

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

**PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA**

Ing° Jorge Mañuico M.

PROTECCIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIA

OBJETIVO DEL CURSO

Capacitar y orientar al estudiante en el estudio de los elementos que intervienen en el diseño del Sistema de Protección de un Sistema Eléctrico de Potencia. Hacer conocer los distintos tipo de relés, su funcionamiento y sus aplicaciones en los sistemas de protección, así como el comportamiento de los diferentes elementos que intervienen en este sistema.

También los elementos de los sistemas de protección de generadores, transformadores, sistemas de barra, líneas de transmisión y redes de distribución.

CONTENIDO DEL CURSO

1.- Conceptos generales.

1.1 Introducción.

1.2 Fallas en los sistemas eléctricos.

1.3 Características de un sistema de protección.

1.4 Zonas de protección.

1.5 Componentes de un sistema de protección.

2.- Transformadores para protección.

2.1 Transformadores de tensión.

2.2 Transformadores de corriente.

3.- Relés

3.1 Clasificación de los relés.

3.2 Curva característica de un relé.

3.3 Relés diferenciales.

CONTENIDO DEL CURSO

4.- Protección de transformadores

4.1 Protección diferencial.

4.2 Protección de transformadores.

5.- Protección de generadores y barras.

5.1 Protección diferencial de generadores.

5.2 Protección de barras.

6.- Protección de líneas de transmisión.

6.1 Protección de distancia, el relé de distancia.

6.2 Protección de líneas de transmisión.

7.- Protección de redes de distribución.

7.1 Relés de sobrecorriente y fusibles.

7.2 Protección de redes de distribución.

7.3 Protección de transformadores d distribución.

BIBLIOGRAFIA

1. Russel Mason El arte de la protección con relés.
2. Carlos Arroyo Protección de Sistemas de Potencia.
3. Warrintong Protective Relays
4. CEAC Estaciones de Transformación y Distribución.
5. Enríquez Harper Fundamento de Protección de Sistemas Eléctricos por relevadores

1. CONCEPTOS GENERALES

INTRODUCION

El desarrollo tecnológico hace que cada día se exijan servicios de mayor calidad. La energía eléctrica es un servicio muy importante no sólo para las aplicaciones técnicas en industrias y los variados usos comerciales y residenciales, sino también por la función social que tiene en el desarrollo de los países.

Un servicio de calidad demanda un mínimo de interrupciones del servicio y además debe cumplir con aquellos requisitos de calidad en la operación, que se relacionan con las variaciones de voltaje y de frecuencia sin dejar de lado la limpieza de las ondas de tensión y corriente.

Para cumplir con la mayoría de los requisitos de calidad, hay que tener un sistema de protección bien diseñado, construido y operado, tal que permita tener sistemas eléctricos confiables y seguros.

1. CONCEPTOS GENERALES

Sistema Eléctrico de Potencia

La fig. siguiente muestra los elementos básicos de un Sistema Eléctrico de Potencia moderno. Se puede identificar el centro de producción de energía (Generación), donde se produce la energía eléctrica masivamente o a gran escala mediante centrales de generación que pueden utilizar diferentes tecnologías (hidroeléctrica, térmica, nuclear, etc.). Para trasladar esta energía producida a los centros de consumo (Distribución), se utiliza a manera de carreteras, líneas que unen estos dos centros (Transmisión).

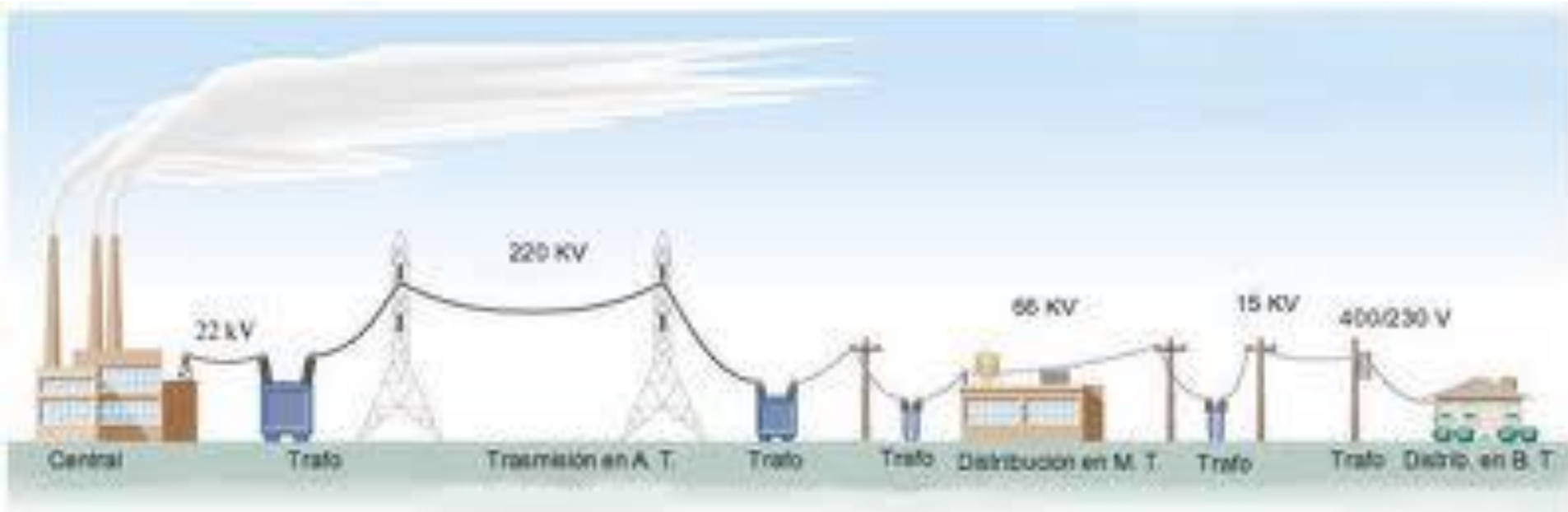
En la mayoría de los sistemas actuales, todos estos elementos que los hemos definido separadamente, se hallan geográficamente entremezclados.

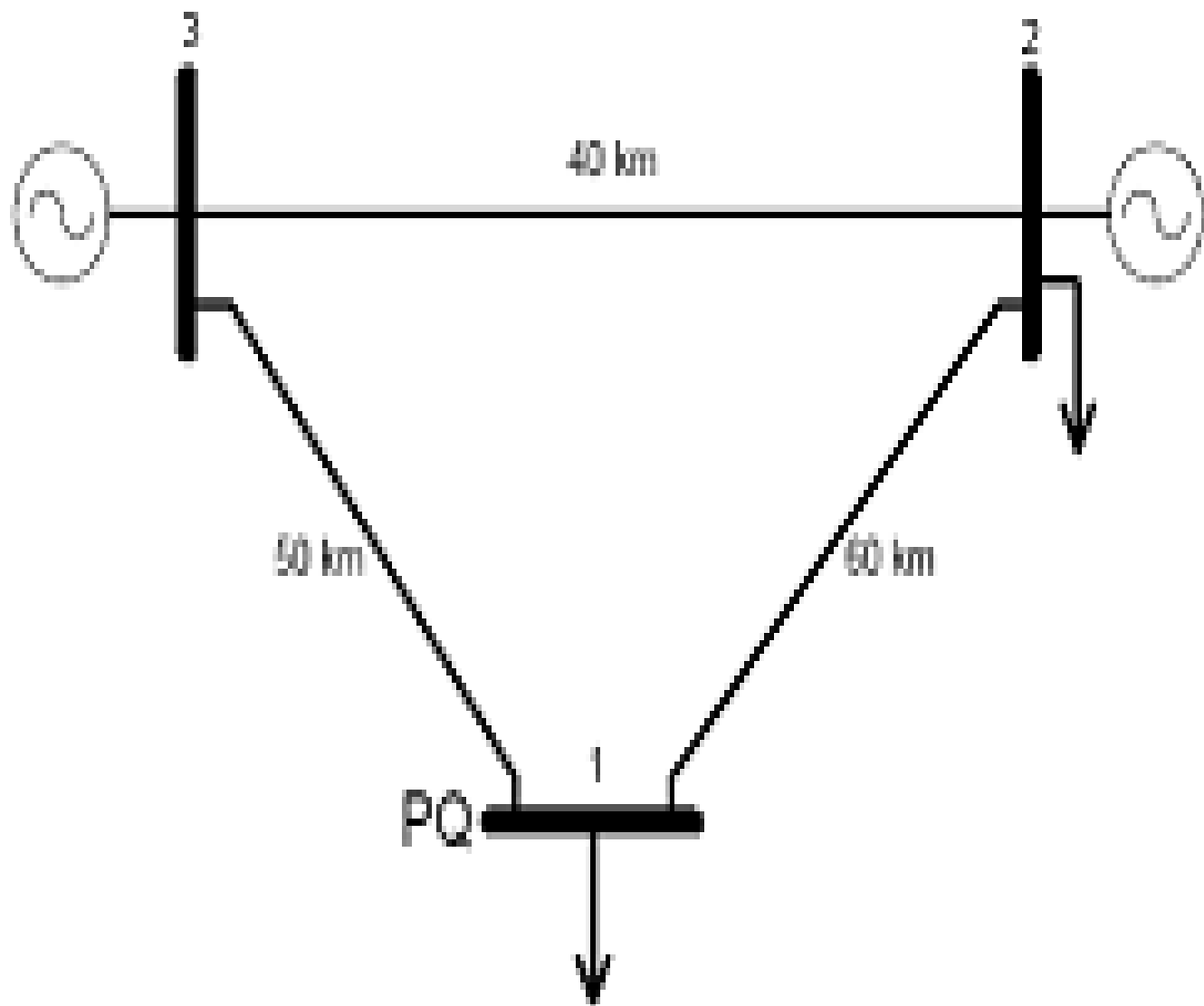
SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Conjunto de instalaciones y equipos para producir, transportar y distribuir energía eléctrica a los usuarios de una zona, ciudad, región o país.

