



SIEMENS
Ingenuity for life

TRV

www.siemens.com/energy/facts

INDICE

- 1.- INTRODUCCIÓN A LOS PROCESOS TRANSITORIOS
- 2.- METODOLOGIAS DE SOLUCIÓN
- 3 .- CIRCUITOS RLC SERIE
- 4.- CIRCUITOS RLC PARALELO
- 5.- REPORTE DE PRUEBAS DE INTERRUPTOR 245 KV
- 6.- MEDIDAS DE MITIGACIÓN

EN UN REGIMEN TRANSITORIO TODAS LAS MAGNITUDES, TALES COMO CORRIENTES, VOLTAGES, POTENCIAS Y ENERGIA CAMBIAN EN EL TIEMPO.

LA CAUSA DE LOS TRANSIENTES ES CUALQUIER MODIFICACIÓN EN LOS PARÁMETROS DEL CIRCUITO O SU CONFIGURACIÓN, QUE PUEDEN SER EL RESULTADO SWITCHEO DE INTERRUPTRES, CORTO CIRCUITOS, CIRCUITOS ABIERTOS, CAMBIO EN LA OPERACIÓN DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN etc.

LOS CAMBIOS DE CORRIENTES Y VOLTAJES NO SON INSTANTÁNEOS PORQUE EN EL PROCESO TRANSITORIO SE PRODUCE INTERCAMBIO DE ENERGIA ALMACENADA EN EL CAMPO MAGNETICO DE LAS INDUCTANCIAS

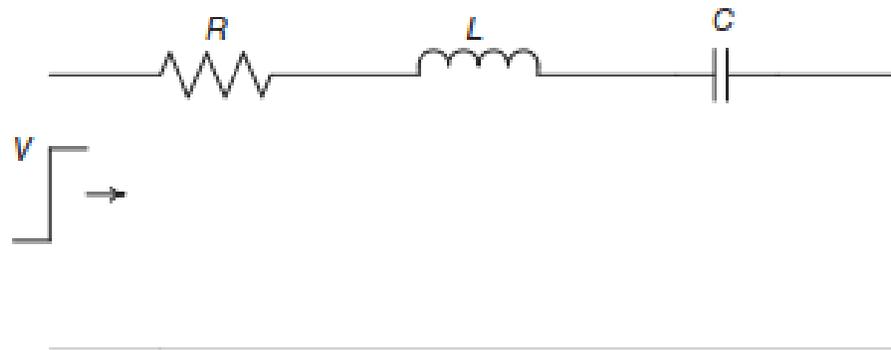
$$W_L = \frac{1}{2} \Phi i = \frac{1}{2} L i^2$$

Y EN EL CAMPO ELECTRICO DE LAS CAPACITANCIAS DE LA RED

$$W_c = \frac{1}{2} qv = \frac{1}{2} C v^2$$

CIRCUITO RLC SERIE

SE UTILIZA PARA CALCULAR LAS CORRIENTES DE INRUSH ASOCIADAS CON UN CAPACITOR O CAPACITORES O BACK TO BACK, ASÍ COMO PARA CORRIENTES DE RE IGNICIÓN Y RE STRIKE



RESOLUCIÓN MEDIANTE

- 1.- ECUACIONES DIFERENCIALES
- 2.- TRANSFORMADAS DE LA PLACE
- 3.- ESPACIOS DE ESTADO

$$\frac{d^2 i(t)}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{LC} i(t) = 0.$$

$$i(t) = \frac{V}{L\sqrt{\alpha^2 - \omega^2}} e^{-\alpha t} \sinh \sqrt{\alpha^2 - \omega^2} t. \quad \alpha^2 > \omega^2$$

$$i(t) = \frac{V}{L} t e^{-\alpha t}. \quad \alpha^2 = \omega^2$$

$$i(t) = \frac{V}{L\sqrt{\omega^2 - \alpha^2}} e^{-\alpha t} \sin \sqrt{\omega^2 - \alpha^2} t. \quad \alpha^2 < \omega^2$$

LA SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL ES:

$$Y = Y_p + Y_h = C_1 e^{-m_1 t} + C_2 e^{-m_2 t} + Y_p$$

$$m = \frac{-R/L \pm \sqrt{(R/L)^2 - 4/(LC)}}{2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega^2}$$

$$m = -z\omega_n \pm \omega_n \sqrt{z^2 - 1}$$

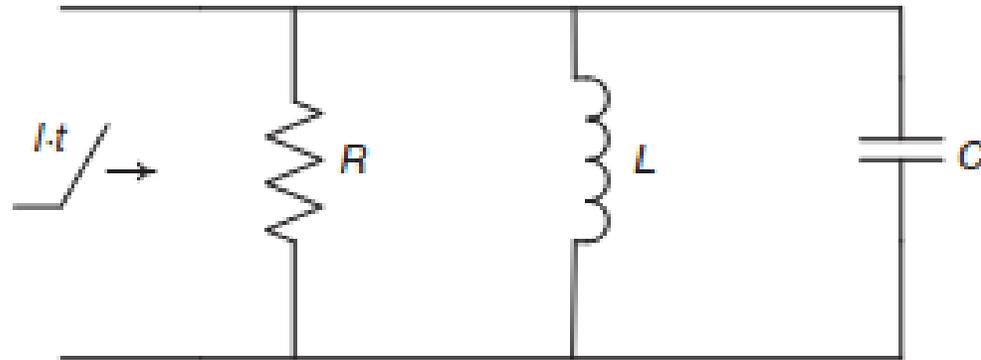
$$z = \frac{R}{2\sqrt{L/C}} = \frac{R}{R_c}$$

ω_n : frecuencia Natural no amortiguada

z : Factor de amortiguamiento relativo = R/R_c

CIRCUITO RLC PARALELO

SE UTILIZA PARA CALCULAR EL TRV DE LOS INTERRUPTORES



$$\frac{d^2v(t)}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{dv(t)}{dt} + \frac{1}{LC} v(t) = 0.$$

$$v(t)_{pu} = 1 - e^{-\alpha t} \left(\cosh \beta t + \frac{\alpha}{\beta} \sinh \beta t \right), \quad \alpha^2 > \omega^2$$

