas metálicas alrededor de los contactos.
 - Sin elementos que puedan sostener el arco, este se extingue rápidamente.
 - Han ido reemplazado a los interruptores de soplido magnético, para aplicaciones de switchgear hasta 34 kV.

Interruptores de poder

Impacto ambiental del hexafluoruro de azufre:

- Gas productor del Efecto Invernadero.

CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SF ₆
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> GWP=1	<input type="checkbox"/> GWP=23	<input type="checkbox"/> GWP=296	<input type="checkbox"/> GWP=23900
<input type="checkbox"/> VM=100	<input type="checkbox"/> VM=12	<input type="checkbox"/> VM=114	<input type="checkbox"/> VM=3200

A partir del 2000, la tasa anual de crecimiento de emisiones de SF₆ a la atmósfera es de un 5%

Fuente: IPCC

Interruptores de poder

Efecto ambiental del hexafloruro de azufre:

- Las pérdidas de SF6 en interruptores son relativamente comunes:
 - IEC 62271: Límite de 0,5%/año.
 - NEMA: Límite de 0,1%/año.

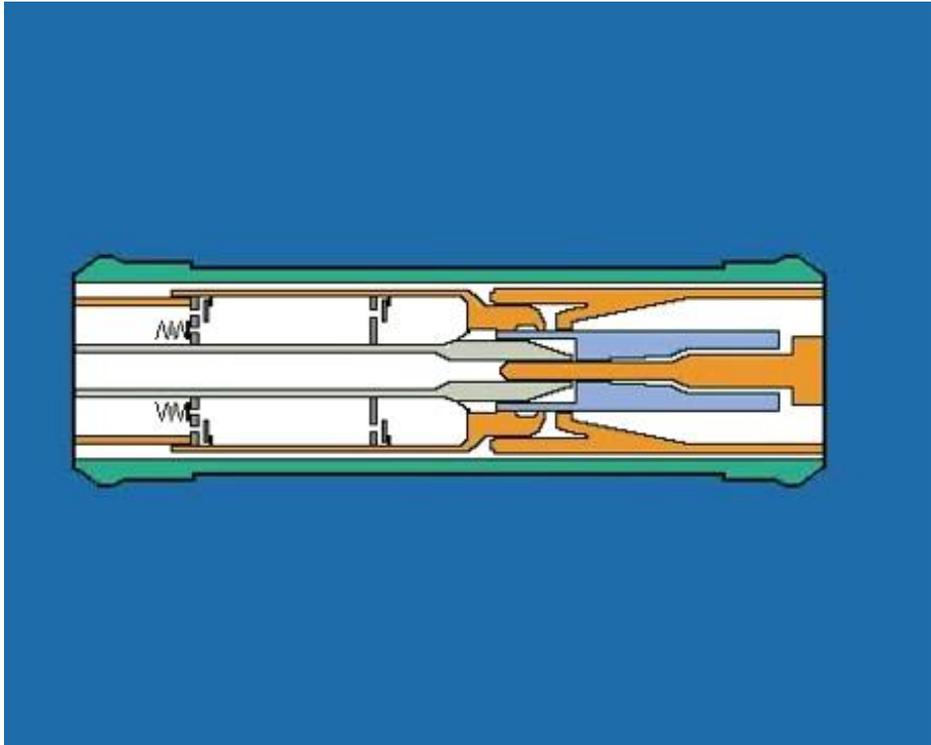


Estándares constructivos.
Estándares de O&M.



Interrupción del arco eléctrico

- Arco Eléctrico: Corriente que se desarrolla al separarse los contactos, por ionización del medio dieléctrico.
- Tensión de arco: Tensión que se desarrolla entre los contactos, durante el tiempo de extinción del arco.
- Tensión transitoria de recuperación: Tensión transitoria que aparece entre los contactos, posterior a la interrupción del arco (reencendido).