“La función del sistema eléctrico de potencia es abastecer a todos los usuarios con energía eléctrica tan económicamente como sea posible, en la cantidad deseada y con un nivel aceptable de calidad, seguridad y confiabilidad”

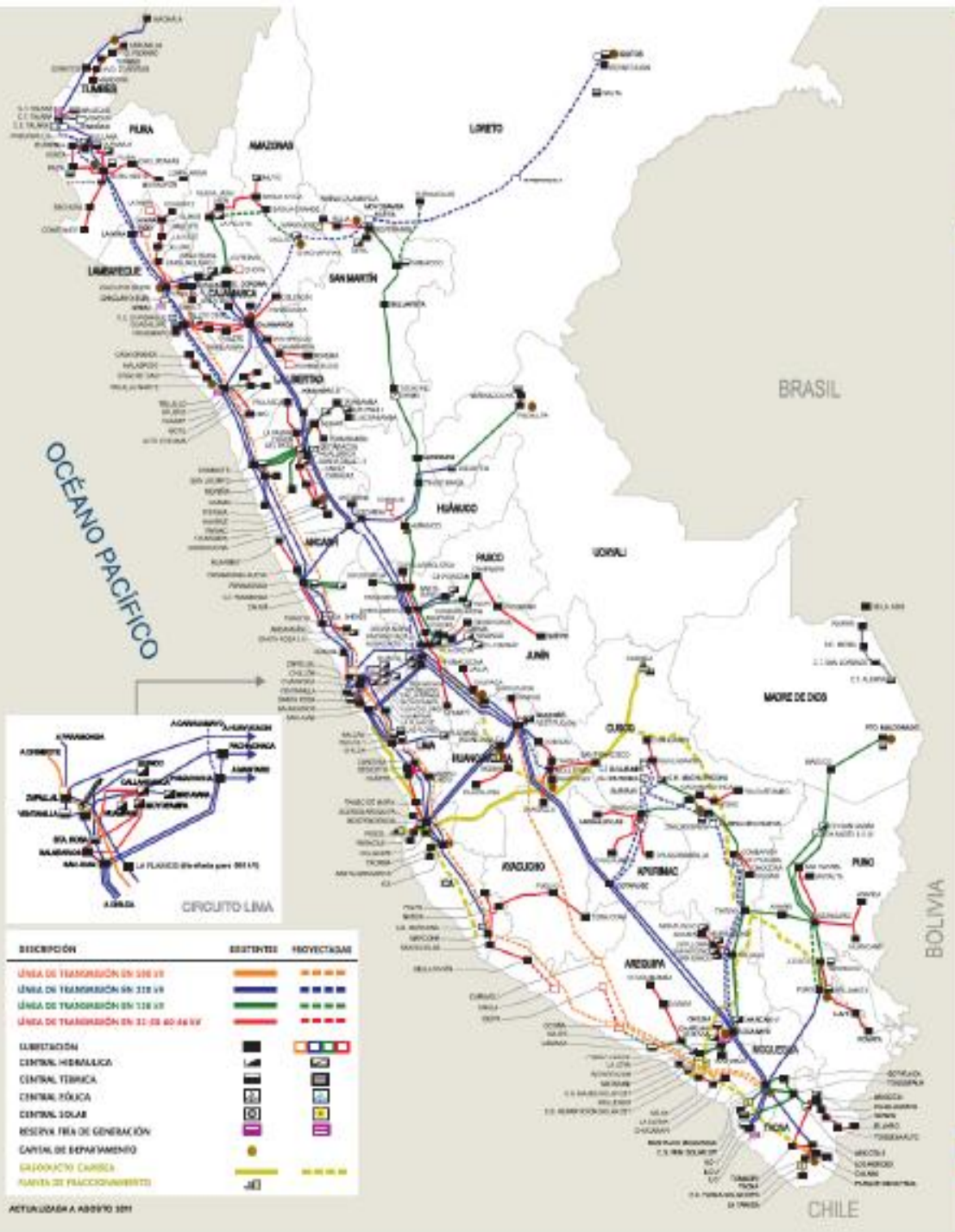
SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA





Sistema Eléctrico Interconectado Nacional SEIN

¿Qué observamos en el sector eléctrico peruano?



Centrales de generación del SEIN



Area Operativa	Combustible	MW	Cons.Específico unidades/kWh	C. Variable N \$ / kWh
Norte	D2	145.40	0.087	895.80
	R6	63.78	0.080	610.04
	R500			
	GN	130.91	14011.643	281.45

Consumo específico:

D2, R500, R6 : GL/kWh

GN: BTU/kWh

Carbón: kg/kWh

Notas:

En el área norte algunas unidades operan con D2 o R6.

Area Operativa	Combustible	MW	Cons.Específico unidades/kWh	C. Variable N \$ / kWh
Centro	D2	972.78	0.075	777.52
	R6			
	R500	61.71	0.079	542.87
	GN	2783.53	9912.054	38.84

Consumo específico:

D2, R500, R6 : GL/kWh

GN: BTU/kWh

Notas:

En el área centro en la unidades con D2 se incluyen a las unidades duales

Area Operativa	Combustible	MW	Cons.Específico unidades/kWh	C. Variable N \$ / kWh
Sur	D2	92.50	0.083	797.45
	R6	185.56	0.067	472.16
	R500			
	GN	140.64	0.358	122.35

Consumo específico:

D2, R500, R6 : GL/kWh

Carbón: kg/kWh

VOLTAJES UTILIZADOS EN SISTEMAS DE POTENCIA

Clasificación:

Niveles de tensión establecidos por el CNE

Extra alta tensión (EAT)	$> 230 \text{ kV}$
Alta tensión (AT)	$33 \text{ kV} < V \leq 230 \text{ kV}$
Media tensión (MT)	$1 \text{ kV} < V \leq 33 \text{ kV}$
Baja tensión (BT)	$V \leq 1 \text{ kV}$

COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Componentes principales: Equipos directamente relacionados con la producción, transporte y distribución de energía eléctrica

Componente	Descripción	Ejemplos
Plantas de generación	Instalaciones y equipos para producir energía eléctrica mediante la transformación de otras formas de energía.	Plantas hidráulicas con o sin embalse Plantas térmicas: gas, carbón, nuclear, etc. Plantas eólicas Plantas solares
Transformadores	Equipos para elevar y reducir los niveles de tensión de operación del sistema eléctrico	Transformadores de potencia Transformadores de distribución
Equipo de compensación reactiva	Equipos que producen o consumen energía reactiva para control de voltaje, control de factor de potencia o estabilidad	Bancos de condensadores Reactores Static Var Compensation (SVC) Condensador sincrónico
Líneas de transmisión	Equipos para transportar energía eléctrica entre dos puntos	Líneas de transmisión, sub-transmisión, distribución.

COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Equipo de corte y maniobra

Componente	Descripción	Ejemplos
Equipo de corte y maniobra	Realizan las maniobras de conexión y desconexión de los equipos eléctricos principales en condiciones normales de operación o bajo falla. Pueden manejar los sobrevoltajes asociados a las maniobras (switching) y el fenómeno del arco eléctrico.	Interruptor de potencia (circuit breaker) Seccionador (disconnector) Reconectadores (Recloser) Cortacircuitos (Cut-outs)

COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Equipo de protección: No previene las fallas, su operación tiene gran efecto sobre la seguridad y estabilidad del sistema

Componente	Descripción	Ejemplos
Equipo de protección	Equipos que detectan las fallas o condiciones anormales de operación y realizan una acción.	1. Relés de protección (Relays): Poseen alguna forma de inteligencia para ejecutar su función. Comparan los valores de una o varias señales de entrada con respecto a una referencia. Si se cumple el criterio de comparación se produce una orden de disparo o alarma. 1. Pararrayos (Surge Arrester)

COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Equipo de medida:

Componente	Descripción	Ejemplos
Equipo de medida	Toman muestras de las señales de interés, y las convierten a señales analógicas o digitales de bajo rango. Por ejemplo, baja tensión y baja corriente (1A, 5A).	Transformadores de instrumentación Medidores Remote Terminal Unit (RTU) Analizadores de señales

COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Equipo de control

Componente	Descripción	Ejemplos
Equipo de control	Permiten controlar la operación de los equipos principales del sistema de potencia.	Regulador de velocidad (Governor) Regulador de voltaje (Excitation control, AVR) Power System Stabilizer (PSS) Control convencional (humano) Programmable Logic Controllers (PLC) Scada, control coordinado, centro de control

COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Equipo de comunicaciones

Equipo de comunicaciones	Transmisión y recepción de señales de medida, control, protección	PLC (Power Line Carrier) Teléfono, microondas, radio
--------------------------	---	---



Torre de microondas

COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Equipo de servicios auxiliares

Equipo de servicios auxiliares	Fuentes de alimentación de los equipos principales.	Bancos de baterías, plantas de emergencia Cargadores de baterías, tableros de distribución AC y DC, transformadores de servicios auxiliares
--------------------------------	---	--



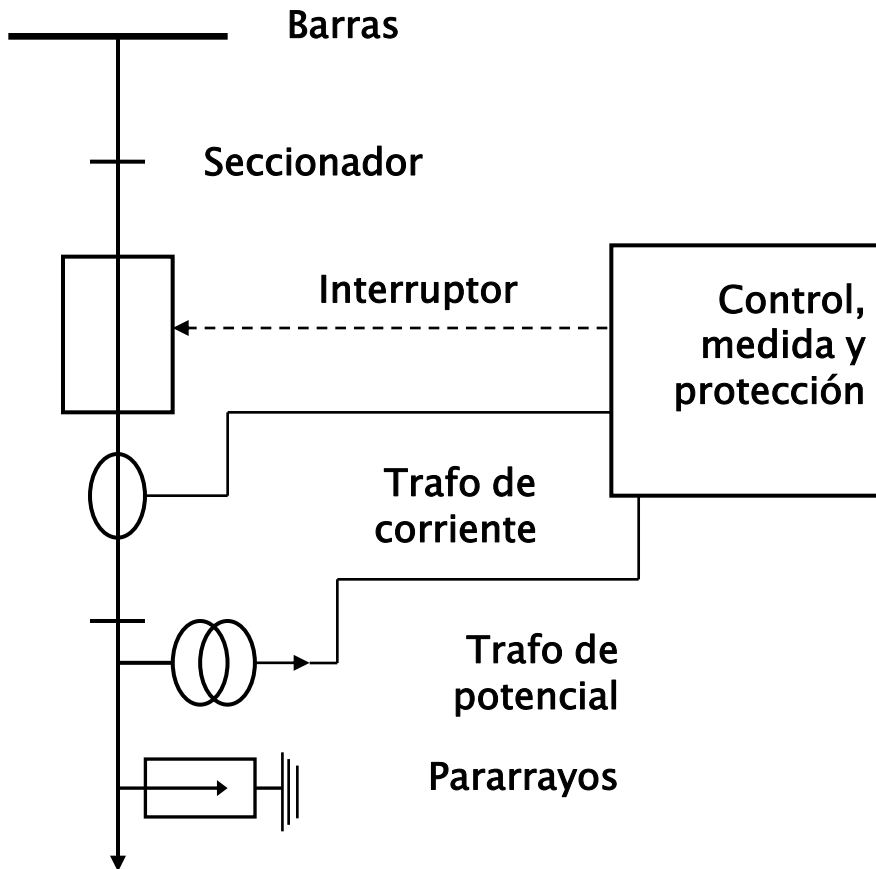
Planta de emergencia



Banco de baterías 125 V DC

COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Subestaciones



"Salida", "campo" o "bahía" de una subestación





Sala de máquinas



Sala de control - tableros



Sala de máquinas



Patio de llaves

LÍNEA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Una línea de transmisión eléctrica es un conjunto de conductores o cables que transmiten bloques de energía desde un centro de producción hasta un centro de consumo. Los conductores se soportan en altas estructuras (torres o postes) que las separan la distancia necesaria con respecto a la tierra, los edificios y cualquier otro objeto. La altura de estas estructuras garantiza que el flujo de electricidad a través de los conductores sea continuo y asegura que no se producirá interferencia con ningún otro elemento presente en el medio.



LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

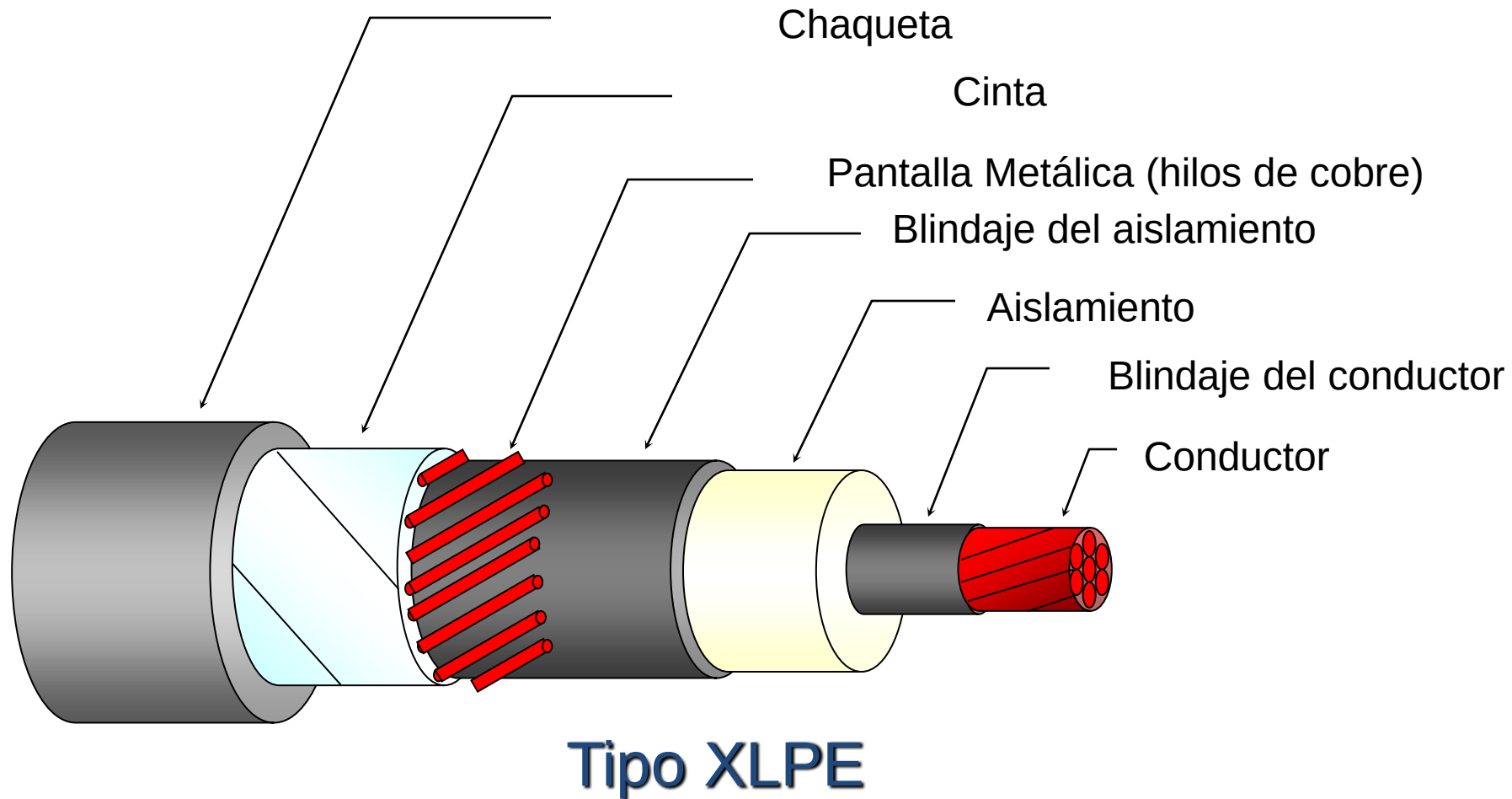
Elementos principales (conductores):