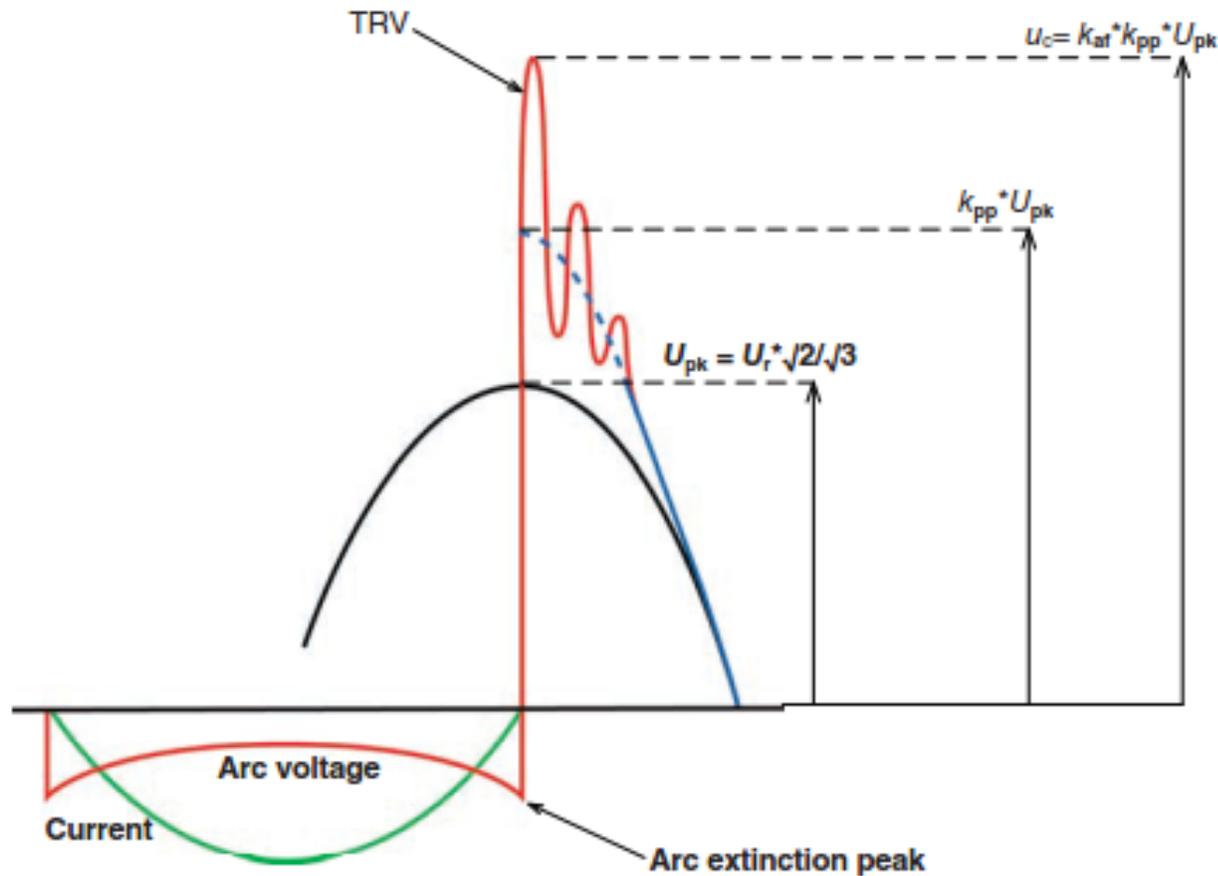
$$v(t)_{pu} = 1 - e^{-\alpha t} (1 + \alpha t), \quad \alpha^2 = \omega^2$$

$$v(t)_{pu} = 1 - e^{-\alpha t} \left(\cos \beta t + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta t \right), \quad \alpha^2 < \omega^2$$

EL AMORTIGUAMIENTO CRITICO ES:

$$z = \frac{\sqrt{L/C}}{2R} = \frac{R_C}{R}$$

CALCULO DEL TRV



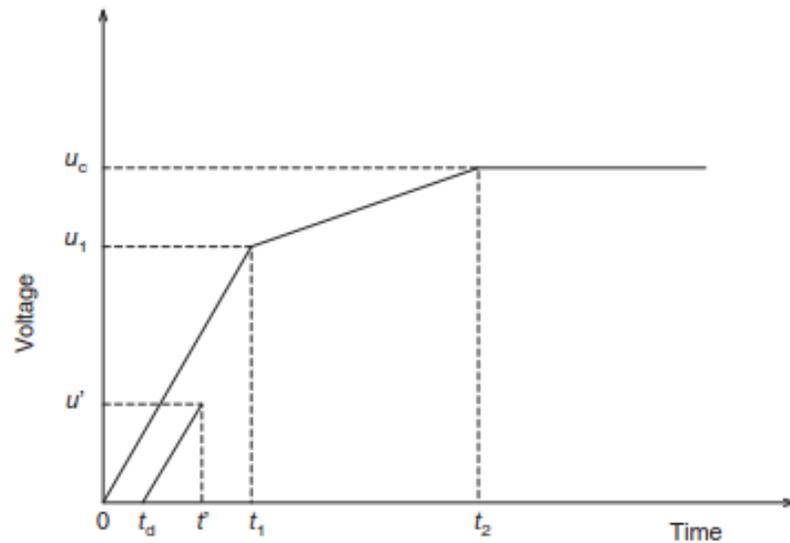
$$TRV = u_c = k_{af} k_{pp} \frac{U_r \sqrt{2}}{3}$$

$$TRV_{T100} = 1.4 \times 1.3 \frac{245 \sqrt{2}}{3} = 364 \text{ kV}$$

$$TRV_{T10} = 1.5 \times 0.9 \times 1.9 \frac{245 \sqrt{2}}{3} = 459 \text{ kV}$$

REPRESENTACIÓN DEL TRV CON DOS Y CUATRO PARAMETROS

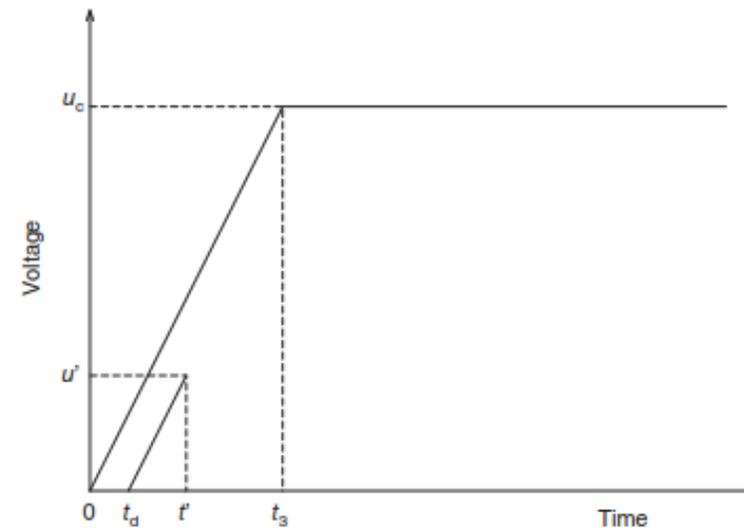
T100
T60



$$t_1 = \frac{u_1}{RRV} = \frac{195}{2} = 98\mu s$$

$$t_2 = 4 \times 98 = 392$$

T30
T10



$$t_3 = \frac{u_c}{RRV} = \frac{459}{7} = 66\mu s$$

Rated Voltage, Ur(kV)	Test Duty	First Pole to Clear factor, Kpp (pu)	Amplitude Factor, Kaf (pu)	First Reference Voltage u1(kV)	Time t1, (μs)	TRV Peak value uc (kV)	Time t2 or t3 (μs)	Time delay td (μs)	Voltage u' (kV)	Time t' (μs)	Rate of Rise u1/t1, uc/t3 (kV/μs)
245	T100	1.3	1.4	195	98	364	392	2 (27)	98	51 (76)	2
	T60	1.3	1.5	195	65	390	390	2-20	98	36-52	3
	T30	1.3	1.54			400	80	12	133	39	5
	T10	1.3	0.9x1.7			459	60	10	153	32	7
	OP1-OP2	2	1.25	300	196	500	392-784	2- 20	150	99-117	1.54

