

Transient Recovery Voltage



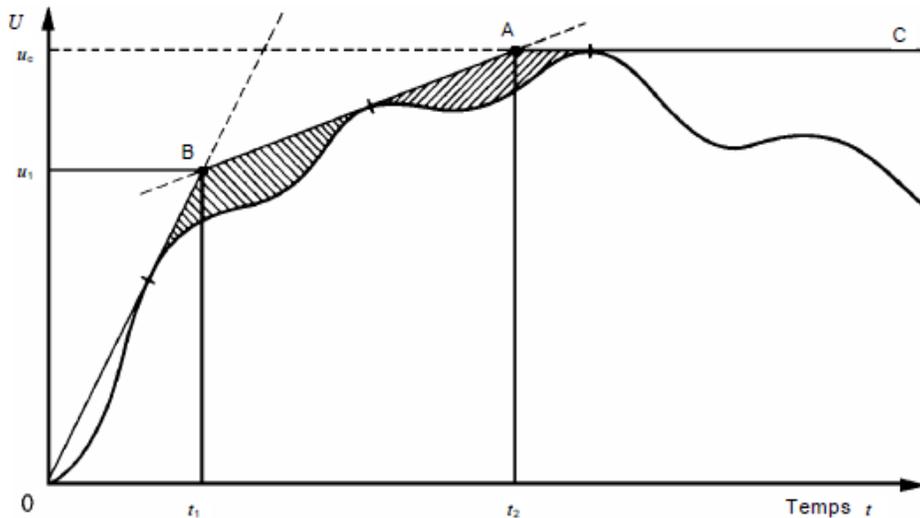
27 de Noviembre, 2017
Alexander Wulf Vilina

transelec

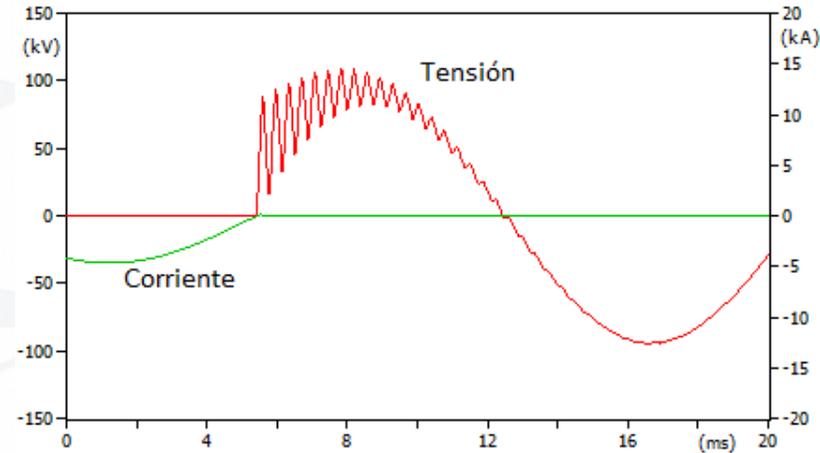
¡La energía que nos une!

TRV

Transient Recovery Voltage (TRV): Es la tensión que aparece entre los terminales de un interruptor inmediatamente después de la interrupción de la corriente. Si es muy elevada, puede producir la reaparición del arco dentro del interruptor.



TRV y su envolvente. Fuente: IEC 62271-100, 2008-04.



(file trv1-caso1.pl4; x-var t) v:TRV1 c:XX0001-TRV1

Rate of Rise of the Recovery Voltage (RRRV): tasa de subida inicial de la envolvente de tensión. Se mide en kV/us

