Jornada Técnica CIGRE
Fenómeno de Transient Recovery Voltage (TRV) y su impacto en el Sistema Eléctrico Nacional

Fernando Libonati
fernando.libonati@estudios-eléctricos.com

Cristian Albistur
cristian.albistur@estudios-eléctricos.com

ESTUDIOS ELECTRICOS

Santiago, 27/Nov/2017

Introducción al TRV y su evaluación

Objetivo de la presentación:

"Contar sobre la experiencia realizada en Estudios Eléctricos para el estudio y visualización de los TRV en el sistema"

Abordaje:

→ *¿Qué es el TRV? Origen del fenómeno, efectos sobre el sistema*

→ *¿Cómo se calcula el TRV? ¿Y qué pasa con el RRRV?*

→ *¿Se puede mitigar?*

→ *Complejidades en el diseño y operación de los equipos de maniobra*

NORMAS APLICABLES

IEC

- 62271-100 (2008…2012)

ANSI (IEEE)

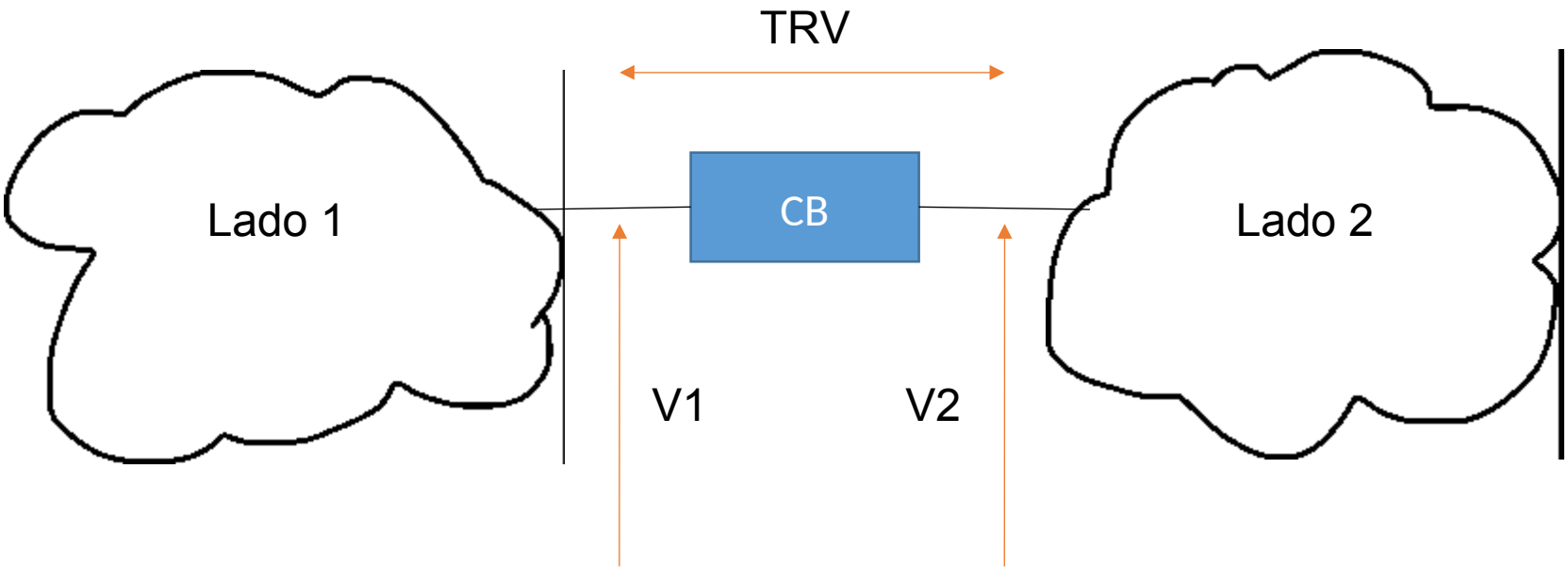
- C37.04

Armonización de IEC / ANSI desde 1997 (efectivo ~ 2008)

Internacionalmente, predomina el uso de la norma **IEC 62271-100**

¿Qué es el TRV?

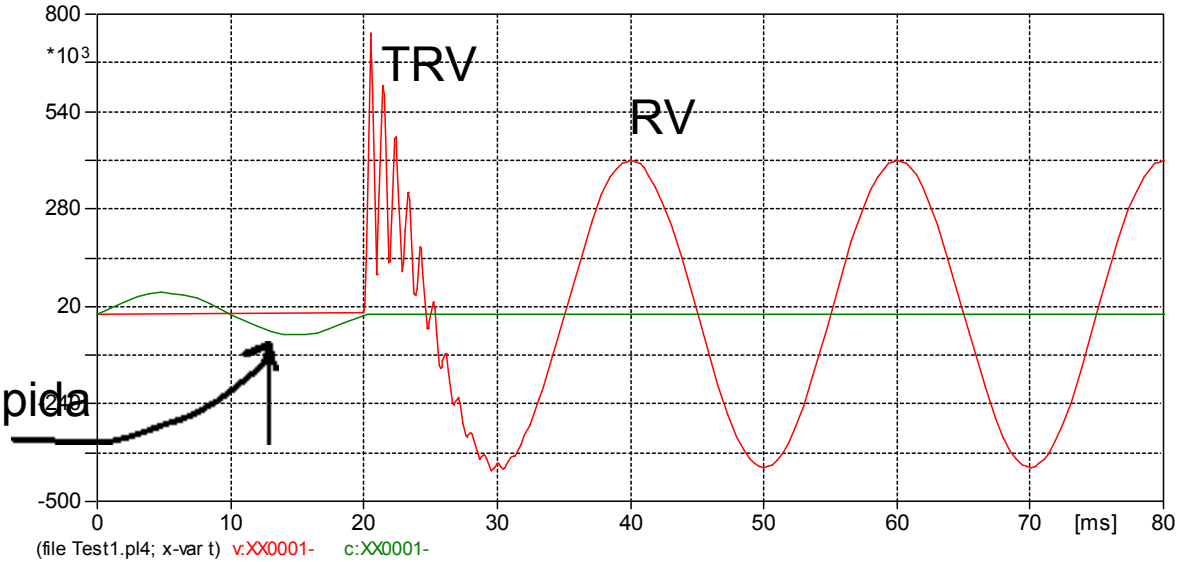
¿Qué es el TRV?



Es la tensión que aparece **entre los terminales** de cada polo del interruptor luego de la interrupción de corriente.
Hay que distinguir esta tensión en dos intervalos de tiempo:

- En los **primeros** (cientos de) **microsegundos**
- Seguido por una tensión de frecuencia industrial

¿Qué es el TRV?



Corriente interrumpida

Interrupción: el arco pierde conductividad muy rápidamente cuando la corriente se aproxima al cruce por cero.

En respuesta a esta interrupción de la corriente, **el sistema genera el TRV**.

- ✓ La naturaleza del TRV **depende del circuito interrumpido**, sea resistivo, inductivo o capacitivo (o una combinación de estos).
- ✓ Los elementos de **parámetros distribuidos** del sistema (cables, líneas) producirán otras respuestas de TRV.

¿Qué es el TRV?

Fallas Terminales

Fallas kilométricas

Aplicación de la Falla

Tiempo de despeje

Nivel de Icc

Protecciones

Condición de la Red

Compensaciones

PARÁMETROS DE FÁBRICA

Evoluciones típicas

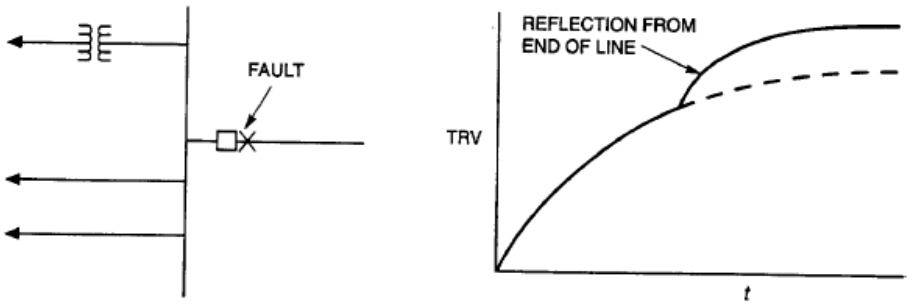
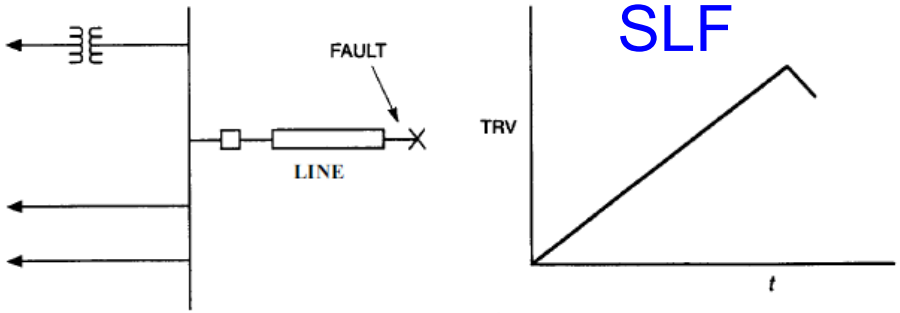