Rated Voltage, Ur(kV)	Test Duty	First Pole to Clear factor, Kpp (pu)	Amplitude Factor, Kaf (pu)	First Reference Voltage u1(kV)	Time t1, (μs)	TRV Peak value uc (kV)	Time t2 or t3 (μs)	Time delay td (μs)	Voltage u' (kV)	Time t' (μs)	Rate of Rise u1/t1, uc/t3 (kV/μs)
550 kV	T100	1.3	1.4	438	219	817	876	2- 61	219	111 (171)	2
	T60	1.3	1.5	438	146	876	876	2-44	219	75 - 117	3
	T30	1.3	1.54			899	180	27	300	87	5
	T10	1.5	0.9x1.7			1031	147	22	344	71	7
	OP1-OP2	2	1.25	674	438	1123	876-1752	2- 44	337	221 - 263	1.54

VALORES DE TRV SOPORTADOS POR EQUIPOS SIEMENS

Valores de TRV Soportados por Equipos Siemens					
3AP1 FI 245KV					
Type test	Type Test acc. IEC 62271-100	TRV max (kV)	RRRV (kV/μs)	Kpp	Icc Falla max (kA)
KEMA 779-00	OP2	500	1.54	1.5	12.5
KEMA 765-99	T10	459	7	2	5
IEC 62271-100	T100	364	2	1.3	
IEC 62271-101	T10	459	7	1.3	

Valores de TRV Soportados por Equipos Siemens					
3AP2 FI 550KV					
Type test	Type Test acc. IEC 62271-100	TRV max (kV)	RRRV (kV/μs)	Kpp	Icc Falla max (kA)
Pehla 06046 Bs	OP2	1403	1.54	2.5	16.2
IEC 62271-100		817	2	1.3	

PROYECTO KIMAL – CHANGOS, ESCENARIOS DE SIMULACION

Caso 1 – Año 2020, Mínima potencia de cortocircuito: escenario de demanda baja e hidrología seca con alto despacho de centrales ERNC

Caso 2 – Año 2030. Máxima potencia de cortocircuito: escenario de demanda alta e hidrología seca con nulo despacho de centrales ERNC

- ✓ Simulaciones de fallas terminales, fallas f1,2f,2f-t,3t,3f-t
- ✓ Simulaciones de fallas kilométricas, falla 1f
- ✓ Simulaciones long line, falla 1f
- ✓ Se realizaron 200 simulaciones por cada falla de corto circuito para los interruptores involucrados en el Proyecto.
- ✓ Se determinaron los valores máximos de TRV (kV) y RRRV (kV/us) con la metodología descrita por el Consultor

S.E.	Icc nom (kA)	Tipo falla simulada	TRV		RRRV	
			TRV peak (kV)	Icc falla %	RRRV (kV/us)	Icc falla %
Changos 500kV	50	SLF2 3f	1331	31.5	3.32	29
Kimal 500kV	50	SLF2 3f	1429	6.4	2.26	5
Kimal 220kV	50	Ter 3f	543	16.5	5.99	16
Changos 220kV	50	Ter 3f	541	23.4	7.84	13

LOS VALORES DE TRV Y RRV OCURREN PARA FALLAS 3F PARA EL AÑO 2030

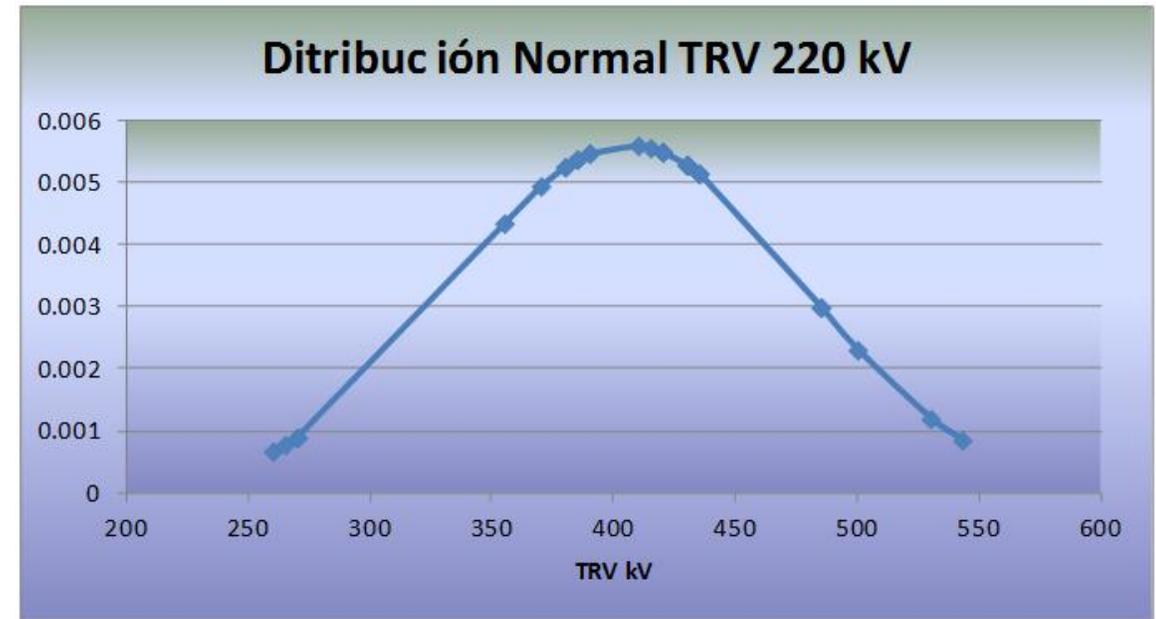
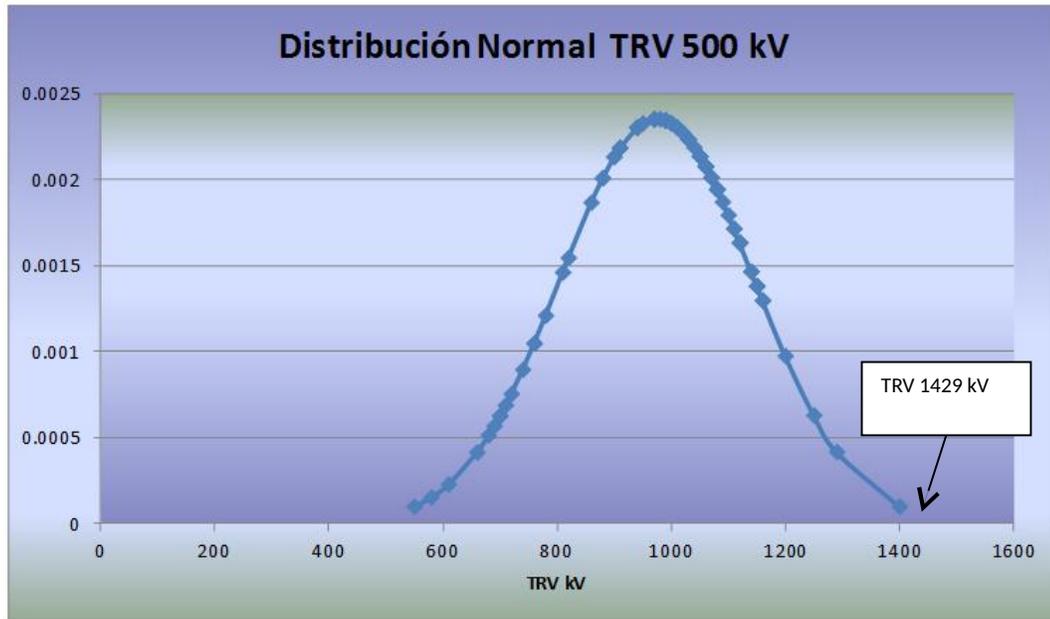
SLF2: Short Line Fault