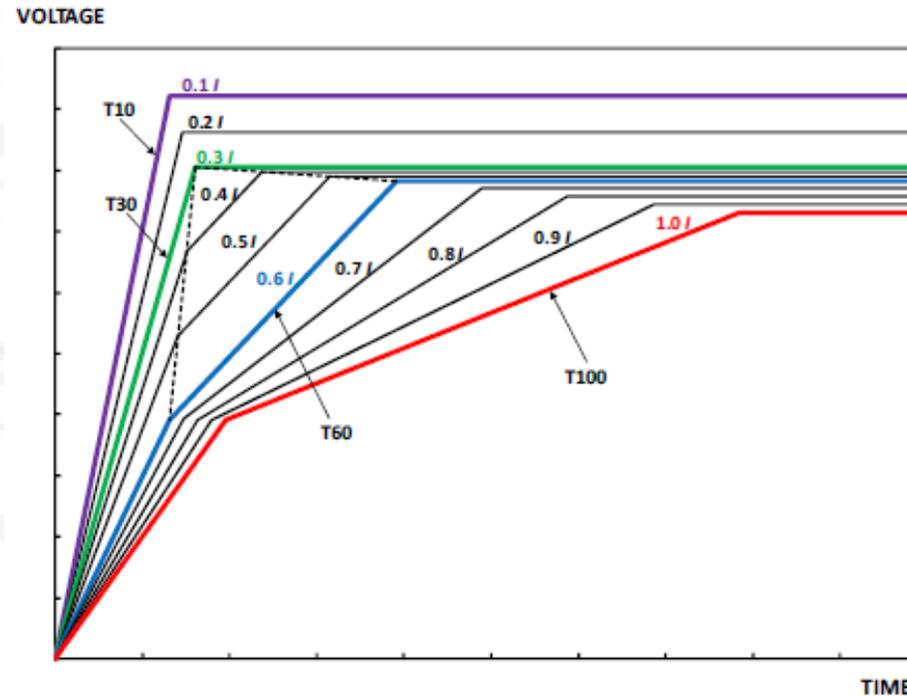
Tensión máxima (u_c): tensión máxima alcanzada durante el fenómeno; no corresponde necesariamente a la primera cresta de tensión.



La forma del TRV varía según la localización de la falla respecto del interruptor y según los elementos conectados en el lado fuente y lado carga del interruptor.

De acuerdo al estándar IEC 62271-100, el TRV es más severo en los siguientes casos:

- Interruptores adyacentes a generadores.
- Interruptores conectados de forma directa al transformador sin capacitancias entre ellos.
- Interruptores en subestaciones con reactores serie.
- Interruptores en líneas con compensación serie.
- Interruptores de subestaciones con bancos de condensadores



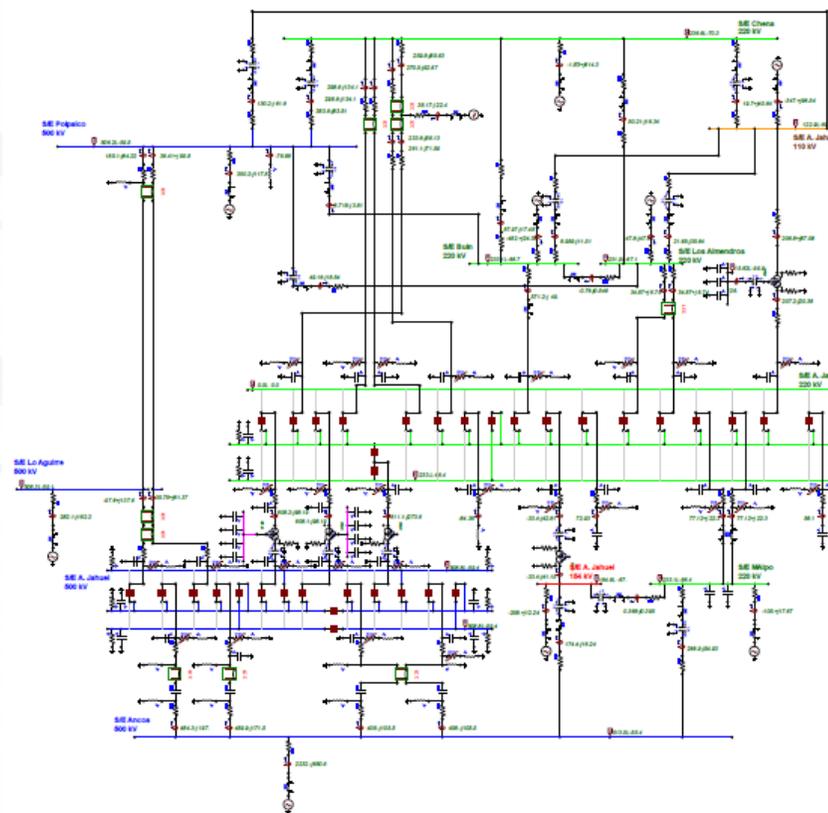
Envolvente TRV interruptores sobre 100 kV.
Fuente: ANSI-IEEE C37.011-2011.