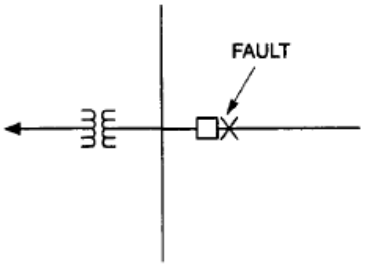
Figure 4—Exponential TRV characteristic

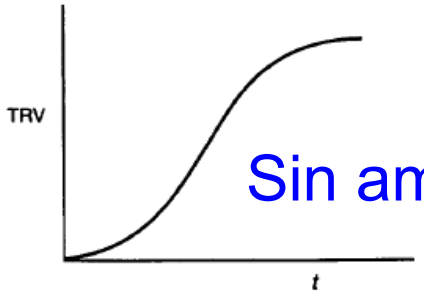


SLF

Figure 6—Short-line fault TRV characteristic

Sobre-amortiguado

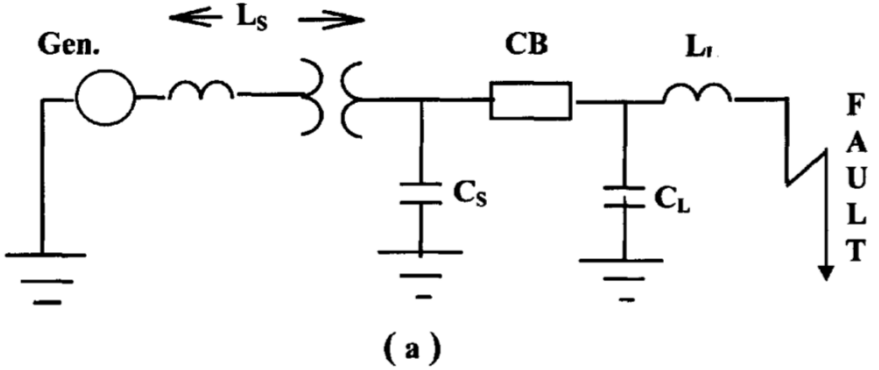


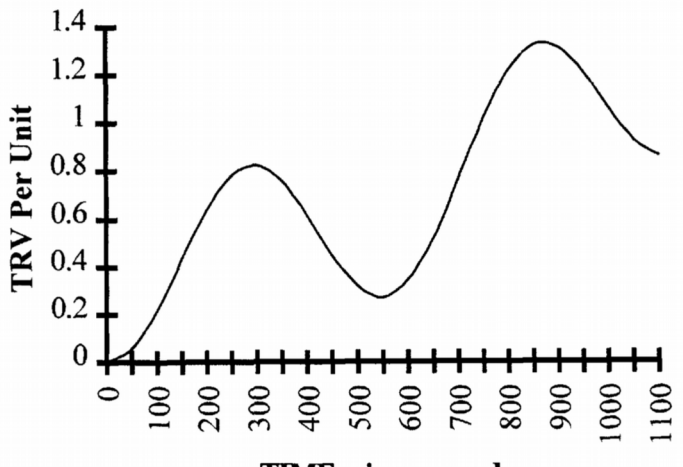


Sin amortiguamiento

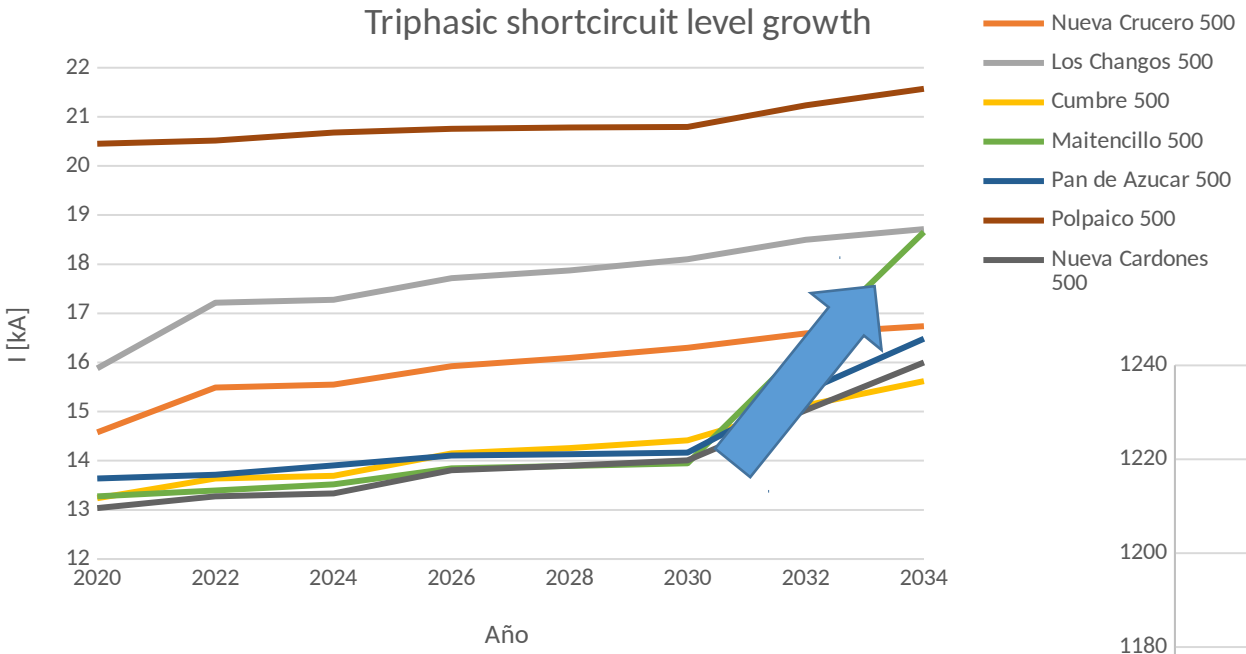
Figure 5—Oscillatory TRV characteristic

Doble frecuencia

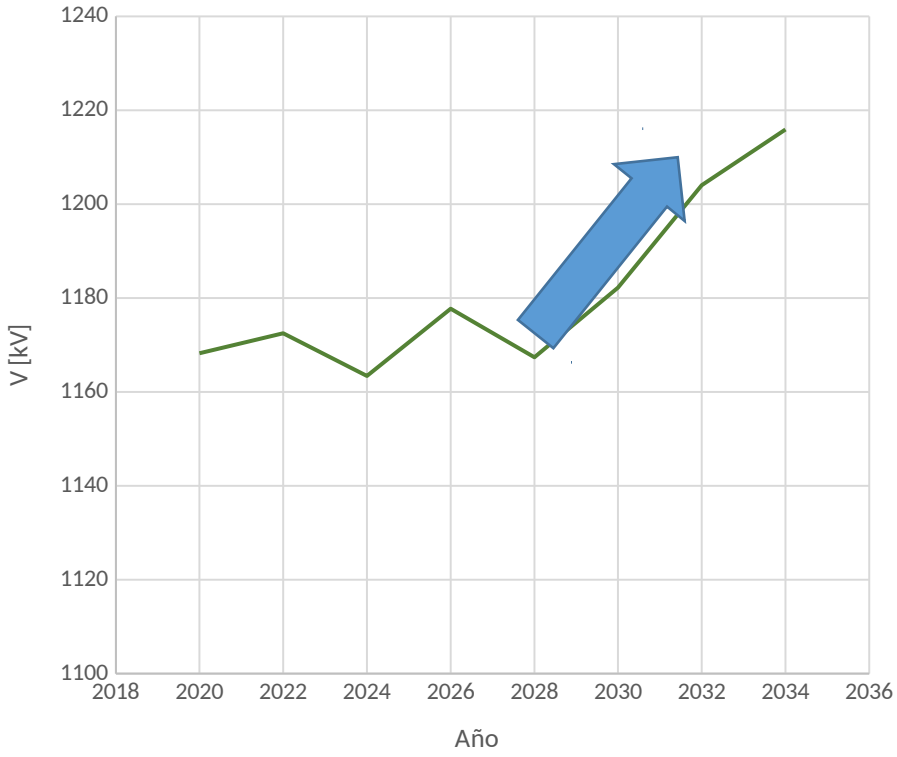




Evoluciones típicas



Crece la potencia de cortocircuito => crece el nivel de TRV



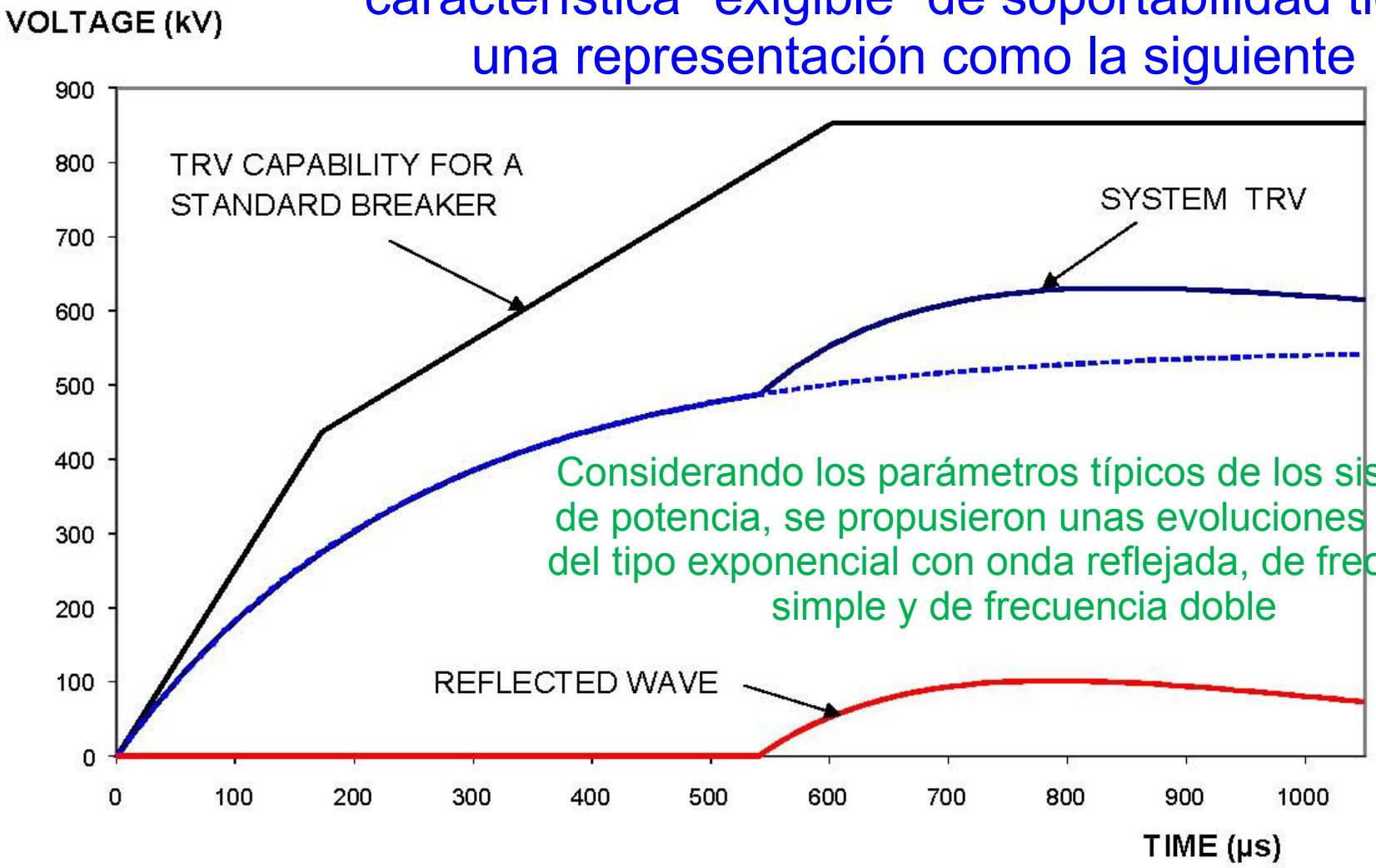
Durante la evaluación de interruptores de 550kV en el sistema de interconexión SIC-SING, se proyectó el crecimiento del sistema interconectado y se calculó su impacto sobre los niveles de TRV algunos puntos del sistema.