TER 3F: Terminal Fault

PROYECTO KIMAL - CHANGOS

S.E.	TRV Peak	TRV Equipo	Δ Tensión	Δ Porcentaje	DS
	(kV) Estudio	SIEMENS	kV	%	kV
Changos 500kV	1331	1403	72	5.41%	
Kimal 500kV	1429	1403	-26	-1.82%	169.3
Kimal 220kV	543	500	-43	-7.92%	70.89
Changos 220kV	541	500	-41	-7.58%	

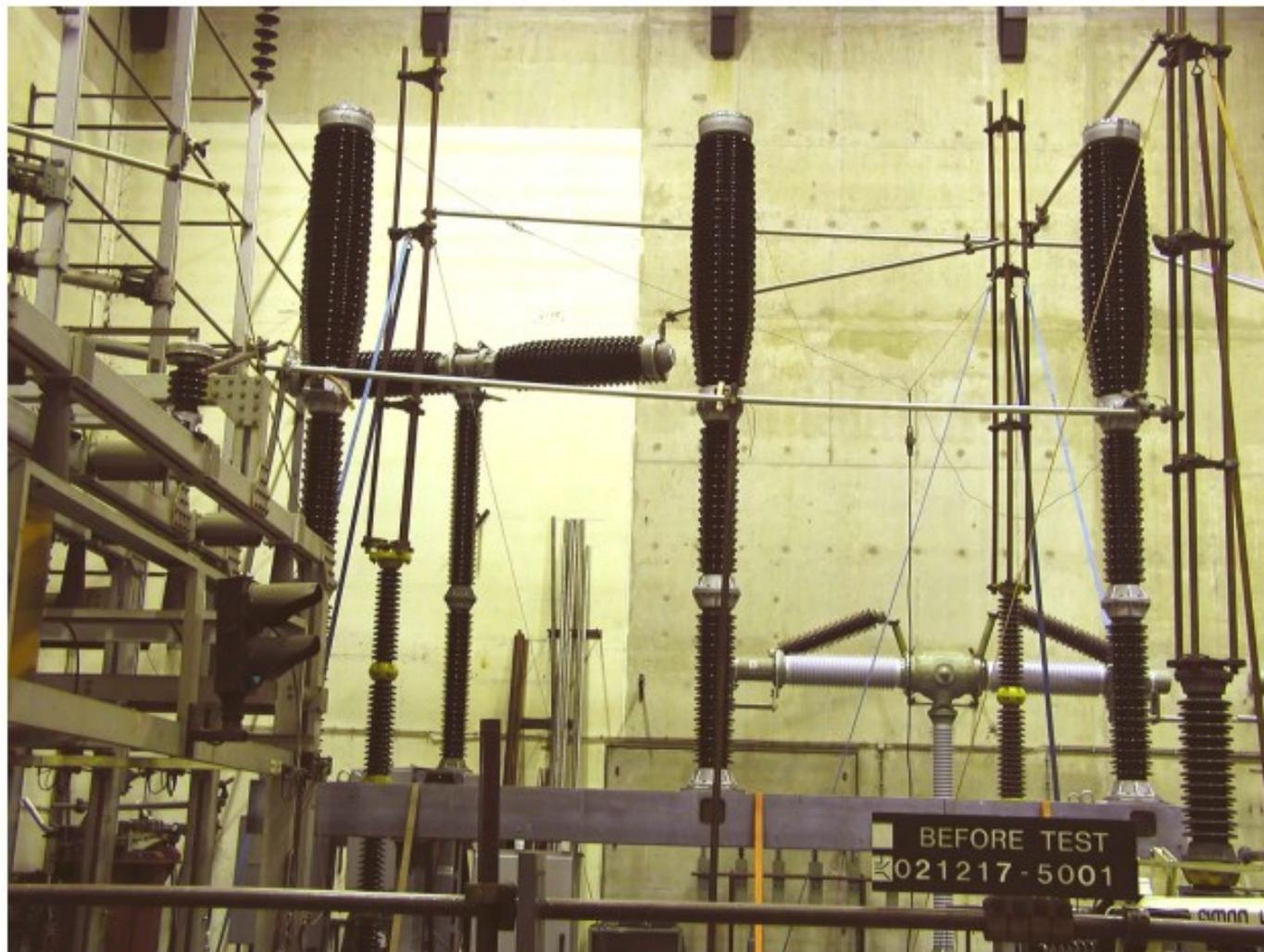
ANALISIS ESTADISTICO



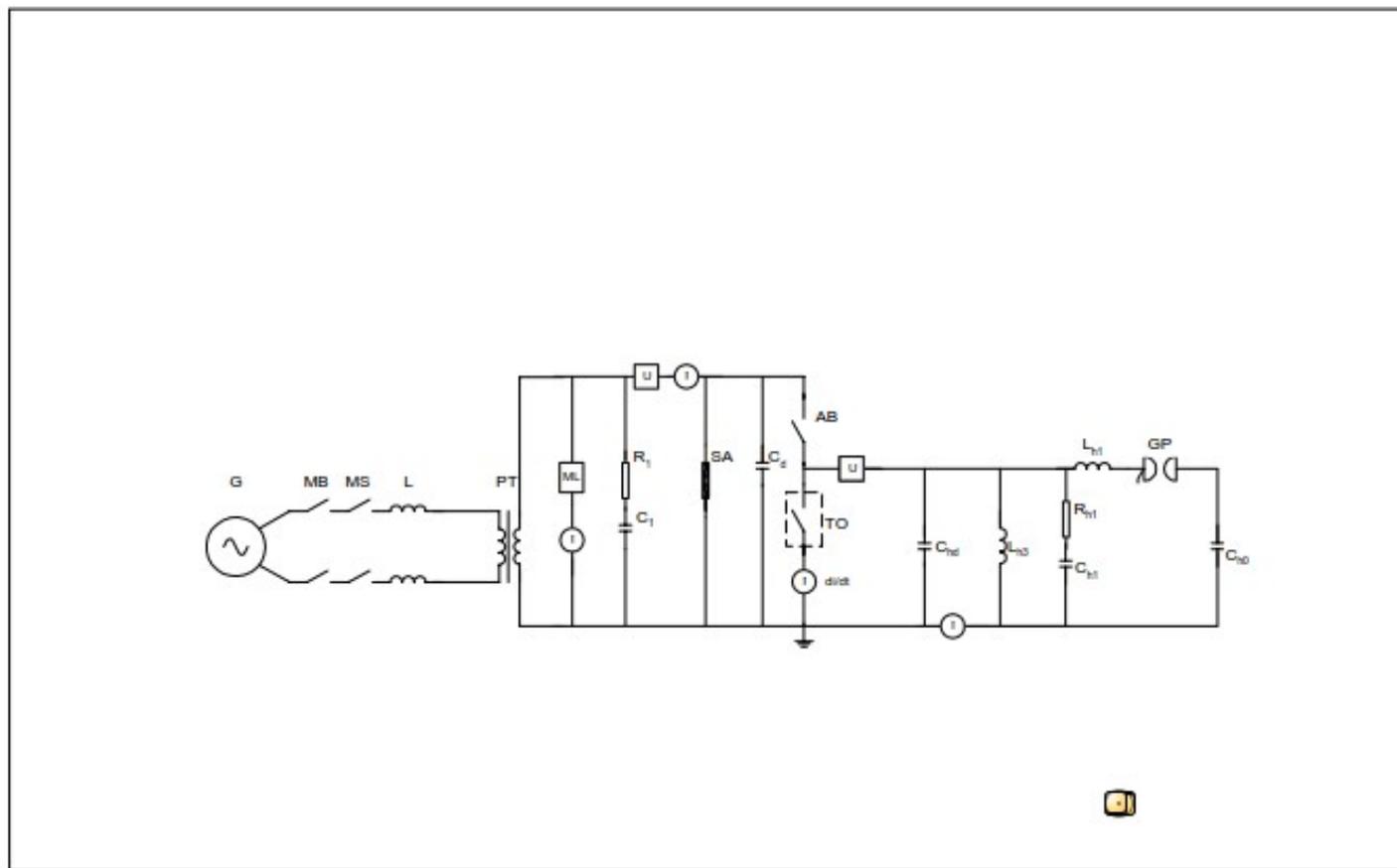
PROYECTO KIMAL - CHANGOS

- Los mayores requerimientos de TRV y RRRV para los interruptores de 500 y 220 KV ocurren para fallas trifásicas (3f), tanto en la SE Kimal como en Changos
- La probabilidad de ocurrencia de las fallas 3f de acuerdo al Estudio, es prácticamente nula, hecho que coincide con las estadísticas de fallas publicadas por el CEN en su página web, en las cuales se observa un valor de cero (0) ocurrencias para el período 2007-2012.
- En este sentido los interruptores SIEMENS 3AP2 F1 de 500 Kv y 3AP1 F1 de 220 kV soportarían las exigencias de TRV del sistema

RESULTADOS DE PRUEBAS 245 KV



CIRCUITO DE PRUEBA T30



G = Generator	L = Reactor	U = Voltage Measurement to earth	SA = Surge Arrester
MB = Master Breaker	TO = Test Object	I = Current Measurement	AB = Auxilliary Breaker
