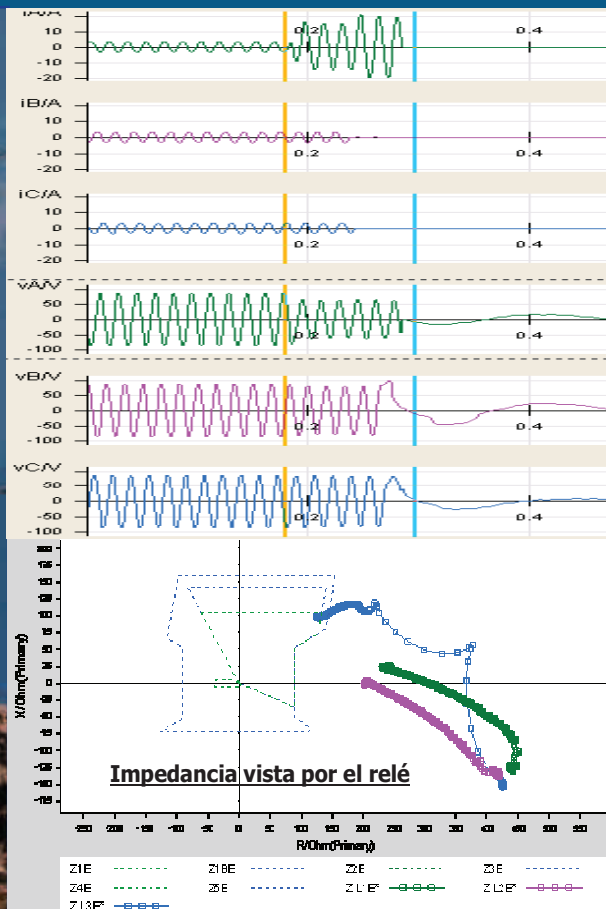


Análisis de Fallas en Sistemas de Transmisión



Colegio de Ingenieros del Perú
Lima 24, 25, 26 de Enero 2011

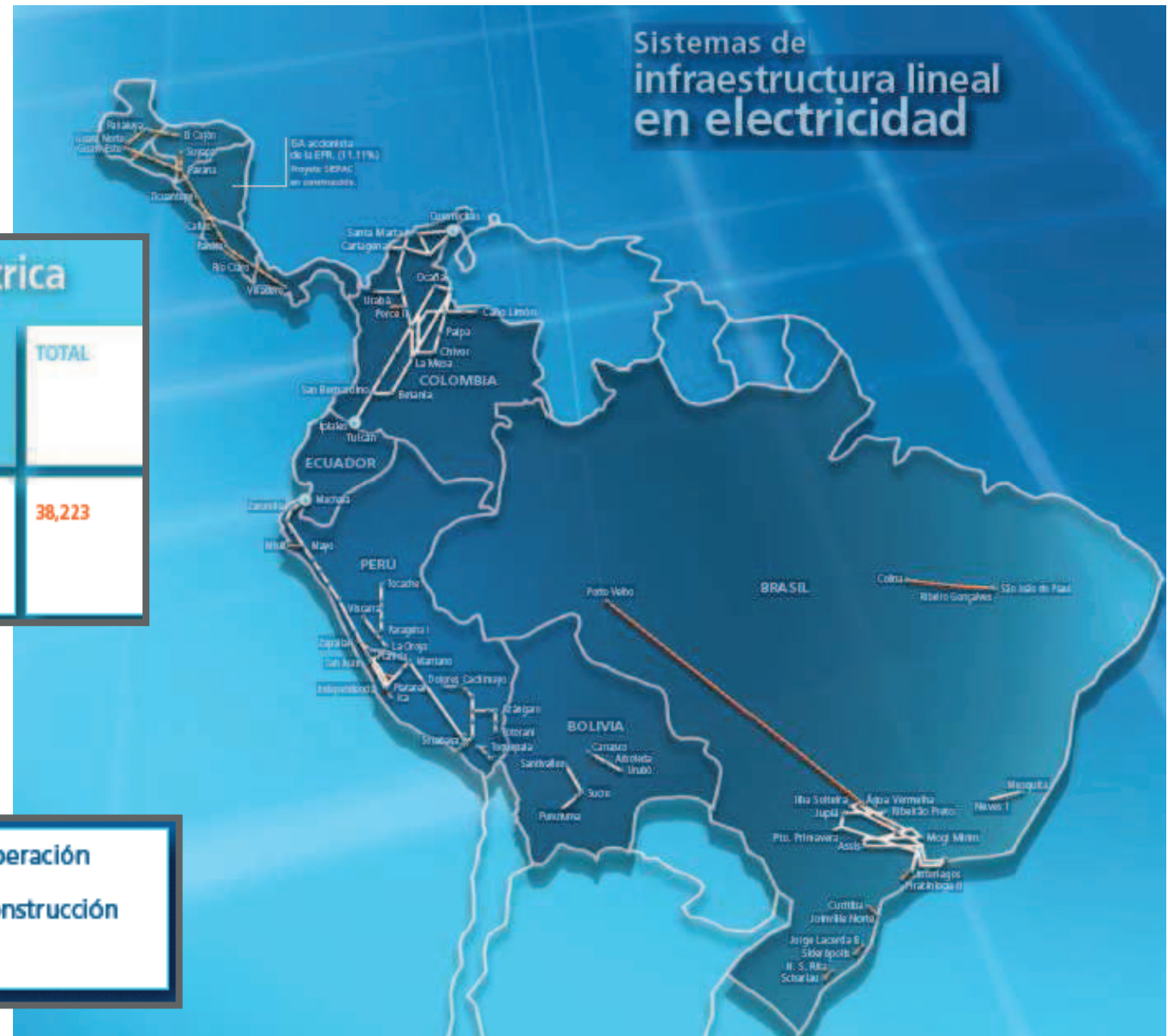
1. Introducción
2. Comportamiento del Sistema Eléctrico Peruano en el Corto Plazo
3. Importancia del Análisis Fallas
4. Anomalías que afectan la operación
5. Recursos para el Análisis de Perturbaciones
6. Metodología y criterios para el Análisis de Perturbaciones
7. Análisis de perturbaciones - Casos Aplicativos en sistema de transmisión

1. **Introducción**
 - **La empresa**
 - Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia
 - Normatividad de la Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia
2. Comportamiento del Sistema Eléctrico Peruano en el Corto Plazo
3. Importancia del Análisis Fallas
4. Anomalías que afectan la operación
5. Recursos para el Análisis de Perturbaciones
6. Metodología y criterios para el Análisis de Perturbaciones
7. Análisis de perturbaciones - Casos Aplicativos en sistema de transmisión

Sistemas de infraestructura lineal en electricidad

Transporte de Energía Eléctrica

COLOMBIA	PERÚ	BOLIVIA	BRASIL	TOTAL
ISA 10,000 TRANSELCA 1,539	REP 5,830 ISA PERÚ 393 TransMantaro 1,227	ISA BOLIVIA 588	CTEEP 18,646	38,223





La Empresa El Grupo Empresarial ISA en el Perú



El grupo de transmisión de energía más grande del Perú



Accionistas: Grupo ISA (60%) y EEB (40%).
Empresa operadora del negocio de transmisión eléctrica para el grupo empresarial ISA en el Perú



Accionistas: Grupo ISA (83%), AC
Capitales del Perú (17%)



Accionistas: Grupo ISA (60%) y EEB (40%)



La Empresa Red de Energía del Perú



378

Colaboradores

54

Subestaciones

7955

km de líneas

19

Departamentos

100 mil

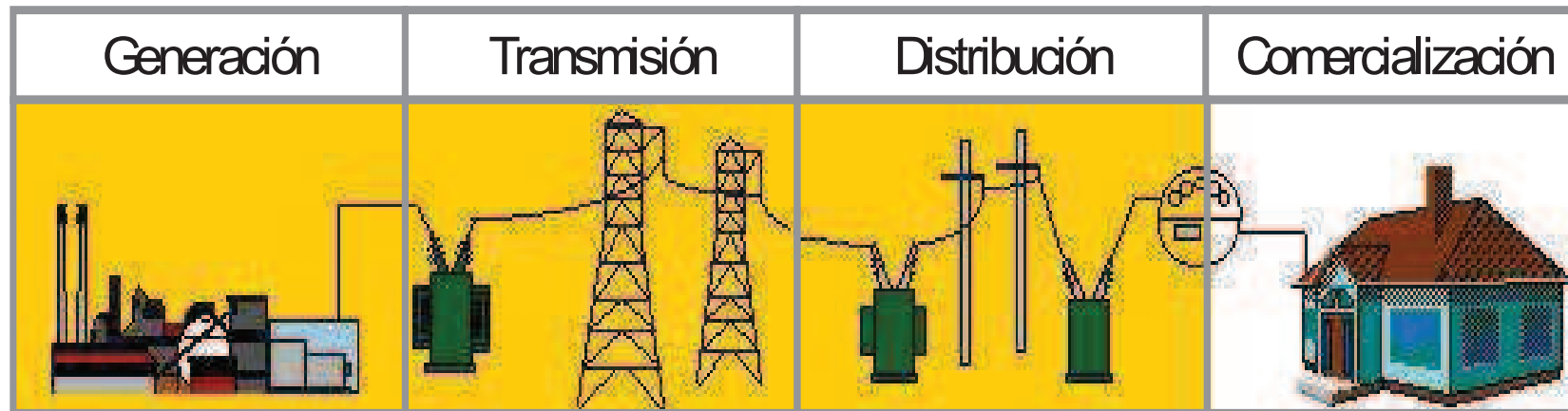
Beneficiados en RSE



©Todos los derechos reservados



1. **Introducción**
 - La empresa
 - **Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia**
 - Normatividad de la Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia
2. Comportamiento del Sistema Eléctrico Peruano en el Corto Plazo
3. Importancia del Análisis Fallas
4. Anomalías que afectan la operación
5. Recursos para el Análisis de Perturbaciones
6. Metodología y criterios para el Análisis de Perturbaciones
7. Análisis de perturbaciones - Casos Aplicativos en sistema de transmisión



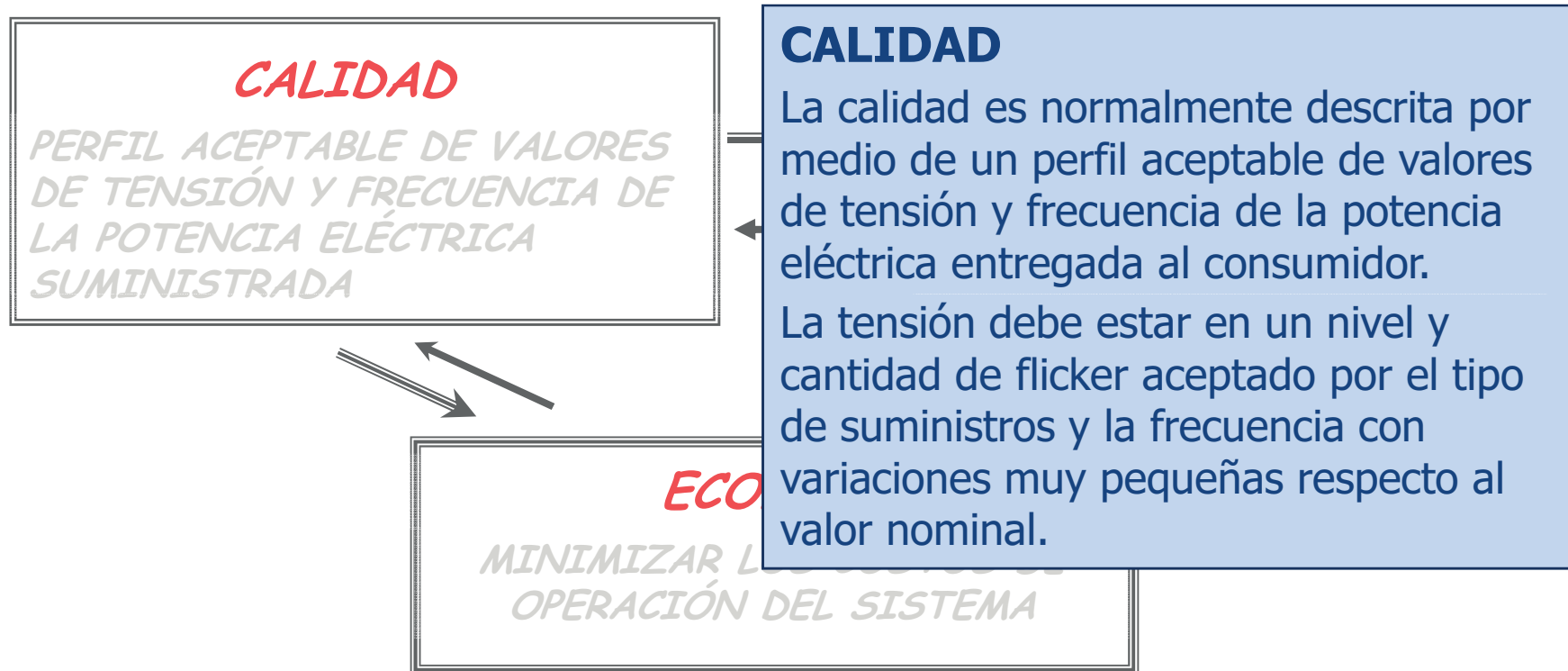
- ❑ Atender la demanda de electricidad en forma continúa, para atender el desarrollo de un país o una región.
- ❑ El Perú viene creciendo sostenidamente en los últimos años, y en consecuencia también creciendo la demanda de electricidad.

La operación de los sistemas eléctricos se puede caracterizar por tres objetivos interdependientes:



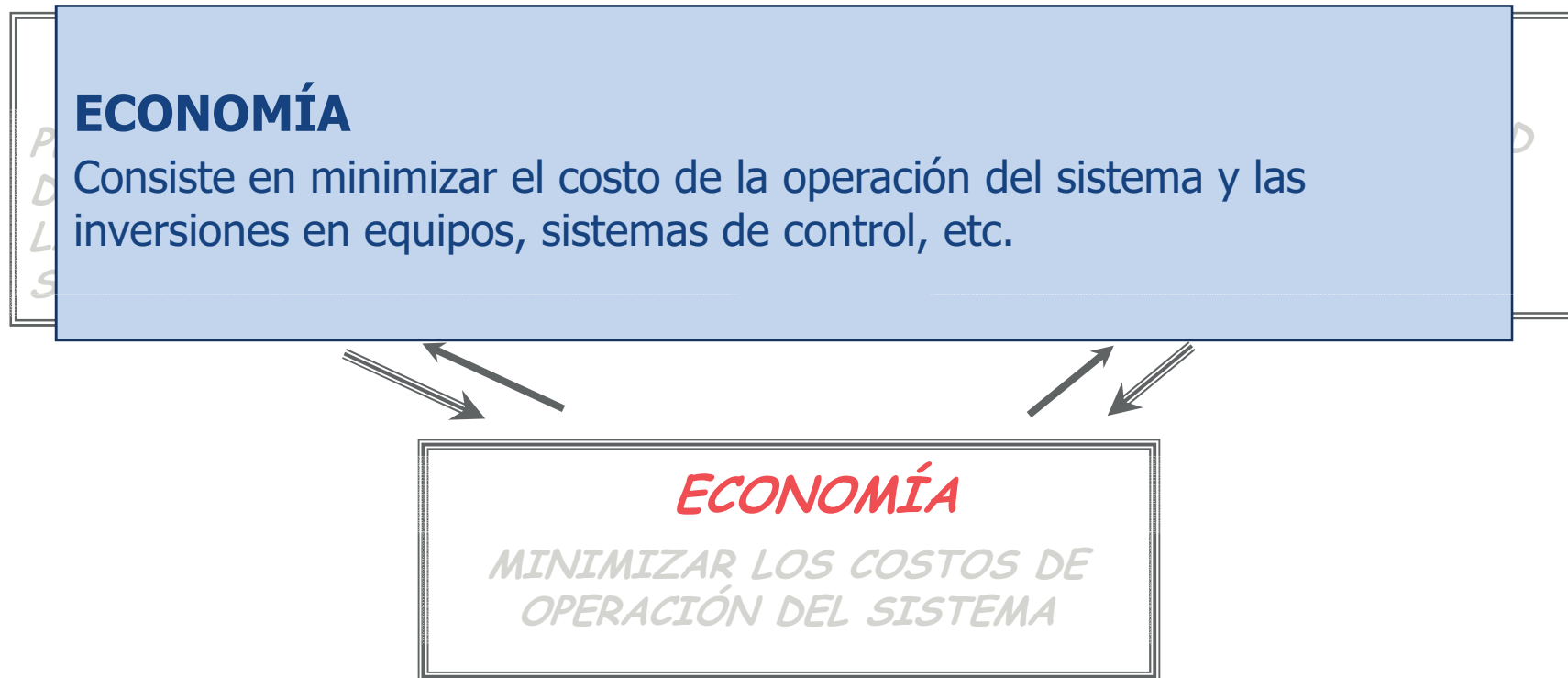
Para la operación de un sistema eléctrico de potencia, se debe considerar además de los aspectos técnicos, el marco legal en que se desenvuelve éste.

La operación de los sistemas eléctricos se puede caracterizar por tres objetivos interdependientes:



Para la operación de un sistema eléctrico de potencia, se debe considerar además de los aspectos técnicos, el marco legal en que se desenvuelve éste.

La operación de los sistemas eléctricos se puede caracterizar por tres objetivos interdependientes:



Para la operación de un sistema eléctrico de potencia, se debe considerar además de los aspectos técnicos, el marco legal en que se desenvuelve éste.

La operación de los sistemas eléctricos se puede caracterizar por

SEGURIDAD

Un nivel de seguridad muy alto se manifiesta en una baja probabilidad de que exista interrupciones de servicio, aunque el sistema sufra perturbaciones. El proceso de determinación de los niveles de seguridad implica evaluar:

- (1) La capacidad del sistema de satisfacer la demanda ante fallas;
- (2) El impacto de las decisiones de los operadores respecto a la entrada y salida de equipos o cargas importantes;
- (3) El efecto de las acciones correctivas contempladas por el operador con el propósito de mejorar la seguridad.

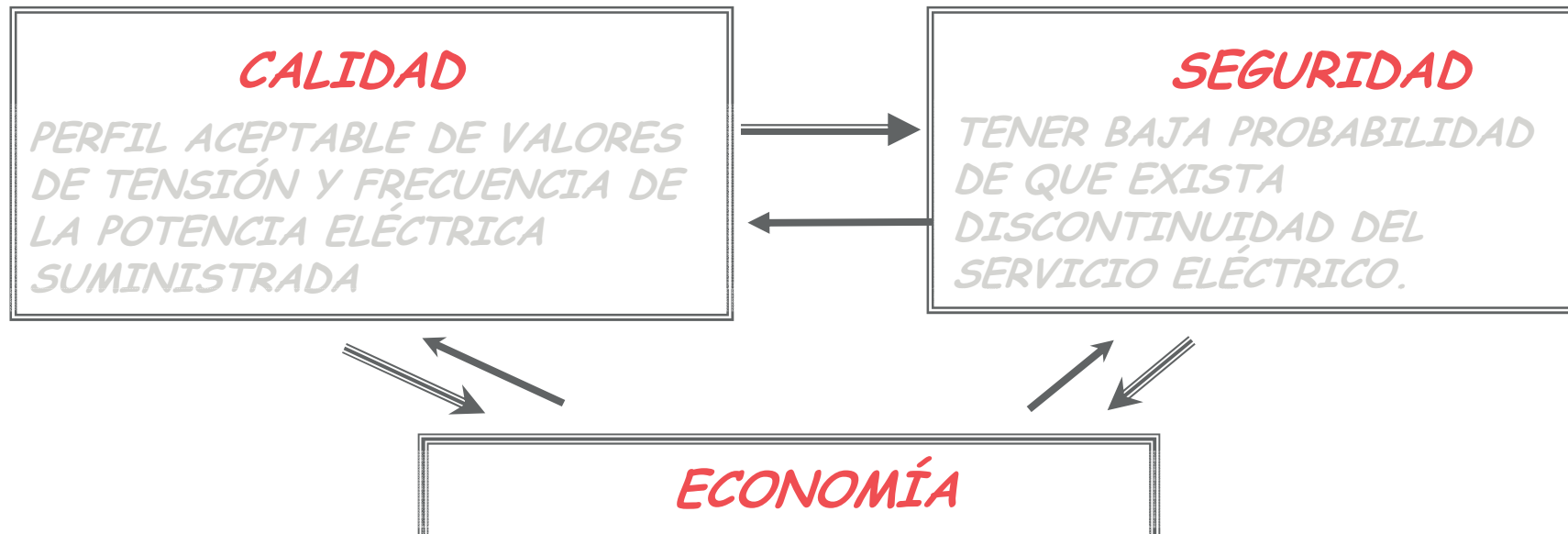
SEGURIDAD

BAJA PROBABILIDAD
QUE EXISTA
INTERRUPCIÓN DE
CONTINUIDAD DEL
SERVICIO ELÉCTRICO.