Modelación del Sistema

La modelación del sistema es muy relevante en los resultados:

- El escenario de generación y cortocircuito puede cambiar los resultados en forma significativa.
- Líneas deben ser modeladas con parámetros distribuidos.
- El fenómeno del TRV tiene una duración del orden de 1000 us. Es relevante modelar en mayor detalle las instalaciones en un radio de 150 km.
- Modelar los transformadores y generadores en subestaciones conectadas directamente a la subestación estudiada.
- Considerar capacitancias parásitas en la subestación estudiada.



Autor: Estudios Eléctricos



Simulación

Consideraciones de los estándares:

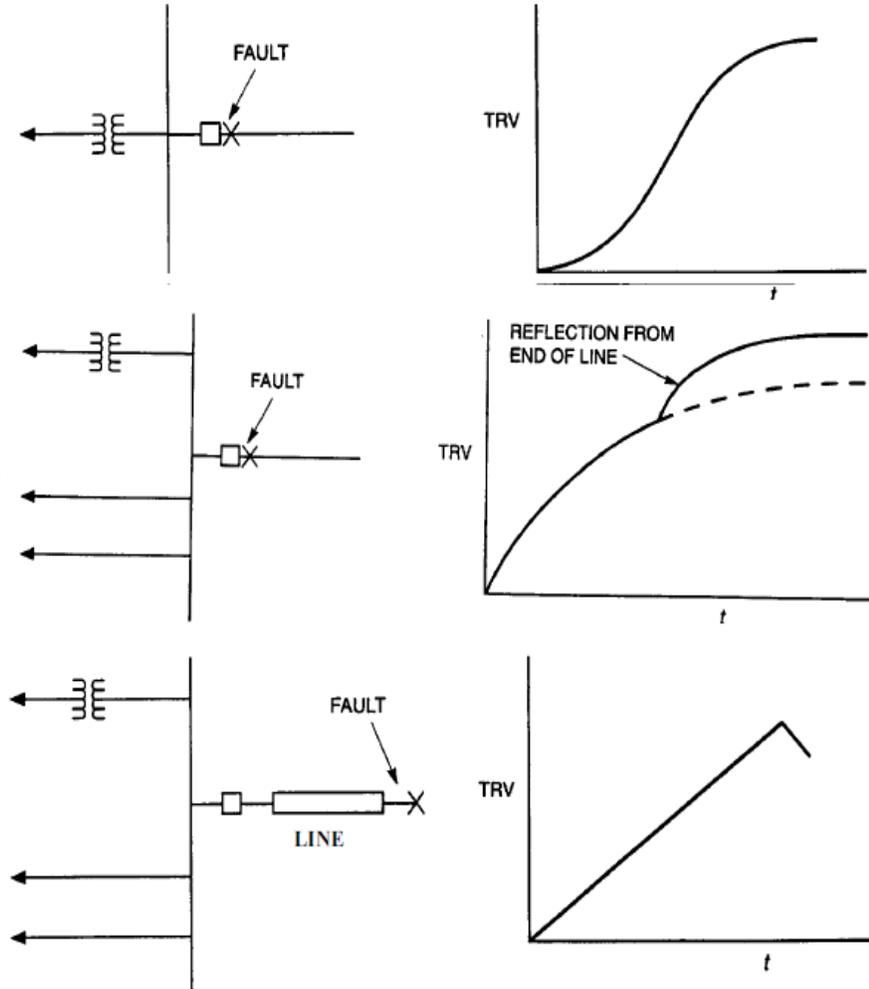
- Para la preparación del estándar se analizó un sistema típico de transmisión.
- El estándar indica que el mayor TRV ocurre para fallas trifásicas a tierra y monofásicas.

Fallas a simular:

- Fallas en terminales
- Fallas cercanas o *Short Line Fault*
- Apertura fuera de fase
- Fallas lejanas en línea. Aunque usualmente no se simulan, su TRV peak puede ser alto y su RRRV bajo.

Experiencia:

- Otros tipos de falla, como las trifásicas aisladas o bifásicas aisladas pueden alcanzar niveles de TRV mayores a las señaladas en las normas, alcanzándose alrededor de 8% en algunos casos.