MS = Make Switch	R = Resistor	AL = Artificial line	GP = Gap
PT = Power Transformer	C = Capacitor	ML = Multi-loop device	VS = Voltage Source

320-02

Test circuit for T30 (pole B)

Page 20

TEST-CIRCUIT S07



PARAMETROS DEL CIRCUITO DE PRUEBA

Supply		
Power	MVA	2400
Frequency	Hz	50
Phase(s)		1
Voltage	kV	45
Current	kA	50
Impedance	Ω	0,96
Powerfactor		< 0,1
Neutral		not earthed

Injection circuit		
C ₁₀	μ F	6,4
U _{h0}	kVd.c.	249
L ₁₁	mH	10,75
f _n	Hz	630
R _{n1}	Ω	91
C _{n1}	μ F	0,3
C _{h1}	nF	21
R _{1c}	Ω	91
C _{1c}	nF	35
R ₁₂	Ω	55,5
C ₁₂	μ F	0,9
L ₁₂	mH	6,3
R _{1p}	k Ω	-
L ₁₃	mH	1200
f _{1v}	Hz	50

Prospective TRV of supply		
U _{recovery}	kVa.c.	141,5
u ₁	kV	150
u _c	kV	251,5
t ₂	μ s	< 2
t ₁	μ s	75
t ₂	μ s	300
t ₃	μ s	-
Rate of rise	kV/ μ s	2,0

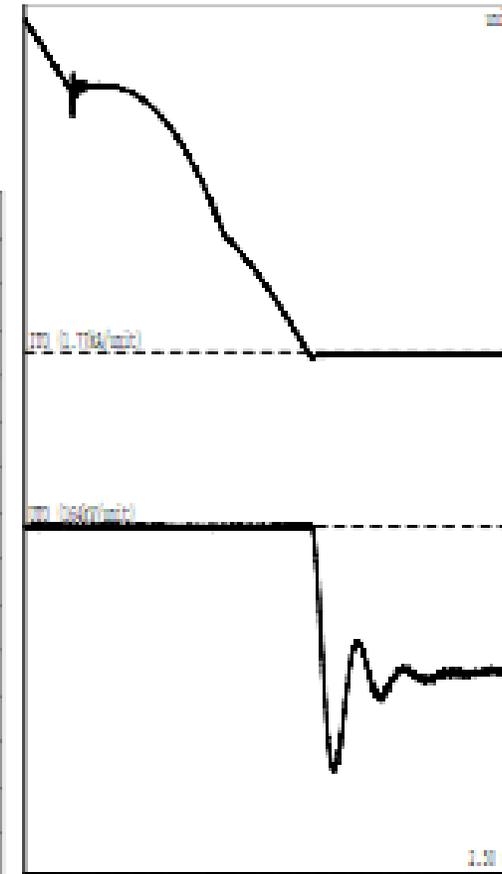
Load	
Short-circuit point	earthed

TRV control elements added (supply)		
C ₁	μ F	1,27
R ₁ (In parallel)	Ω	-
R ₁ (In series)	Ω	45
L ₁	mH	-
C _d	nF	7,5
Neutral		earthed

RESULTADOS DE PRUEBA T30

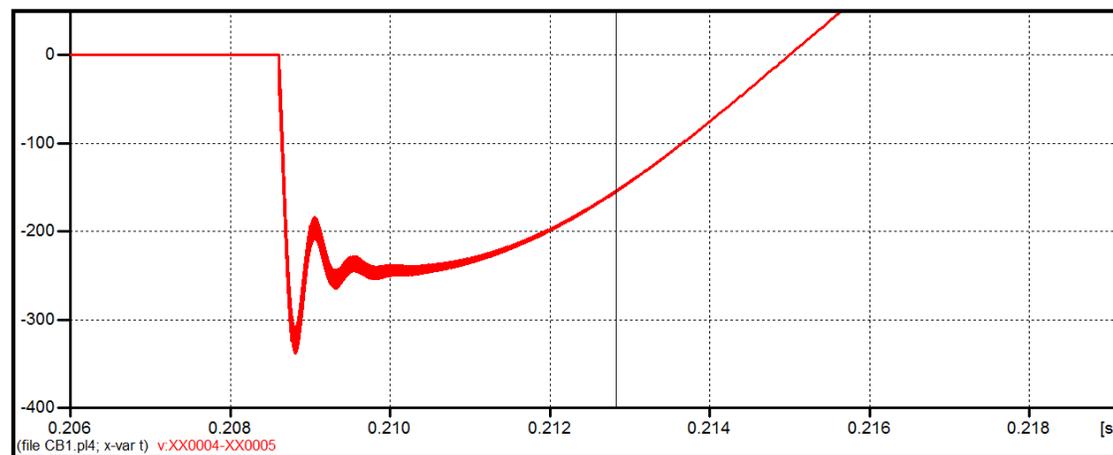
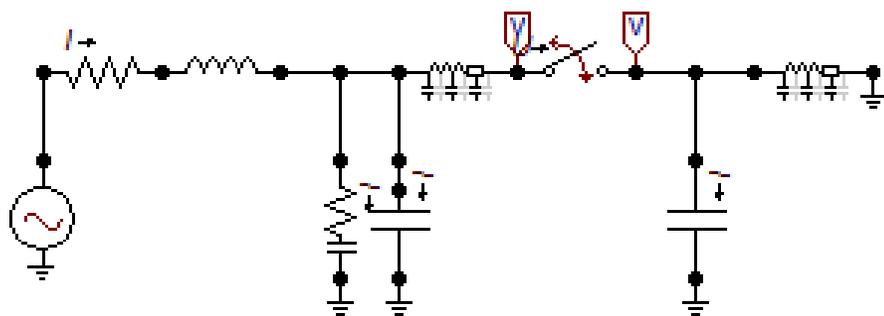
TEST NUMBER: 021217-3010