Interrupción del Arco Eléctrico

-
- Corriente de Interrupción:

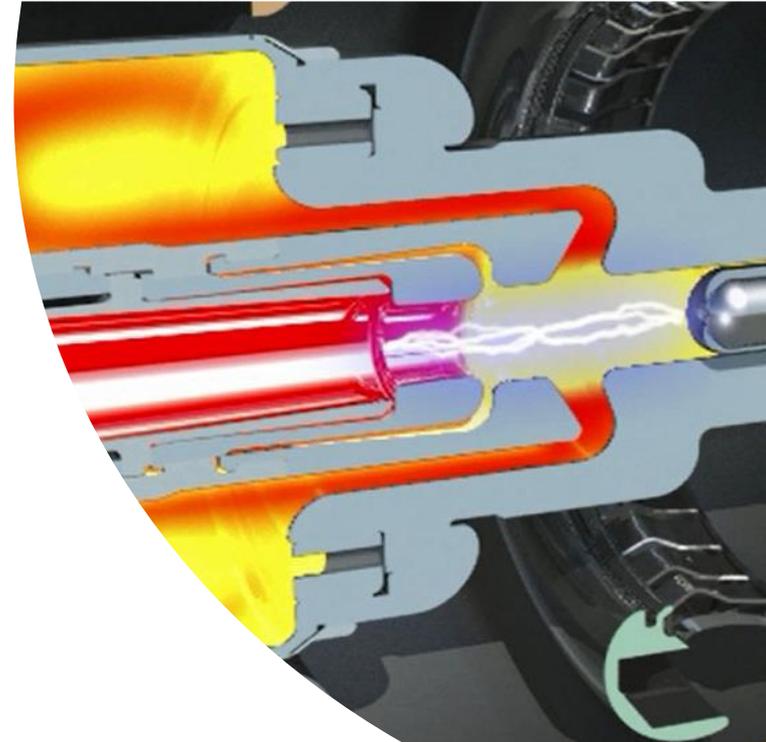
El voltaje de recuperación transitorio TRV aparece a través de los contactos, luego de la interrupción.

- Corriente de interrupción inductiva:

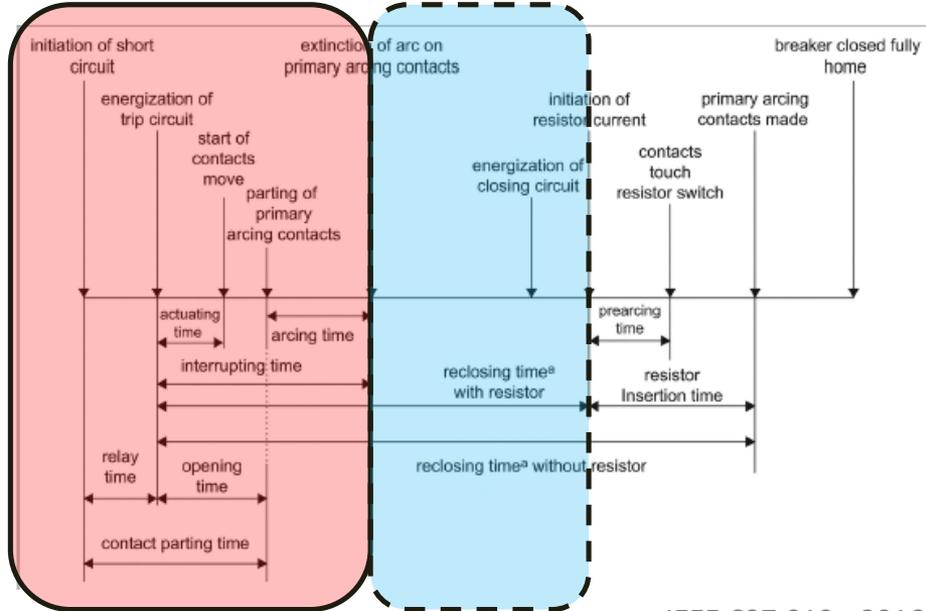
El fenómeno TRV se produce por la diferencia entre la frecuencia de la fuente y del circuito de carga, a través del interruptor.