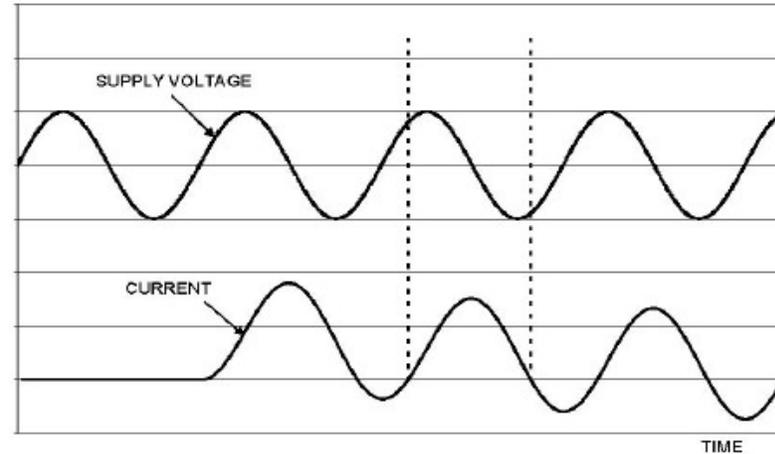


TRV: oscilatorio, exponencial y triangular. Fuente: ANSI-IEEE C37.011-2011.



Consideraciones adicionales:

- El estado abierto o cerrado de interruptores y desconectores afecta el TRV.
- La corriente de cortocircuito afecta el TRV y depende del momento en el que se simule el evento de cortocircuito.
- El momento de interrupción de la corriente influye en el TRV. Se esperan resultados similares si la falla es despejada en 40, 60 u 80 ms.
- Usualmente el TRV es máximo para el primer polo del interruptor que abre, pero puede que ocurra en el segundo.
- En fallas monofásicas, el tiempo de apertura de un polo puede afectar el TRV de los demás.



NOTE—Dashed lines show the supply voltage at current zero.

Fuente: IEEE Std C37.011-2011



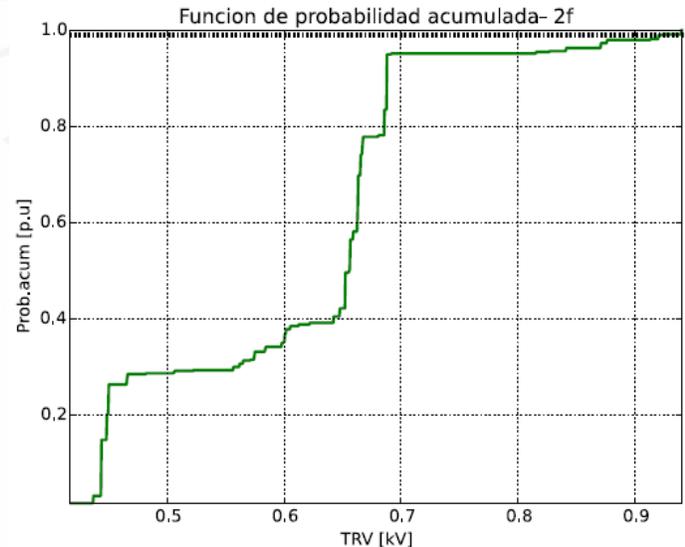
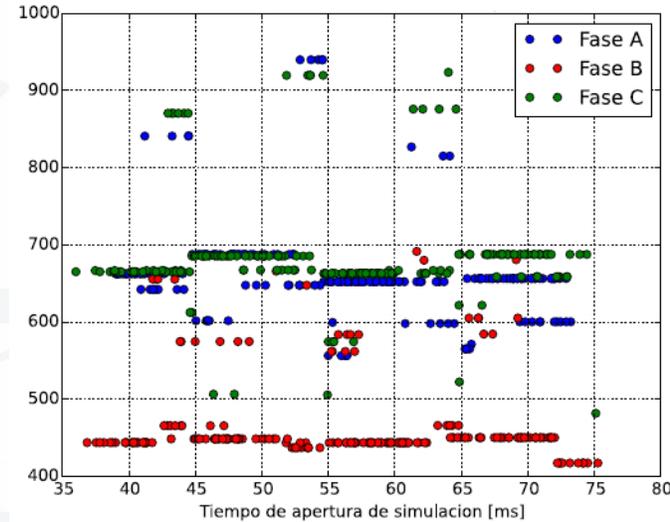
Simulación

Simulación estadística:

- Se simula un gran número de eventos.
- Es necesario utilizar un método de control para la apertura de uno de los polos dentro de un rango de tiempo.
- Considerar el tiempo de discrepancia de polos para los otros interruptores.
- Se obtiene una distribución del TRV.
- Simular nuevamente los eventos de mayor TRV para poder comparar la curva con lo que soporta el interruptor.