Time Interval since previous test	min	5
Operation		O ₂
Phase		B
Applied voltage, current source, phase value	kV	45,0
Applied voltage, voltage source	kV dc	305
Breaking current, symmetrical, phase value	kA	15,1
di/dt at last zero	A/μs	6,70
DC component	%	< 20
TRV, peak	kV	-462
Recovery voltage, phase value	kV	-200
Arc duration	ms	11,2
Opening time	ms	40,0
Break time	ms	51,2
t _b	μs	435
Current final loop, peak	kA	19,5



Voltage opening coil	57,5 Vd.c.	Gas pressure at 20 °C	6,0 bar(abs)
		Operating pressure	- bar(abs)

MODELO EN ATP



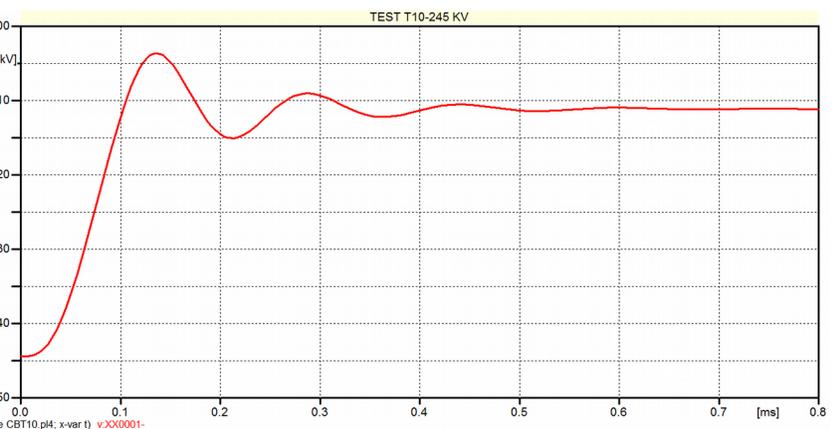
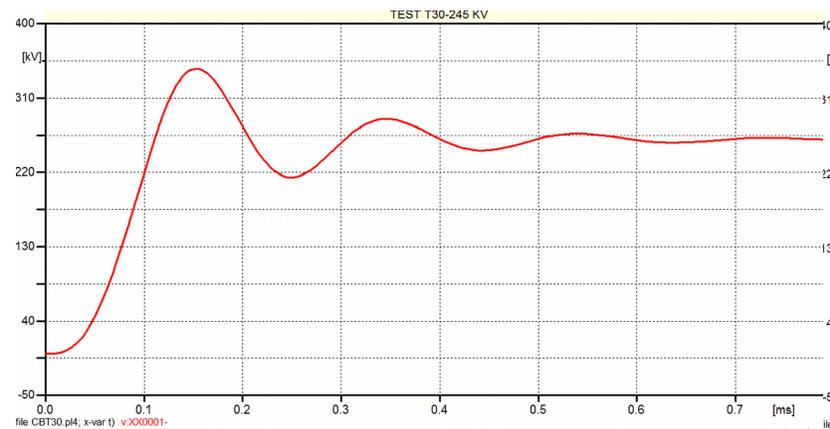
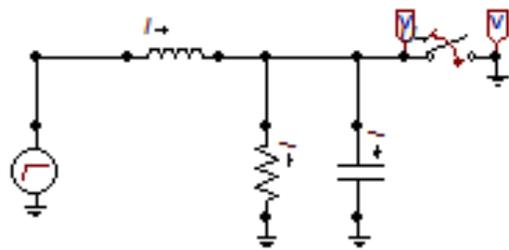
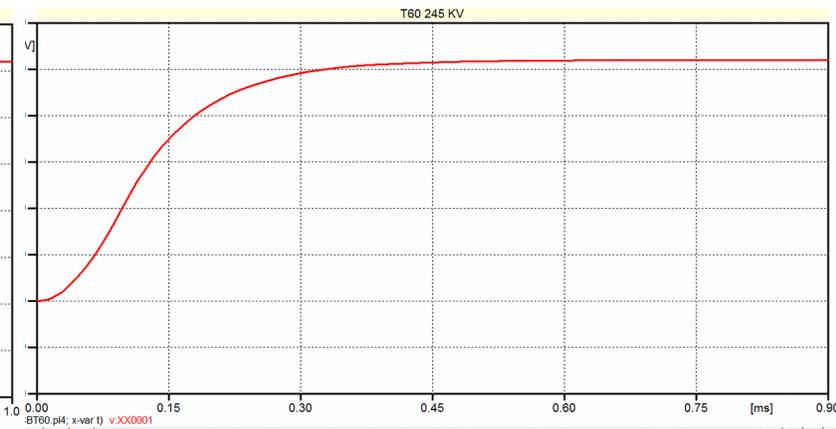
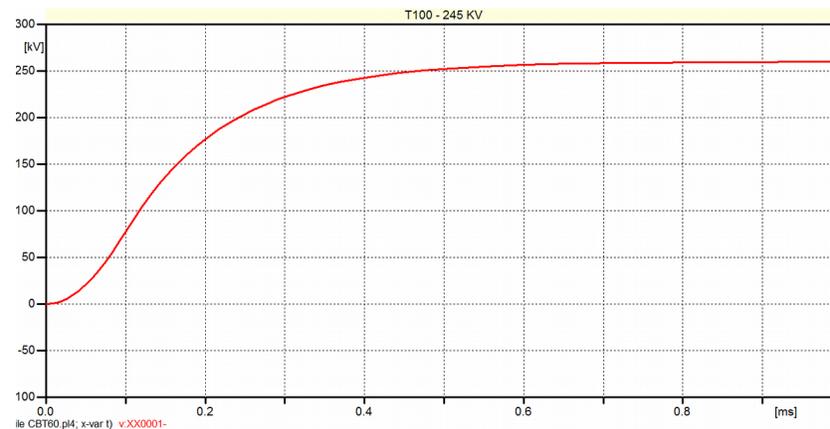
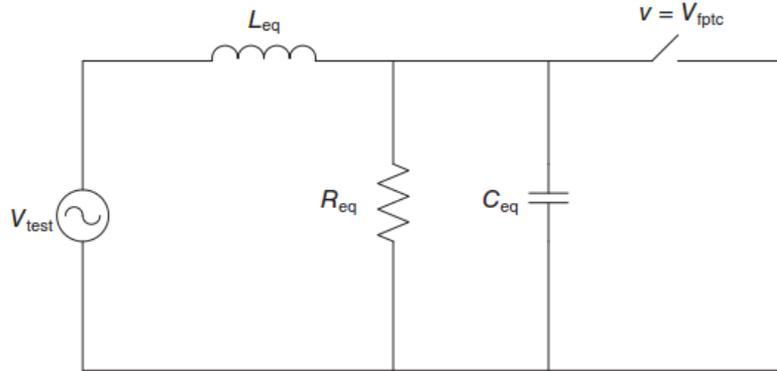
EFFECTOS DEL TEST