Soportabilidad al TRV

ESTUDIOS ELECTRICOS

Soportabilidad al TRV

Normativamente, se ha determinado que la característica “exigible” de soportabilidad tiene una representación como la siguiente



Considerando los parámetros típicos de los sistemas de potencia, se propusieron unas evoluciones límites del tipo exponencial con onda reflejada, de frecuencia simple y de frecuencia doble

Soportabilidad al TRV

4.102 Transient recovery voltage related to the rated short-circuit breaking current

The transient recovery voltage (TRV) related to the rated short-circuit breaking current in accordance with 4.101, is the reference voltage which constitutes the limit of the prospective transient recovery voltage of circuits which the circuit-breaker shall be capable of withstanding under fault conditions.

Si el **TRV supera el límite tolerado** por el interruptor, existe una gran posibilidad de un re-encendido del arco y **falla del interruptor**.

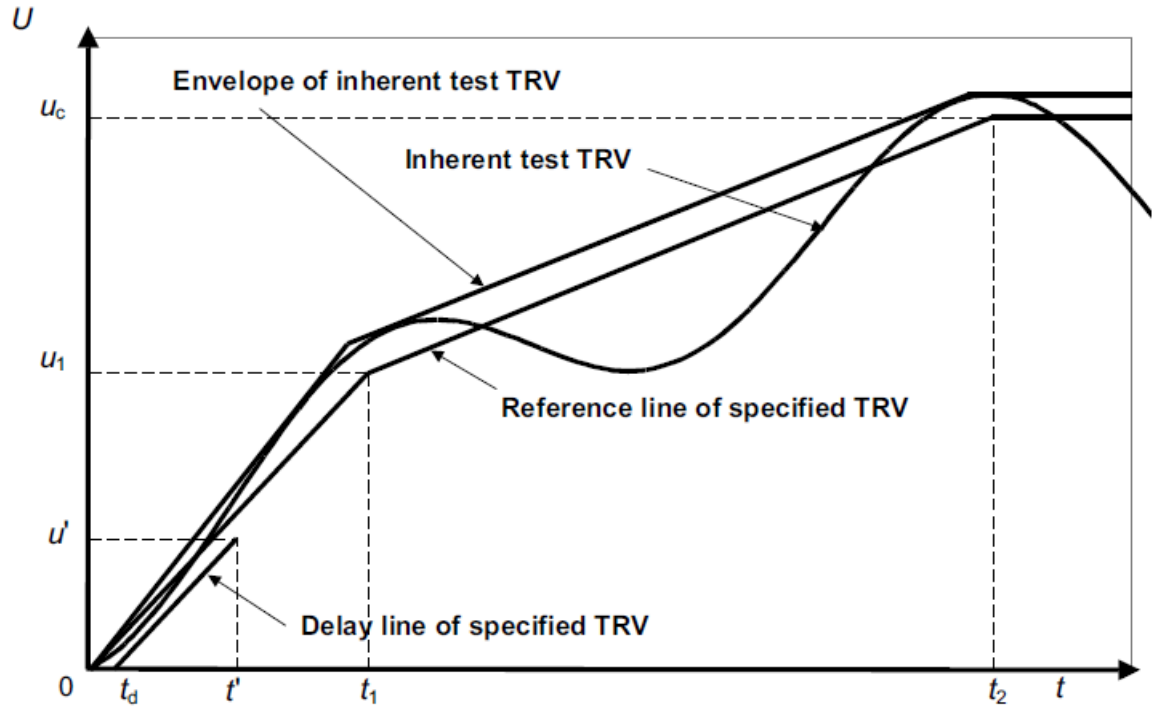
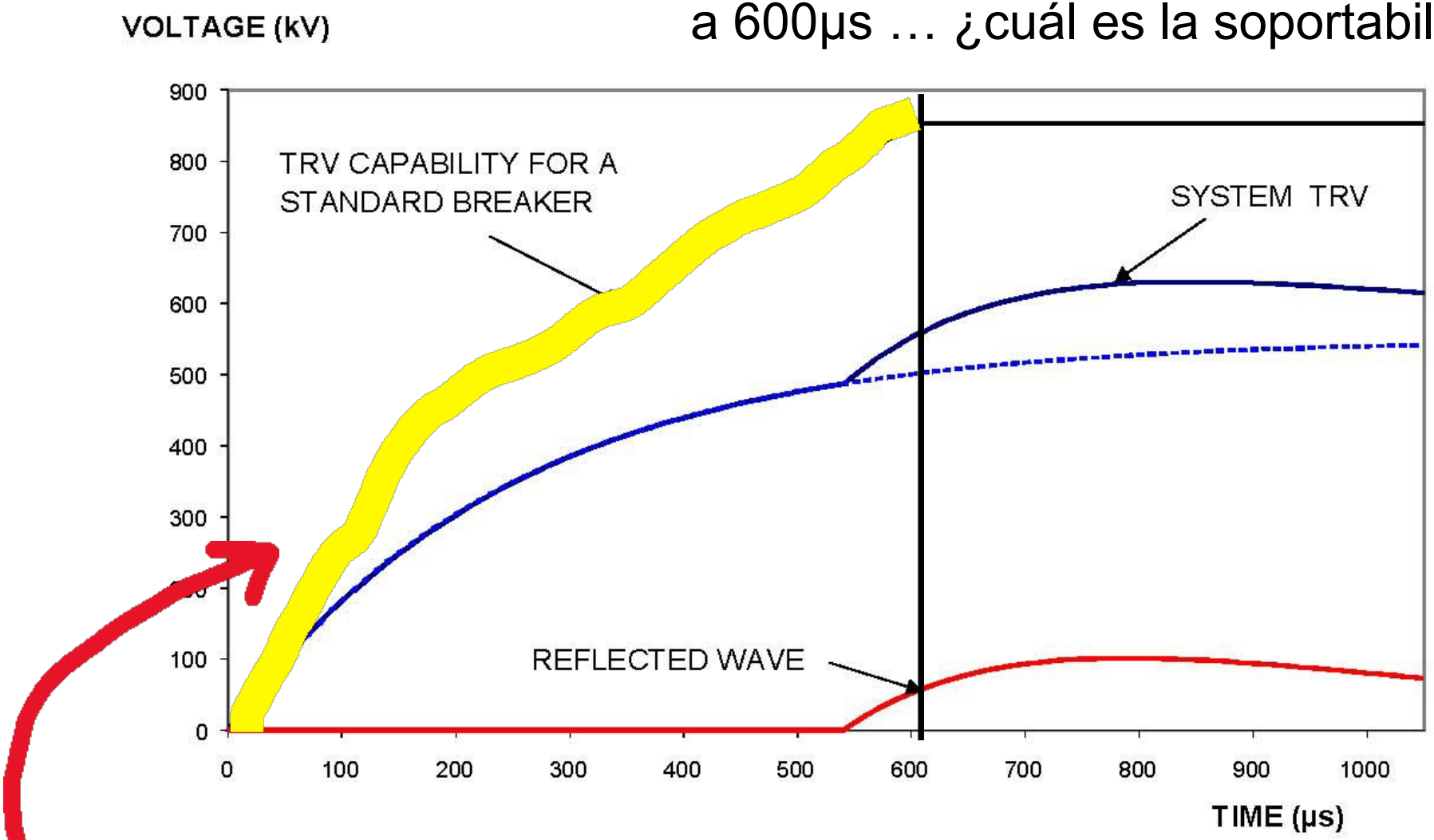


Figure 8—Example of inherent test TRV with four-parameter envelope that satisfies the conditions to be met during type test

Soportabilidad al TRV

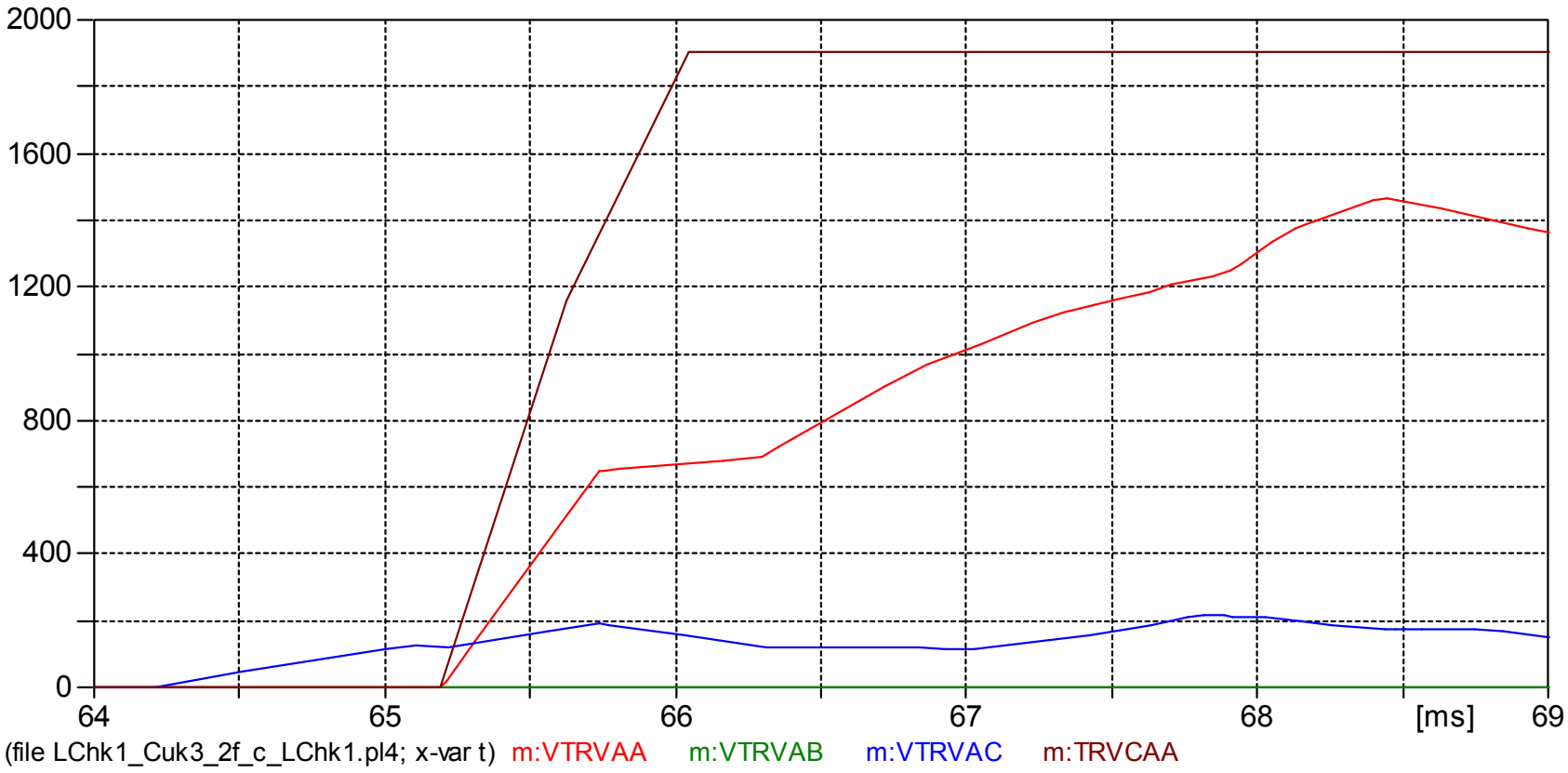
En este ejemplo, para tiempos mayores a 600μs … ¿cuál es la soportabilidad?