Para la operación de un sistema eléctrico de potencia, se debe considerar además de los aspectos técnicos, el marco legal en que se desenvuelve éste.

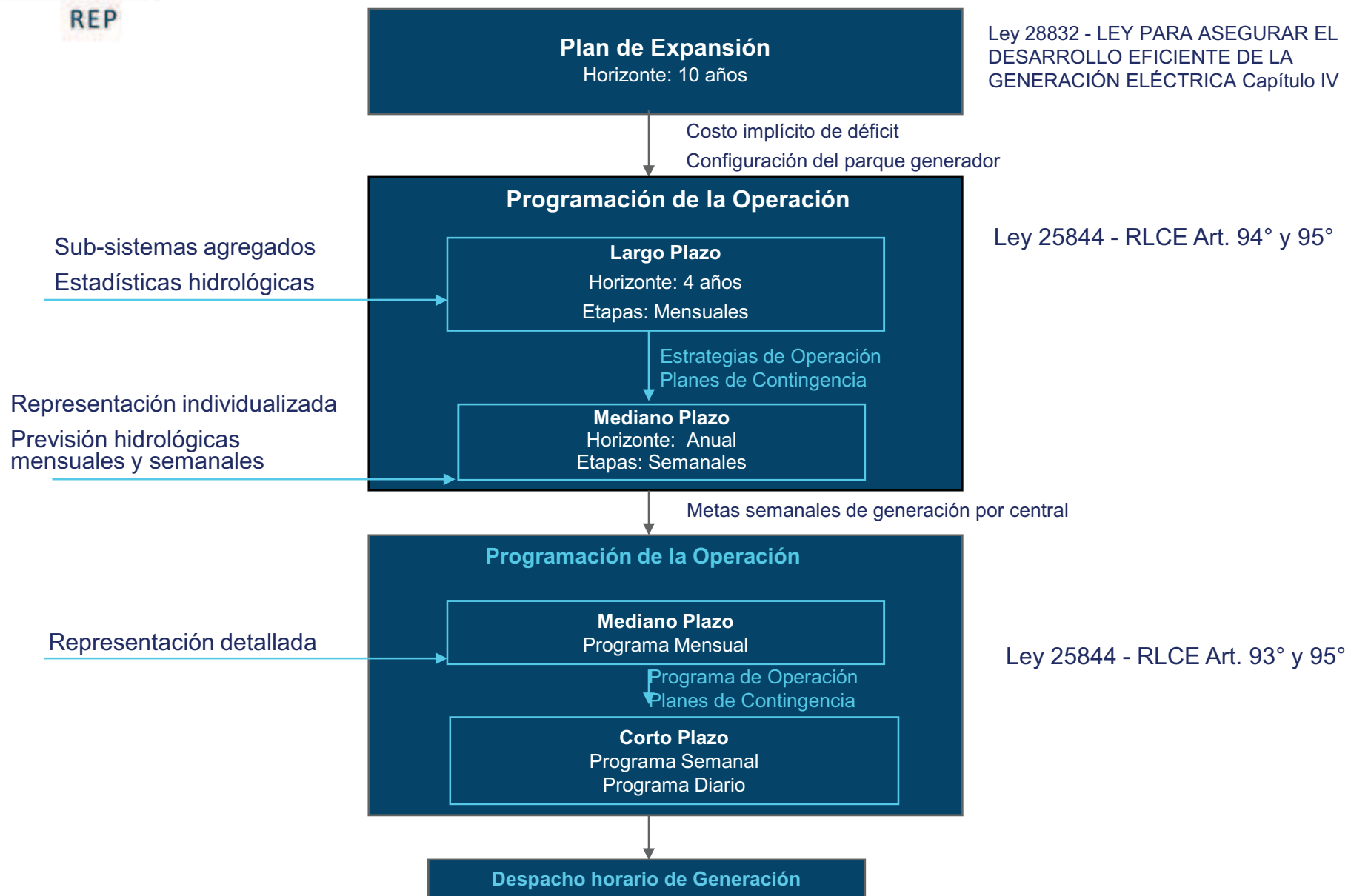
La operación de los sistemas eléctricos se puede caracterizar por tres objetivos interdependientes:

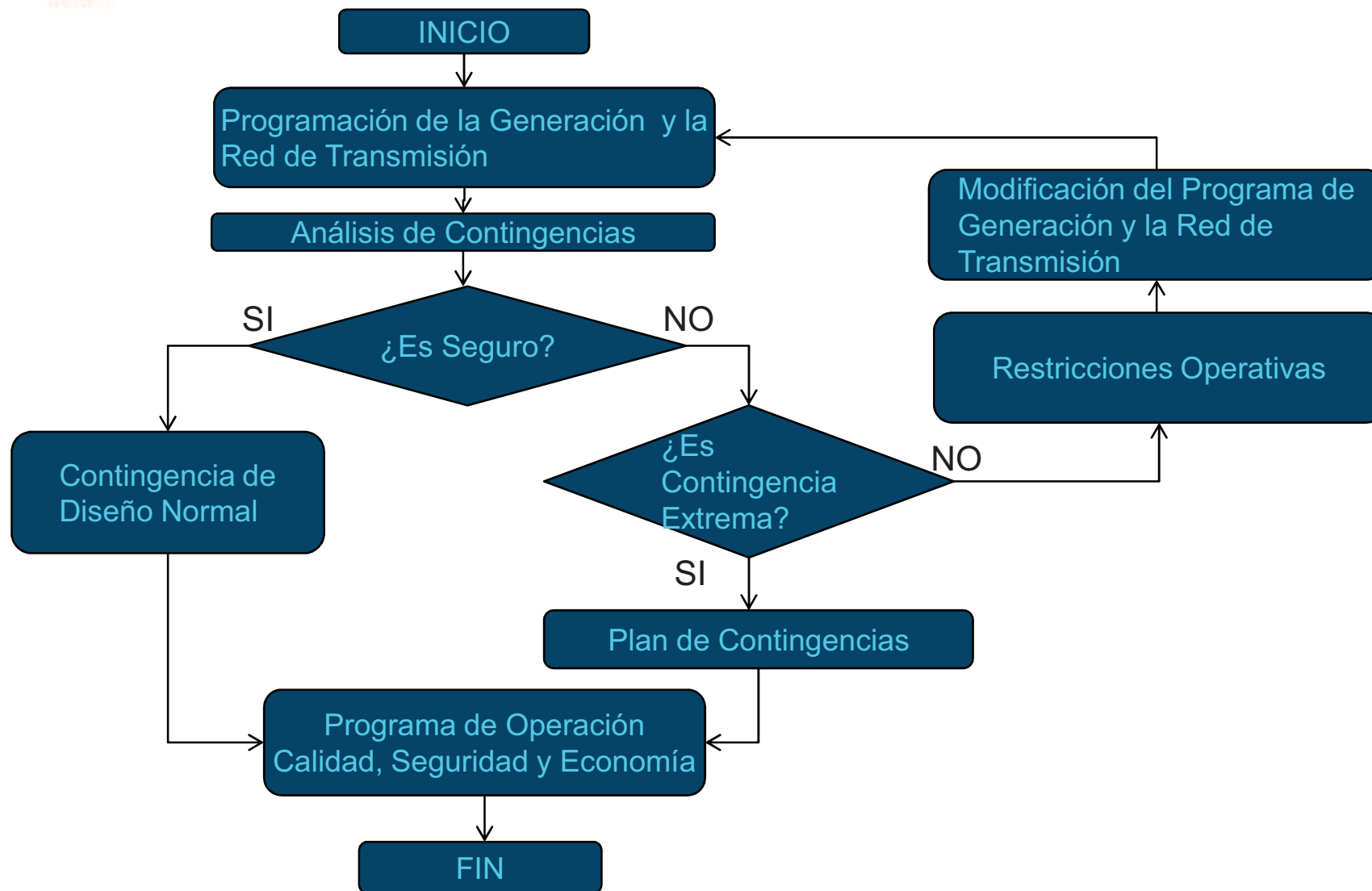


No existe una combinación ideal de los tres objetivos mencionados. La combinación óptima es única para cada sistema y varía conforme a cada condición de operación. Los objetivos de seguridad y economía son aún contradictorios a causa de razones obvias; una mayor seguridad implica mayores costos de operación

Operación de Sistemas de Potencia

Programación de la Operación





- ❑ En general, los estudios de análisis de seguridad consisten en simular la desconexión de unidades generadoras y equipos de transmisión para estudiar su efecto sobre las variables del sistema a partir de un estado inicial dado, y medir la robustez del sistema para soportar estas posibles contingencias. Así, el análisis de seguridad mide el nivel de reserva del SEP.
- ❑ Por reserva se debe entender el margen de diferencia que presentan las variables del sistema y sus respectivos límites de operación.
- ❑ Un SEP nunca opera con seguridad en el sentido absoluto de la palabra; se debe programar la operación de manera que se tenga la mayor seguridad posible.
- ❑ La seguridad operativa debe ser tratada desde la Programación de la Operación.
- ❑ Un aspecto que muchas veces no es tratado en análisis de seguridad son los Planes de Contingencia.

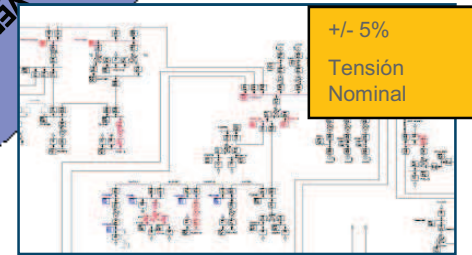
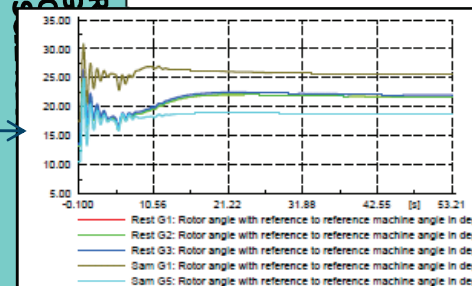
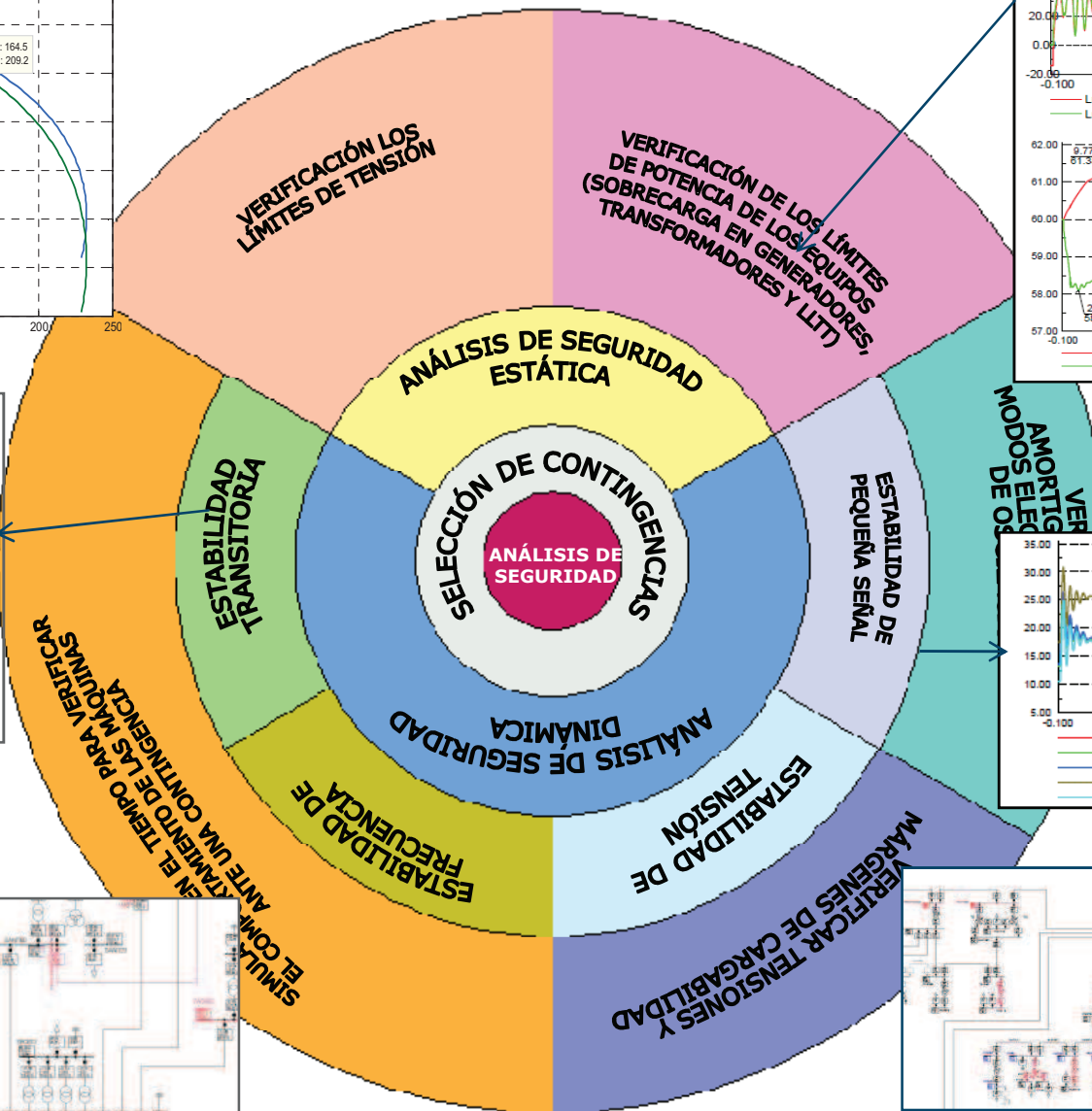
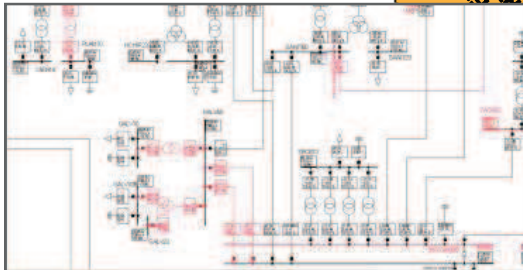
ESTUDIOS DE ANÁLISIS DE SEGURIDAD OPERATIVA

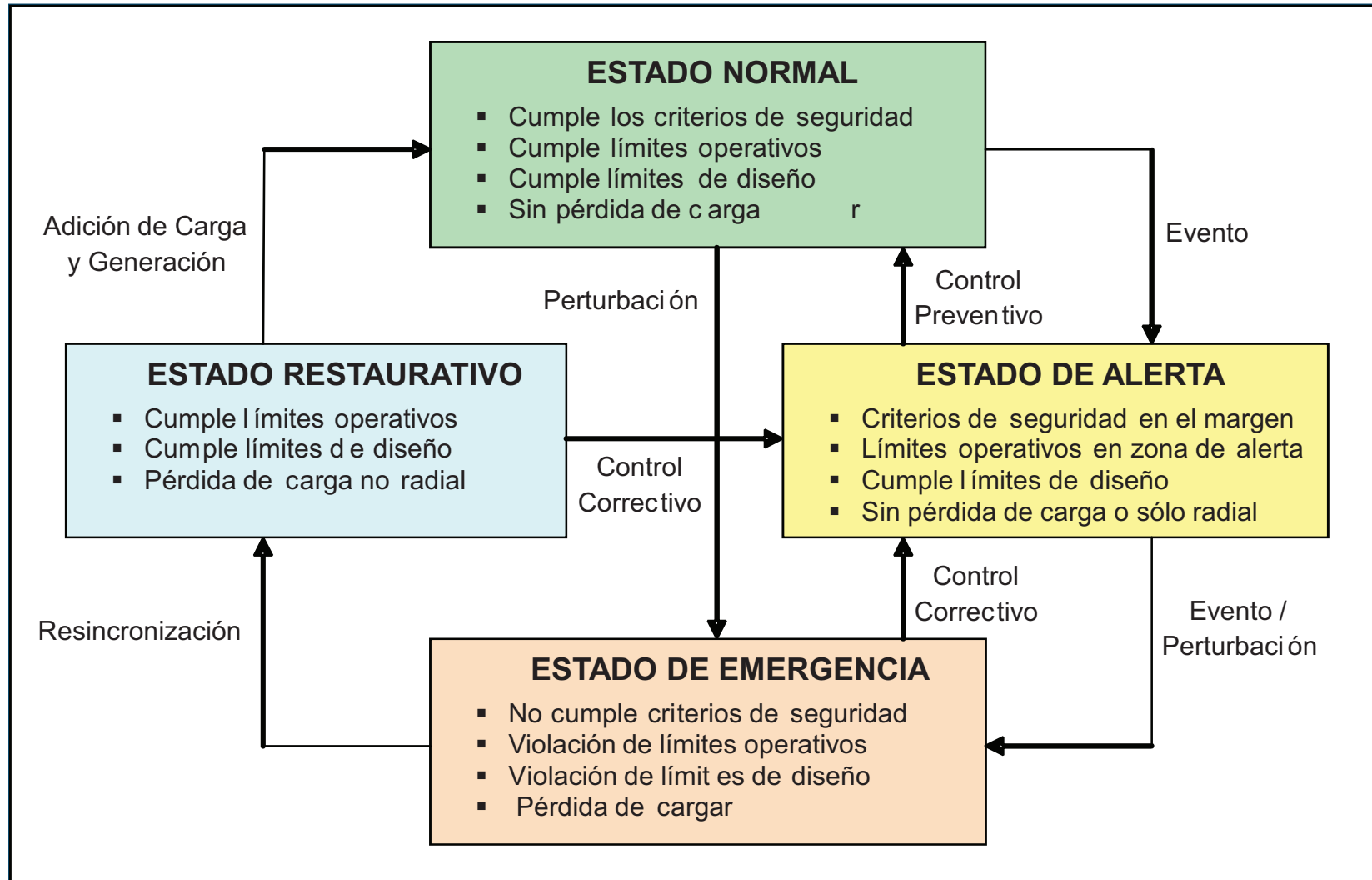
TENER BAJA PROBABILIDAD DE QUE EXISTA DISCONTINUIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO