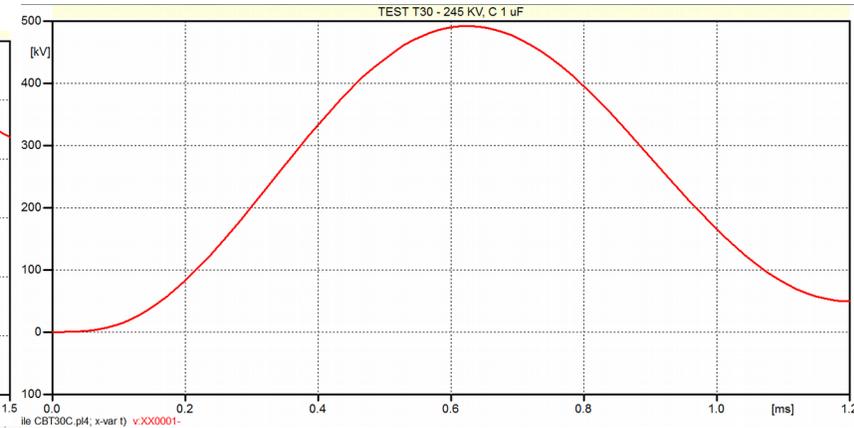
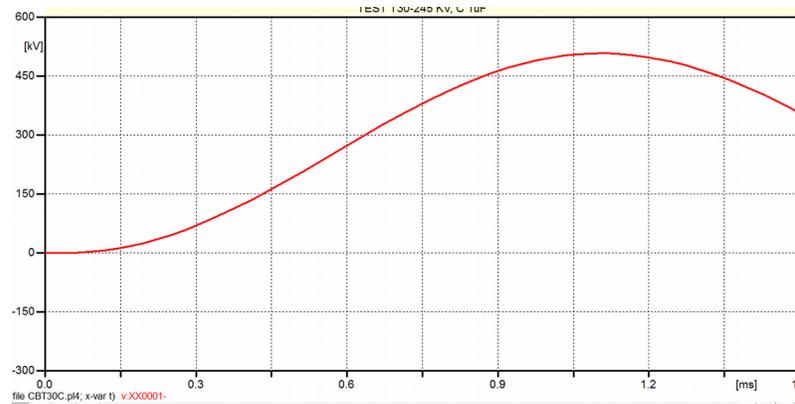
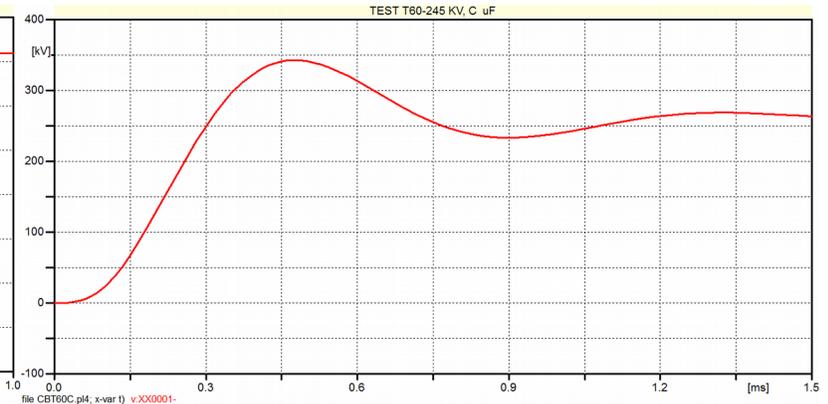
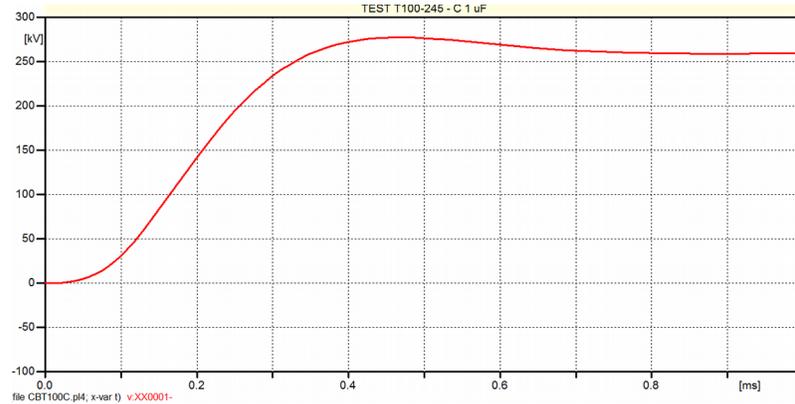
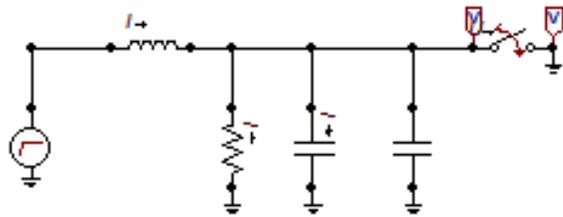
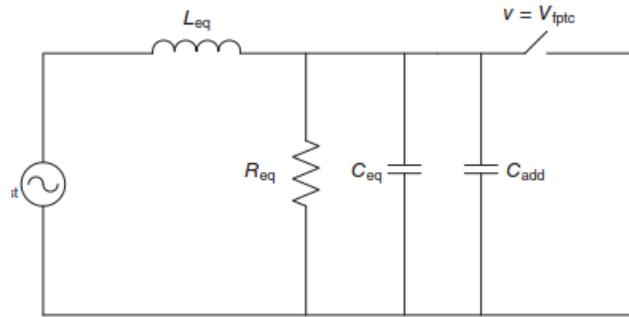
MEDIDAS DE MITIGACIÓN

TEST	kpp	RRV (kV/μs)	Vtest (kV)	Vtest pk (kV)	Icc (kA)	Leq (H)	di/dt (kA/μs)	Re (Ω)	td (μs)	Ceq (nF)	Rc (Ω)	z
T100	1.3	2	184	260	50	0.0117	0.0222	90.1	2	22.2	363.4	4.0
T60	1.3	3	184	260	30	0.0195	0.0133	225.2	3	13.3	605.6	2.7
T30	1.3	5	184	260	15	0.0391	0.0067	2797.0	12	28.0	590.8	0.21
T10	1.5	7	212	300	5	0.1353	0.0022	11832	10	5.0	2601.0	0.22