Soportabilidad indicada en las normas (cuatro parámetros)

Soportabilidad al TRV

Despeje de una falla bifásica (sin contacto a tierra)



Se representan los valores absolutos del TRV en uno de los interruptores y la curva límite soportada por el equipo bajo análisis.

Soportabilidad al TRV

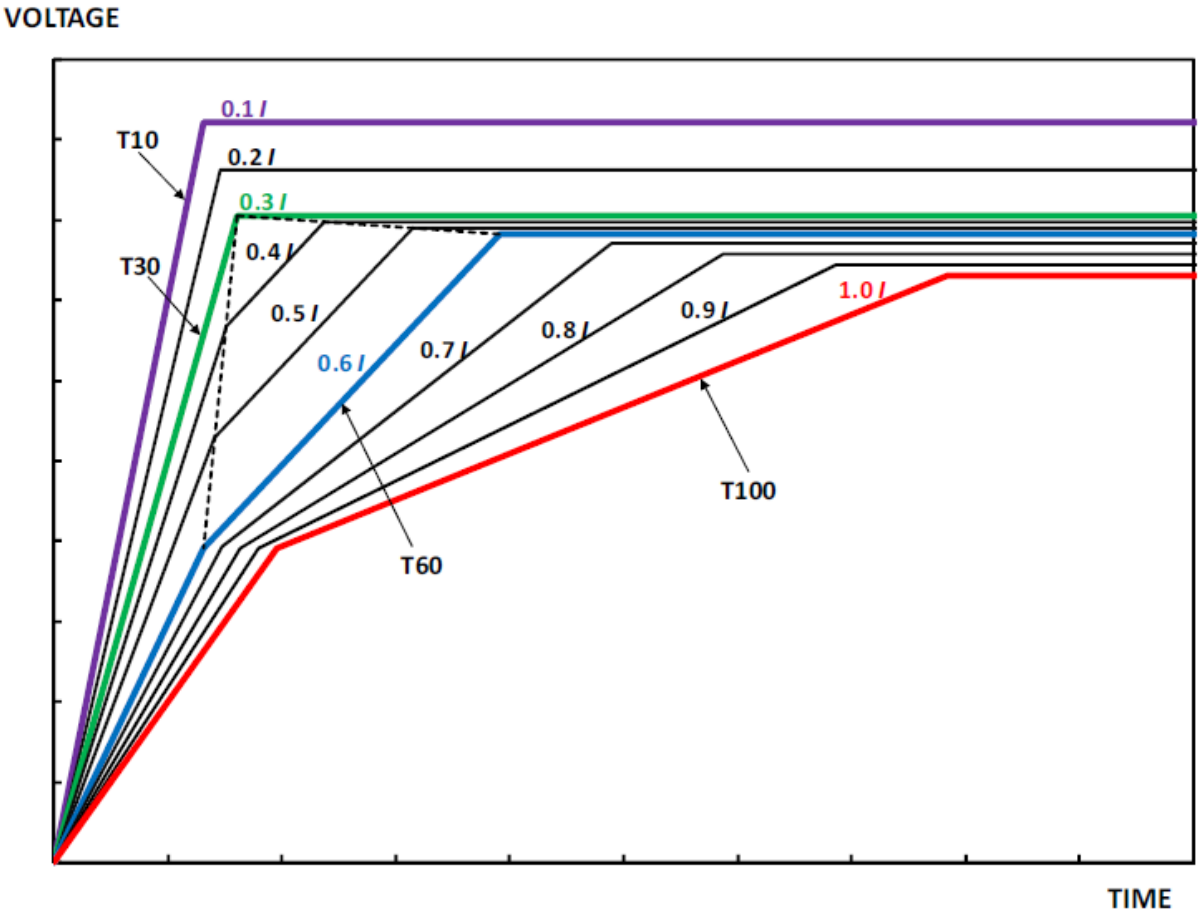


Figure 14—TRV envelopes for circuit breaker rated at 100 kV and above (I_{sc} is the rated short-circuit current)

IEC no especifica cómo comparar curvas de TRV para corrientes interrumpidas fuera de las normalizadas.

IEEE propone un método que resulta práctico y lógico, para interpolar las curvas estándar a valores de corriente interrumpidas cualquiera.

Soportabilidad al TRV

La interrupción de la corriente inicia con una fase de recuperación térmica (enfriamiento) del dieléctrico que dura pocos micro-segundos, seguida de una fase de recuperación dieléctrica (des-ionización)

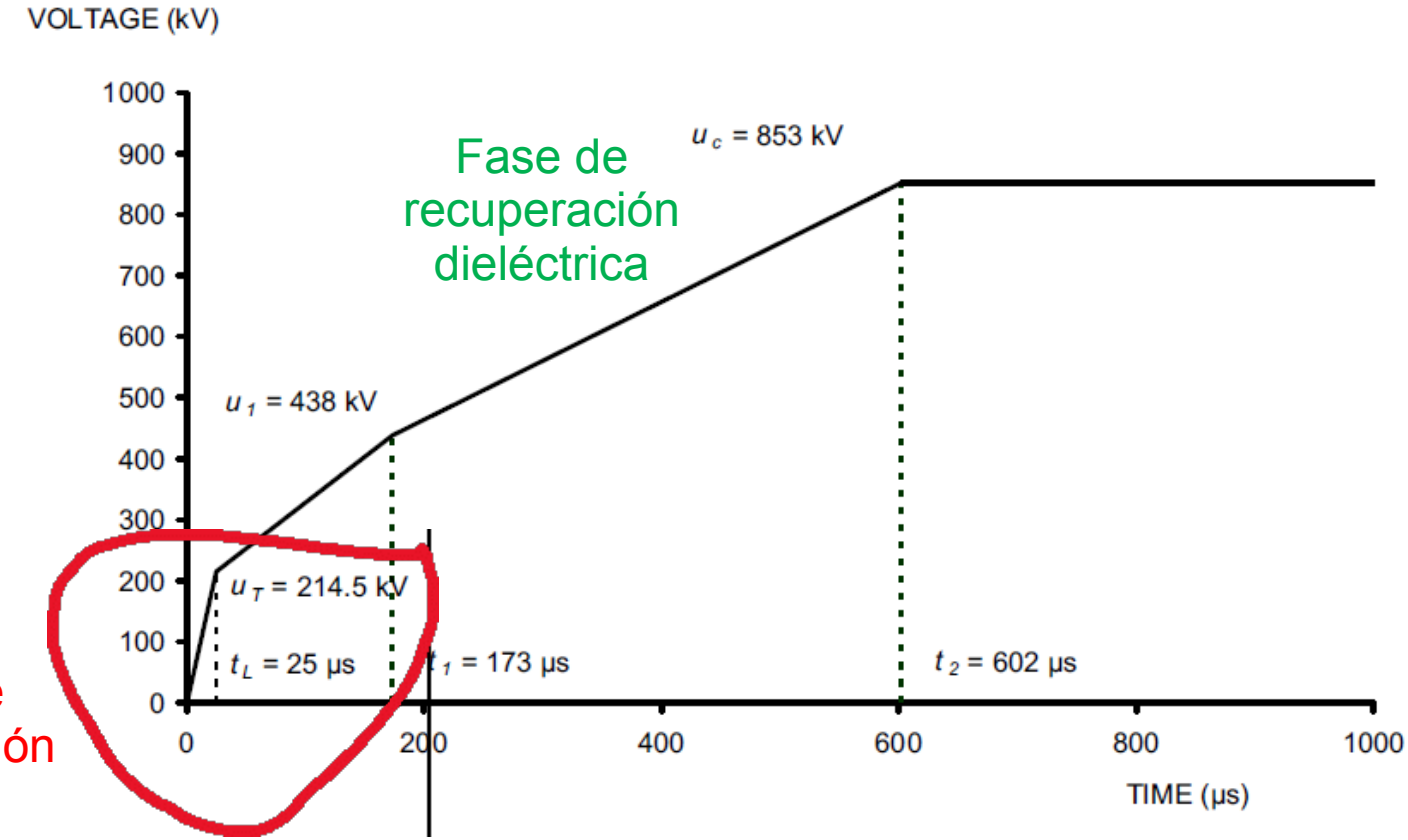
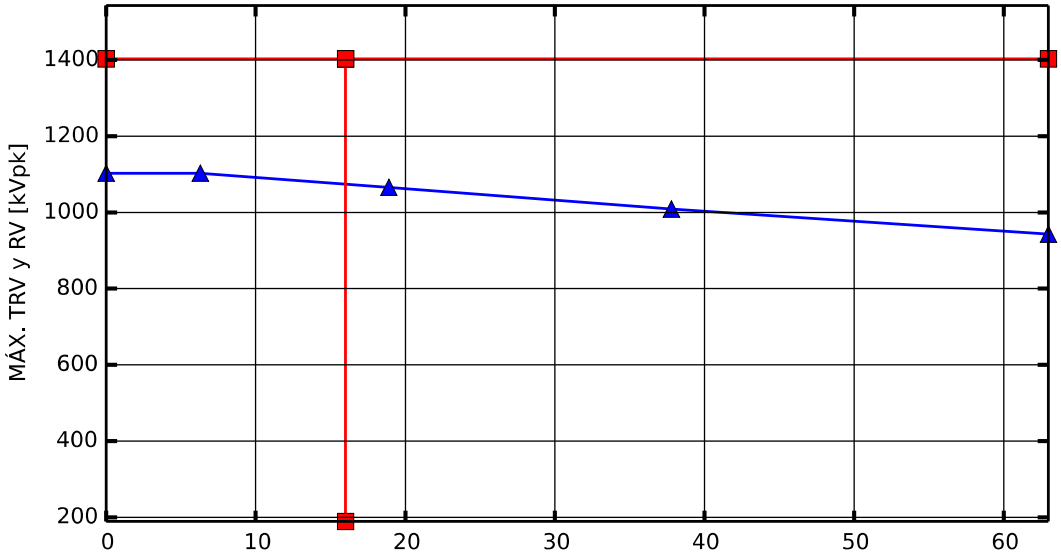
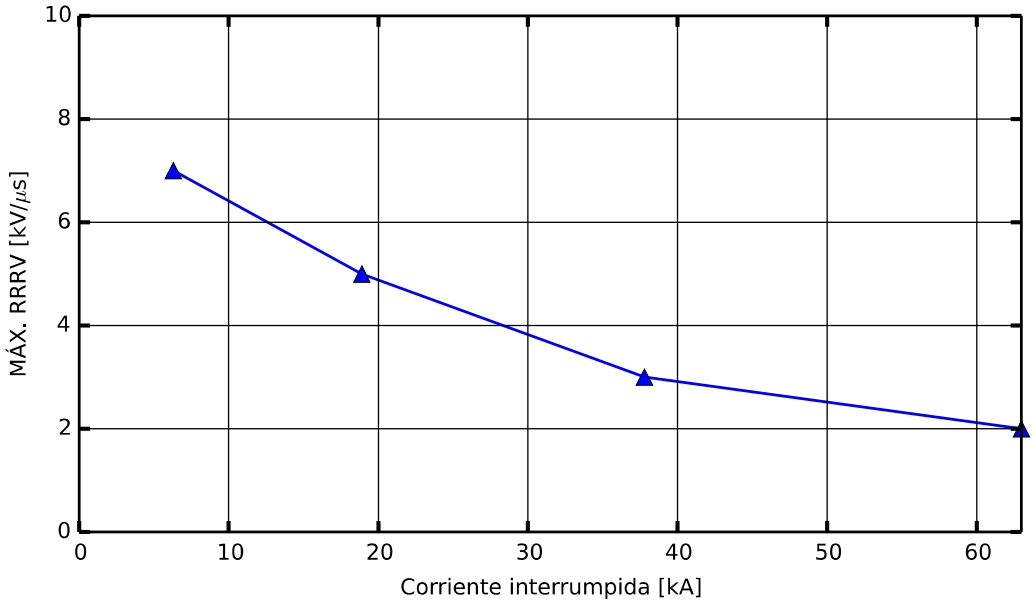