Se sugiere:

- Ventana de tiempo de un ciclo (20 ms).
- Distribución uniforme para el primer polo.
- 100 o más simulaciones.



Estudio Tercer Transformador Alto Jahuel 500/220 kV.

Autor: Estudios Eléctricos



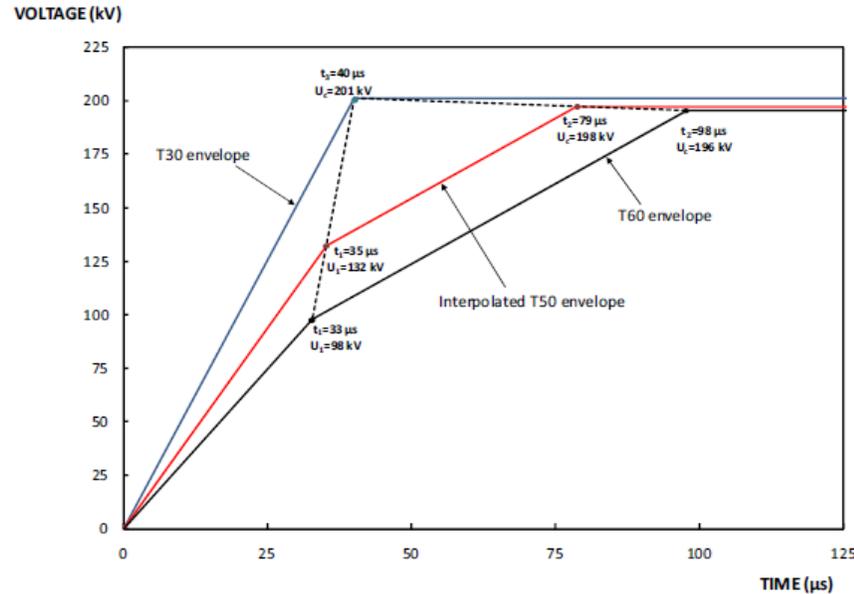
Verificación

Se debe verificar el TRV y el RRRV:

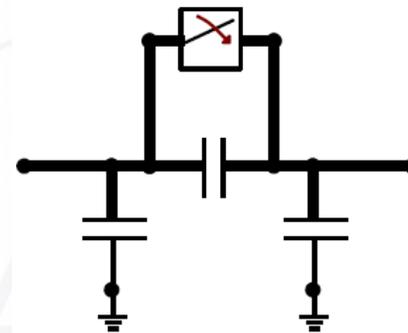
- Simular los casos con mayor TRV y RRRV detectados en el paso anterior para obtener la curva de tensión.
- Crear la curva envolvente del TRV interpolando las curvas en los estándares.

Experiencia:

- El TRV máximo suele ocurrir cuando la corriente interrumpida es baja. Como las curvas dependen del nivel de corriente interrumpida, se recomienda analizar los casos de máxima corriente interrumpida.
- Los fabricantes suelen tener protocolos de prueba de sus interruptores con TRV mayores a los de los estándares.
- Por lo general no basta con una prueba; las pruebas de los fabricantes no tendrán los mismos niveles de corriente alcanzados en las simulaciones.
- Se puede agregar detalle a la simulación de los interruptores para verificar el cumplimiento del TRV. Por ejemplo, algunos interruptores tienen capacitancias en paralelo a las cámaras de interrupción.