- Se utilizan cables, no alambres
- Pueden utilizarse conductores distintos para fases y apantallamiento (cables guarda)
 - Pueden ser desnudos o aislados
- Los materiales más utilizados son: aluminio (AA), cobre (CU), acero galvanizado (SS) y aleaciones y combinaciones de éstos como ACSR, alumoweld (AW), ACSR/AW, copperweld
 - Los cables aislados pueden tener o no un neutro concéntrico, y ser monopolares, bipolares, tripolares, triplex, armados o acorazados.
- Material aislante preferido: Polietileno reticulado (XLPE)
 - En los cables aislados siempre se utiliza una pantalla metálica exterior que se conecta a tierra para controlar el gradiente de potencial.



LÍNEAS DE TRANSMISIÓN



LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Elementos principales (Estructuras):



- Autosoportadas o retenidas
 - Postes de concreto, madera, acero
- Torres en acero galvanizado (celosía)

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Elementos principales (aisladores):

- Suspensión y retención
- Tipo pin, poste, cadenas conformadas por unidades de suspensión
- Materiales: Porcelana, vidrio, materiales sintéticos



LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Elementos principales (herrajes):



- Grapas para sujetar cables de fases y guarda
 - Amortiguadores
- Espaciadores para mantener separados los conductores de un haz
 - Anillos para control de efecto corona
 - Cuernos de arco
- Crucetas y demás elementos metálicos
 - Cables para retención o anclaje



LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Elementos principales (obras civiles):



Líneas aéreas



- Cimentaciones
- Corredor o servidumbre (Right of way)



Líneas subterráneas



- Bancos de ductos o zanjas
- Cajas de inspección

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Elementos principales (puesta a tierra):



- Cable de cobre desnudo
- Conectores cobre-cobre o bimetálicos
- Varillas de puesta a tierra en cobre o copperweld
 - Contrapesos
- Mallas de puesta a tierra

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Elementos principales (otros):

- Pararrayos de línea
- Empalmes y terminales monofásico y trifásicos para cables aislados
 - Anclajes (Anchors)
- Balizas para señalización aeronáutica





ELECTROANDES: L.T. 138 kV Yaupi – Carhuamayo. Sector Victoria.



L.T. 220 kV Mantaro – Cotaruse:
Sector Churcampa – Churcampa – Huancavelica.



L.T. 220 kV Moquegua – Tacna Sector Los Héroes , Tacna Tacna
REDESUR

Subestación Eléctrica

- Es un conjunto de equipos de maniobra y equipos conexos ubicados en ciertos puntos de un sistema de potencia eléctrico en que es necesario efectuar la interconexión y maniobra de un determinado número de circuitos. Los circuitos pueden o no estar a un mismo nivel de tensión, pueden estar asociados con líneas aéreas de transmisión o cables que interconectan fuentes de generación y centros de carga.
- Dentro de la subestación se incluye a los transformadores de potencia, autotransformadores, capacitores y reactores en serie y en paralelo y en general cualquier otro equipo que sirva para modificar las características de un sistema eléctrico de potencia.

Clases de Subestaciones por su Instalación

- ***Subestación de transformación***

Es una subestación equipada con transformadores y dispositivos de protección y maniobra, para la transformación de la tensión.

- ***Subestación de seccionamiento***

Es una subestación equipada con dispositivos de protección y maniobra para la conexión de dos o más circuitos.

- ***Subestación de distribución***

Es un conjunto de instalaciones para transformación y/o seccionamiento de la energía eléctrica que la recibe de una red de distribución primaria y la entrega a un subsistema de distribución secundaria, instalaciones de alumbrado público, a otra red de distribución primaria o a usuarios alimentados a tensiones de distribución primaria o secundaria. Comprende generalmente el transformador de potencia y los equipos de maniobra, protección y control tanto en el lado primario como en el secundario y eventuales edificaciones para albergarlos.

Clases de Subestaciones por su Función

De acuerdo a una función que desempeñan.

- Subestaciones de Generación
- Subestaciones de Transmisión
- Subestaciones de Distribución

Subestaciones Actuales

Las subestaciones también pueden ser:

- Convencionales o aisladas al aire - AIS
- Encapsuladas o aisladas en SF6 – GIS. A su vez éstas pueden ser de ejecución interior o exterior
- También celdas para subestaciones de media y baja tensión

Subestaciones Actuales



← Convencionales o
aisladas al aire - AIS

Exterior



← Encapsuladas o aisladas
en SF6 - GIS

Interior



Celdas para
subestaciones de media y
baja tensión →







SET CHIMBOTE N° 1 (REP) Auto transformador 220/138/13.8 kV,
DE EGENOR, CHIMBOTE – SANTA - ANCASH.



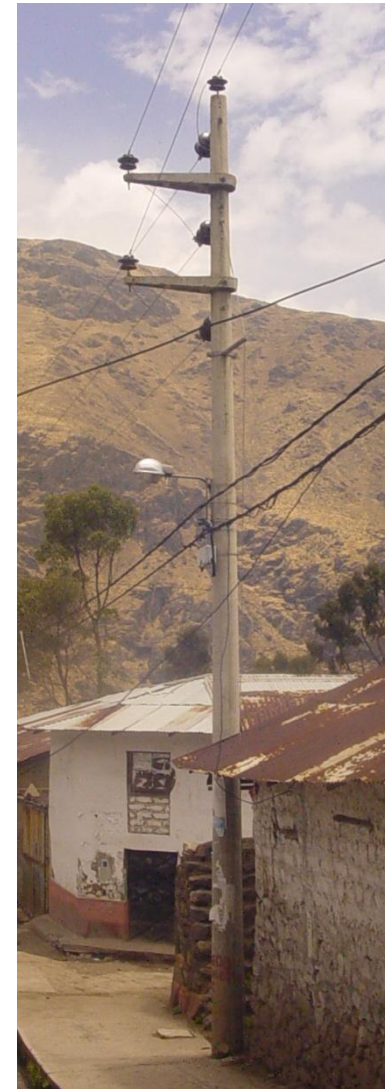
S.E. Pucallpa: 138/60/10 kV Pucallpa – Coronel Portillo –
Ucayali.
ISA