Figure 18—TRV related capability envelope for 550 kV circuit breaker at 75% of its rated fault current capability with SLF component

Soportabilidad al TRV



Ejemplo de curvas de tolerancia al TRV y RRRV para un interruptor con capacidad de ruptura nominal de 63kA



Dado que el RRRV tiene una influencia sobre los primeros μs luego de la extinción del arco, un arco de menor corriente admitirá un RRRV más alto.

¿Cómo se calcula el TRV?

¿Cómo se calcula el TRV?

Modelo

- Modelado del Sistema asociado al interruptor bajo análisis
- Al menos dos sub-estaciones atrás

Falla

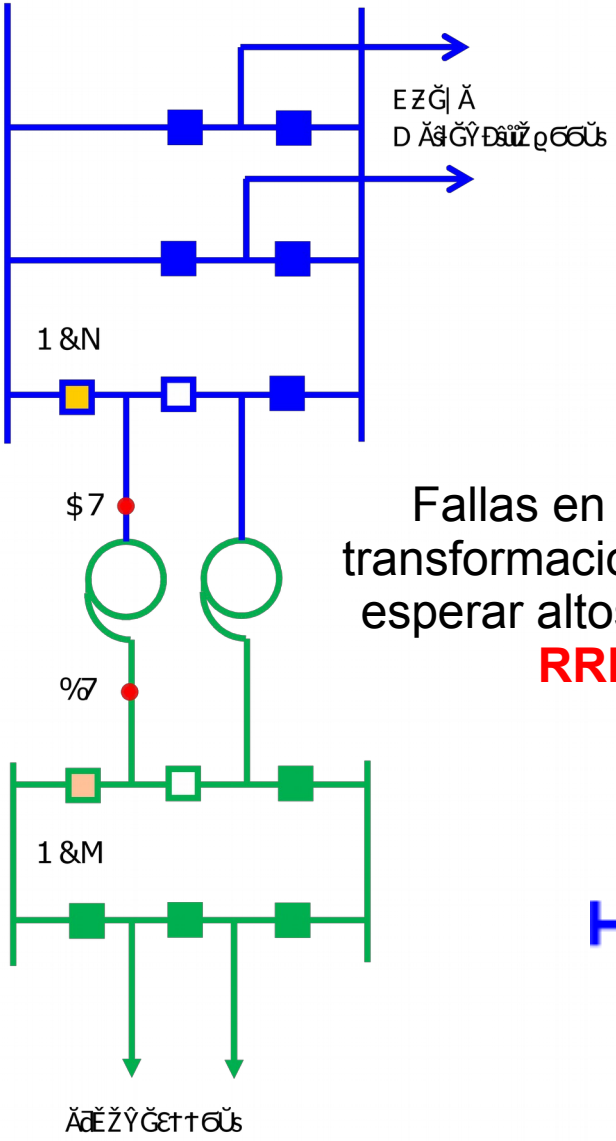
- Depende del tipo de falla (3F, 3FT, 2F, 2FT, 1F)
- Depende del instante de aplicación de la falla (barrer un periodo completo)

Despeje

- Depende del tiempo de despeje de la falla

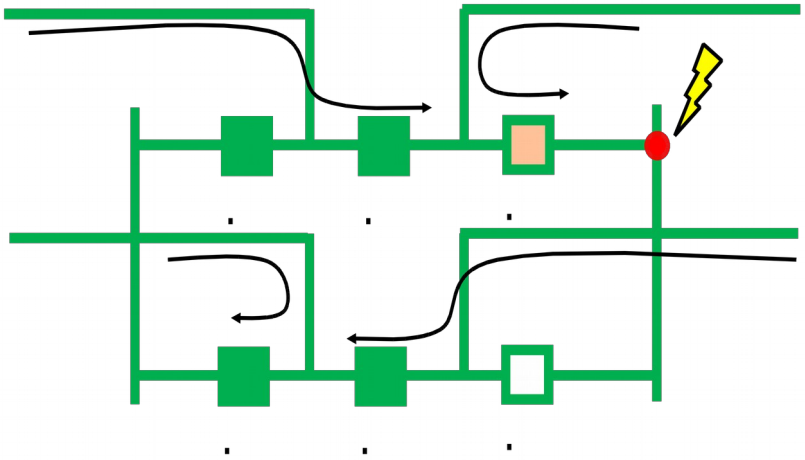
El análisis debe ser **ESTADISTICO**, considerando los tiempos de protecciones y apertura más cortos (peor caso) con sus desviaciones estocásticas.

¿Cómo se calcula el TRV?



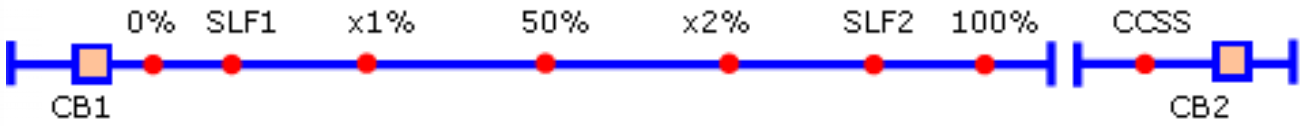
Fallas en paños de transformación (se deben esperar altos niveles de **RRRV**)

Selección de la configuración para fallas “terminales”



Se asume la **peor condición**, en la que el interruptor bajo análisis es el **último en abrir**.

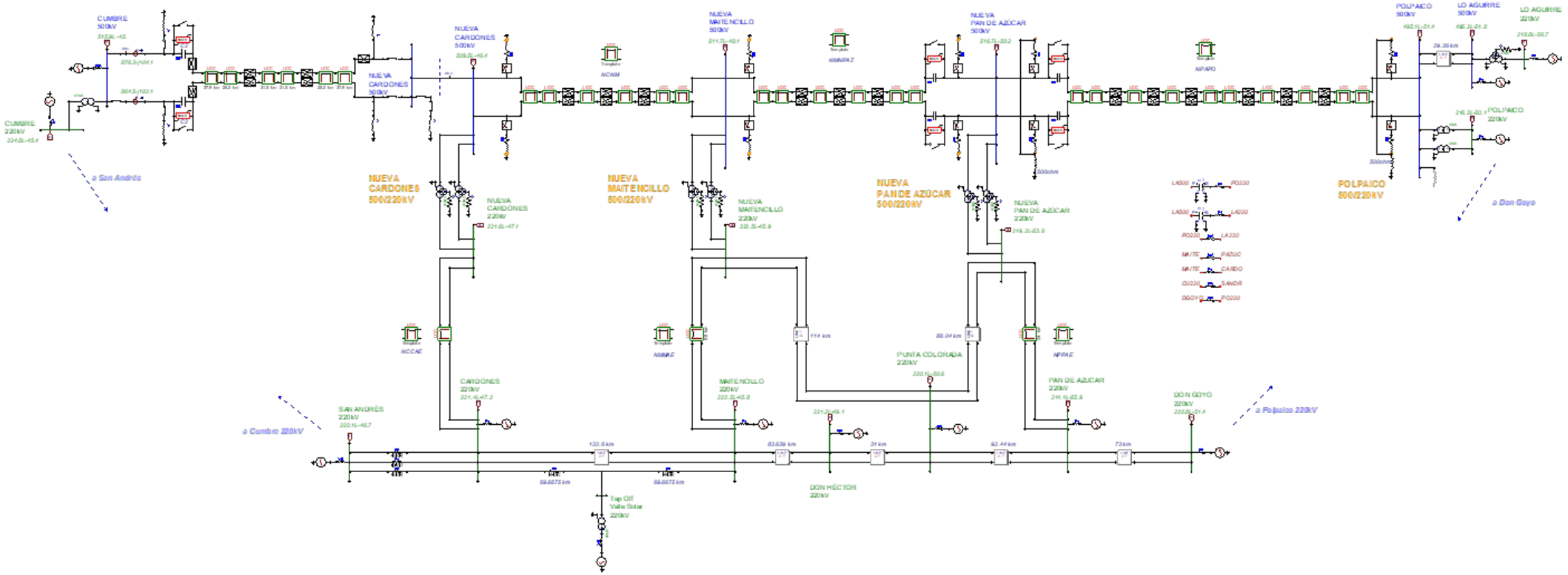
Selección de puntos de falla en líneas



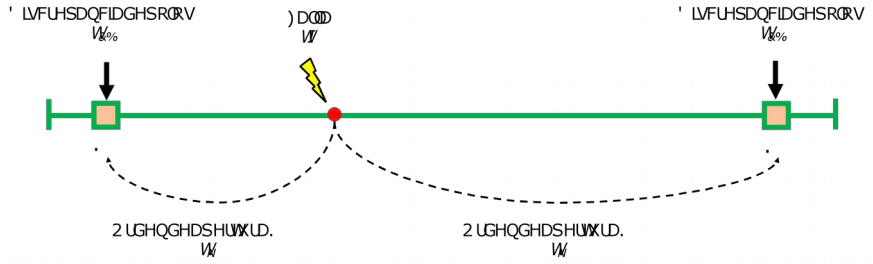
Los CCSS aumentan los niveles de TRV, es fundamental modelar correctamente los sistemas de protecciones

¿Cómo se calcula el TRV?