Envolvente T50. Fuente: IEC 62271-100, 2008-04



Modelación interruptor



Resultados

Segundo Autotransformador 500/220 kV S/E Ancoa (2014, escenario 2018)

	Tipo de falla	TRV [kV]	RRRV [kV/us]
500 kV	2ft	1181	1,05
500 kV	2ft	730	7,16
220 kV	2f	481	0,54
220 kV	1ft	195	4,81



Resultados

Segundo Autotransformador 500/220 kV S/E Ancoa (2014, escenario 2018)

	Tipo de falla	TRV [kV]	RRRV [kV/us]
500 kV	2ft	1181	1,05
500 kV	2ft	730	7,16
220 kV	2f	481	0,54
220 kV	1ft	195	4,81

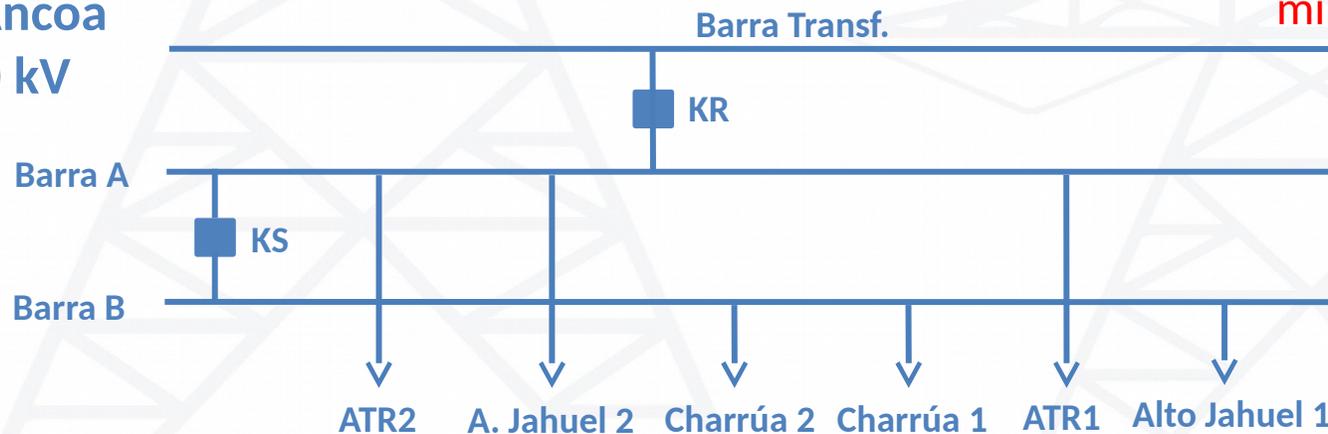
Falla terminal, en barra 500 kV

Escenario demanda mínima

Falla terminal, entre bushing e interruptor

Escenario demanda mínima

S/E Ancoa
500 kV



Se analizó una configuración "normal" de la S/E



Resultados

Segundo Autotransformador 500/220 kV S/E Ancoa (2014, escenario 2018)

	Tipo de falla	TRV [kV]	RRRV [kV/us]
500 kV	2ft	1181	1,05
500 kV	2ft	730	7,16
220 kV	2f	481	0,54
220 kV	1ft	195	4,81

Solución:

- El fabricante presentó 3 pruebas de TRV para el interruptor de 500 kV y otras 3 para el interruptor de 220 kV, con distintos valores de corriente interrumpida. Interpolando estas curvas se verificó que los interruptores soportaban la forma de onda de los TRV calculados.



Resultados

S/E Charrúa Seccionamiento Barras Principales y Transferencia 500 kV (2015)

	Tipo de falla	TRV [kV]	RRRV [kV/us]
KR2	3f	1285	13
KS2	3f	1294	2,1
KSAC	2f	1132	2,2
KSBD	3f	1148	2,2