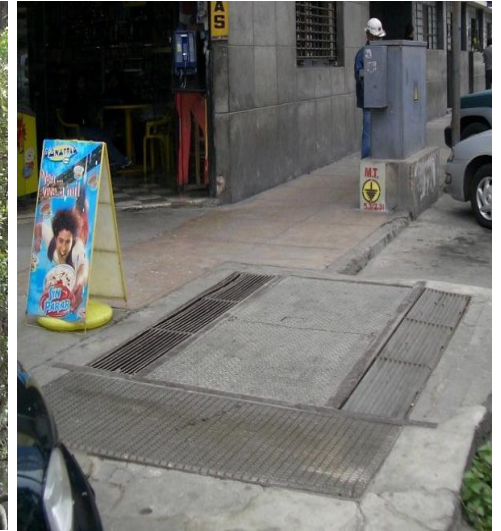
S.E. Yanango 220 kV San Ramón – Chanchamayo – Junin
EDEL



Instalaciones eléctricas de media tensión y baja en la vía pública



Subestaciones de Distribución (SED)



Sistema Eléctrico de Potencia

El objetivo de un Sistema Eléctrico de potencia es asegurar un nivel satisfactorio de la prestación de los servicios eléctricos garantizando a los usuarios un suministro eléctrico con las siguientes características:

- Continuo.
- Confiable.
- Oportuno y de calidad.
- Operación económica

Al respecto debe tenerse en cuenta los aspectos contemplados en la NTCSE: Calidad del producto (tensión, frecuencia, perturbaciones) y calidad del suministro (interrupciones).

Operación de los Sistemas Eléctricos



Centro de control Despacho de carga

Operación de los Sistemas Eléctricos

Centro de Control

- EL Centro de Control emite las instrucciones de operación del sistema eléctrico con el fin de garantizar la seguridad y calidad del suministro eléctrico.
- Despacho económico: operación de las centrales mas económicas.
- Efectúa el control permanente del estado de la red y sus parámetros eléctricos, actuando sobre las variables de control para mantener la seguridad y calidad del suministro o para restablecer el servicio en caso de que se haya producido un incidente.

PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

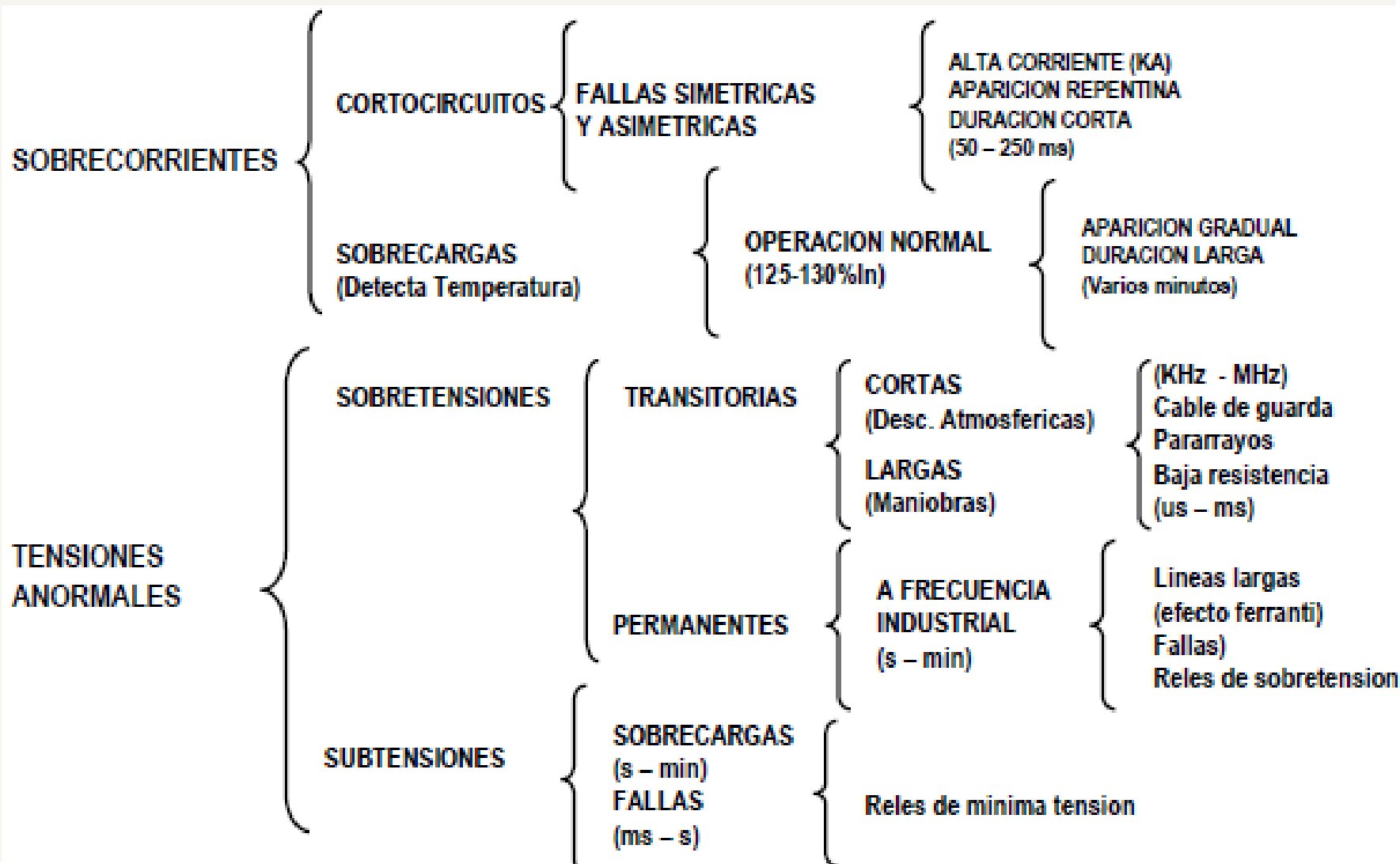
En los sistemas eléctricos se pueden presentar perturbaciones que pueden afectar la continuidad del servicio. Por ejemplo:

- a) Fallas en los aislamientos de las máquinas, equipos y cables producido por envejecimiento, calentamiento en los conductores (ó núcleos magnéticos) o corrosión por efecto del medio ambiente.
- b) Falla de aislamiento en el aire (en líneas aéreas) o en los materiales de las bobinas de las máquinas y equipos, debido principalmente a sobretensiones de origen atmosférico o por maniobras de interruptores.
- c) Fallas mecánicas de las máquinas debido a sobrecargas mecánicas.