Modelado

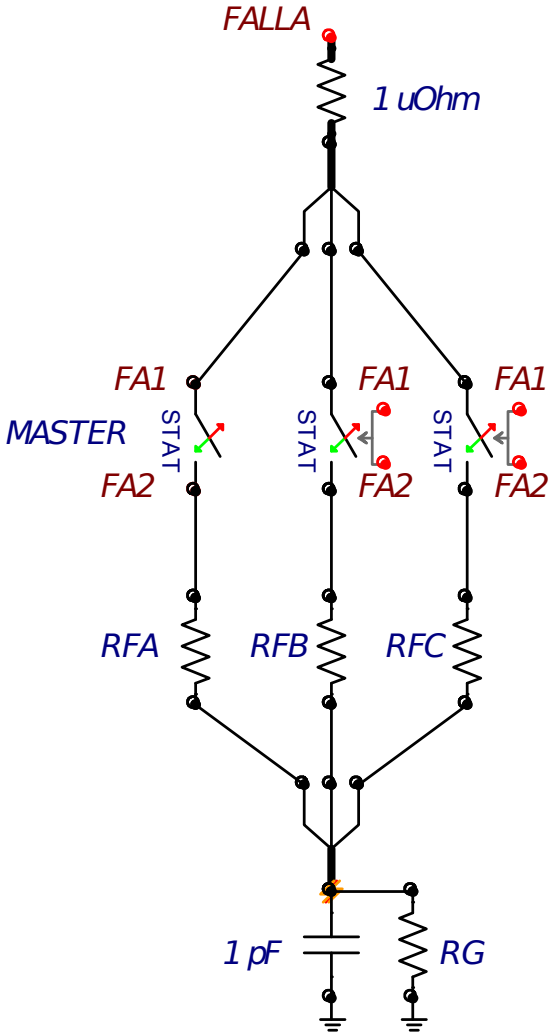


Para el análisis estadístico, se varía el instante de falla, y se calculan los tiempos de actuación del sistema de protecciones (más las posibles discrepancias)



¿Cómo se calcula el TRV?

Una forma de modelar los distintos tipos de falla



Configuraciones para modelar distintas fallas

1FT: RFA=0.1, RFB=RFC=10E6, RG=0.01

2FT: RFA=RFB=0.1, RFC=10E6, RG=0.01

3FT: RFA=RFB=RFC=0.1, RG=0.01

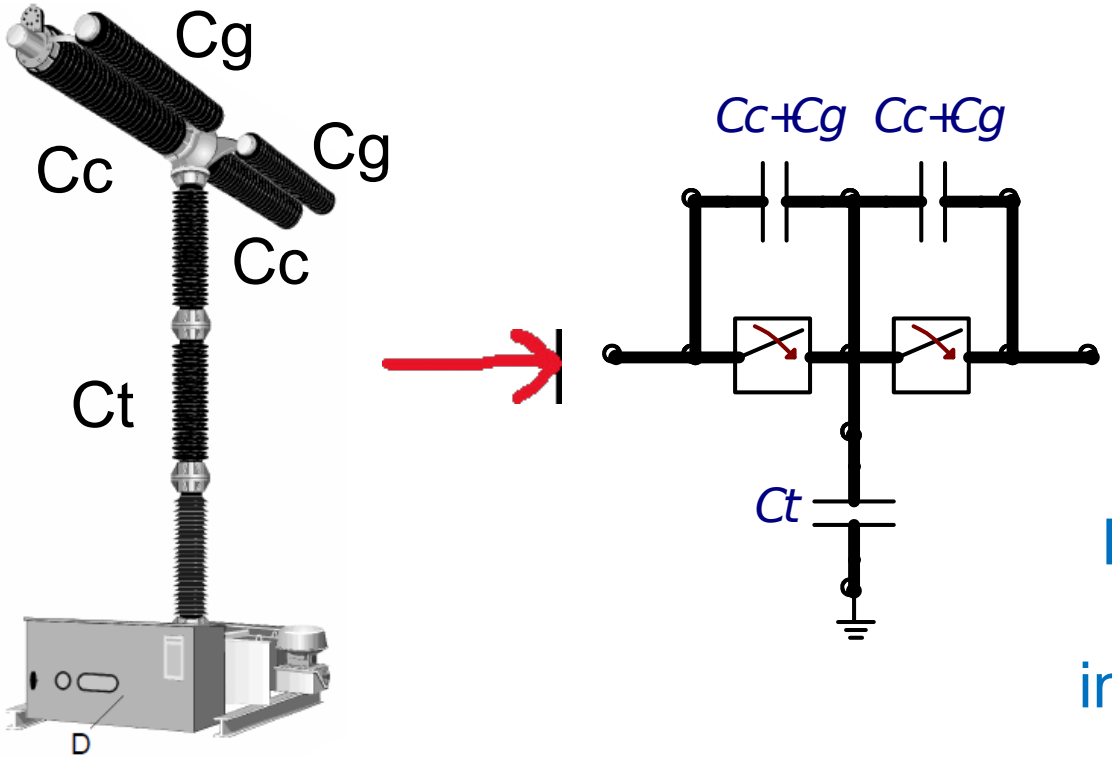
2F: RFA=RFB=0.1, RFC=RG=10E6

3F: RFA=RFB=RFC=0.1, RG=10E6

¿Cómo se calcula el TRV?

Modelado del interruptor

Representar en detalle las capacidades asociadas a las cámaras de extinción, de acuerdo con la mejor información disponible



Ct ~ 20 pF
Cc ~ 10 … 20 pF
Cg ~ 1500 pF

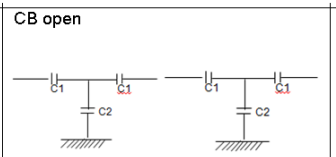
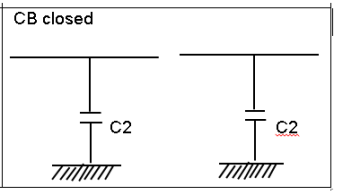
Estos valores deben ser confirmados con información del fabricante

¿Cómo se calcula el TRV?

Presentación típica de modelos de interruptores (800kV y 320kV)

Mechanical operating time

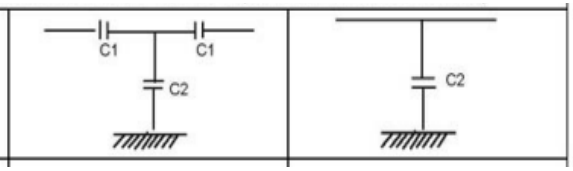
Opening time	25	ms
Closing time	93	ms
Pole span for main contact closing	+/- 5	ms

	CB open	CB closed
Four breaking chambers		

Number of chambers	4	C1	1230 pF
		C2	40 pF

Mechanical operating time

Opening time	24	ms
Closing time	100	ms
Pole span for main contact closing	+/- 5	ms

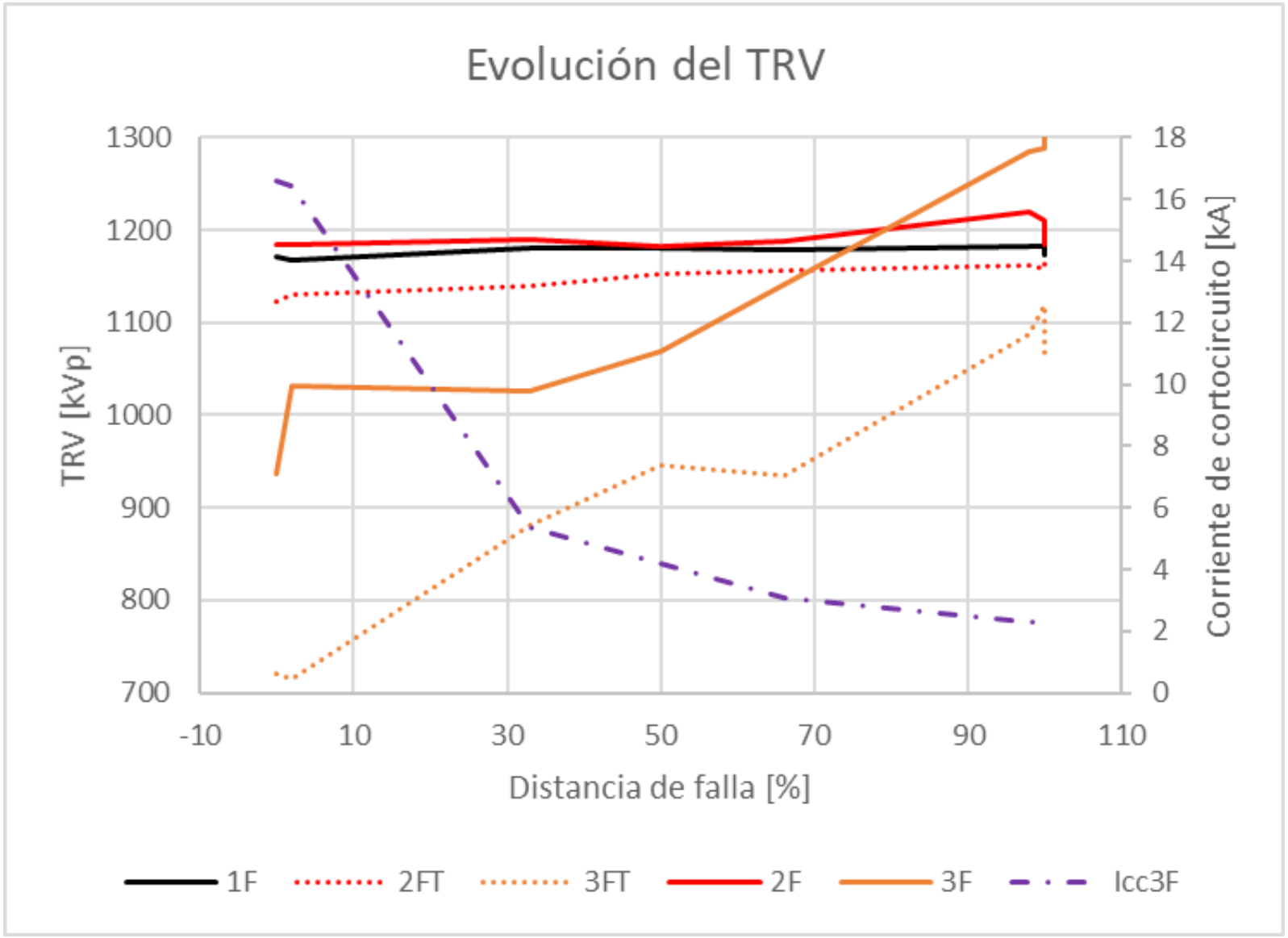
Two breaking chambers	

Number of chambers	2	C1	30 pF
		C2	40 pF

Chopping number (As per IEC TR 62271-306 table 29)

Chopping number λ ($AF^{-0.5}$)	12.2×10^4 or $2/3 \times 12.2 \times 10^4$ if RPH3 (per chamber)

¿Cómo se calcula el TRV?