Resultados

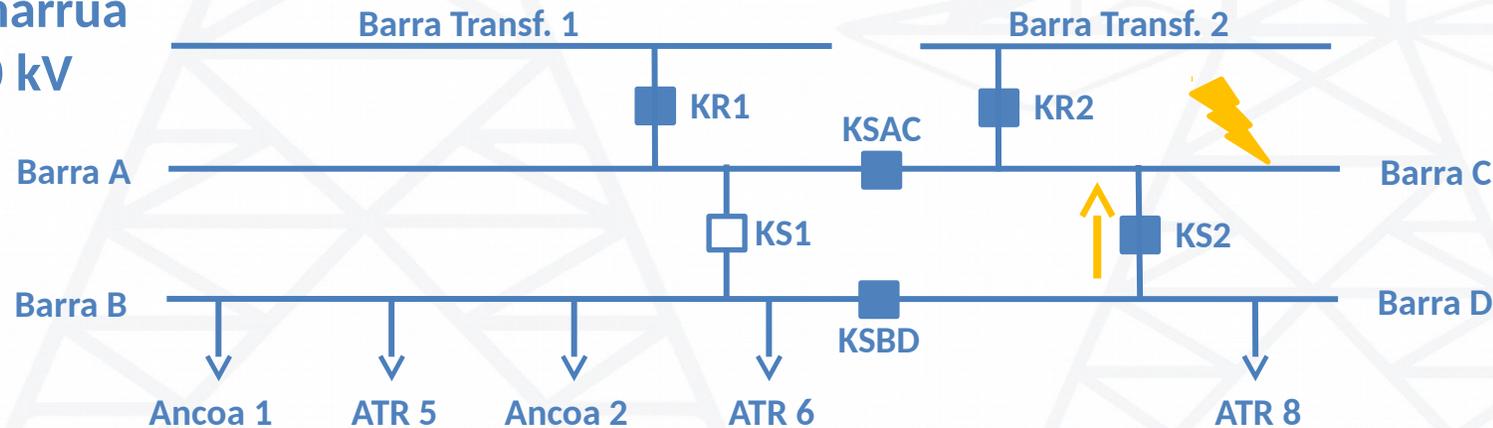
S/E Charrúa Seccionamiento Barras Principales y Transferencia 500 kV (2015)

	Tipo de falla	TRV [kV]	RRRV [kV/us]
KR2	3f	1285	13
KS2	3f	1294	2,1
KSAC	2f	1132	2,2
KSBD	3f	1148	2,2

Falla terminal

Todos los elementos
conectado a barras B y
D, falla en barra C

S/E Charrúa
500 kV



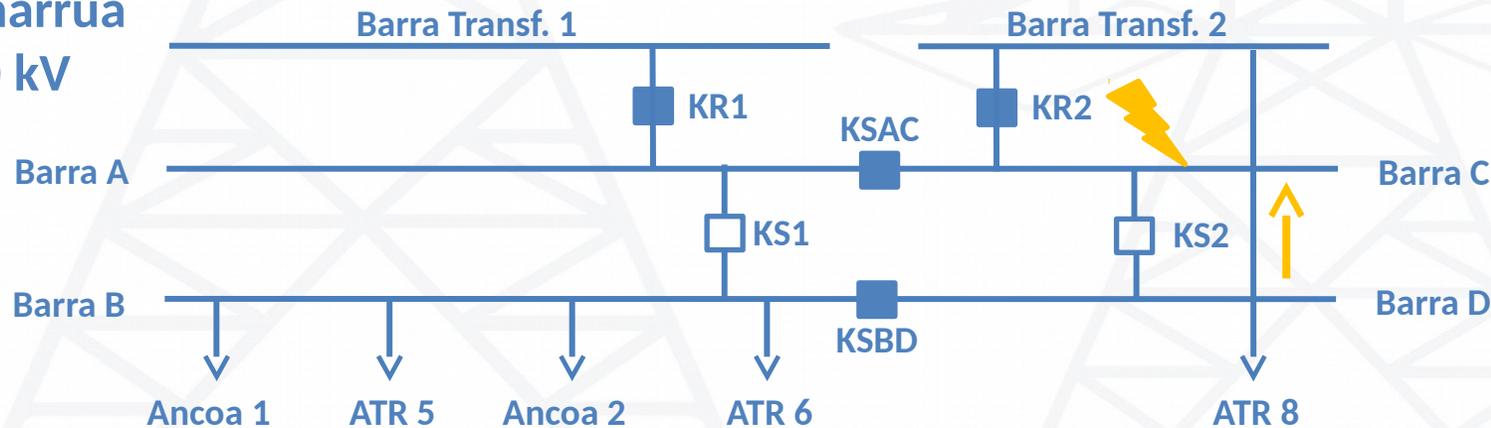
Resultados

S/E Charrúa Seccionamiento Barras Principales y Transferencia 500 kV (2015)

	Tipo de falla	TRV [kV]	RRRV [kV/us]
KR2	3f	1285	13
KS2	3f	1294	2,1
KSAC	2f	1132	2,2
KSBD	3f	1148	2,2

Falla terminal en barra C con el interruptor KT8 transferido

S/E Charrúa
500 kV



S/E Charrúa Seccionamiento Barras Principales y Transferencia 500 kV (2015)