- Corriente de interrupción capacitiva:

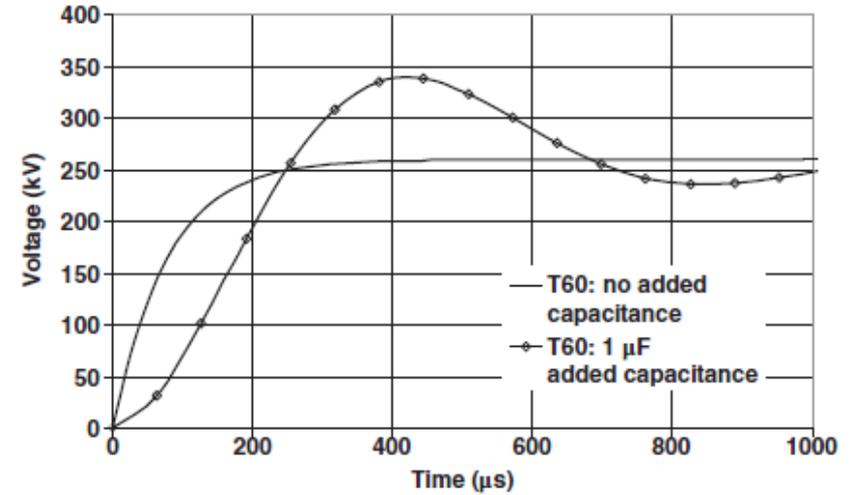
El TRV ocurre entre la tensión de fuente y la tensión DC de carga atrapada al lado carga.



Interrupción del arco eléctrico



IEEE C37.010 - 2016



Interruptores de Poder

Al momento de calcular el requerimiento de cortocircuito, se debe tener en cuenta:

- Máxima capacidad del parque generador en la zona de emplazamiento.
- Utilización de ciclos de reconexión.
- Proyecciones del aumento de niveles de CC en la zona.
- Compensaciones reactivo/inductivos (Componente I_c o I_L de la I_{cc})

Una mirada al Sistema Eléctrico Nacional

Entre el año 2005 y 2017:

- Cambios topológicos importantes.
- Extensión del Sistema de 500 kV.
- Uso de compensación reactiva.
- Incorporación de nuevas fuentes de generación.
- Interconexión SIC-SING.
- Aumento de generación eólica.



Una mirada al Sistema Eléctrico Nacional

Instalaciones que destacan en cuanto a configuración/concentración:

SING

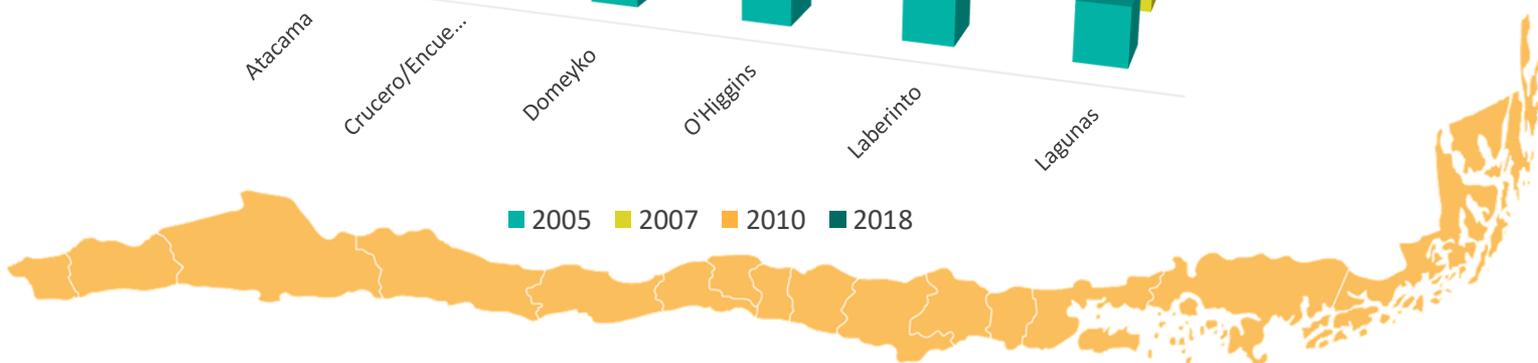
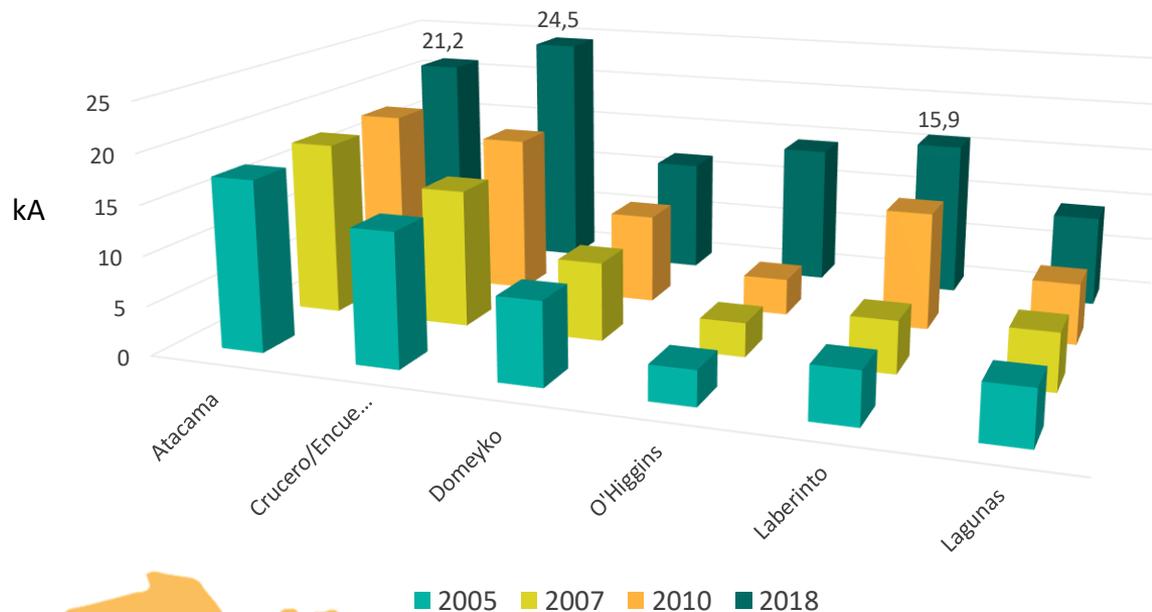
- Lagunas
- Laberinto
- Crucero/Encuentro
- O'Higgins
- Atacama
- Domeyko

SIC

- Cardones
- Maitencillo
- Pan de Azúcar
- San Luis
- Quillota
- Polpaico
- Alto Jahuel
- Ancoa (220/500kV)
- Charrúa (220/500kV)