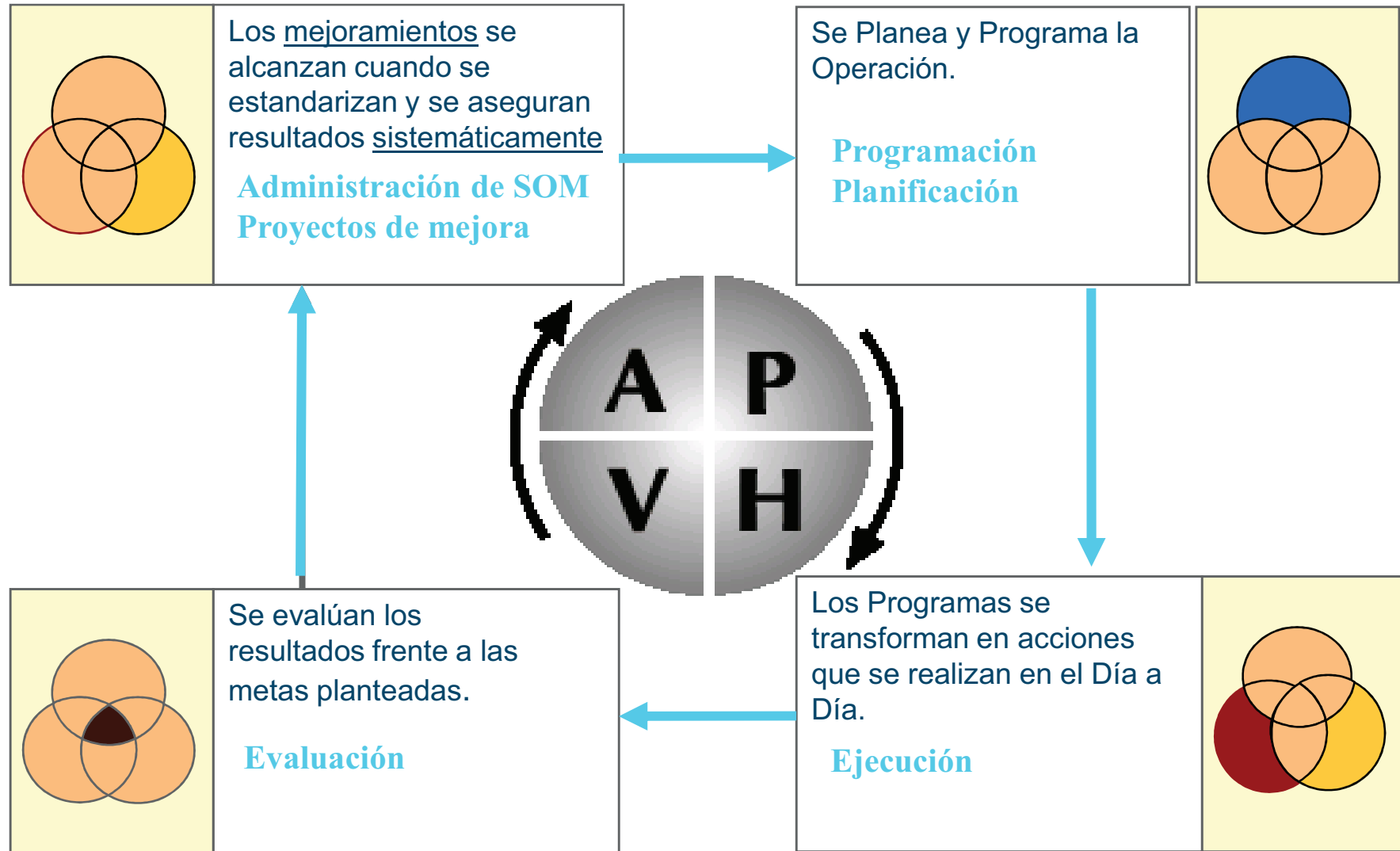
SEGURIDAD EN LA PROGRAMACIÓN DE LA OPERACIÓN

PLANES DE CONTINGENCIA

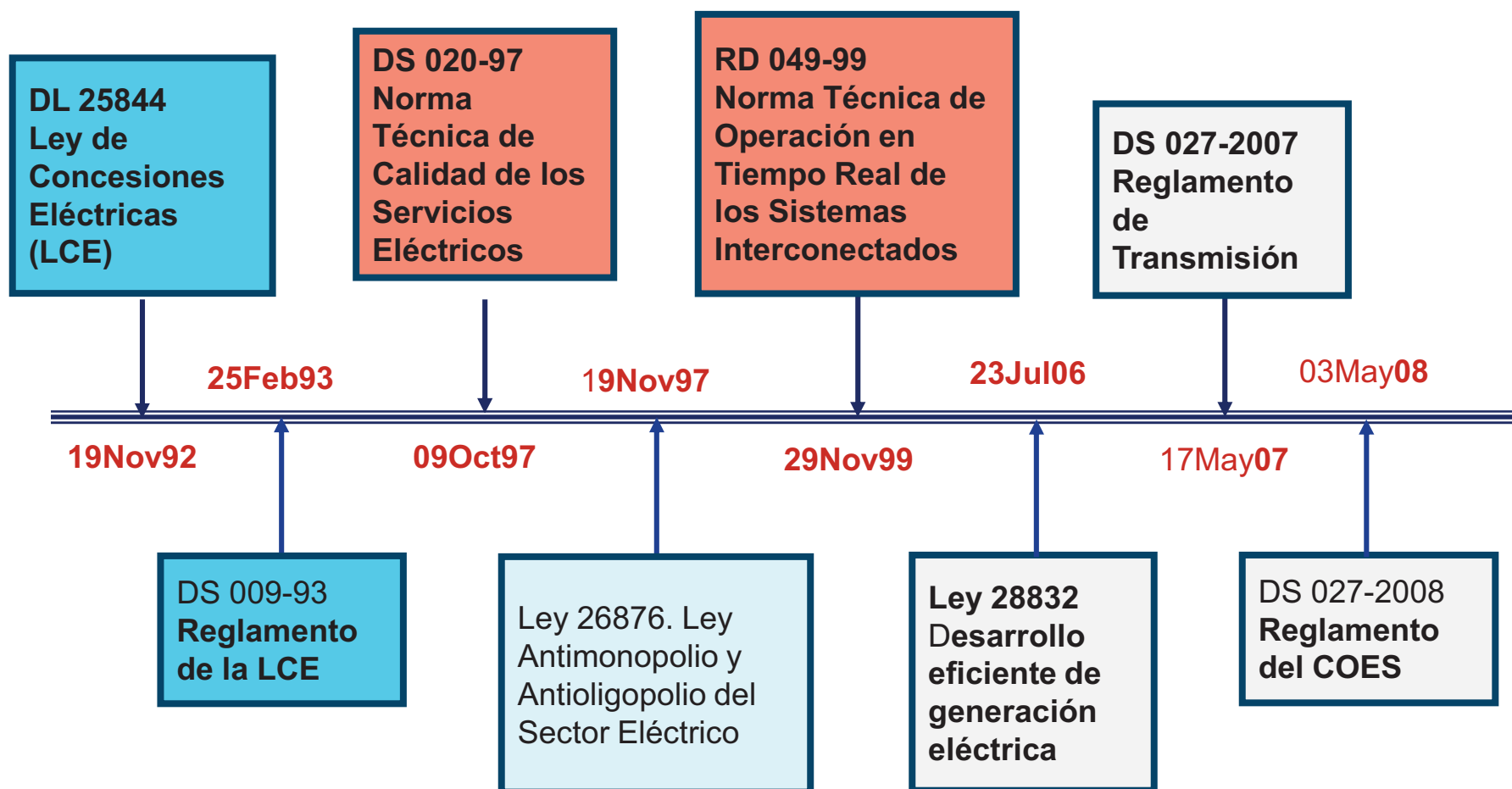
PARA AQUELLOS CASOS EXTREMOS QUE NO SON CUBIERTOS EN EL ANÁLISIS DE SEGURIDAD

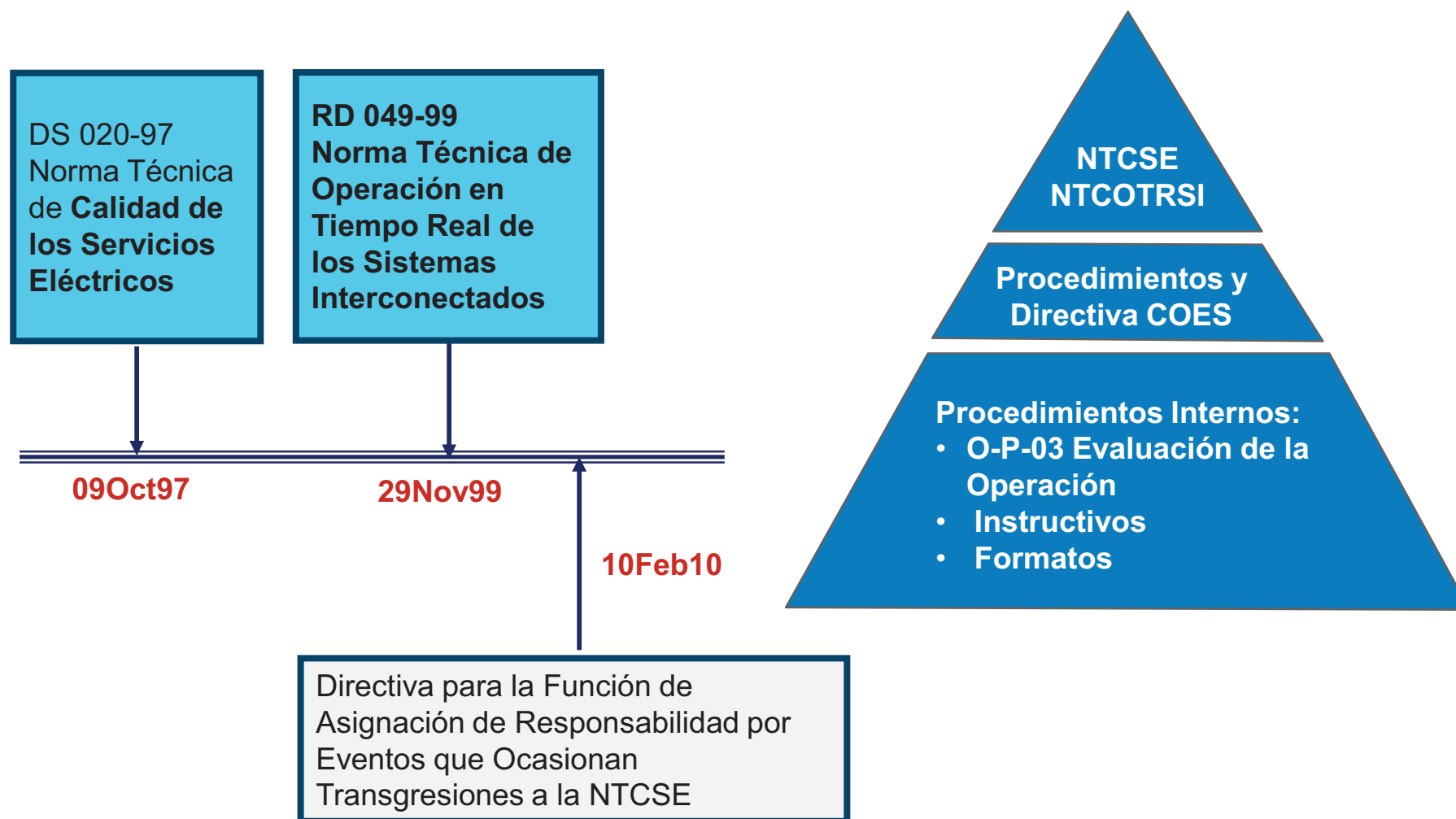






1. **Introducción**
 - La empresa
 - Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia
 - **Normatividad de la Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia**
2. Comportamiento del Sistema Eléctrico Peruano en el Corto Plazo
3. Importancia del Análisis Fallas
4. Anomalías que afectan la operación
5. Recursos para el Análisis de Perturbaciones
6. Metodología y criterios para el Análisis de Perturbaciones
7. Análisis de perturbaciones - Casos Aplicativos en sistema de transmisión



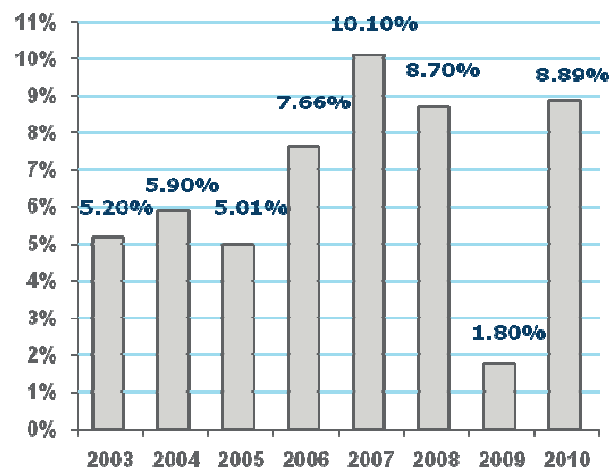


1. Introducción
- 2. Comportamiento del Sistema Eléctrico Peruano en el Corto Plazo**
3. Importancia del Análisis Fallas
4. Anomalías que afectan la operación
5. Recursos para el Análisis de Perturbaciones
6. Metodología y criterios para el Análisis de Perturbaciones
7. Análisis de perturbaciones - Casos Aplicativos en sistema de transmisión

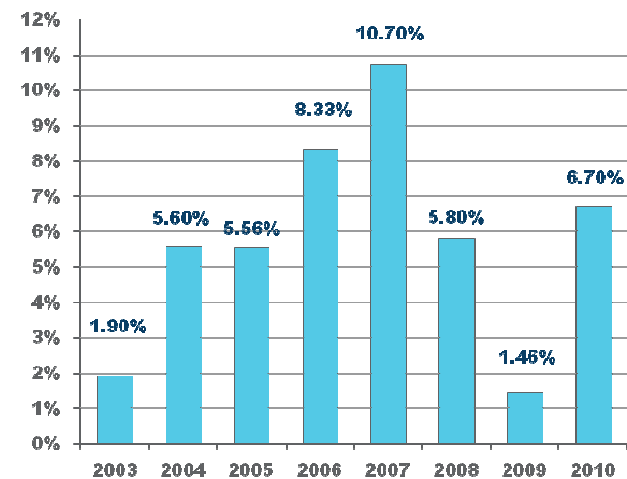
Proyección de la Demanda SEIN 2010-2019



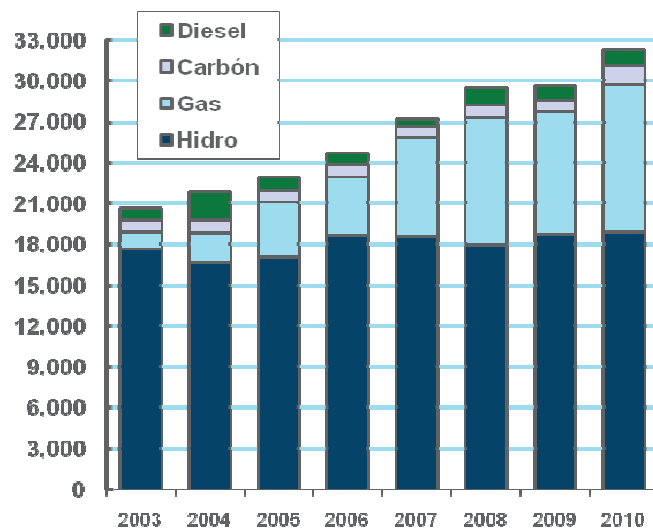
REP Tasa de Crecimiento Anual Energía



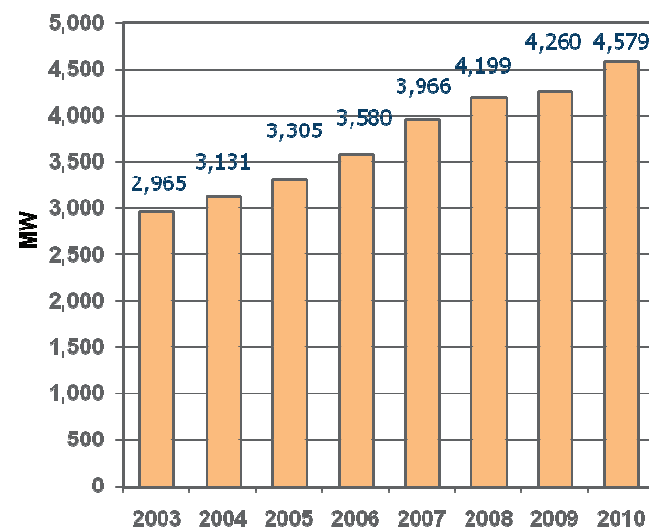
Tasa de Crecimiento Máxima Demanda



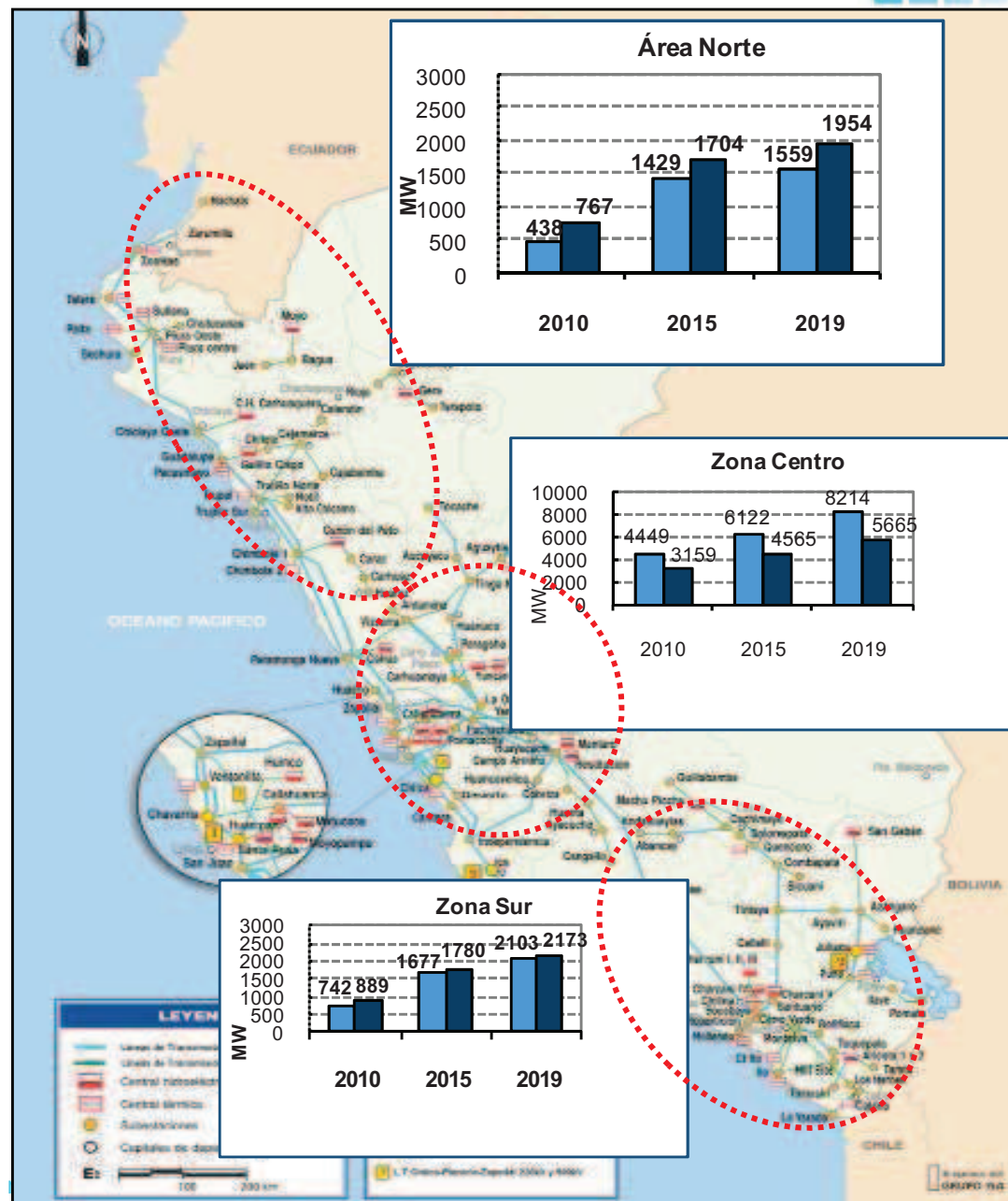
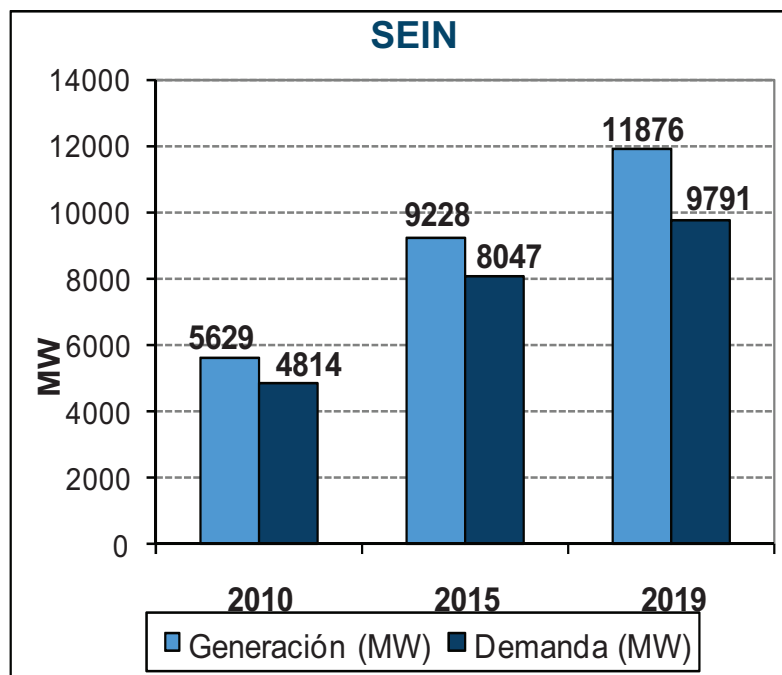
Producción Energía Anual (miles GWh)



Máxima Demanda Anual (MW)



Balance Oferta-Generación



LEYENDA

- Línea de Transoceanic Express
- Línea de Transoceanic Extra Express
- Central hidroeléctrica
- Central térmica
- Subestaciones
- Capitales de departamento

PROYECTOS DE SUBSECCIÓN

- 1 Construcción de infraestructura en Lima de estaciones terminales y Santa Rosa
- 2 Ampliación en las subsecciones Los Baños y Yulima
- 3 L.T. Centro Planicie Zapadil 200kV y 400kV

E: 0 100 200 km

Mapa del Perú que muestra la red ferroviaria y los proyectos de expansión del Transoceanic Express. Se destacan 12 puntos clave en la ruta. El mapa incluye una leyenda, una escala y una inserción de la ubicación regional.