	Tipo de falla	TRV [kV]	RRRV [kV/us]
KR2	3f	1285	13
KS2	3f	1294	2,1
KSAC	2f	1132	2,2
KSBD	3f	1148	2,2

Solución:

- El interruptor especificado tiene 3 cámaras de interrupción por lo que soporta un peak mayor a 1300 kV con la curva T100.
- El interruptor no soportaba el RRRV máximo simulado para el 52KR2. Se modeló en mayor detalle el interruptor y algunos elementos como los TP capacitivos, incorporando las capacitancias en paralelo a las cámaras de interrupción del interruptor. La disminución del TRV debido a estos elementos fue lo suficientemente significativa para que el interruptor cumpliera con el RRRV.



Resultados

Tercer Autotransformador 500/220 kV S/E Alto Jahuel (2015, escenario 2017)

	Tipo de falla	TRV [kV]	RRRV [kV/us]
J12/J13 Barra	3ft	262,56	5,1
J12/J13 ATR	3f	404,94	8,7
KT7 Barra	2ft	385,57	4,6
KT7 ATR	3f	944,92	11,9



Resultados

Tercer Autotransformador 500/220 kV S/E Alto Jahuel (2015, escenario 2017)

	Tipo de falla	TRV [kV]	RRRV [kV/us]
J12/J13 Barra	3ft	262,56	5,1
J12/J13 ATR	3f	404,94	8,7
KT7 Barra	2ft	385,57	4,6
KT7 ATR	3f	944,92	11,9

Ambos, falla terminal,
lado transformador

Escenarios exigentes
determinados en
estudio de capacidad
de barra



Resultados

Tercer Autotransformador 500/220 kV S/E Alto Jahuel (2015, escenario 2017)

	Tipo de falla	TRV [kV]	RRRV [kV/us]
J12/J13 Barra	3ft	262,56	5,1
J12/J13 ATR	3f	404,94	8,7
KT7 Barra	2ft	385,57	4,6
KT7 ATR	3f	944,92	11,9

Solución:

- El TRV se encuentra dentro de los valores de los estándares.



Resultados

S/E Seccionadora Entre Ríos, ex Nueva Charrúa (2016, escenario 2018)

	Tipo de falla	TRV [kV]	RRRV [kV/us]
Charrúa – Entre Ríos 500 kV	3f terminal	840,8	<5
Charrúa – Entre Ríos 500 kV	3f a 6 km	836,5	<7,4

TRV fase A
Apertura CBA

Escenario sin Nueva
Charrúa- Nueva
Charrúa C2

Se analizaron fallas terminal, cercana, lejana y con terminal opuesto abierto. Se utilizaron varios escenarios de operación, considerando un elemento fuera de servicio a la vez.

Solución:

- Los interruptores eran capaces de soportar los valores obtenidos.



Conclusiones

- ❑ Los estándares se centran en la teoría del fenómeno, equipos a considerar y su modelación, fallas que típicamente alcanzan el mayor TRV y las pruebas que debe hacer el fabricante.
- ❑ El TRV simulado depende de los equipos en la subestación, el escenario de generación considerado, del tipo de falla y del punto de falla, entre otros. Es importante simular una condición real, pero exigente.
- ❑ La simulación estadística permite identificar la alta variabilidad del TRV según el momento de apertura de los polos del interruptor.



Conclusiones

- ❑ El TRV es un fenómeno que se puede simular y predecir. Actualmente los estudios de TRV se hacen para concretar el primer hito de un proyecto con la CNE, después de haber sido adjudicado mediante una licitación. Esto implica que, para efectos de presentar una oferta competitiva, muy posiblemente las empresas no hayan considerado interruptores aptos para soportar mayores exigencias de TRV, los cuales son más caros y requieren mayor espacio en los patios.
- ❑ Se hace necesario realizar los estudios respectivos e incorporar las exigencias sobre TRV de los equipos dentro de las especificaciones de cada proyecto en forma previa a la licitación.
- ❑ Es posible solucionar los altos niveles de TRV en el sistema chileno, en la medida que los requerimientos sean conocidos de antemano e incorporados en el diseño de la nueva infraestructura de transmisión.



Transient Recovery Voltage

Vicepresidencia de Operaciones

Transelec

Noviembre 2017