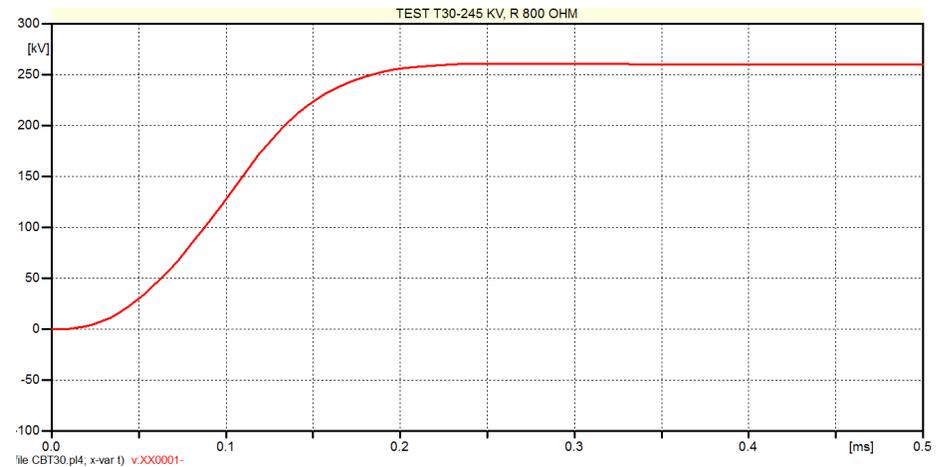
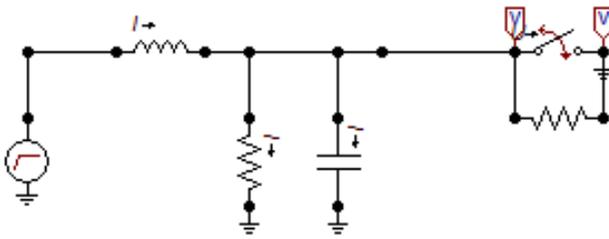
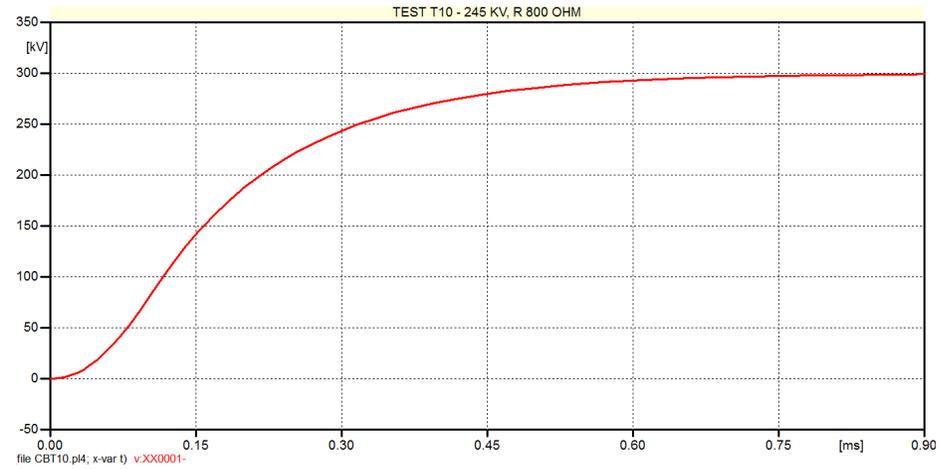
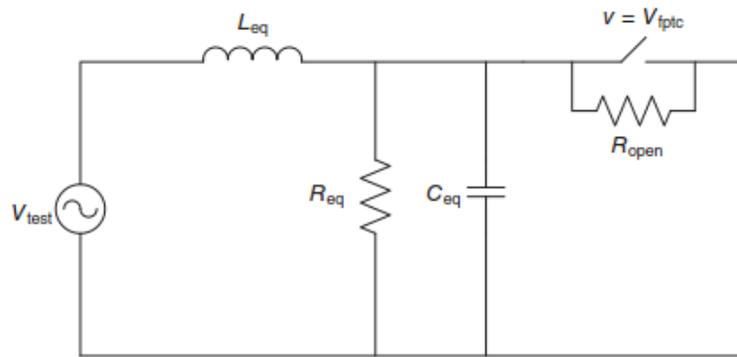
TEST T100- T10 CIRCUITO BASE



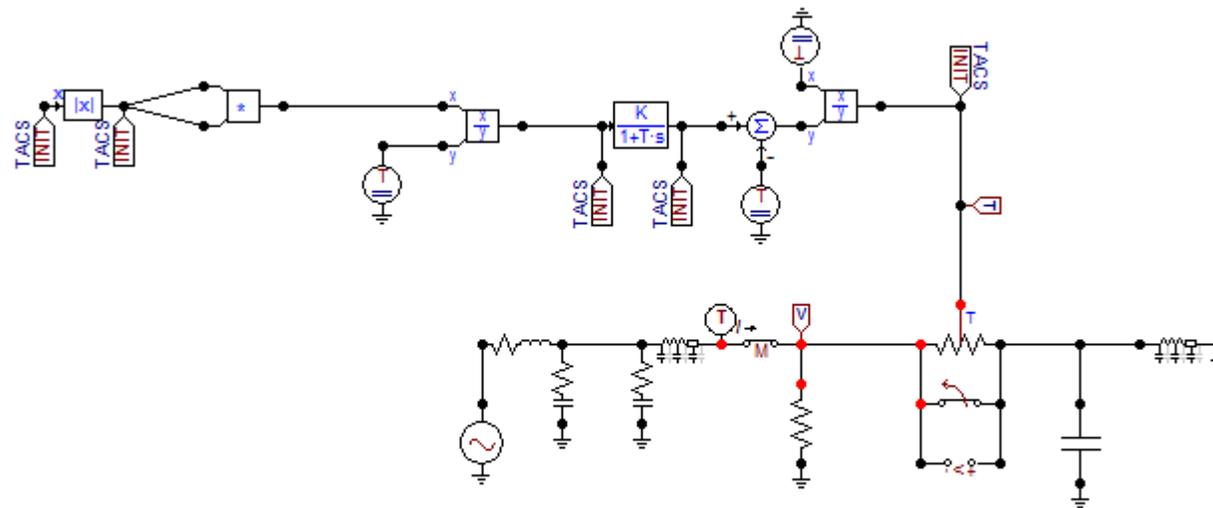
EFECTO DE AGREGAR CAPACITANCIA DE 1 uF



AGREGAR RESISTENCIA DE 800 OHM



Modelo Mayr Cassey -TACS ATP



RESUMEN

MAYORES VALORES DE TRV Y RRRV PARA FALLAS TERMINALES 3F

METODOLOGIA DE CÁLCULO DE CC

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE FALLAS TERMINALES

ADICIONAR CAPACITANCIA :

- SE INCREMENTA EL TRV
- SE DECREMENTA EL RRRV

ADICIONAR RESISTENCIA

- SE INTRODUCE AMORTIGUAMIENTO EN T30 Y T10
- EN T100 Y T60 EL EFECTO NO ES SIGNIFICATIVO