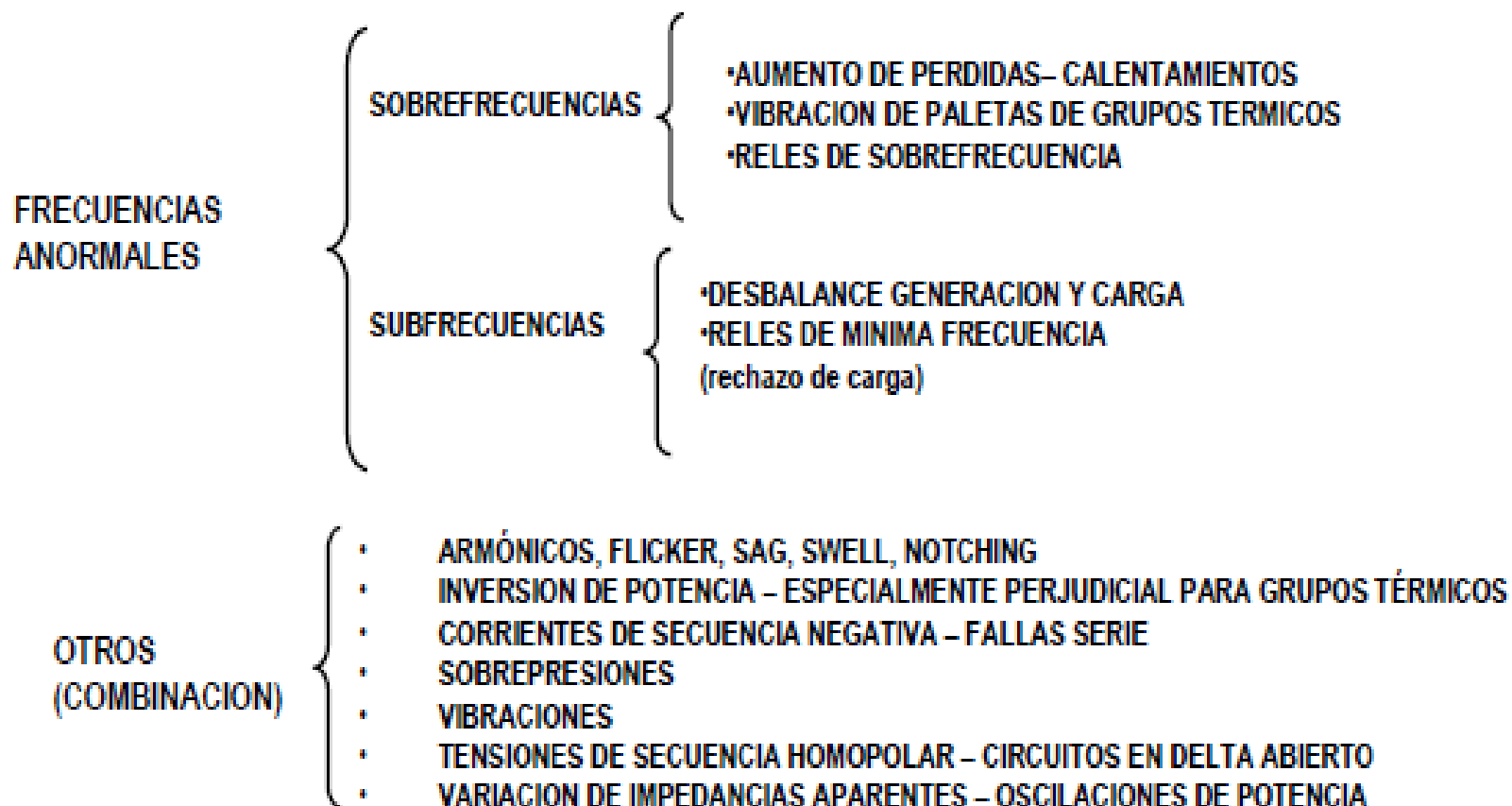
PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

- d) Fallas en las líneas de transmisión por efecto del viento (acercamiento de conductores) o debido a ramas de árboles que contactan los conductores.
- e) Errores humanos en las maniobras como por ejemplo la operación de seccionadores bajo condiciones de carga.
- f) Accidentes producidos por animales (aves) en las líneas de transmisión (contactos entre fases o fase a tierra), roedores en canaletas de cables, etc,
- g) Sobrecargas en generadores, transformadores o líneas producido por incremento de cargas no previstas.
- h) Condiciones climáticas (descargas atmosféricas) y/o ambientales adversas (zonas industriales cerca al mar).

Perturbaciones en los Sistemas Eléctricos



Perturbaciones en los Sistemas Eléctricos



PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

a) Cortocircuitos

Ocurre cuando 2 ó más conductores se ponen directamente en contacto (el contacto de un conductor con tierra es un cortocircuito), se caracteriza por:

- La presencia de altas corrientes (mayor a $10I_n$).
- Caídas de tensión apreciables.
- Bajas impedancias.
- Presencia de efectos térmicos y dinámicos.
- Ocurren en tiempos muy breves (menos de 2 seg.).

PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

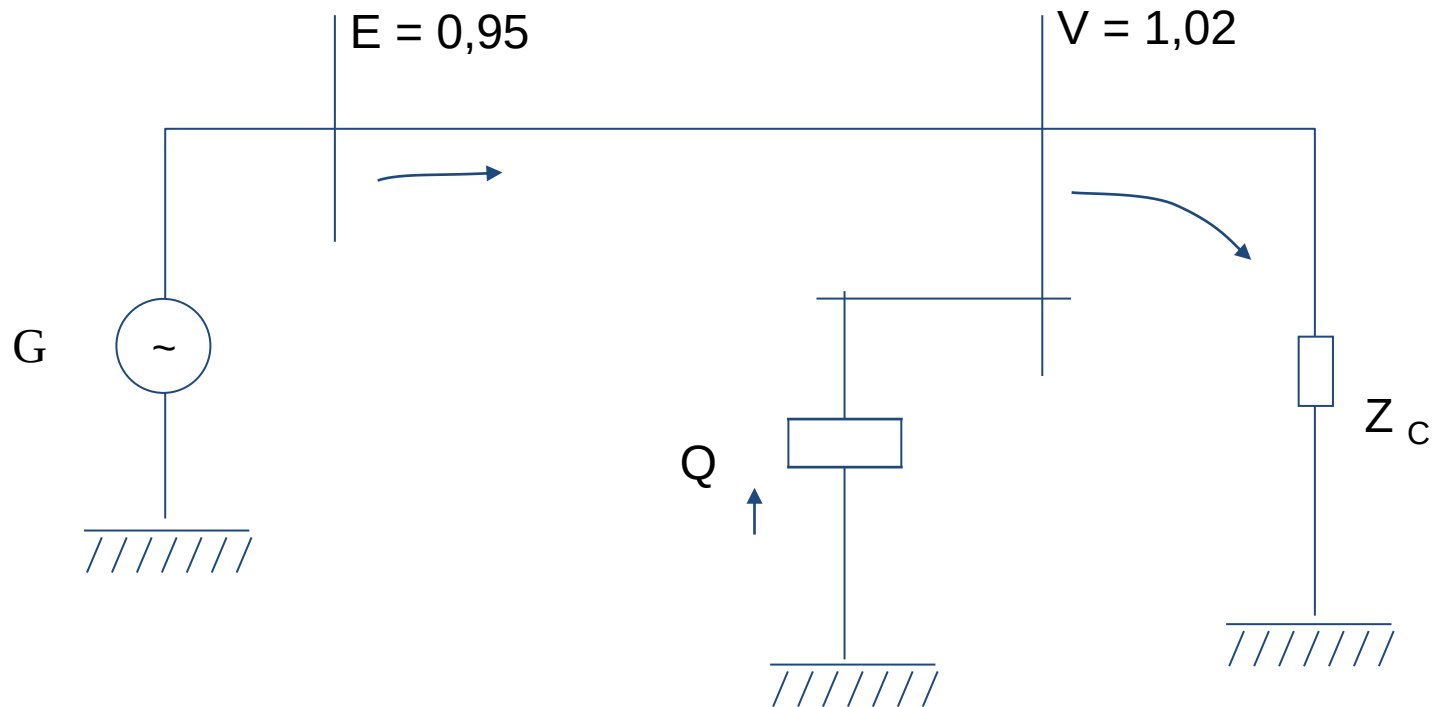
b) Sobrecargas

Ocurre cuando la corriente demandada a un sistema eléctrico, equipo o alimentador, supera la corriente nominal durante un tiempo prolongado (entre $1.25 I_n$ y $2I_n$).

c) Retorno de corriente

Ocurre cuando un punto (ó barra en un sistema eléctrico) que normalmente se encuentra a menor tensión respecto a otro punto de referencia (ó barra) del mismo sistema, sufre una elevación de voltaje respecto a este punto de referencia y de esta manera se invierte el sentido del flujo de la corriente. También puede ocurrir cuando un sistema se desconecta de su fuente habitual y se le inyecta corriente desde otro punto de este sistema.

El generador actúa como motor por retorno de corriente



Normalmente $E > V$

PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

d) Sobretensión

Ocurre cuando en cualquier punto del sistema repentinamente se eleva el voltaje producto:

- De una descarga atmosférica (sobretensión de origen externo).
- Maniobras en los interruptores (sobretensión de origen interno).
- Las sobretensiones de origen interno pueden ser originados por el efecto capacitivo de las líneas largas.

c) Subtensión

Originado generalmente por caída de tensión en los conductores cuando están subdimensionados o cuando ocurren sobrecargas.