N°	Descripción
14	Ampliación N°5: Subestaciones Piura Oeste (Dic.10): Trafo 100 MVA 220/60/10 kV, doble barra 220 y 60 kV. Trujillo Norte (Dic.10): Trafo 45 MVA 138/22.9/10 kV, Conf. interruptor 1 ½ de barras 138 kV, Banco condensadores 15Mvar, 10kV. Quencoro (Dic.10): Trafo 25 MVA 138/10/34 kV, Doble barra 138 kV Azángaro (Dic.10): Trafo 47.5 MVA 138/10/22.9 kV Tingo María (Dic.10): Trafo 50 MVA 220/138/10 kV Independencia: Cambio de simple a doble barra 60 kV (Feb. 10)
15	Ampliación N°7 : Adecuación Integral de las subestaciones San Juan, Santa Rosa, Chavarría, Ventanilla y Zapallal, aumento lcc (Ene.12)
16	Subestación Orcotuna Trafo 220/60/10 kV 50 MVA. Proyecto Electrocentro
17	Subestación Huancavelica Trafo 220/138/10 kV 50 MVA. Proyecto Electrocentro





Resultados de corto plazo 2010-2012

Proyectos líneas de transmisión necesarios

Nº	Descripción
1	2da terna L.T. Trujillo-Guadalupe-Chiclayo
2	LT 220 kV Chimbote – Trujillo Incremento de capacidad de 152 a 180 MVA.
3	Repotenciación Chilca – San Juan (L2093) a 2x350MVA
4	Repotenciación Chavarría-Santa Rosa – San Juan a 2x300 MVA
5	4to Circuito Ventanilla – Chavarría (brazo disponible)
6	Repotenciación Zapallal – Ventanilla a 2x300MVA
7	Repotenciación líneas 138 kV Huánuco-Paragsha, Tingo María-Tocache y Aguaytía-Pucallpa a 75MVA.
8	Repotenciación La Oroya – Pachachaca-Pomacocha 250MVA (ISA Perú/REP)
9	3er Circuito 60 kV Marcona – San Nicolás





Resultados de corto plazo 2010-2012

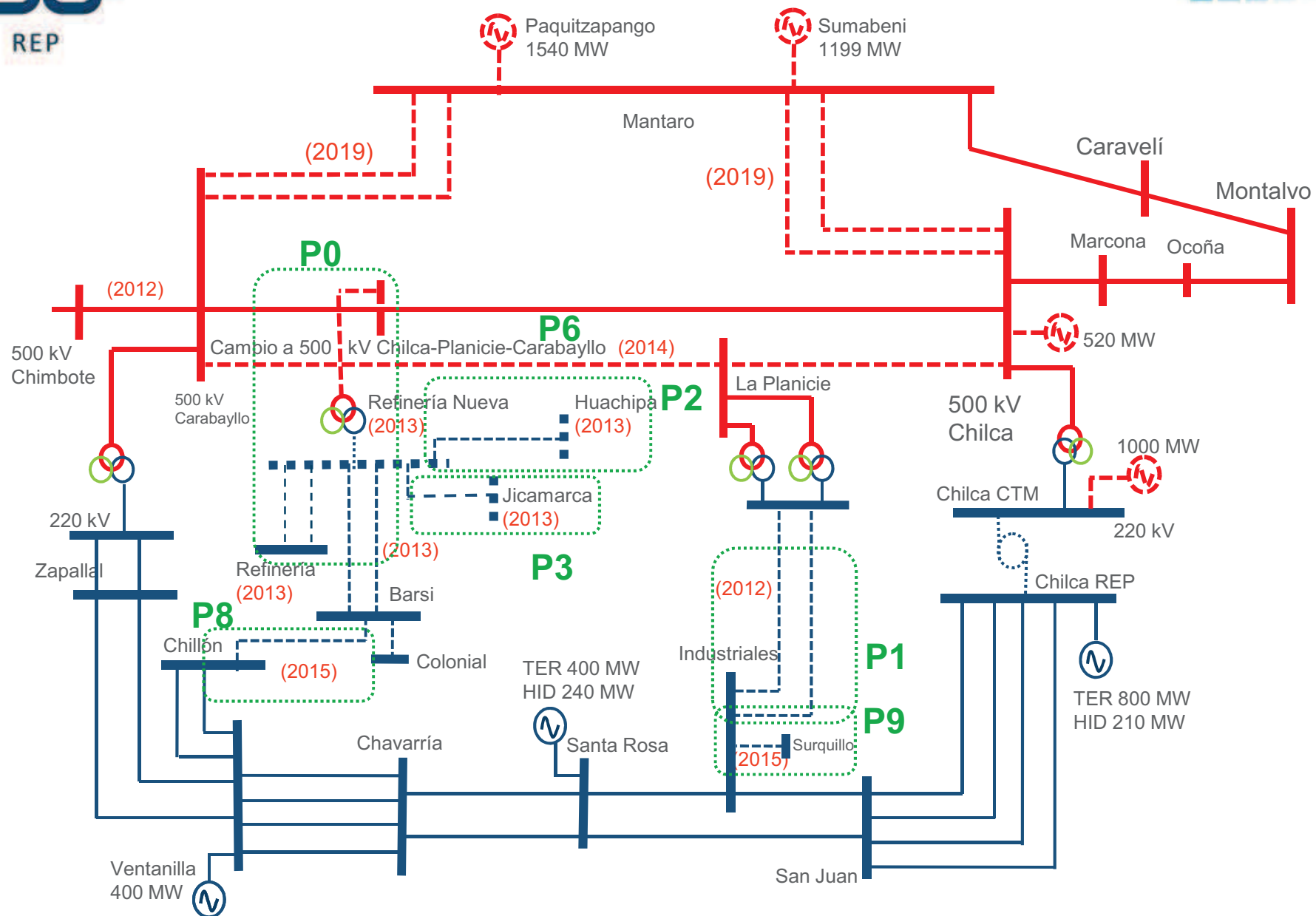
Proyectos subestaciones necesarios

N°	Descripción
10	Ampliación de Subestaciones Norte Chimbote1: Trafo 15 MVA, 138/13.8/24 kV-15 MVA Guadalupe: Trafo 75 MVA, 220/60/10 kV-75 MVA; Chiclayo Oeste: Trafo 100 MVA, 220/60/0.38 kV; BC 1x30 Mvar, 60 kV. Piura Oeste: BC 2x20 Mvar, 60 kV Paramonga: Cambio de config. 66 kV a doble barra.. Zorritos: Trafo 50 MVA, 220/60/10 kV Huacho: Trafo 50 MVA, 220/66/10 kV
11	Reactor limitador de corriente de cortocircuito (Chilca) Traslado generación a Chilca CTM
12	Ampliación Subestaciones Centro Tocache Trafo 132/24/10, 15 MVA. Huánuco: Trafo 138/24/10 kV, 50 MVA. Paragsha: Config. 138 kV a doble barra Independencia: Trafo 10.3/10.3 kV, 4 MVA; Trafo 210/62.3/10.3 kV Ica: Trafo 220/62.3/10.3 kV, 100MVA; BC 20 Mvar. Pomacocha Config. 220 kV a doble barra Pucallpa: Trafo 138/60 kV BC 1x10 Mvar
13	Ampliación de Subestaciones Sur Puno: Trafo 132/60/22.9 kV-30 MVA BC 2x15 Mvar Tintaya: Trafo 132/10.5 kV-25 MVA. Ayaviri y Combapata: Configuración de barras 138 kV de "T" a "PI" (Entrada y Salida)



Resultados de largo plazo 2012-2019

Proyectos recomendados

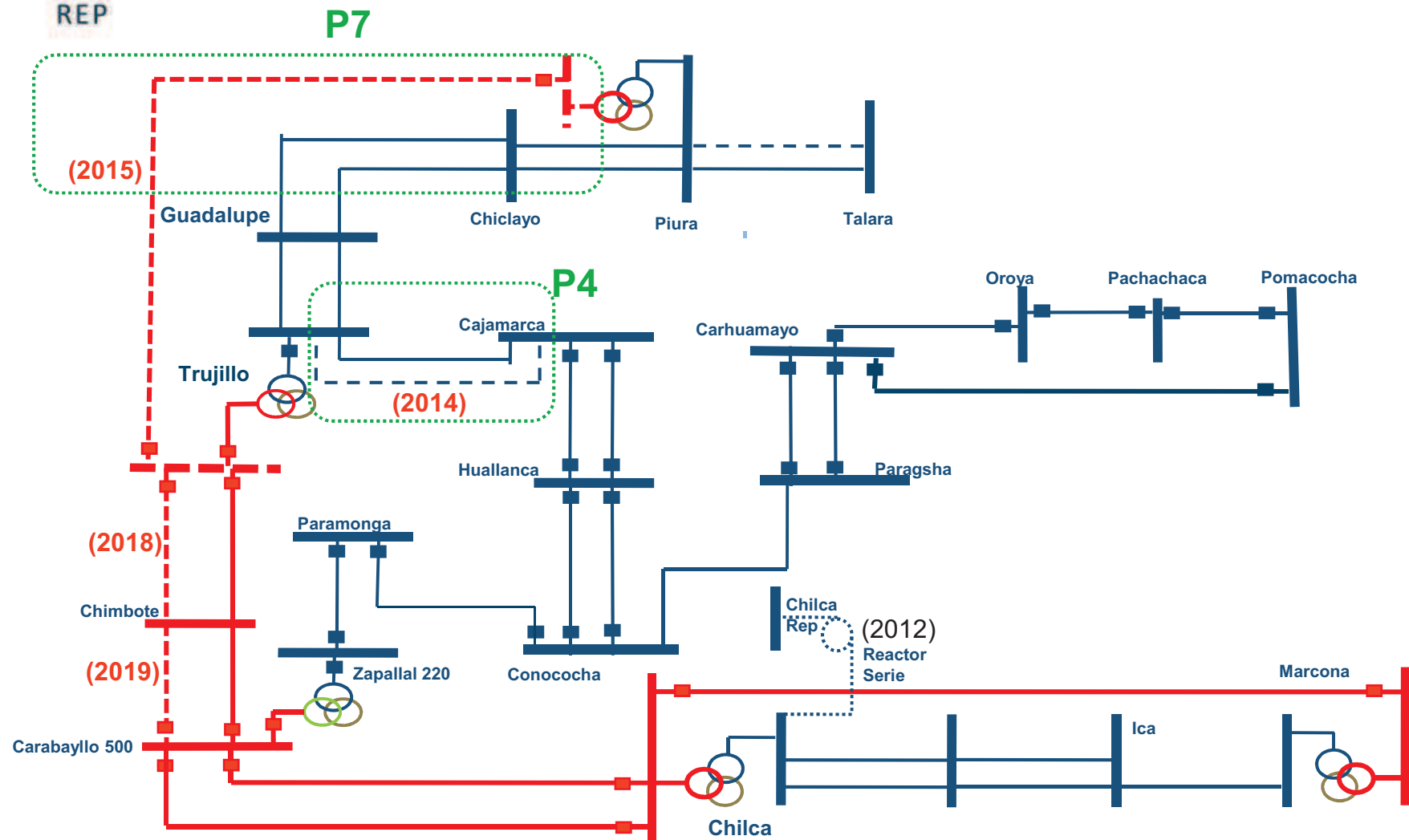




REP

Resultados de largo plazo 2012-2019

Proyectos recomendados



1. Introducción
2. Comportamiento del Sistema Eléctrico Peruano en el Corto Plazo
3. Importancia del Análisis Fallas
 - ❑ ¿Por qué hacer el Análisis de Perturbaciones?
 - ❑ Consideraciones
 - ❑ Carga y frecuencia
 - ❑ Tensión y potencia reactiva
 - ❑ Estabilidad en sistemas de potencia
 - ❑ Estabilidad angular
 - ❑ Estabilidad de tensión
 - ❑ Estabilidad de frecuencia
 - ❑ Sistemas de Protección
4. Anomalías que afectan la operación
5. Recursos para el Análisis de Perturbaciones
6. Metodología y criterios para el Análisis de Perturbaciones
7. Análisis de perturbaciones - Casos Aplicativos en sistema de transmisión

Importancia del Análisis de Fallas

Por qué hacer el Análisis de Perturbaciones?



- Los mayores apagones en el país se originaron por fallas en los sistemas de transmisión, causadas por fenómenos naturales, medios ambientales, fallas de equipos, acciones de terceros y errores humanos.
- Esta misma tendencia se observa a nivel mundial: apagones en EEUU, Italia, Inglaterra, Suecia y Colombia.
- Si bien los apagones de gran magnitud se originan en fallas en la transmisión, la causa raíz de éstos se ubican *en insuficiencias del sistema para soportar la desconexión de una instalación de transmisión*. En su mayoría, los apagones se producen por inestabilidades angulares o colapsos de tensión del sistema.
- Las desconexiones de generación originan rechazos aislados de carga o racionamiento.



Apagón de New York del 14 de agosto de 2003

SISTEMA ELÉCTRICO	CORTO-CIRCUITO
Generación	6%
Subestaciones	5%
Líneas de transmisión	89%

Fuente: Curto-Circuito Geraldo Kinderman

TIPO	DESCRIPCIÓN
I	Fenómenos Naturales
IA	Descargas Atmosféricas
II	Condiciones Ambientales
III	Equipos, Materiales
IV	Error Humano
V	Terceros
VI	Otras Causas

Fuente: CIER

TIPOS DE CORTO-CIRCUITOS	% DE OCURRENCIAS
3Ø	06 %
2Ø	15 %
2Ø – Tierra	16 %
1Ø – Tierra	63 %

Fuente: Curto-Circuito, Geraldo Kinderman

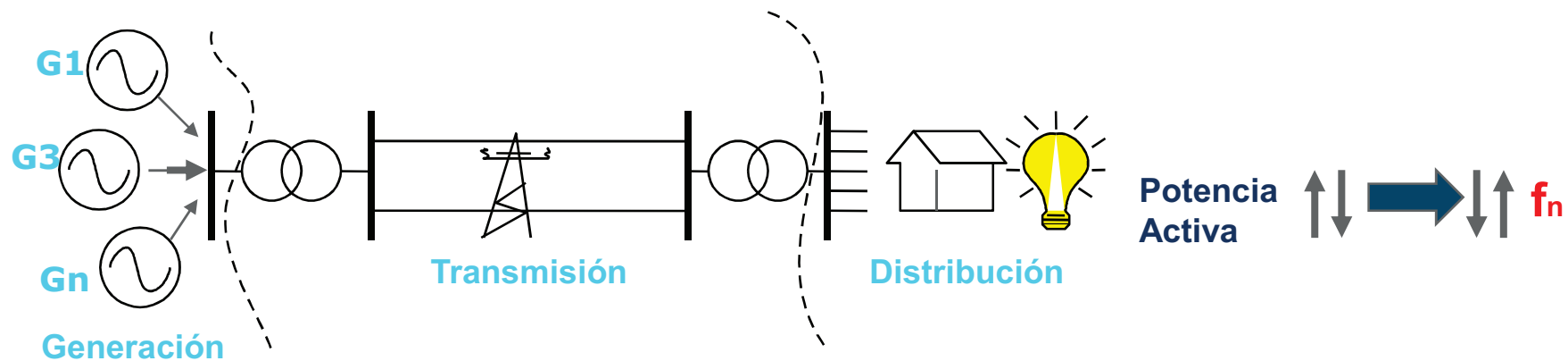
SISTEMA DE PROTECCIÓN	
Equipos	Tasa de falla
Interruptor	47.16 %
TC y TP	0.47 %
Relé	4.74 %
Batería	47.16 %
Circuito	0.47 %

Fuente: Protección de SEP, Geraldo Kinderman

- ❑ Toda carga que realiza trabajo o produce calor consume potencia activa.
- ❑ En cada instante, la energía consumida está siendo generada en algún lugar del sistema. El sistema de potencia no almacena energía.

$$\text{Potencia Generada} = \text{Potencia Consumida} + \text{Pérdidas (G, T, D)}$$

- ❑ La actuación de los reguladores de velocidad de las máquinas y/o esquemas especiales de rechazo de carga o generación restablecen la f_n .