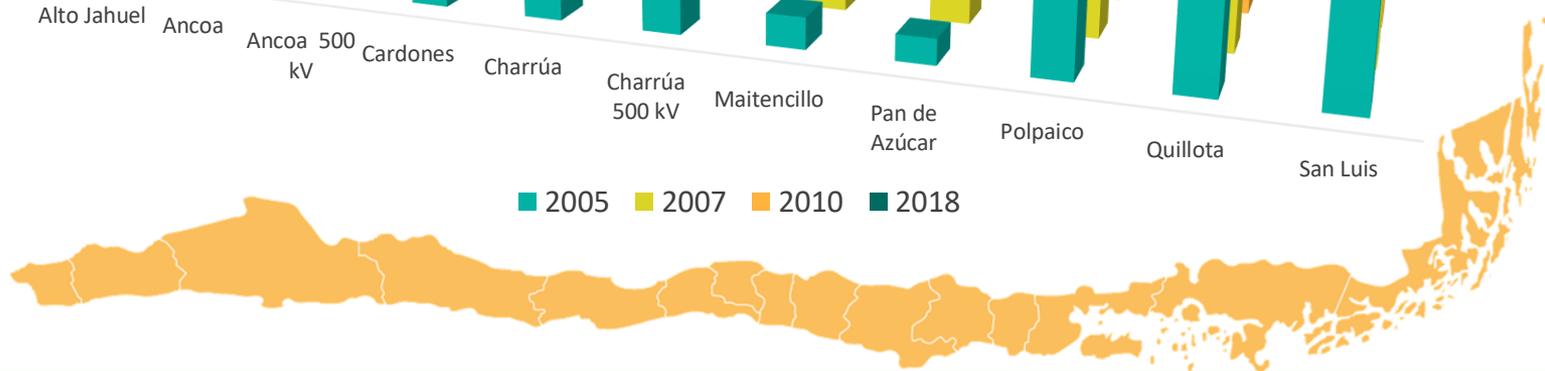
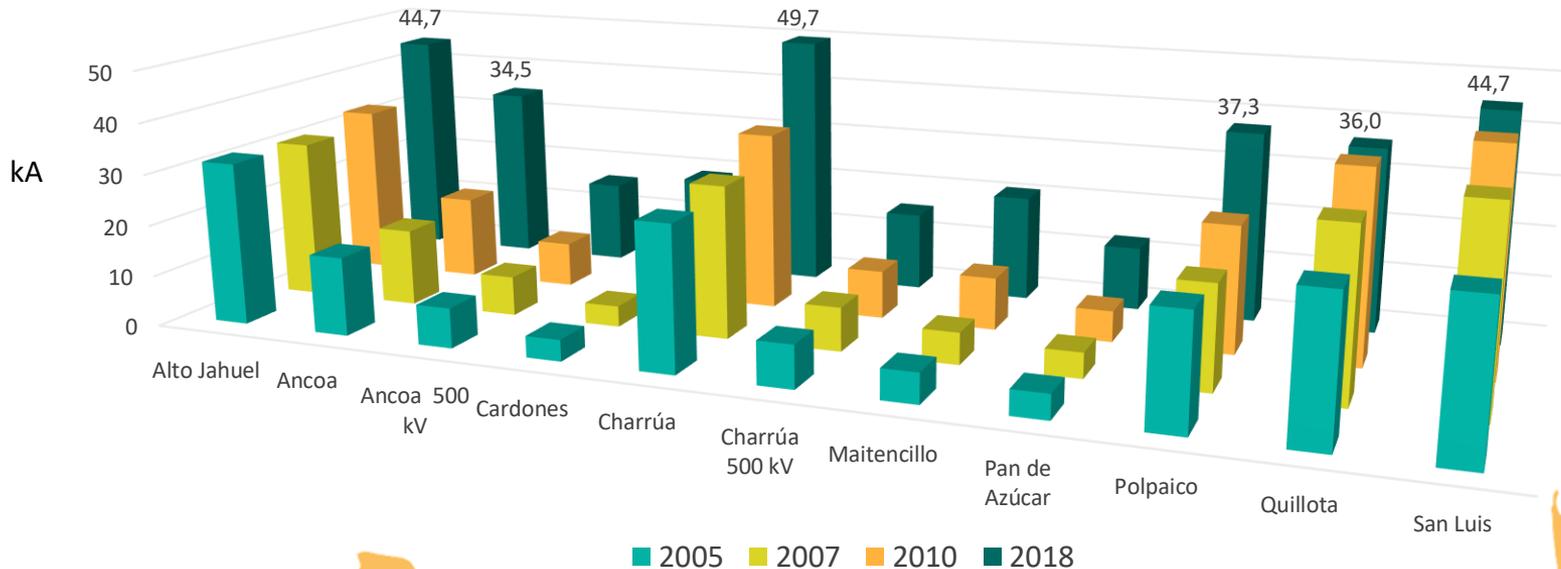
Una mirada al Sistema Eléctrico Nacional