Sobretensión:
falla de
aislamiento



Clasificación de fallas por su duración

Los defectos más comunes en una red eléctrica respecto a su duración se clasifican como:

- **Autoextingibles:** Si el defecto desaparece por sí mismo. Ejemplo: Rama que golpea casualmente una fase de una línea aérea.
- **Fugitivos:** El defecto desaparece por acción de la protección, sin dejar consecuencias en la red.
Ejemplo: Disparo por sobrecarga en un transformador.
- **Permanentes:** Se ha producido un deterioro en la red que exige su reparación.
Ejemplo: Corte de un cable MT por una máquina excavadora.

Cortocircuito (falla) en Sistemas Eléctricos de Potencia

Definición:

Una falla es cualquier evento que interfiere con el flujo normal de corriente, colocando al sistema en un punto de operación fuera de lo normal.



Tipos de fallas

- **Falla de aislamiento:** cortocircuito

- Provocado por un contacto entre un conductor y tierra, entre un conductor y otra pieza metálica o entre conductores.
- En casi la todos los casos de alta tensión, el contacto involucra un arco.
- Su origen es: eléctrico por deterioro del nivel de aislamiento, por transitorios o por falsas maniobras; mecánico por la ruptura de conductores o aisladores; o atmosférico causados por descargas eléctricas, vientos extremos o humedad elevada.

Llamado falla shunt

- **Falla de conducción:** circuito abierto

Llamado falla serie

Tipos de fallas

Fallas o perturbaciones esperadas: Causadas por la naturaleza como las descargas atmosféricas o contactos de ramas o animales; y sobrecargas y sobretensiones con magnitudes y duraciones no superiores a los valores asignados de los equipos.

Fallas originadas por el diseño: Equipos o instalaciones mal seleccionadas, ausencia de pararrayos o insuficientes sistemas de protección, de puesta a tierra o de apantallamiento.

Fallas causadas por la construcción y el montaje: Causadas por el uso inadecuado de herramientas, conectores, cables y con el maltrato a los equipos. Son las más notorias y normalmente se detectan en las pruebas de puesta en servicio y de post-energización. Se busca evitarlas con las interventorías de construcción y montaje.

Fallas en la operación o en el mantenimiento predictivo: Ocurren al permitir sobrecargas o sobretensiones excesivamente prolongadas o repetitivas; se minimiza su riesgo con un sistema de protecciones debidamente seleccionado y ajustado; sin embargo, si las exigencias son frecuentes, el envejecimiento de los equipos se acelera.

Disparos indeseados causados por los errores humanos.

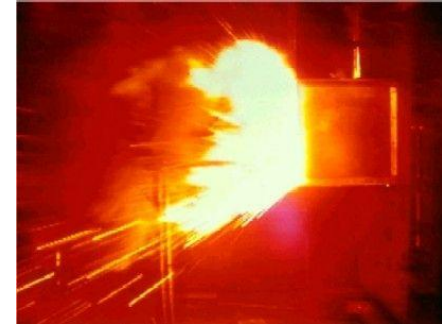
Cortocircuitos



- La mayoría de los cortocircuitos dan origen a corrientes circulantes por trayectorias no previstas y de magnitudes elevadas.
- En sistemas de baja potencia y baja tensión, son provocadas generalmente por la pérdida del nivel de aislamiento eléctrico de los elementos activos.
 - En los sistemas de alta tensión, la mayoría de las fallas son producidas por descargas atmosféricas que dan como resultado el flameo de aisladores y la aparición de nuevas rutas de corriente a través del aire ionizado.
- En el caso de redes trifásicas con tensión mayor a 60 kV, la experiencia muestra que en 70 % a 80 % de los casos, los cortocircuitos se producen (o por lo menos se inician) entre una fase y tierra. Aproximadamente el 5% de las fallas involucran las 3 fases.

Cortocircuitos - consecuencias

- Calentamiento excesivo debido a las corrientes de cortocircuito y fusión de elementos.
 - Reducción de la vida útil de los equipos.
- Destrucción de devanados o soportes ocasionados por fuerzas mecánicas elevadas.
- Caídas de tensión o elevaciones de tensión en fases no falladas.
- Perturbaciones en los circuitos de telecomunicaciones y otras redes eléctricas.
- Aumento de la abertura angular que puede producir pérdida de sincronismo de generadores e inestabilidad.



Flameo de aisladores

La elevada tensión de la descarga atmosférica crea caminos de aire ionizado entre los conductores de la línea de transmisión y la torre metálica, los cuales son visibles como arcos eléctricos.

Los arcos se convierten en caminos entre el conductor y tierra.

Una vez ionizado el aire, este se convierte en un camino de baja impedancia que continua sirviendo de ruta alterna para la corriente eléctrica, aun después de desaparecer la sobretensión originada por las descarga atmosférica.

Las altas tensiones de las líneas de transmisión son incapaces de ionizar el aire y producir arcos, pero son suficientes para mantener el arco una vez que este existe.

Los arcos eléctricos, una vez formados, permanecen bajo condiciones normales de operación y se hace necesario extinguirlos de alguna manera para recuperar el estado que el sistema tenía antes de la descarga atmosférica.



Análisis de Cortocircuito

Objetivos:



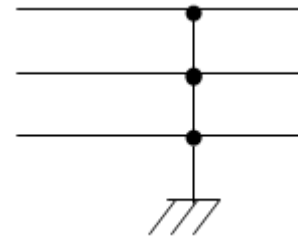
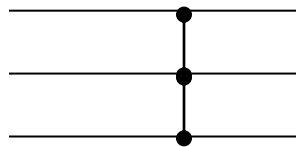
- Determinar la magnitud de la corriente de cortocircuito para fallos simétricos en estado subtransitorio, transitorio y estacionario.
 - Determinar la magnitud de la corriente de cortocircuito, en cada fase, para fallas asimétricas y para estado transitorio.
- Determinar el valor de los voltajes residuales en los nodos no fallados durante una falla simétrica.
 - Determinar las impedancias de cortocircuito vistas desde los diferentes nodos del sistema de potencia.



Tipos de cortocircuitos

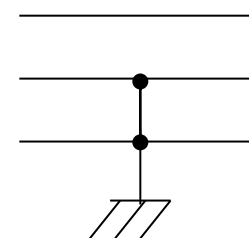
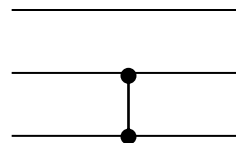
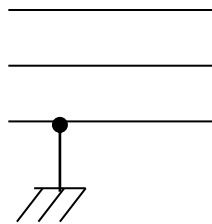


- Fallas Simétricas → involucran las tres fases y llevan al sistema a un nuevo punto de operación con corrientes elevadas pero el sistema continua siendo simétrico balanceado.



- L-L-L
- L-L-L-T

- Fallas asimétricas → Involucran una, dos o las tres fases y llevan al sistema a un nuevo punto de operación con corrientes elevadas pero con un sistema desbalanceado.

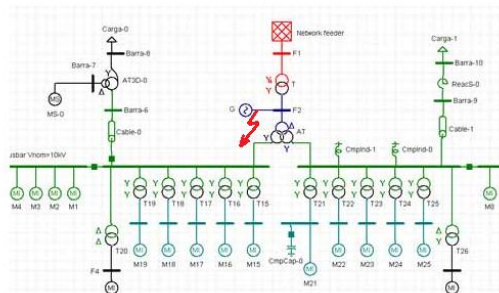


- L-T
- L-L
- L-L-T

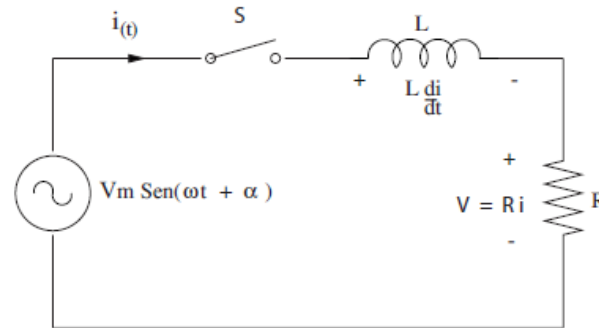
Elementos que afectan el Cortocircuito

1. **La ubicación del punto de corto circuito.** Determina si las máquinas síncronas van a influir más o menos sobre el desarrollo de la falla.
2. **La impedancia de los elementos que no pertenecen al circuito y que intervienen en la falla:** Z_f (ramas, animales, líquidos, etc.)
3. **Los elementos con capacidad de entregar energía como son:**
 - Los generadores síncronos,
 - Los generadores asíncronos,
 - Los accionamientos alimentados por convertidores estáticos,
 - Los motores síncronos y los motores asíncronos.
4. **Los dispositivos de regulación de tensión y frecuencia.**
 - Cuando el corto circuito es de larga duración, los reguladores de tensión y los reguladores de potencia-frecuencia, pueden tener una influencia considerable sobre los fenómenos transitorios.