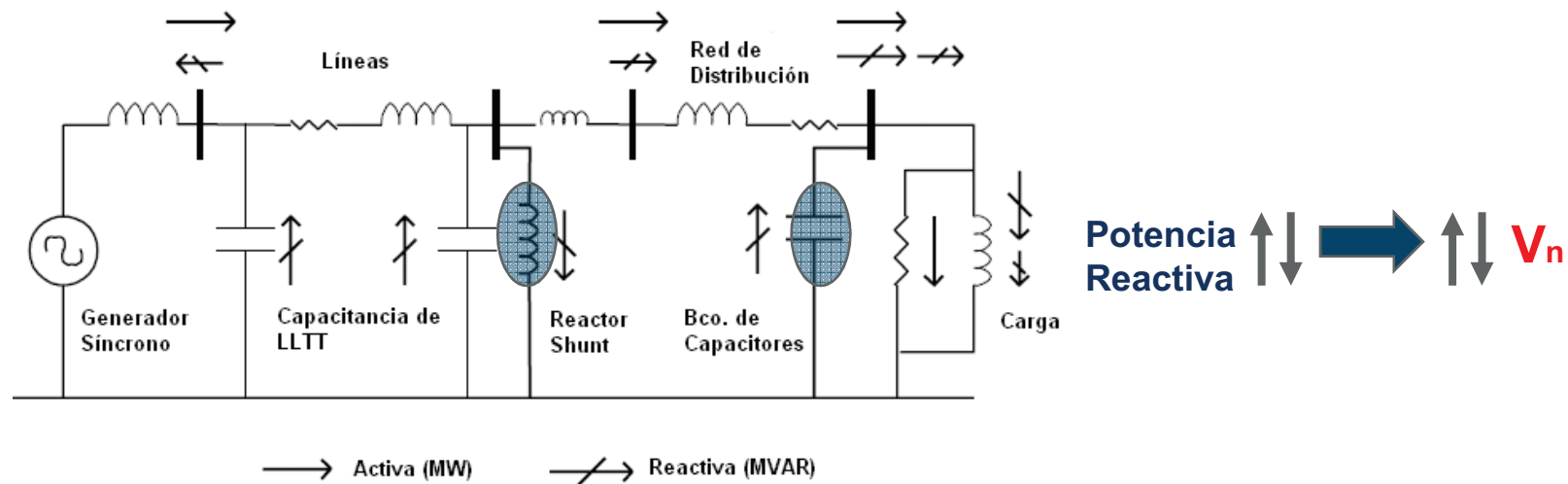
Toda variación de carga (MW) en el sistema, está estrechamente ligada con la frecuencia del sistema

Importancia del Análisis de Fallas

Consideraciones - Tensión y Potencia Reactiva



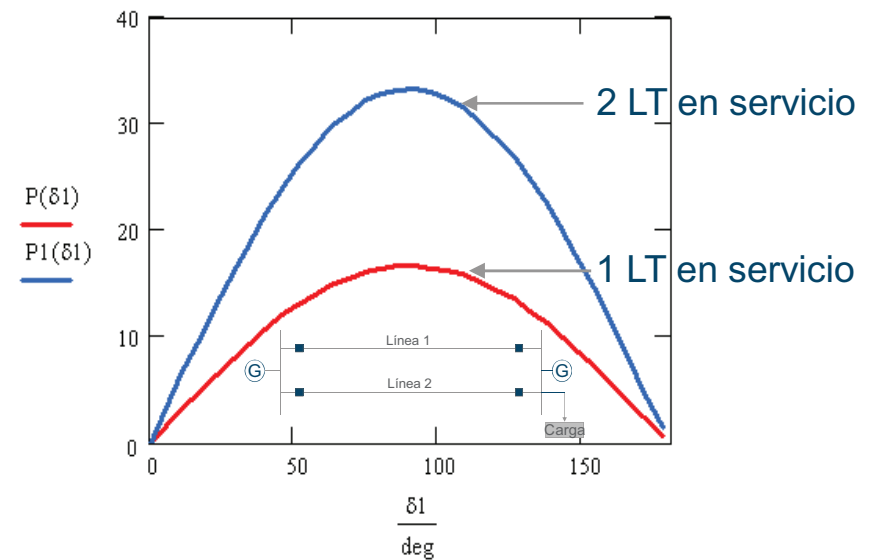
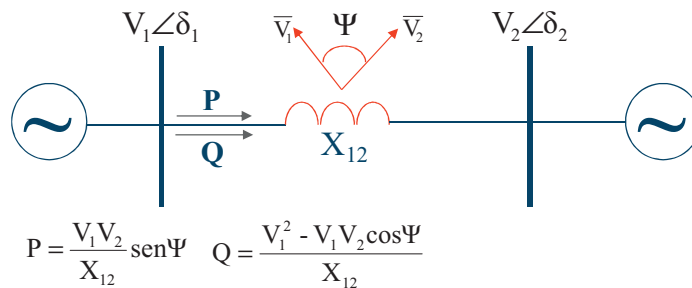
- Los equipos de compensación reactiva se instalan para aportar o absorber potencia reactiva de acuerdo con las necesidades del sistema.



Toda variación de potencia reactiva (Mvar) en el sistema, generada o consumida, está estrechamente ligada con la tensión del sistema



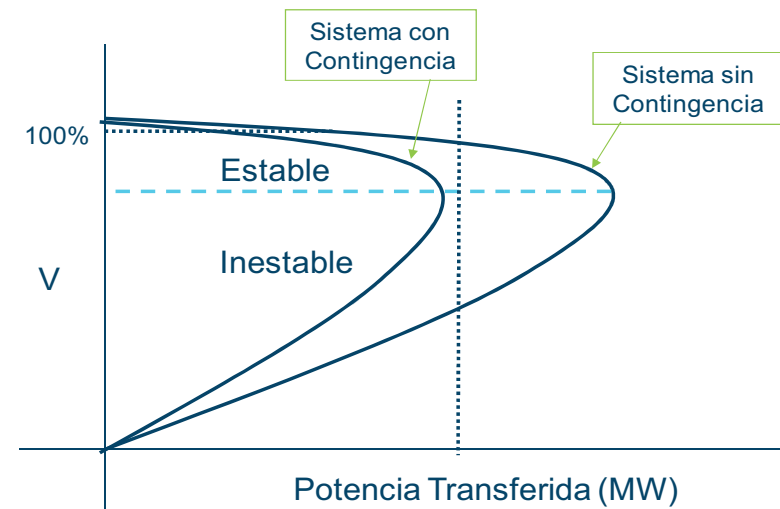
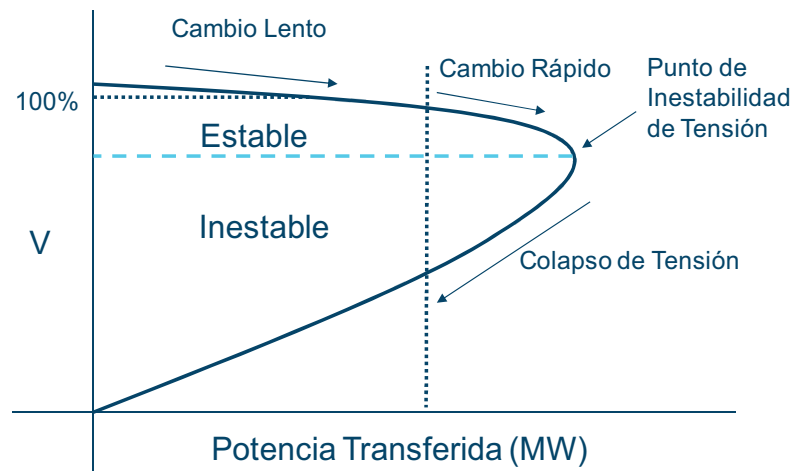
- ❑ La estabilidad es la capacidad de un sistema de potencia de; dada cierta condición inicial de operación, lograr un estado normal de equilibrio luego de la ocurrencia de una perturbación.
- ❑ La estabilidad del sistema depende de:
 - a. La naturaleza del disturbio
 - b. La Magnitud del disturbio
 - c. Las condiciones iniciales de operación.



- Estabilidad de tensión: relacionada con la capacidad de un SEP de mantener estable la tensión en todas sus barras en estado estacionario y luego de una perturbación.

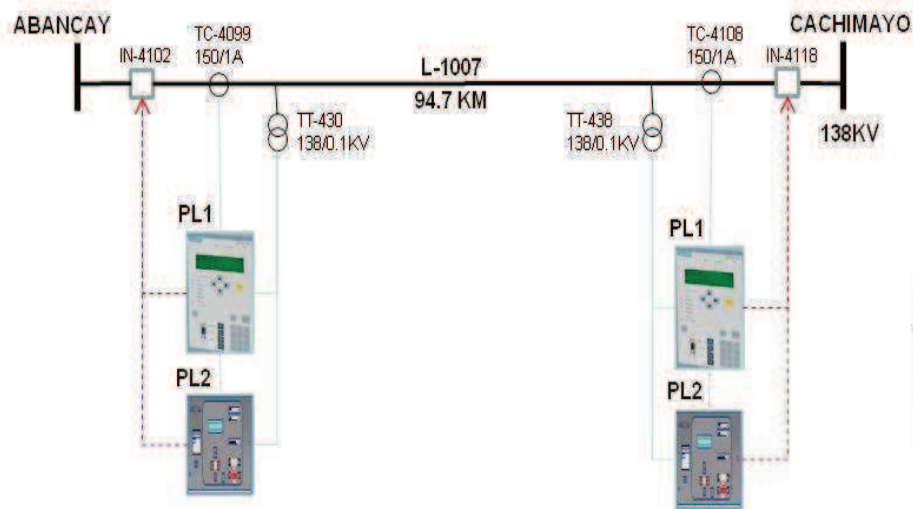
El colapso de tensión es el resultado posible de una condición de inestabilidad de tensión.

El sistema puede perder estabilidad en caso de una contingencia.

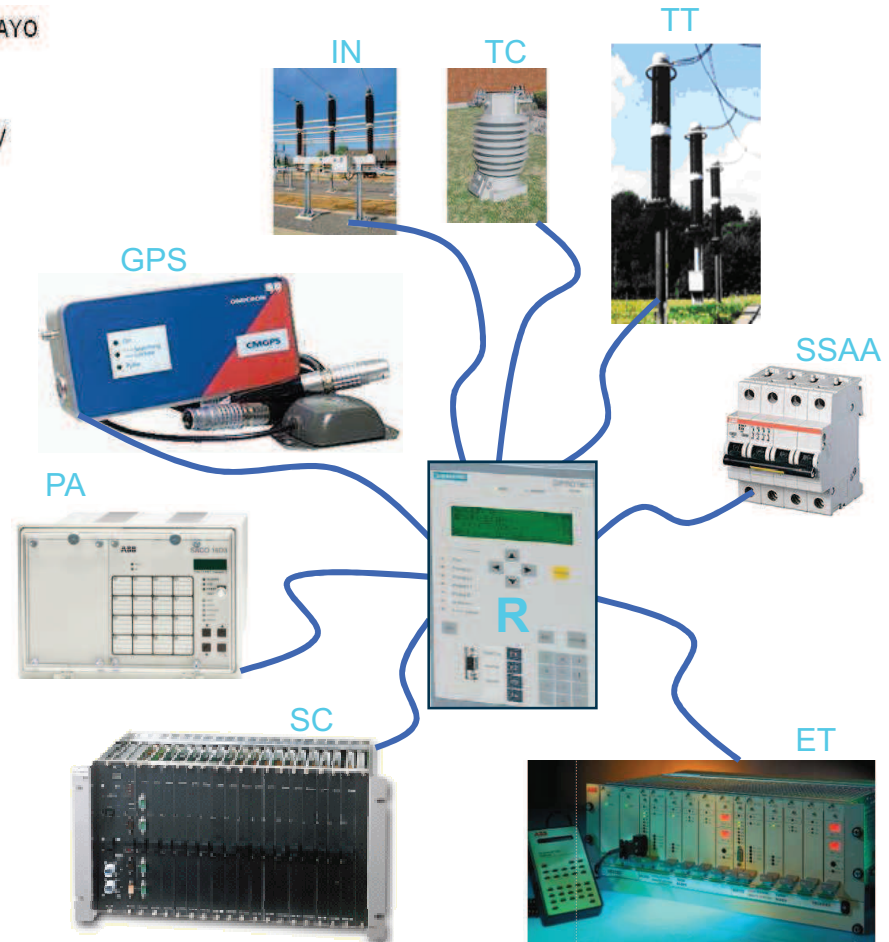


Importancia del Análisis de Fallas

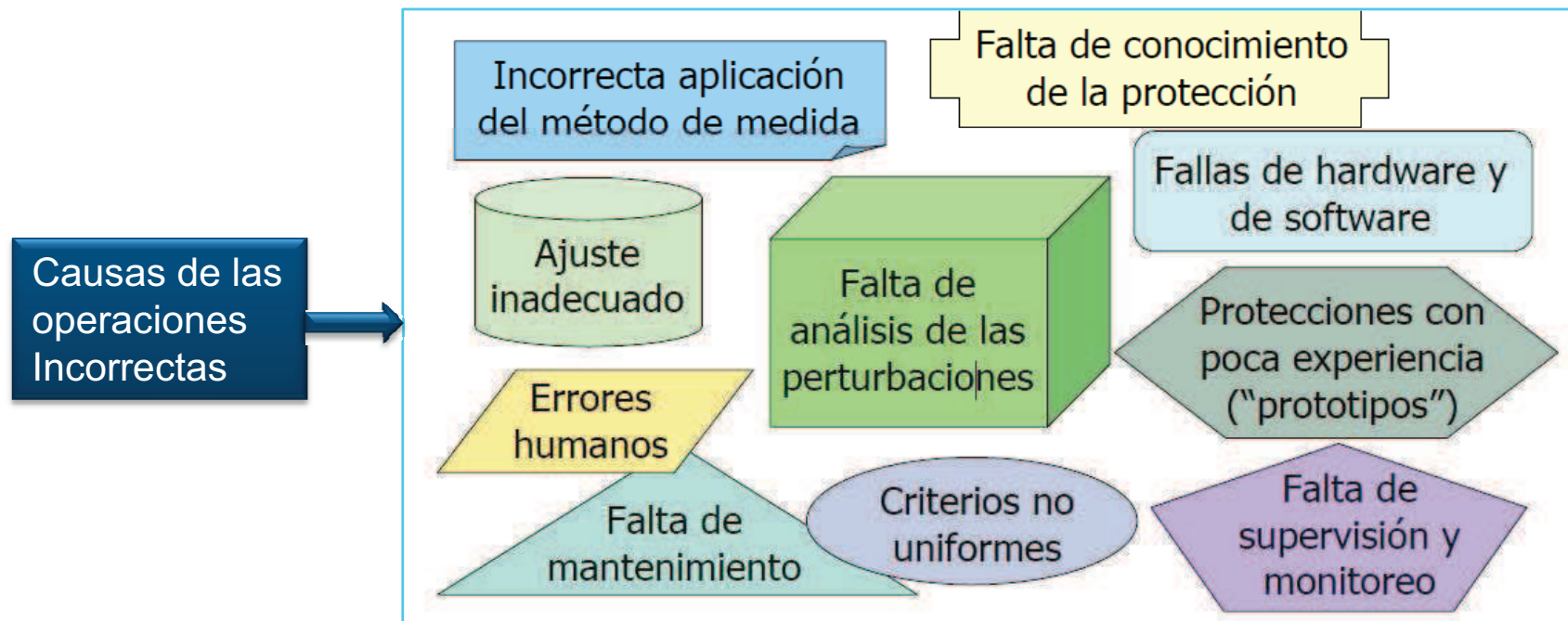
Consideraciones – Sistemas de Protección



- Relé de protección (R)
- Interruptor de potencia (IN)
- Transformadores de TT y TC
- Equipo de teleprotección (ET)
- Sistema de Control (SC)
- Panel de alarma (PA)
- GPS
- Servicios auxiliares (SSAA)
- Conexiones entre ellas (C)

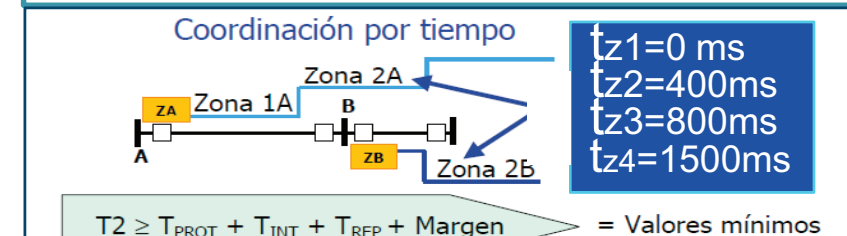
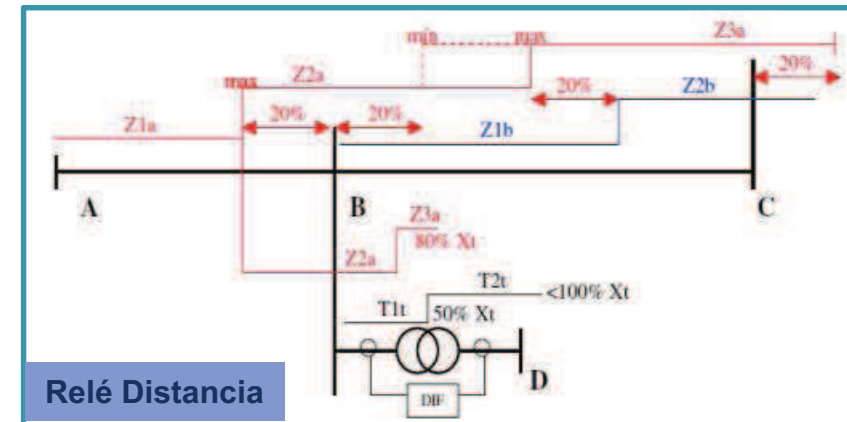
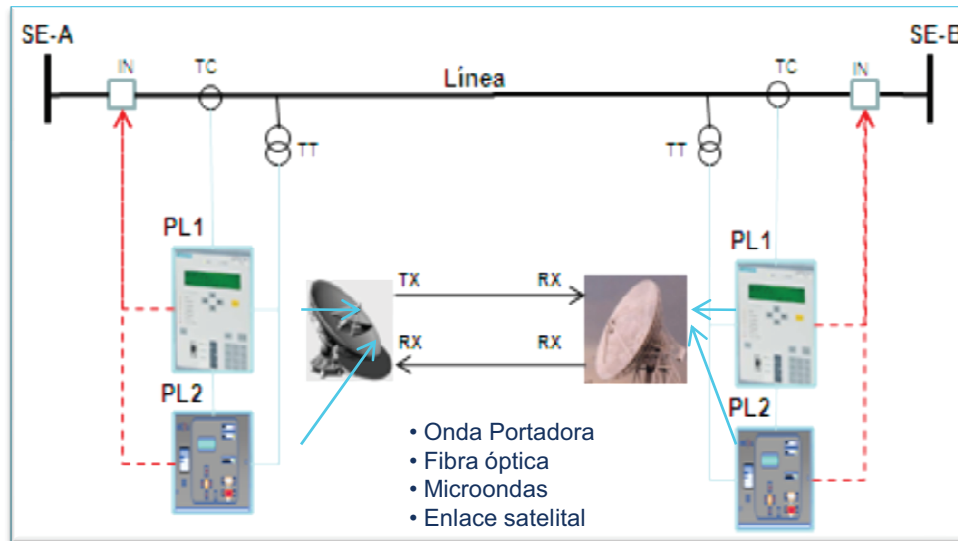


- ❑ **Seguridad:** Capacidad del relé de evitar operaciones indeseadas (no operar cuando no se requiere su operación)
- ❑ **Confiabilidad:** Capacidad del relé operar correctamente (operar cuando se requiere su operación)



Importancia del Análisis de Fallas

Consideraciones – Sistemas de Protección LT

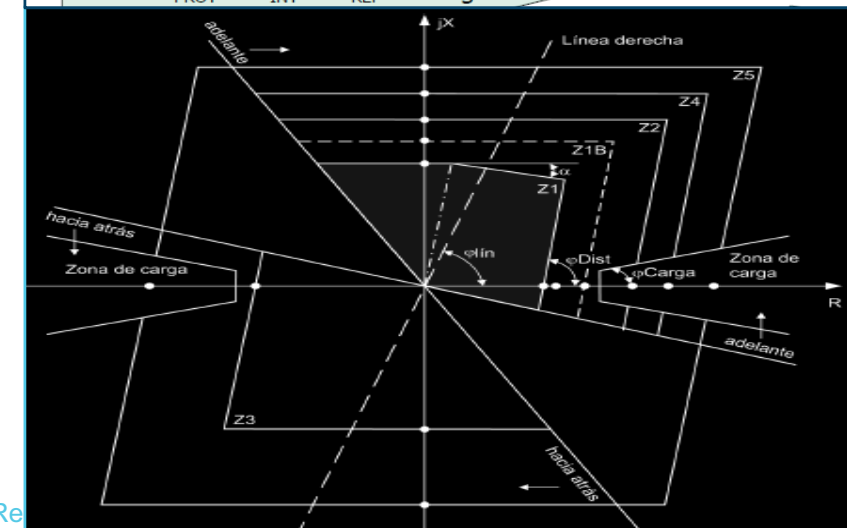


Protección de línea:

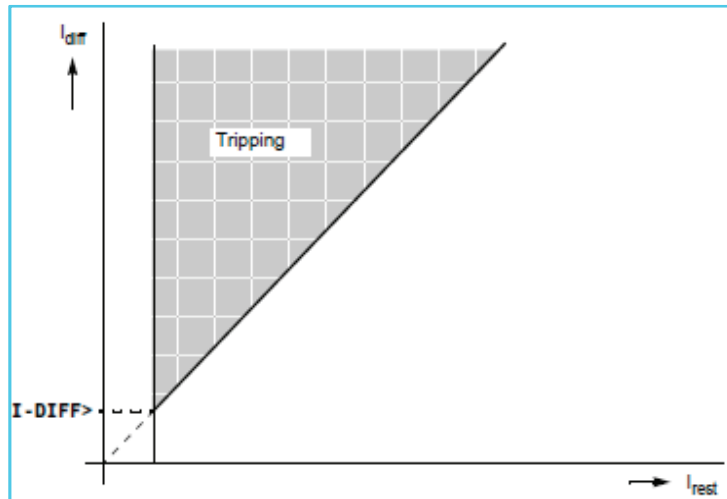
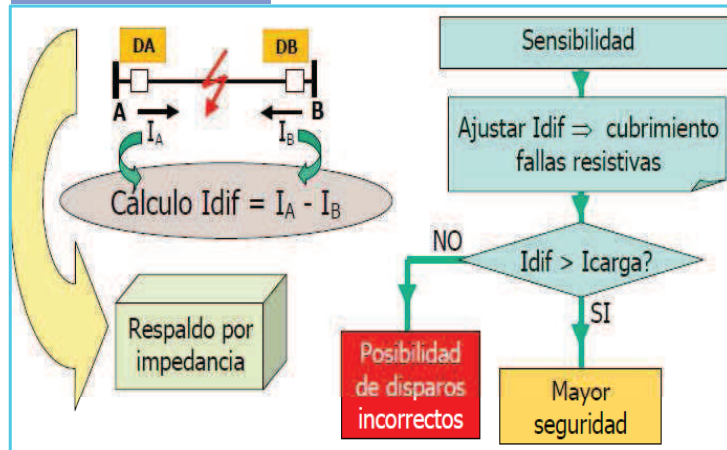
- ☐ Distancia 21,
- ☐ Sobrecorriente direccional – 67/67N
- ☐ Diferencial de línea – 87L

PL1 y PL2 redundante

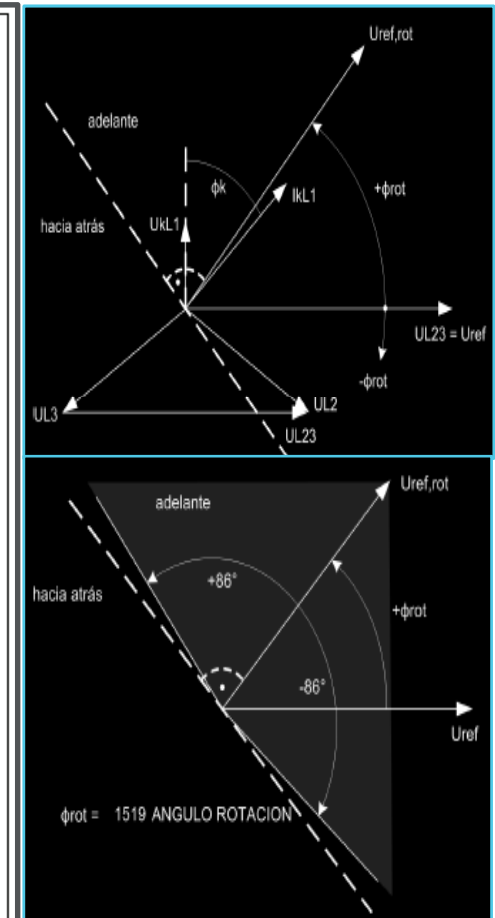
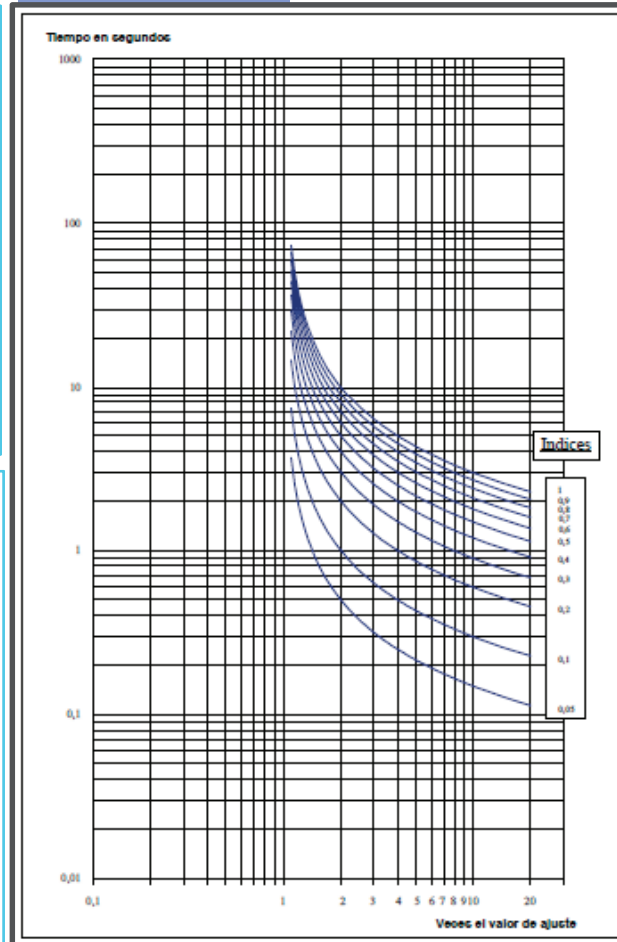
- ☐ Func. principales: 21, 67N, 87L, 79, 25, 68
- ☐ Func. adicionales: SOFT, Falla fusible, WEI Oscilografía, Localizador de falla.

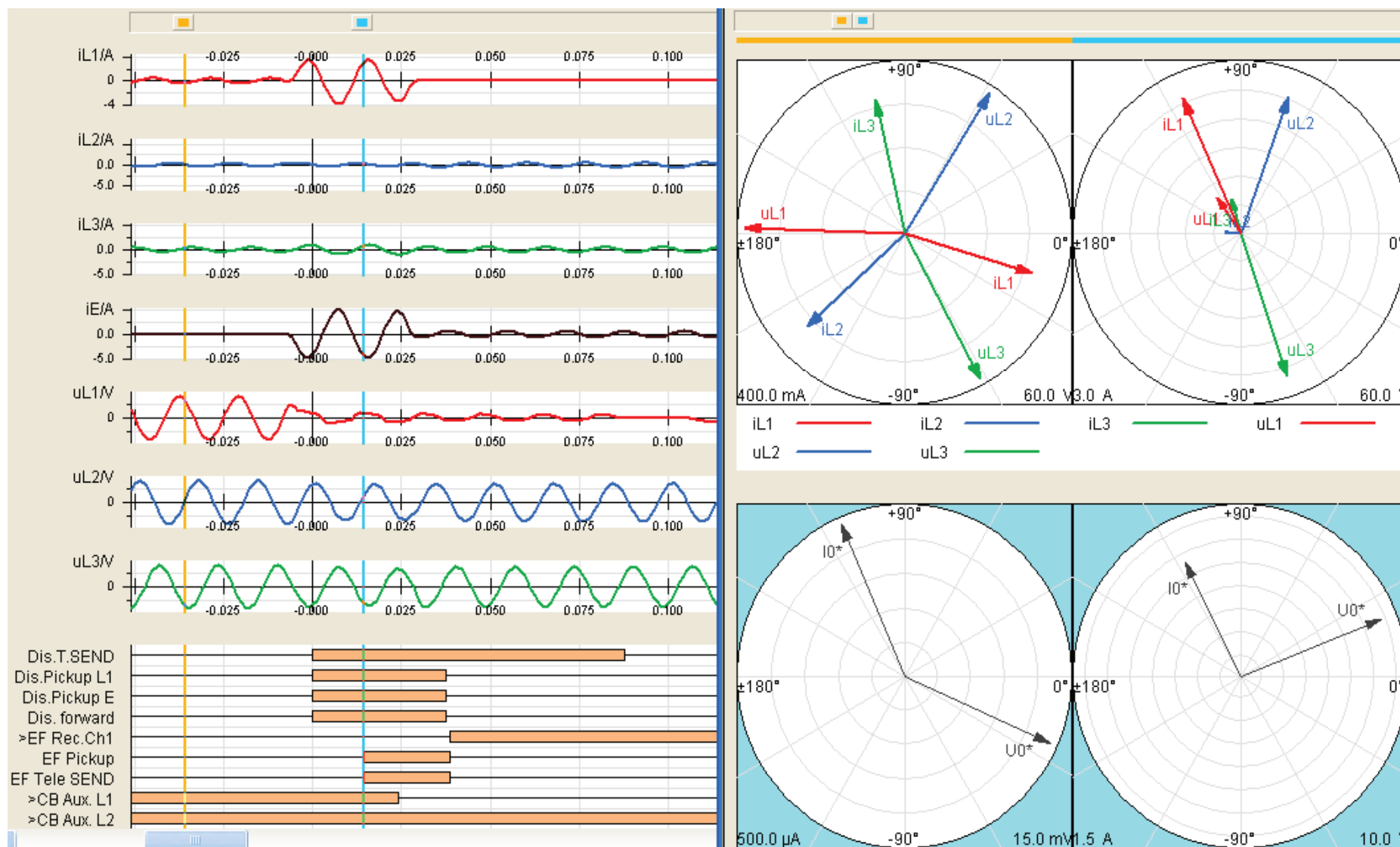


Diferencial



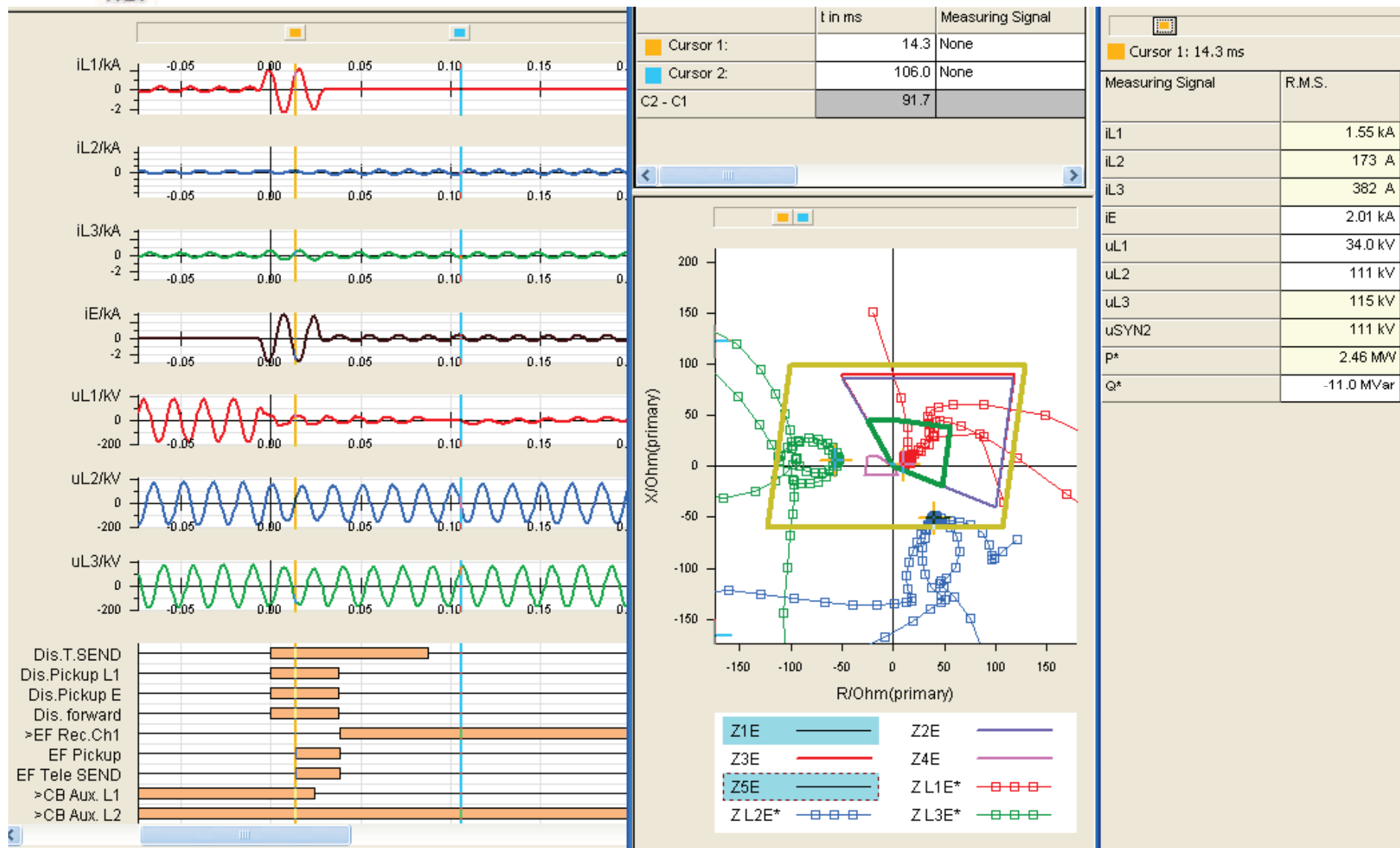
Direccional

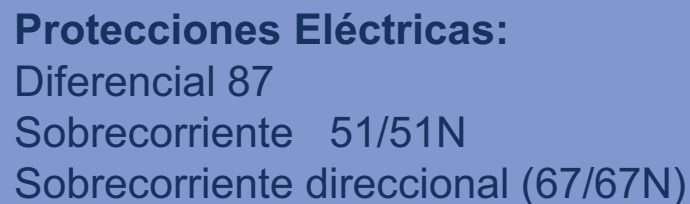




Importancia del Análisis de Fallas

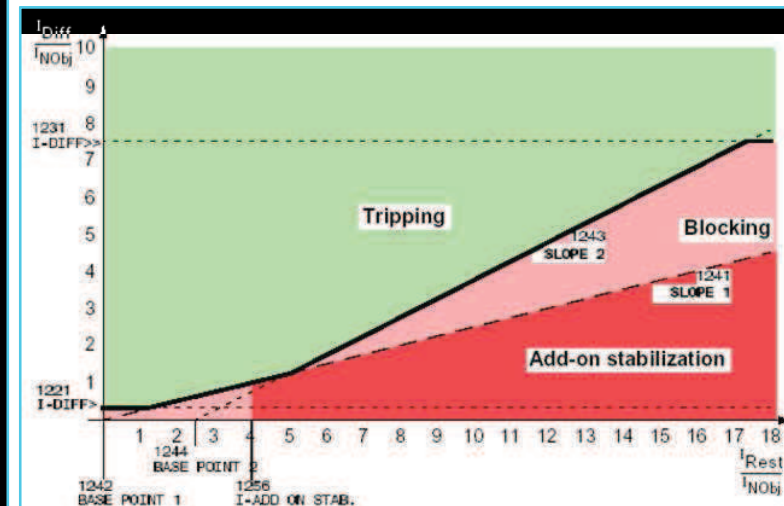
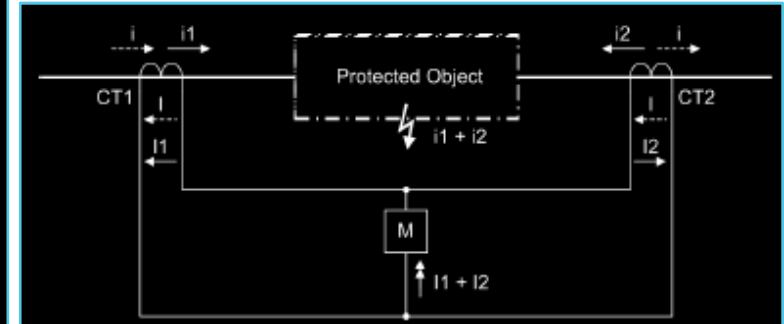
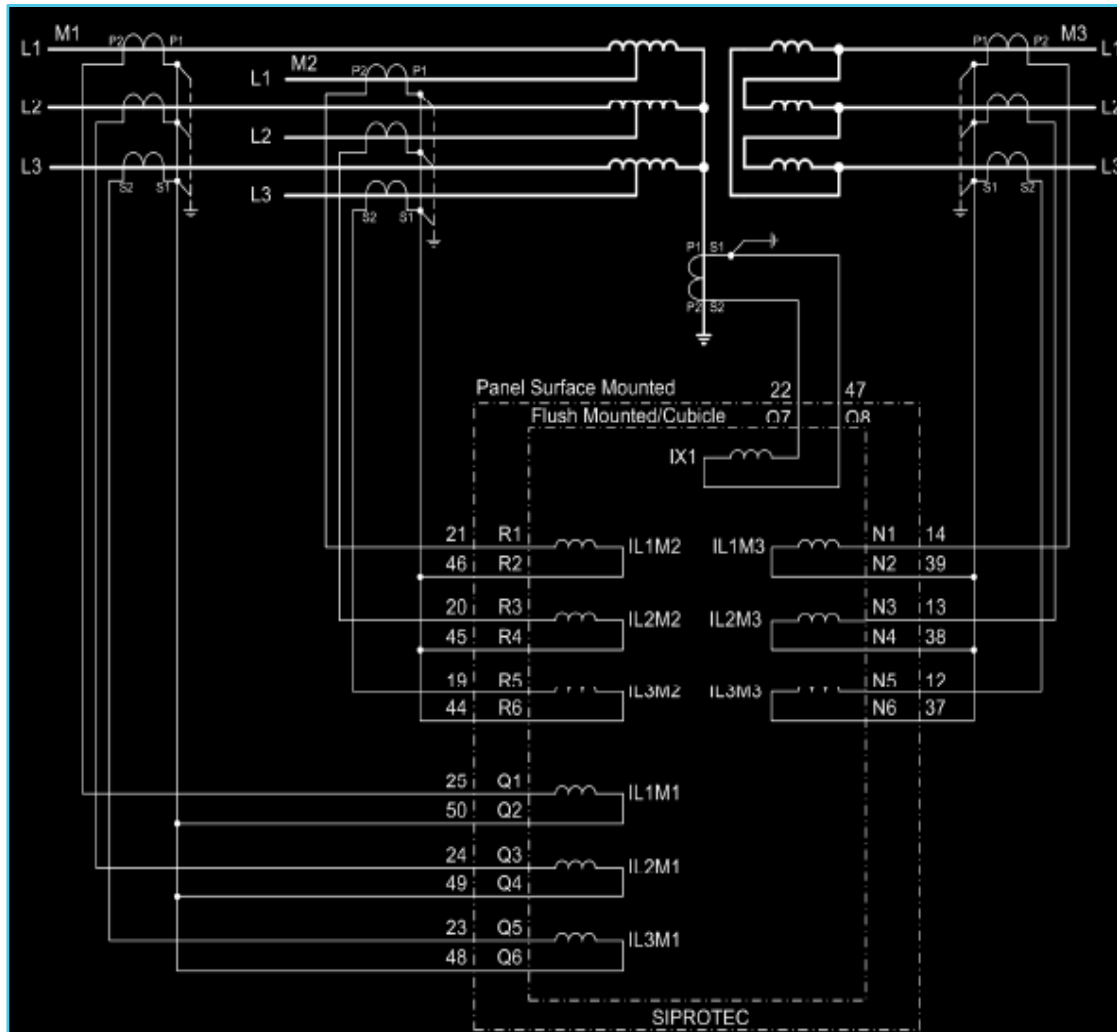
Consideraciones – Sistemas de Protección LT



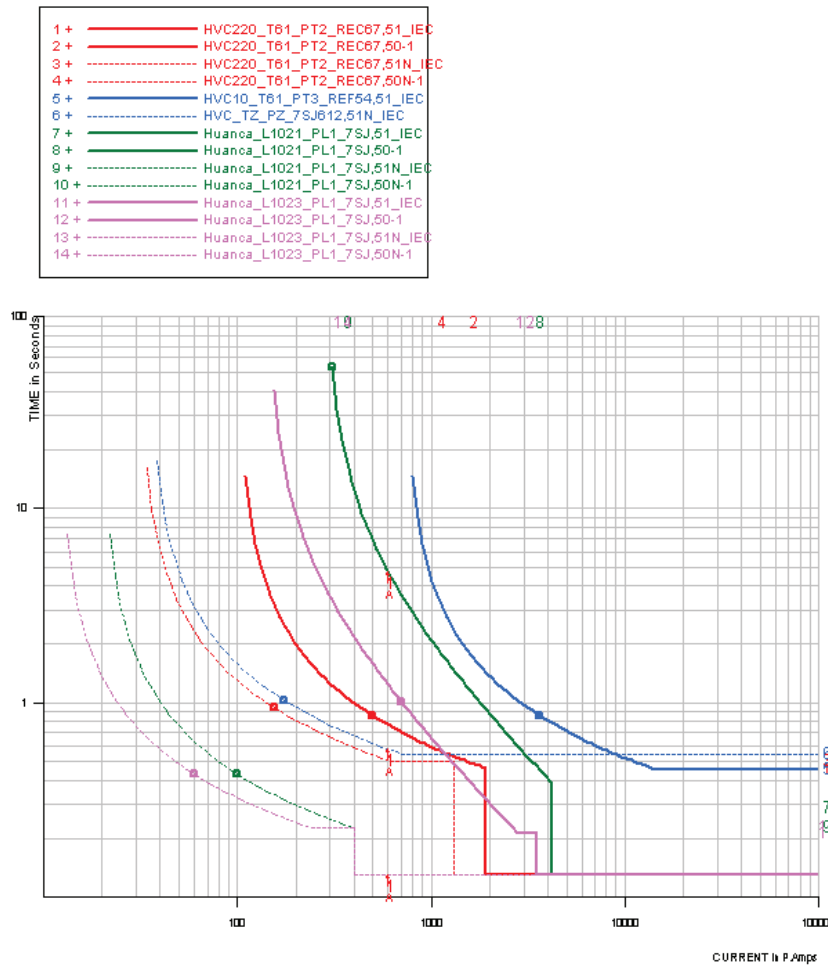


por Red de Energía del Perú S.A.