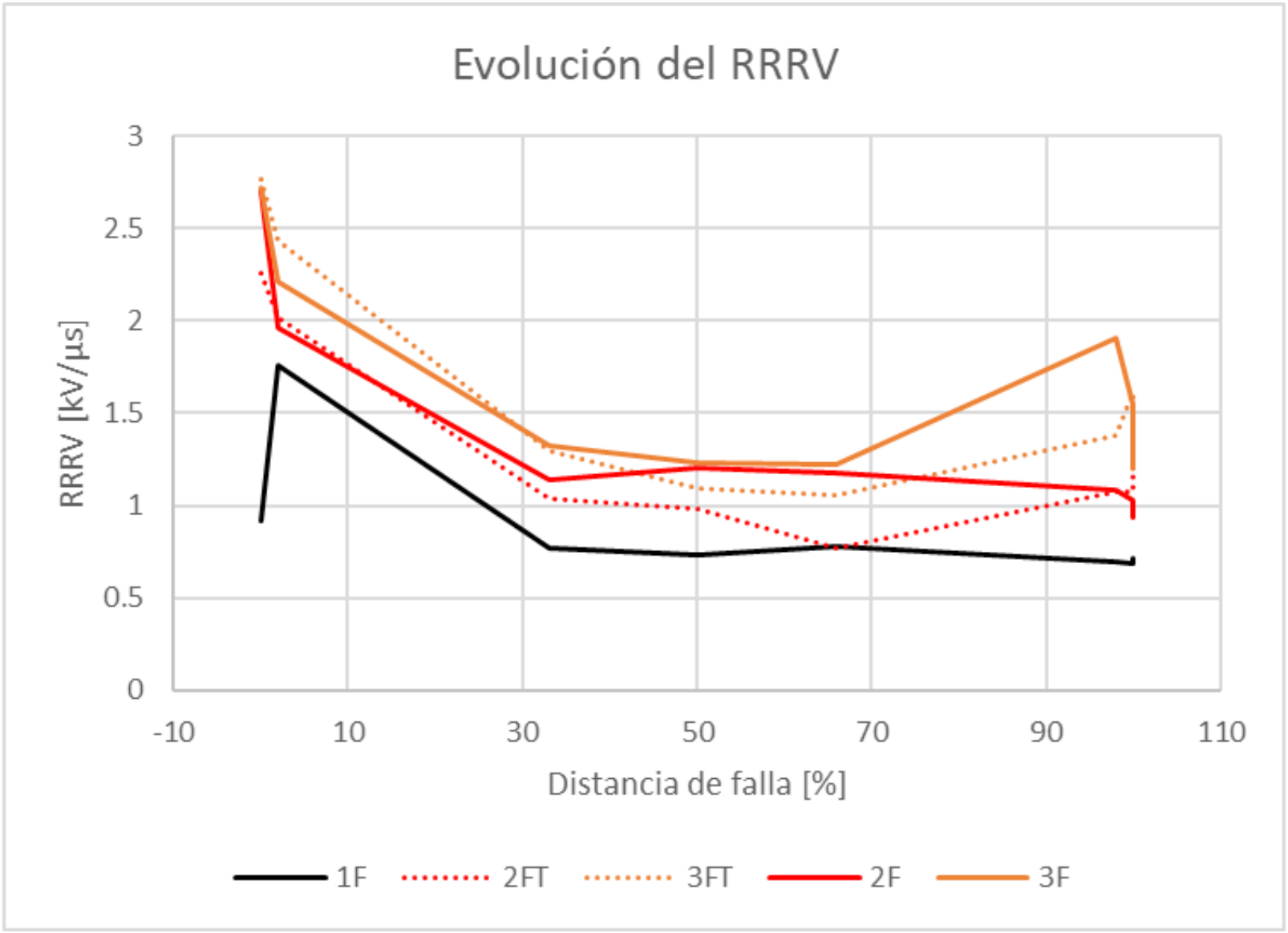


En la siguiente referencia:
IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 11, November 1984
"**ANALYSIS OF TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE (TRV) RATING CONCEPTS**"
C. L. Wagner, H. M. Smith

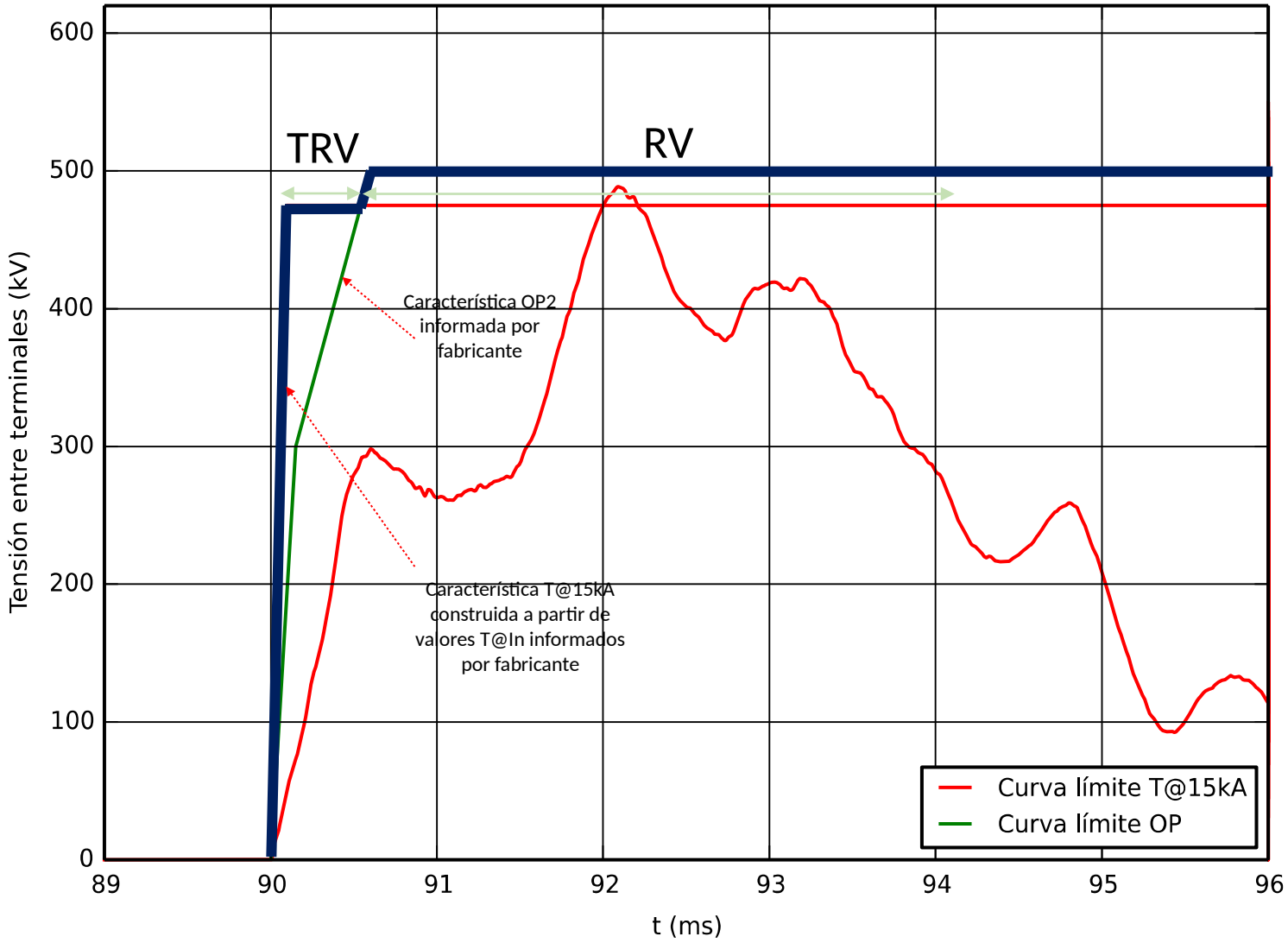
Se discute sobre la aplicación de fallas trifásicas aisladas para la selección las características de soportabilidad de interruptores.

Rated voltage kV	Percentage of fault types				
	3-phase fault		2-phase fault		single-phase fault
	un-grounded %	grounded %	un-grounded %	grounded %	%
CIGRE 33-02: faults on lines					
300 to 420	0.8	2.5	15.0	5.7	76.0
420	0.6	2.1	7.1	10.2	80.0
420 to 800	0.4	1.5	3.8	5.6	88.7
CIGRE 33-02: faults in substations					
300 to 420	0.0	1.3	0.9	2.1	95.7
420	1.3	10.1	3.0	6.7	78.9
420 to 800	0.6	6.8	7.2	16.3	69.1
Reference /1/: faults on lines					
500	4		2	3	91
Reference /2/: faults on lines					
245	0.4	2.7	3.8	11.9	80.4

¿Cómo se calcula el TRV?

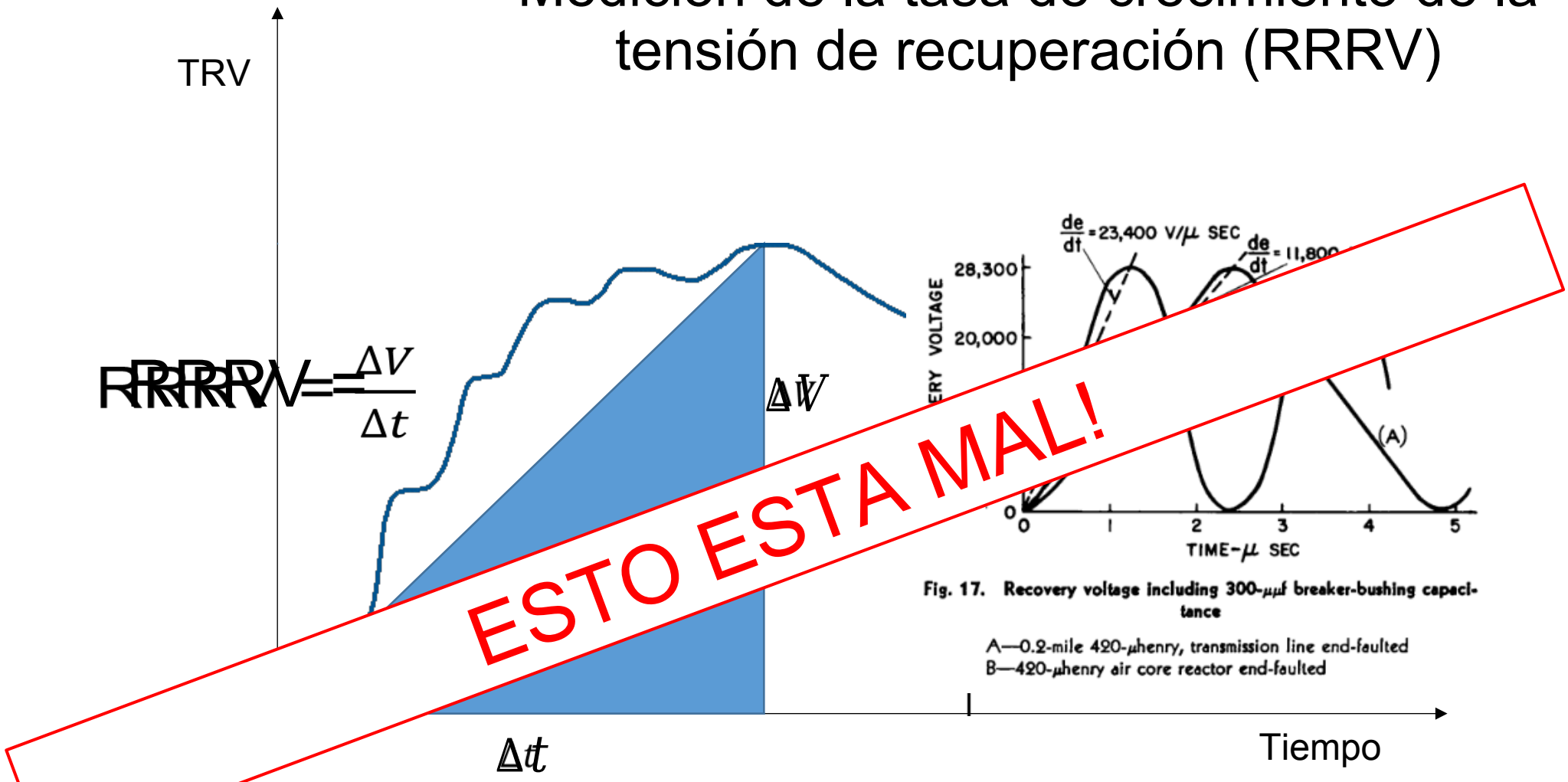


¿Cómo se calcula el TRV?