Evolución niveles de cortocircuito - Zona SING



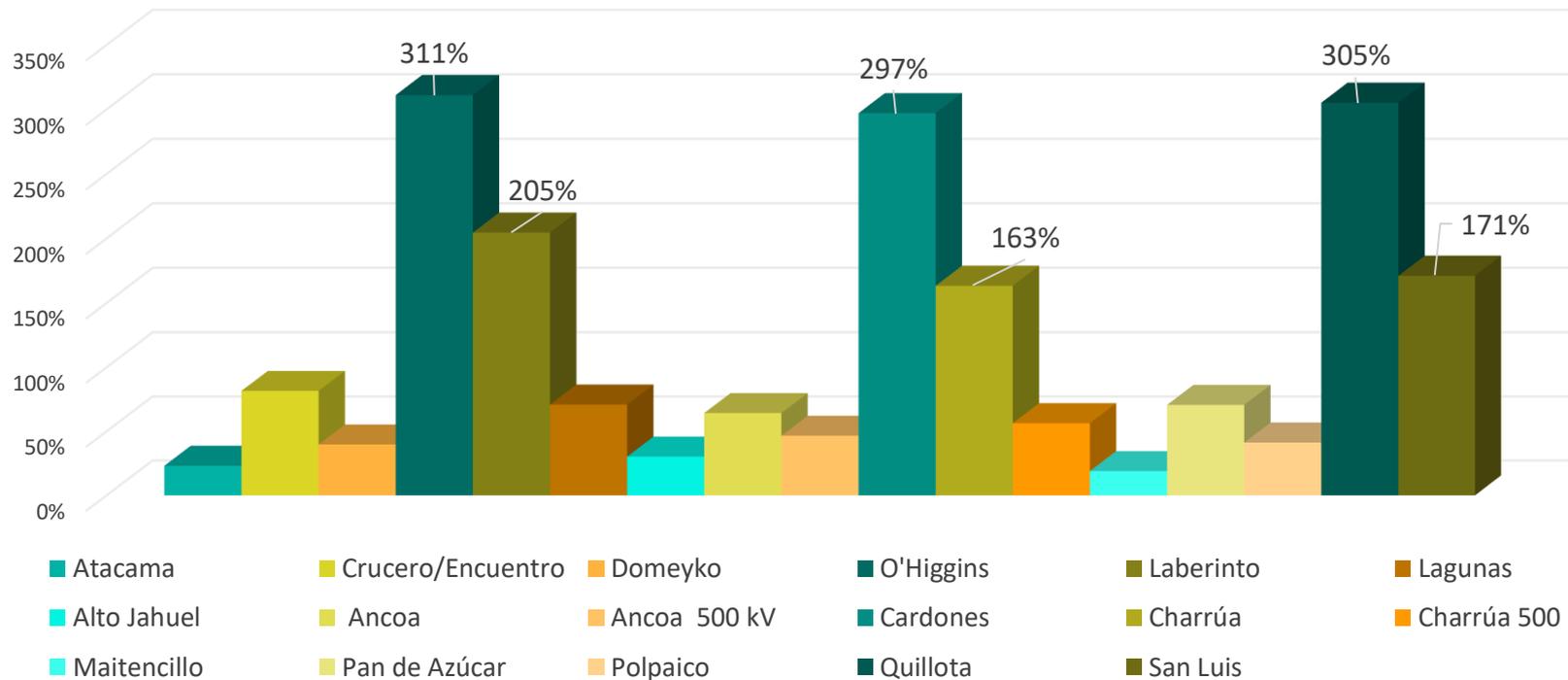
Una mirada al Sistema Eléctrico Nacional