Diferencial

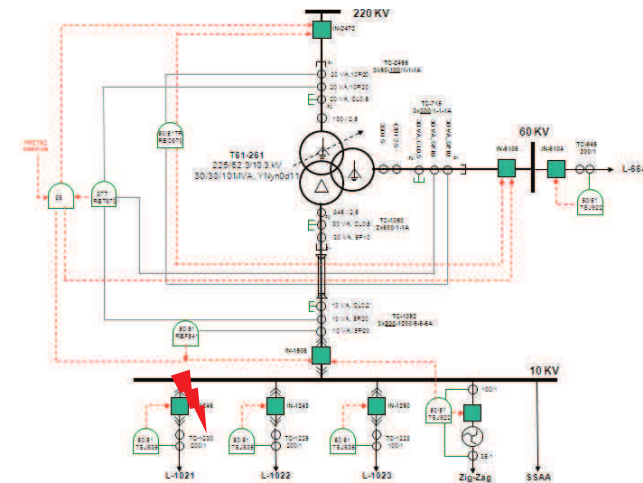


Sobrecorriente



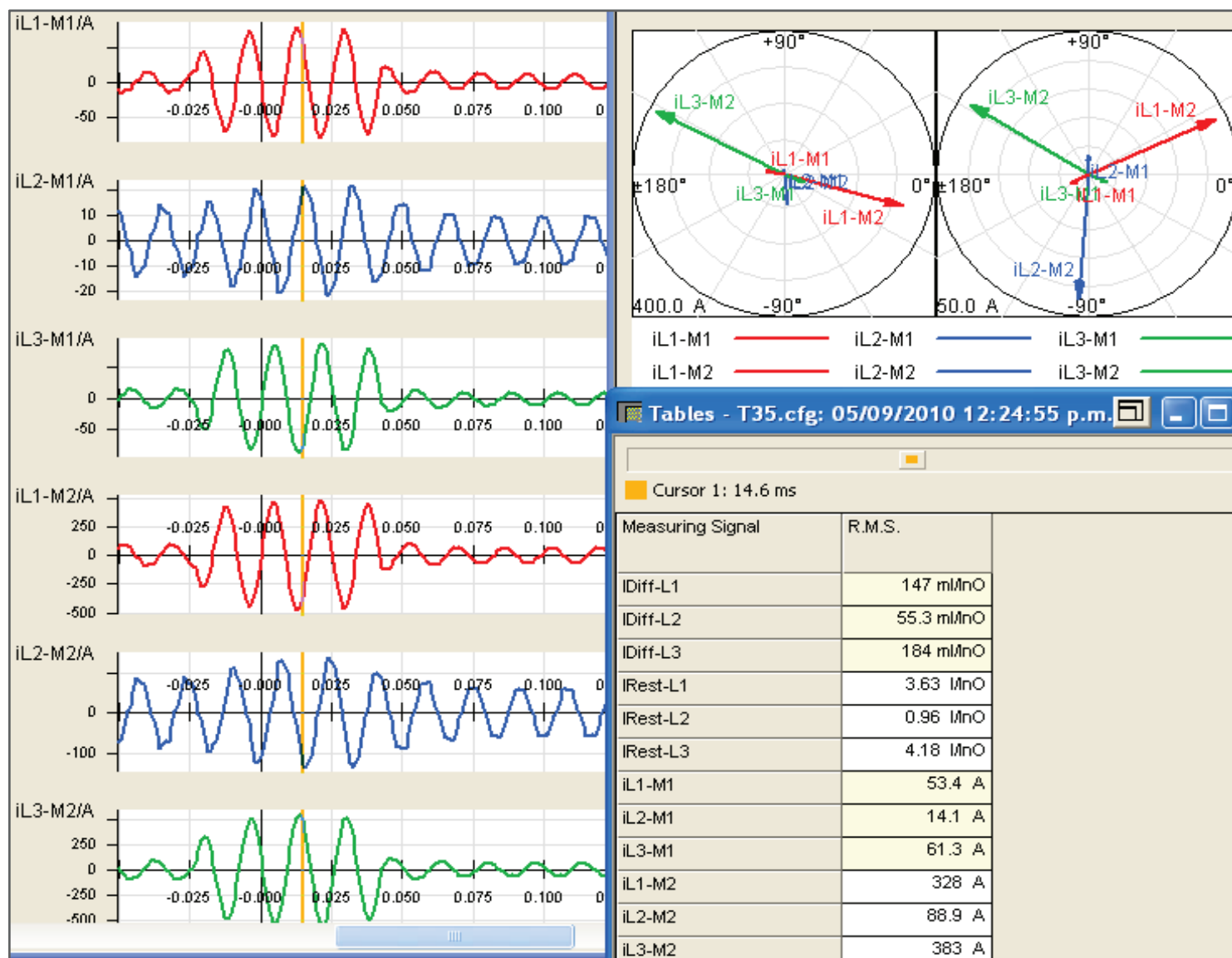
Fault: A
SINGLE_LINE_GROUND at bus 816 L1021

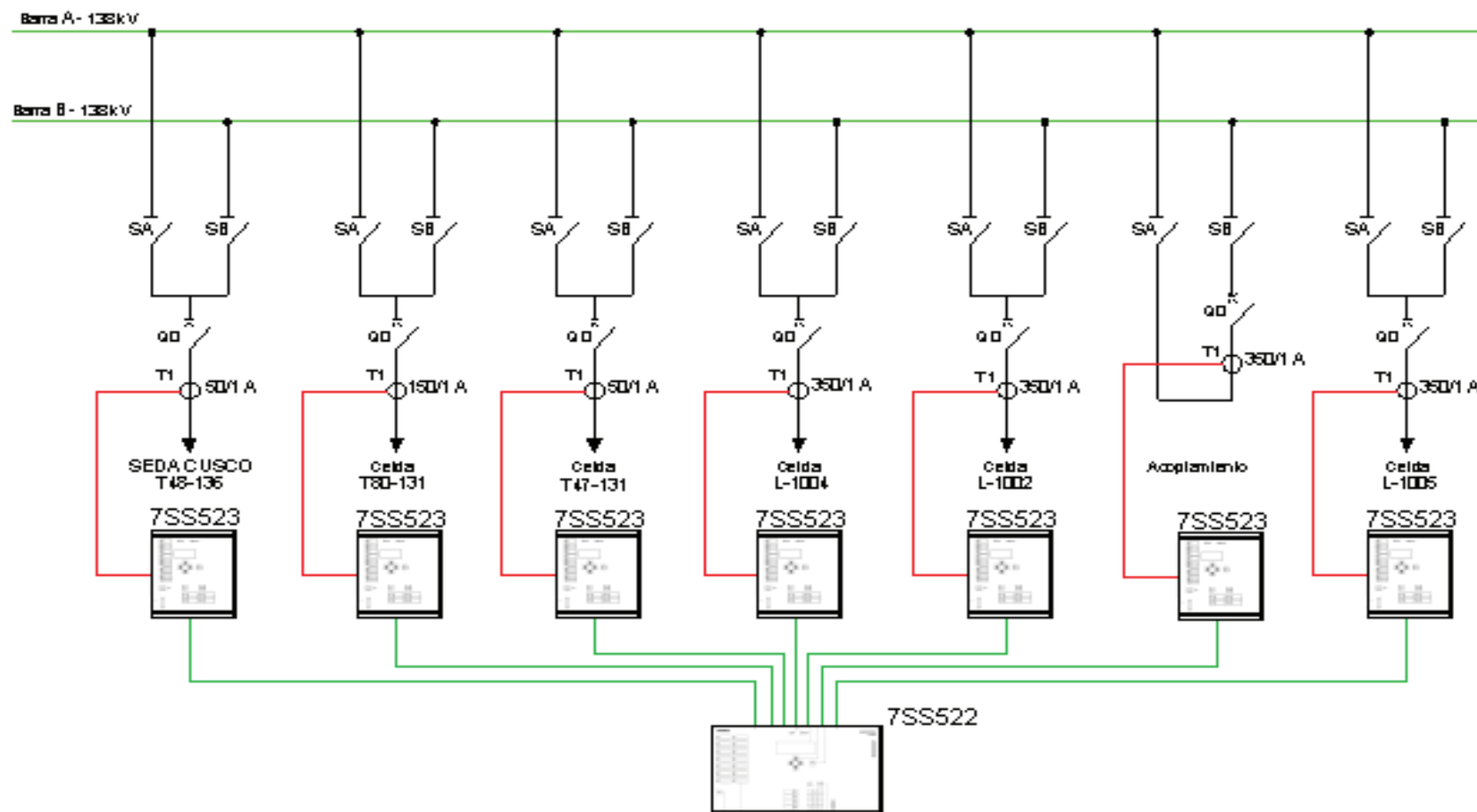
Curve	Current Primary A	A/Pickup	Operating Seconds	Source/Total line (+)
1	15.68	0.16	Infinite	0.17 @ -5.3
2	15.68	0.01	Infinite	Unavailable
3	0.00	0.00	Infinite	0.17 @ -5.3
4	0.00	0.00	Infinite	Unavailable
5	395.80	0.54	Infinite	1.18 @ -181.3
6	599.07	17.12	0.575	1.00 @ 0.0
7	597.91	2.14	4.757	492.99 @ 42.5
8	597.91	0.14	Infinite	Unavailable
9	599.07	29.95	0.227	492.99 @ 42.5
10	599.07	1.50	0.130	Unavailable
11	3.83	0.03	Infinite	Unavailable
12	3.83	0.00	Infinite	Unavailable
13	0.00	0.00	Infinite	Unavailable
14	0.00	0.00	Infinite	Unavailable



Importancia del Análisis de Fallas

Consideraciones – Sistemas de Protección Transformadores



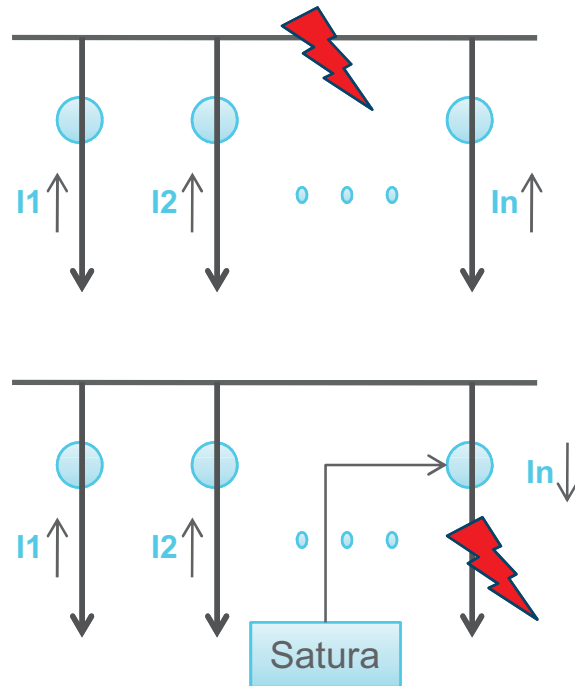


Protección Diferencial de barras:

- Distribuida y Concentrada
- Baja Impedancia y alta impedancia

PB1 distribuida de baja impedancia

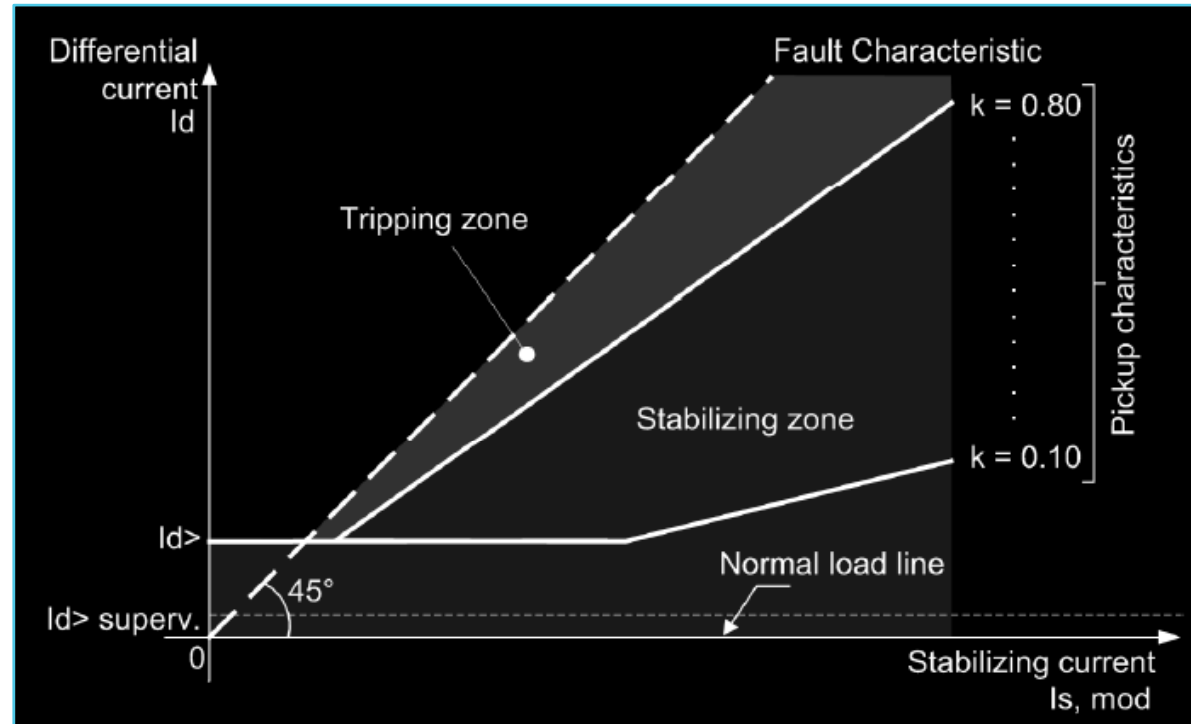
- Func. principales: 87B y 50BF
- Func. adicionales: Oscilografías



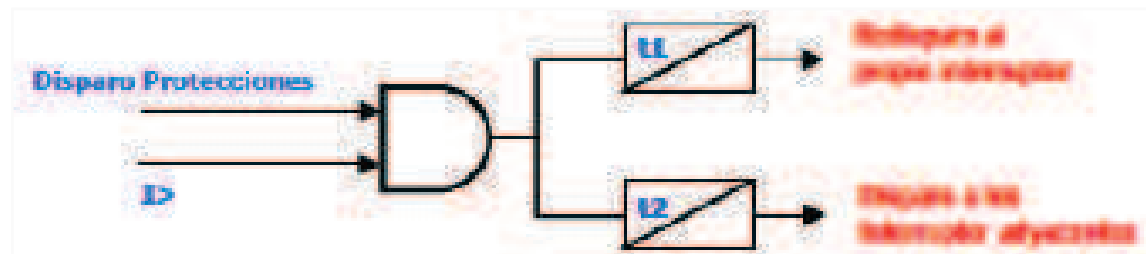
$$I_d = |I_1 + I_2 \dots + I_n|$$

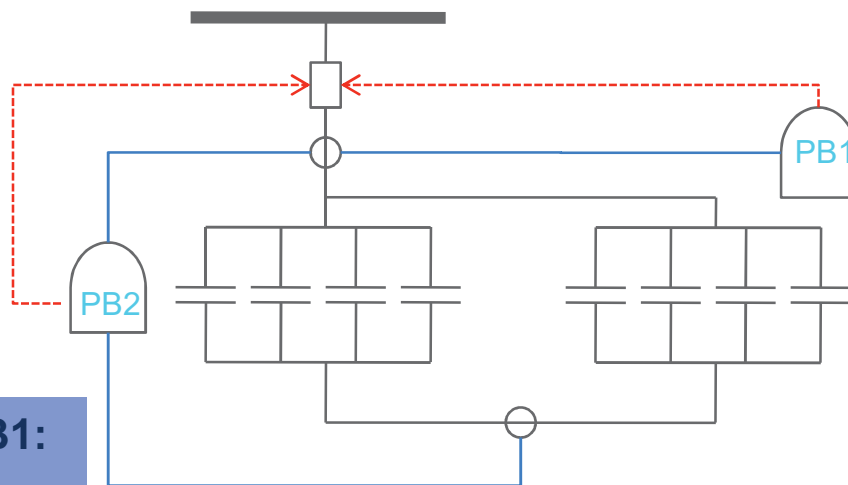
$$I_s = |I_1| + |I_2| \dots + |I_n|$$

Diferencial



$$1.3 \times I_{\max_bahía} \leq I_d \leq 0.8 \times I_{cc_mínima}$$





Protección Banco PB1:

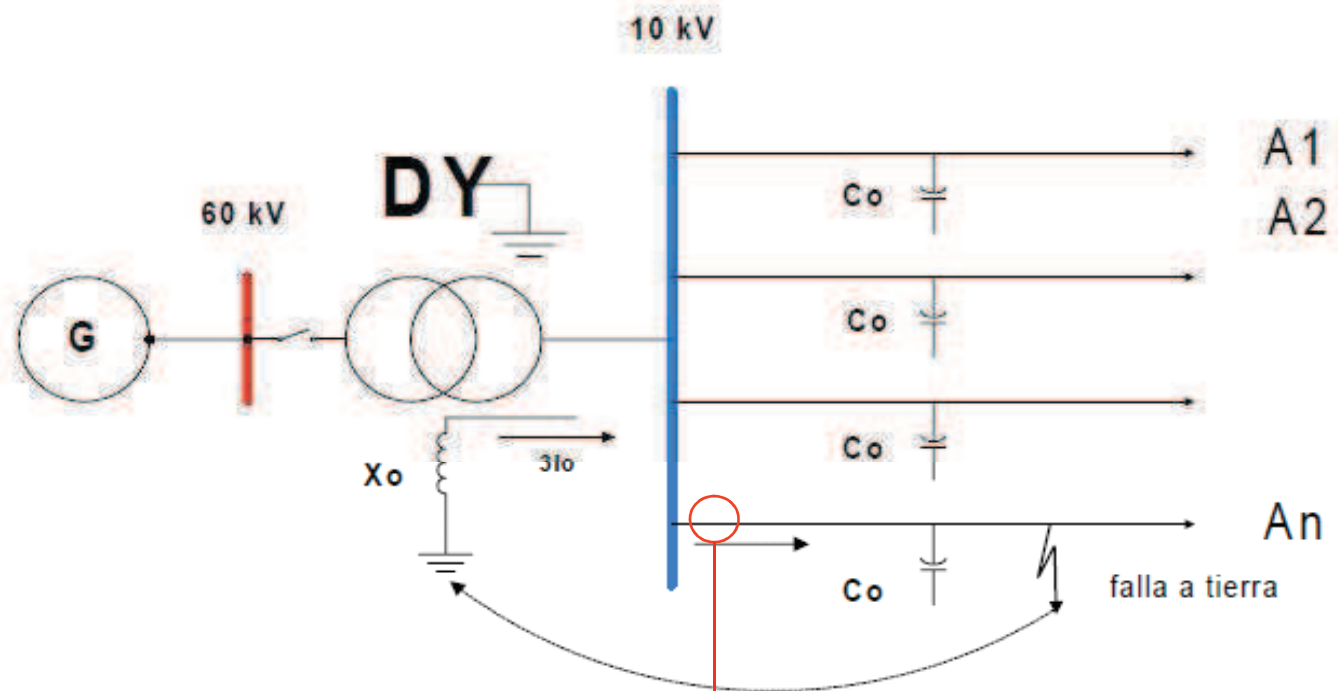
- ☐ Sobrecorriente
- ☐ Sobre y mínima tensión
- ☐ Falla interruptor