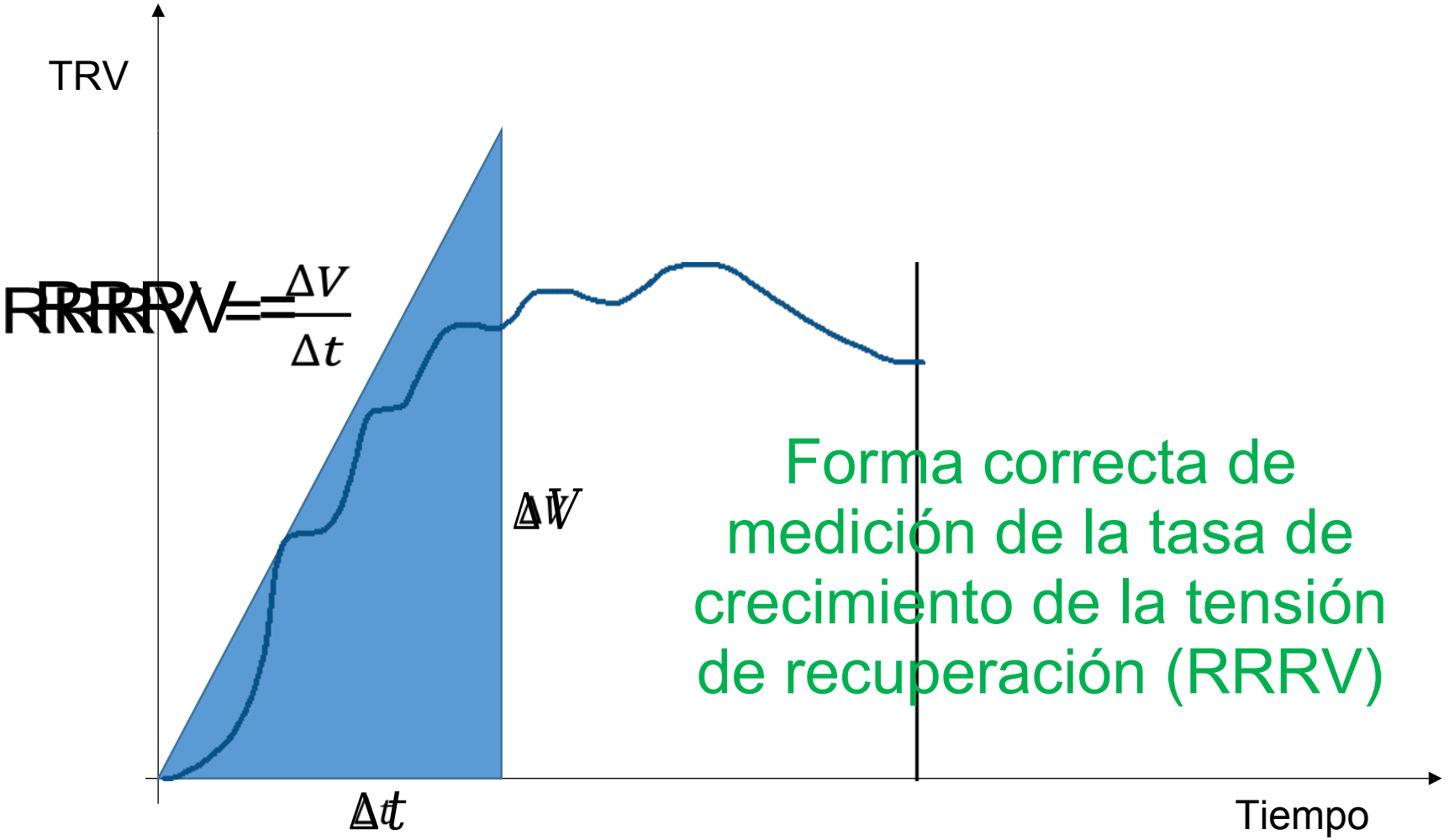
¿Cómo se calcula el RRRV?

Medición de la tasa de crecimiento de la tensión de recuperación (RRRV)



En referencias bibliográficas antiguas, se utilizaba la definición de RRRV presentada aquí. Actualmente esto se considera un error.

¿Cómo se calcula el RRRV?



Forma correcta de medición de la tasa de crecimiento de la tensión de recuperación (RRRV)

¿Que hacer cuando el TRV del Sistema supera el nivel tolerado por un equipo?

Acciones de mitigación

4.5 Applications where breaker capability is exceeded

When the inherent TRV of the system exceeds standards, the user has three main alternatives outside of reconfiguring the system, as follows:

a) A circuit breaker with a higher voltage rating, or a modified circuit breaker should be used. In special cases where the terminal fault TRV capability at 60% or 100% of short-circuit capability is higher than rated, a circuit breaker with a higher interrupting capability can be used (see Figure 25).

b) Capacitance should be added to the circuit-breaker terminal(s) to reduce the rate of rise of the TRV.

c) The manufacturer should be consulted concerning the application.

As long as a circuit breaker is applied within its symmetrical current and voltage ratings, one of the preceding methods should result in a satisfactory application.

IEEE Std C37.011-2011

Acciones de mitigación

RRRV

- Verificar que los elementos capacitivos están correctamente modelados
- Aumentar la capacidad en paralelo (TTPPCC, grading caps también)

TRV

- Utilizar un interruptor con mayor capacidad de ruptura
- Bajar la potencia de cortocircuito (equivalente al ítem anterior)
- Utilizar varistores en paralelo con las cámaras de extinción del arco (no tenemos antecedentes de esto)

IEEE Std C62.22-1997

Acciones de mitigación

5.17 Protection of circuit breakers—TRV control

Metal-oxide surge arresters can be used to limit the magnitude of TRV across circuit breakers to acceptable values. This may provide a more economical solution than increasing the number of interrupting chambers to withstand the higher TRV.

Surge arresters electrically connected across the circuit breakers are the most direct means of controlling TRV, as the amplitude of the TRV can not exceed the protective level of the surge arresters. If the surge arresters are mounted across the interrupters of multi-chambered circuit breakers, caution should be exercised when interrupting fault currents. A reignition of a single series chamber can result in fault currents flowing through the surge arrester across the non-reignited chamber. Surge arresters across the open circuit breakers during reclosing should be able to withstand the difference of the power frequency out-of-phase overvoltages on each side of the open circuit breakers for the time required for the reclosing.

"Device to Limit Transient Recovery Voltage", Azevêdo, Neves, Fernandes Jr., Souza, Soares, Published in: Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA), 2010 IEEE/PES

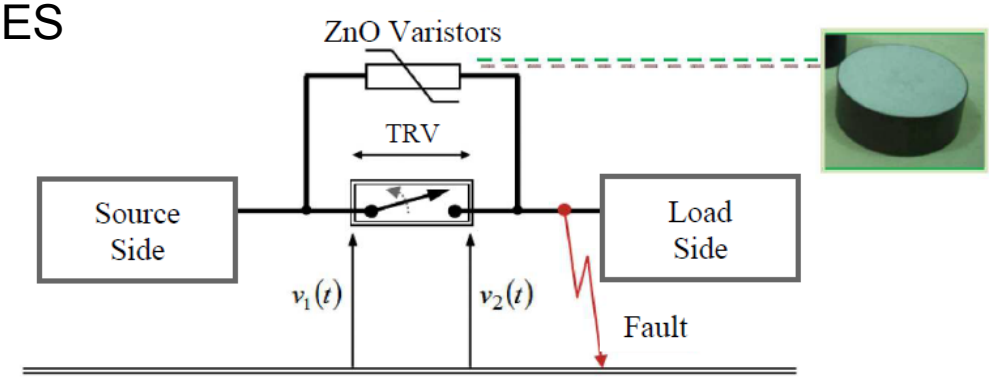


Fig. 1. ZnO device to limit TRV magnitude.

Acciones de mitigación

Transient Recovery Voltage (TRV) and Rate of Rise of Recovery Voltage (RRRV) of Line Circuit Breakers in Over Compensated Transmission Lines, Mark McVey, CIGRE Grid Of The Future Symposium 2017

As the grid of the future is becoming more complex, and many countries have issues with adding extra overhead transmission lines, a solution to add series compensation to the existing lines has become a necessity. Series Capacitors allow Transmission System Owner/Operator to increase the amount of power transmitted without adding additional lines. The series capacitors also allows the system to be more stable.

Series Compensation however does have certain negative effects on the transmission line where it does increase the Transient Recovery Voltage (TRV) and also the Rate of Rise of Recovery Voltage (RRRV).

Depending on the level of compensation selected Series capacitors increase the impact of TRV on Circuit Breakers. Over compensation of lines while needed, can make TRV impact challenging.

Certain mitigation techniques can be applied to overcome these issues. This paper deals with TRV, RRRV and the results of a system study on this phenomenon.

CIGRE GOTF 2017

Complejidades en el diseño y operación de los equipos de maniobra

ESTUDIOS ELECTRICOS

Complejidades

Estimación de los requerimientos futuros

Incertidumbre sobre el crecimiento ⇨ sobre-estimación ⇨ costo!

Mitigación de riesgos

Diferentes alternativas de reducción de riesgos (operativas, funcionales)

Cambios tecnológicos

Desarrollo de nuevos mecanismos de extinción del arco, mejores condiciones dieléctricas, etc.

¿Preguntas?

ESTUDIOS ELECTRICOS