Evolución de niveles de cortocircuito - Zona SIC



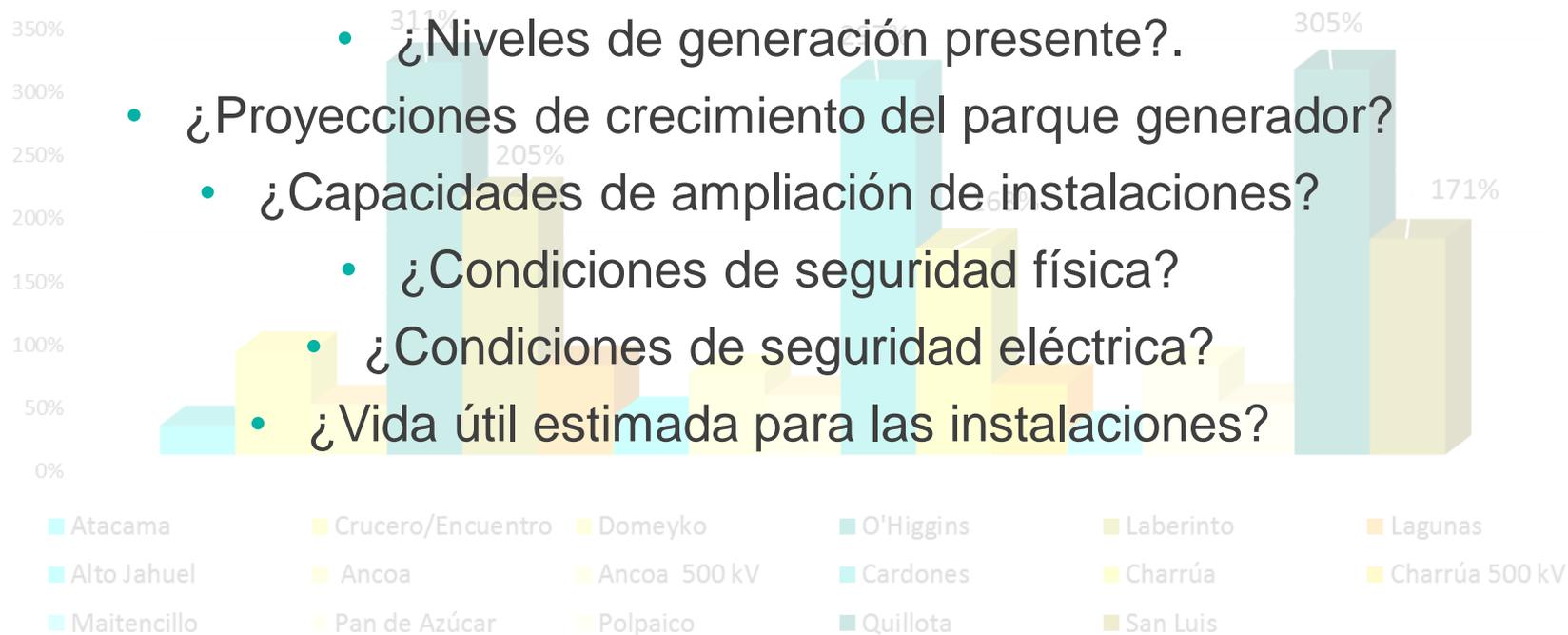
Una mirada al Sistema Eléctrico Nacional

Variación 2005 al 2018



Una mirada al Sistema Eléctrico Nacional

Variación 2005 al 2018



Comentarios finales



Vida útil de las instalaciones



Muchas gracias por su atención



Jornada Técnica: Aumento de niveles de cortocircuitos en
subestaciones críticas del Sistema Eléctrico Nacional – CIGRE Chile

Erick Zbinden A.

Jefe de Departamento de Integridad del Sistema.

28 de agosto de 2017