Protección Banco PB2:

- ☐ Desbalance de corriente neutro
- ☐ Protección de Sobrevoltaje de Picos Repetitivos
- ☐ Protección de Sobrecorriente Térmica
- ☐ Protección de Desbalance de Línea a Frecuencia Fundamental
- ☐ Protección de Falla a Tierra a Frecuencia Fundamental
- ☐ Protección Sobrecorriente y Sobrevoltaje a Frecuencia Fundamental
- ☐ Protección de Sobrecorriente RMS
- ☐ Protección de Baja Corriente a Frecuencia Fundamental

Importancia del Análisis de Fallas

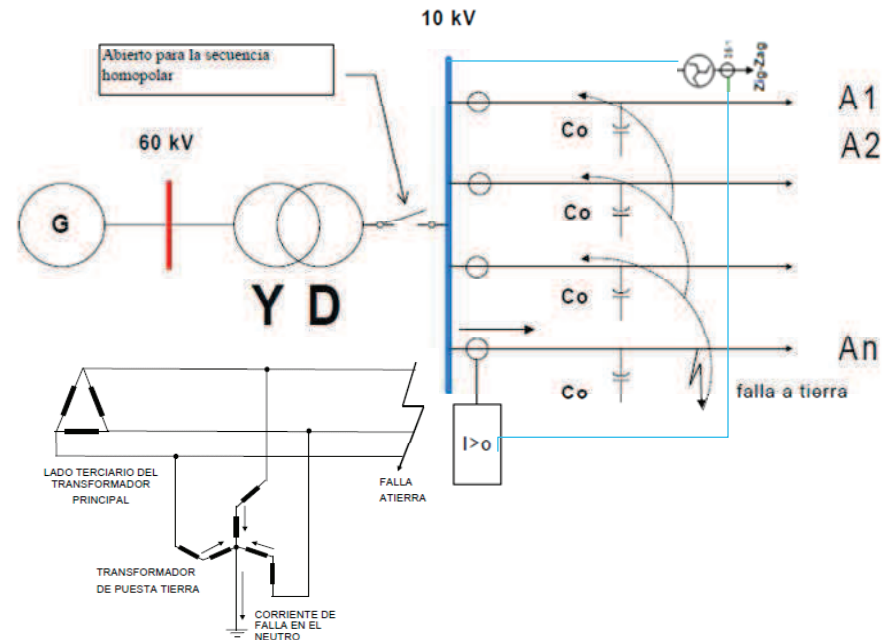
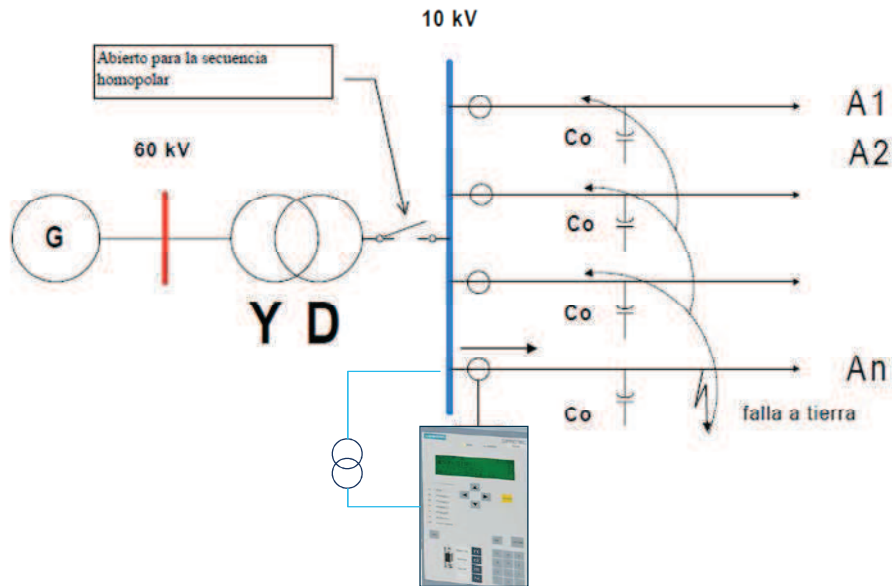
Consideraciones – Sistemas de Protección Radiales



Protección de Sobrecorriente:

- ☐ Sobrecorriente de fases y tierra (50/51, 50N/51N).
- ☐ Recierre automático.
- ☐ Oscilografías





Protección de Sobrecorriente:

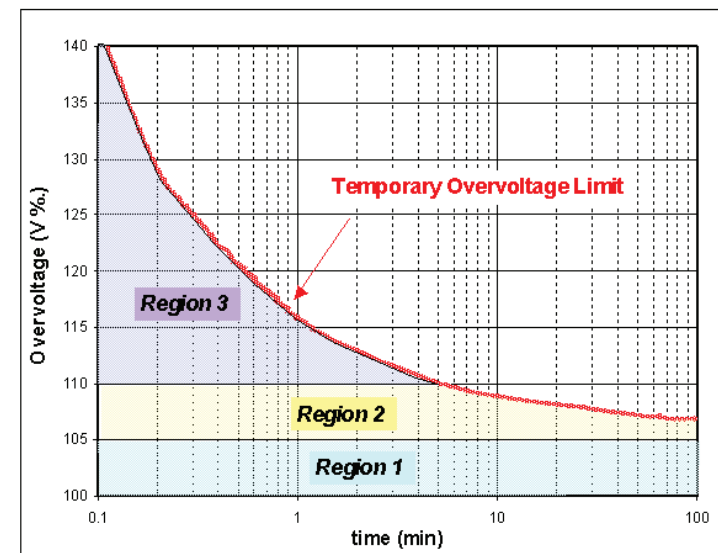
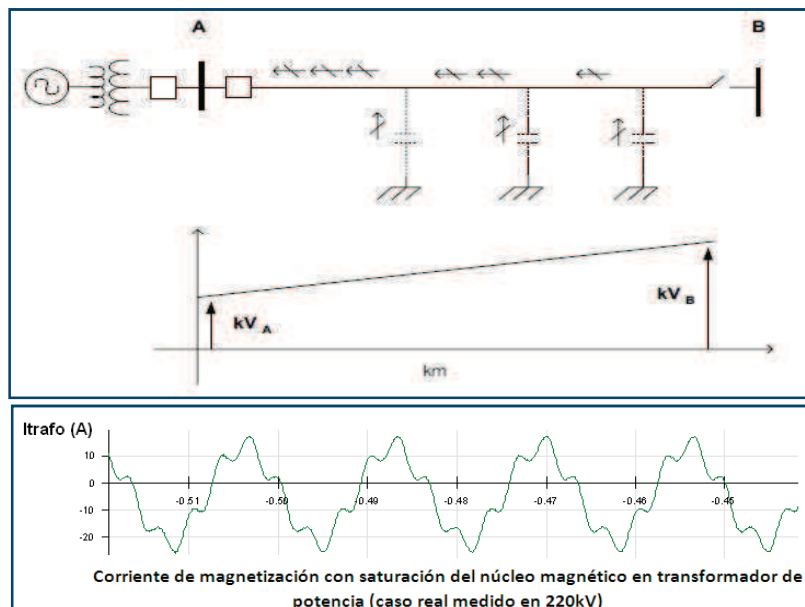
- ☐ Sobrecorriente de fases (50/51)
- ☐ Sobrec. direccional a tierra sensible 67Ne.
- ☐ Tensión homopolar 59N
- ☐ Recierre automático
- ☐ Oscilografías

Protección de Radial

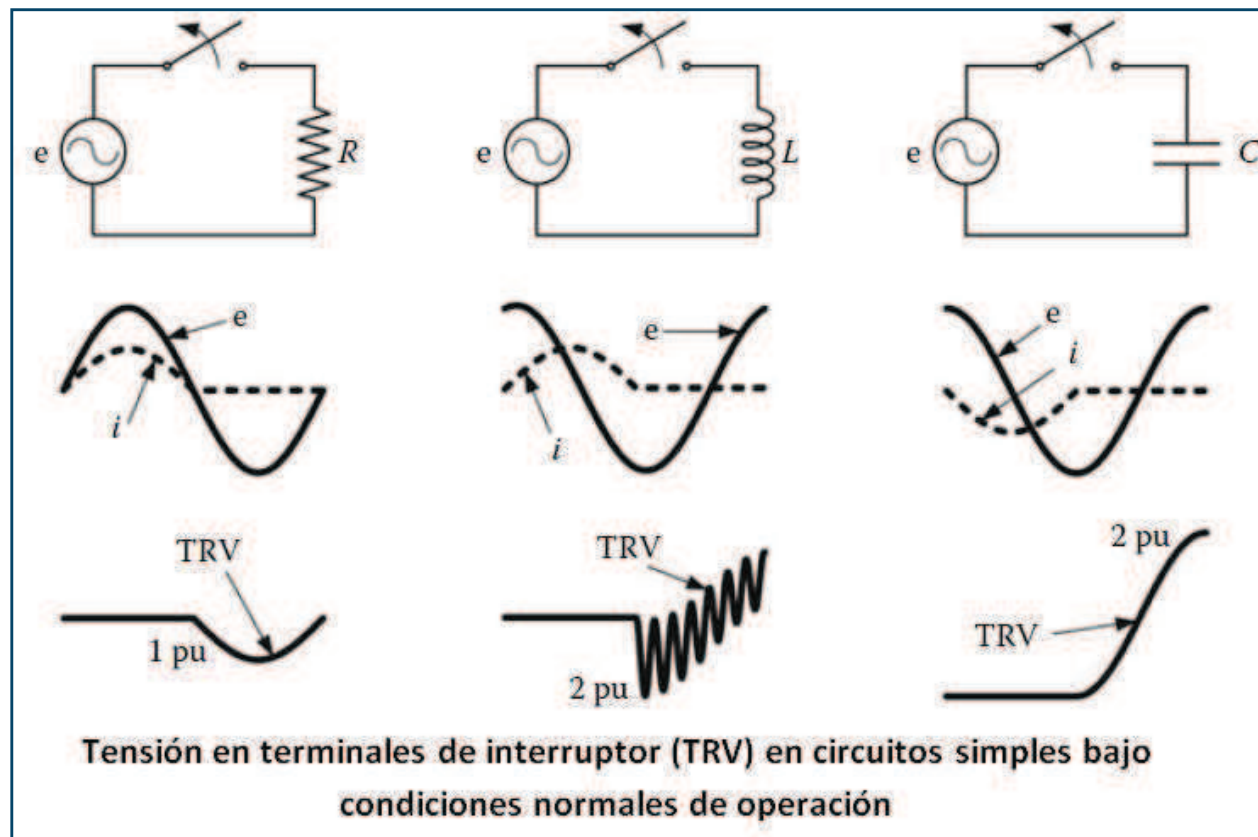
- ☐ Sobrecorriente de fases y tierra (50/51).
- ☐ Tensión homopolar 59N
- ☐ Recierre automático.
- ☐ Oscilografías

1. Introducción
2. Comportamiento del Sistema Eléctrico Peruano en el Corto Plazo
3. Importancia del Análisis Fallas
- 4. Anomalías que afectan la operación**
5. Recursos para el Análisis de Perturbaciones
6. Metodología y criterios para el Análisis de Perturbaciones
7. Análisis de perturbaciones - Casos Aplicativos en sistema de transmisión

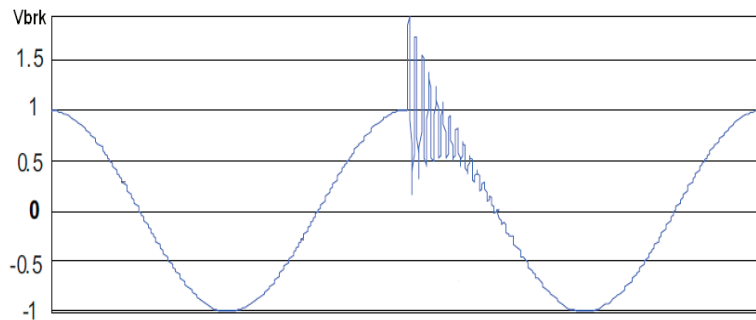
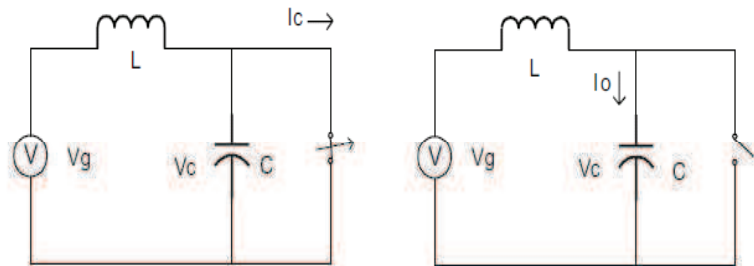
- ❑ Fenómeno de aumento de tensión a frecuencia industrial (60Hz) por encima de V_n .
- ❑ Caso típico: extremos de LT conectadas en vacío (efecto Ferranti).
- ❑ Saturación del núcleo magnético y consecuente incremento de la corriente de magnetización provocando interferencias en el SEP.
- ❑ Calentamientos localizados.
- ❑ Solicitación elevada de aislamiento, provocando envejecimiento prematuro y disminución de vida útil.
- ❑ Las protecciones de sobretensión deben estar ajustadas para prevenir estos daños.



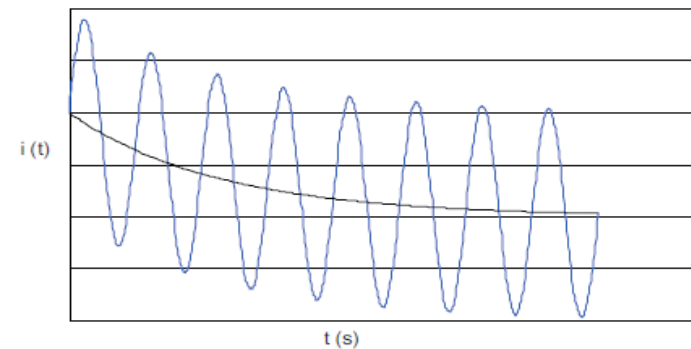
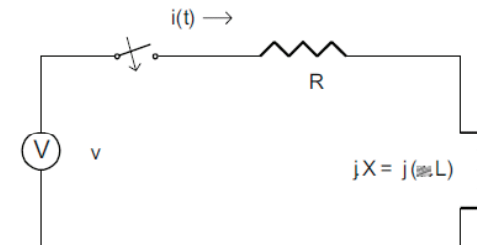
- Todo proceso de cierre o apertura de interruptores involucra una transferencia de energía que generan sobretensiones en el sistema, las cuales en mayor o menor grado, afectan el circuito maniobrado y alrededores.



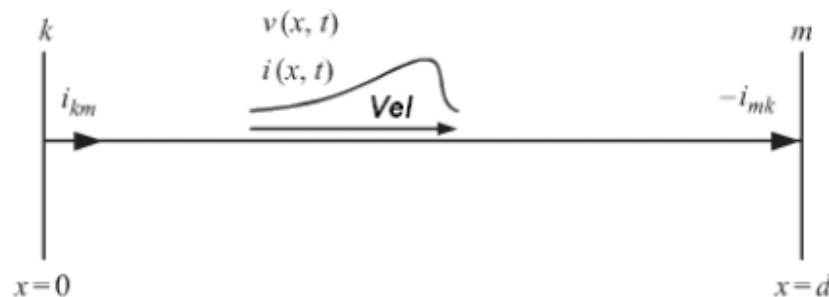
- Ante la apertura del interruptor para un circuito LC, ocurre un transitorio de tensión a alta frecuencia la cual depende de los parámetros L y C del circuito.



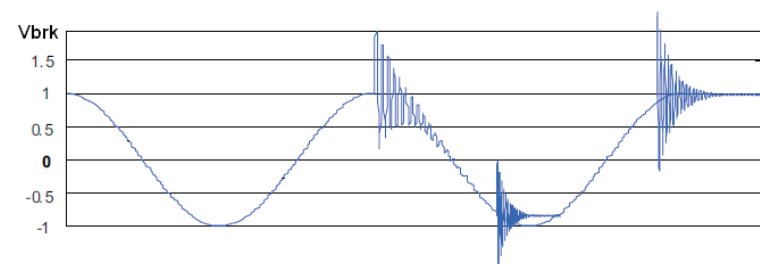
- Para el caso de un circuito RL, adicionalmente a las sobretensiones de maniobra, podemos presenciar la aparición de una componente DC en las corrientes de energización.



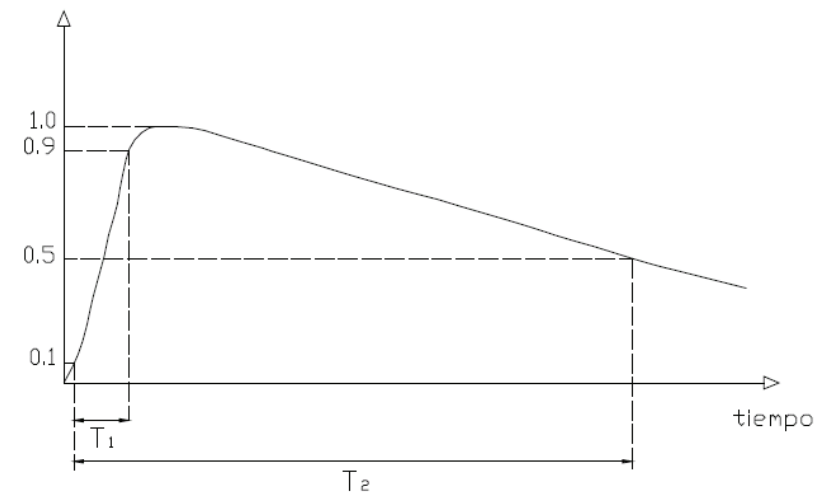
- El sistema de potencia está conformado por circuitos RLC en donde se aprecian los fenómenos descritos anteriormente.
- Las maniobras en circuitos capacitivos e inductivos que merecen mayor atención en alta tensión son los que involucran banco de capacitores y líneas de transmisión.
- Las frecuencias transitorias de energización se encuentran comúnmente entre 200 a 1000 Hz. Estas sobretensiones deben estar por debajo del nivel de protección de los pararrayos.
- En caso el interruptor no sea capaz de interrumpir la corriente debido a un alto TRV entre sus terminales puede ocurrir un reencendido de arco.



Onda viajera en una línea de transmisión



- ❑ Una descarga atmosférica sobre una LT o sus alrededores ocasiona un movimiento de carga que puede llegar a la subestación.
- ❑ El flujo de estas cargas a tierra por los aterramientos de las torres pueden provocar sobretensiones transitorias.
- ❑ Duración: microsegundos - algunos pocos milisegundos.



Forma de onda estándar para modelamiento de impulsos atmosféricos