5. La topología.



Corrientes transitorias en circuitos inductivos



$$V_{max} \text{Sen}(\omega t + \alpha) = Ri + L \frac{di}{dt}$$

componente simétrica alterna.

componente DC

Solución:

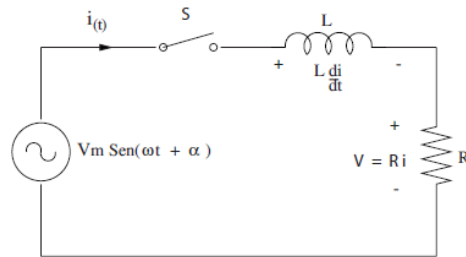
$$i(t) = \frac{V_m}{Z} \left[\underbrace{\text{Sen}(\omega t + \alpha - \phi)}_{\text{componente simétrica alterna.}} - \underbrace{\text{Sen}(\alpha - \phi)e^{-t/\tau}}_{\text{componente DC}} \right]$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

$$\phi = \tan^{-1}(\omega L/R)$$

$$\tau = L/R \quad \text{Donde:}$$

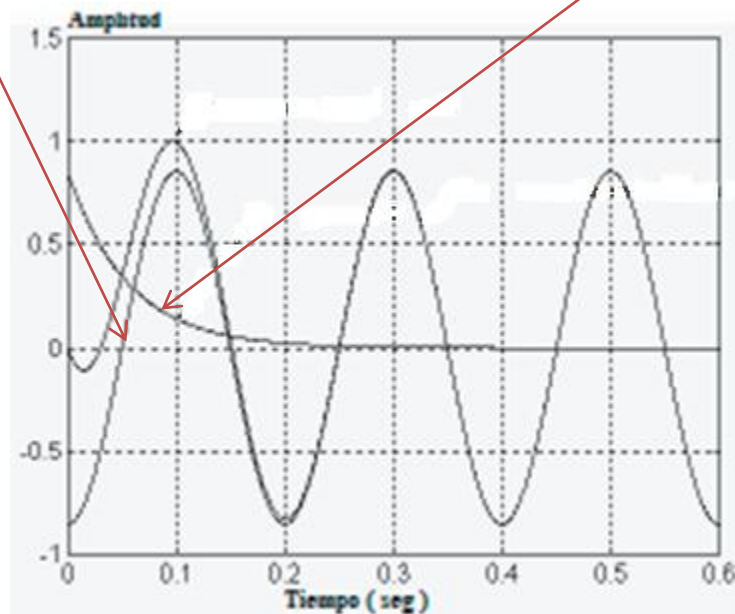
Corrientes transitorias en circuitos inductivos



$$i(t) = \frac{V_m}{Z} \left[\underbrace{\text{Sen}(\omega t + \alpha - \phi)}_{\text{componente simétrica alterna}} - \underbrace{\text{Sen}(\alpha - \phi)e^{-t/\tau}}_{\text{componente DC}} \right]$$

componente simétrica alterna.

componente DC

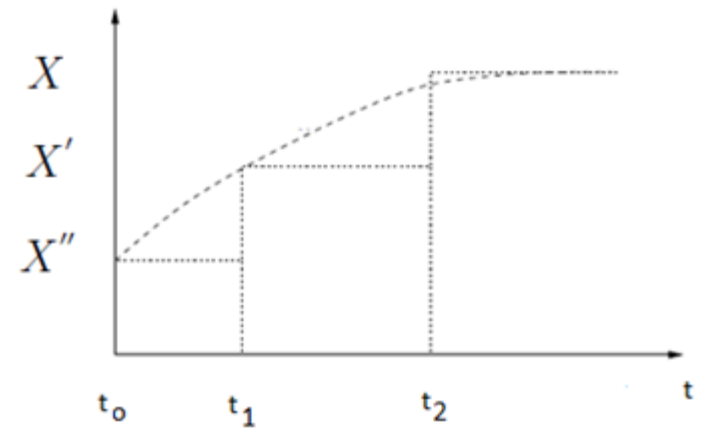


Corriente de cortocircuito subtransitoria, transitoria y estacionaria

- En una máquina síncrona, el flujo a través del entrehierro no es el mismo en el instante en el que ocurre el corto circuito que el de unos pocos ciclos más tarde.
El cambio de flujo está determinado por la acción combinada del campo, la armadura y los devanados amortiguadores o partes de acero del rotor cilíndrico.
- Después de que ocurre la falla, los periodos subtransitorios, transitorios y de estado permanente se caracterizan por la reactancia subtransitoria X'' , la reactancia transitoria X' y la reactancia de estado permanente X_s .

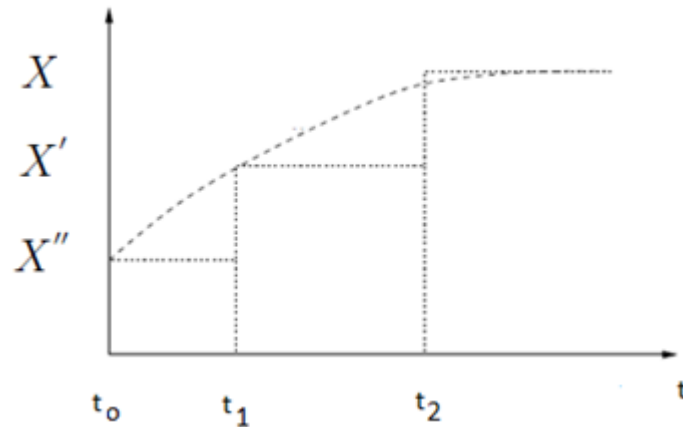
- Estas reacciones

$$X'' < X' < X_s$$

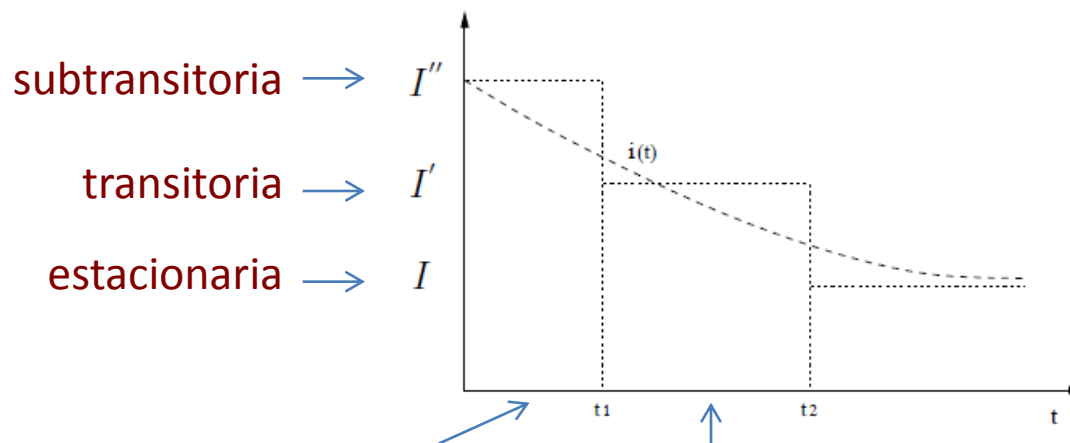


Corriente de cortocircuito subtransitoria, transitoria y estacionaria

- Estas reactancias dan origen a corrientes de cortocircuito decrecientes:



$$X'' < X' < X$$



subtransitoria →

transitoria →

estacionaria →

$$|I''| > |I'| > |I|$$

Subtransitoria: 0.5 s

Transitoria: 2 s

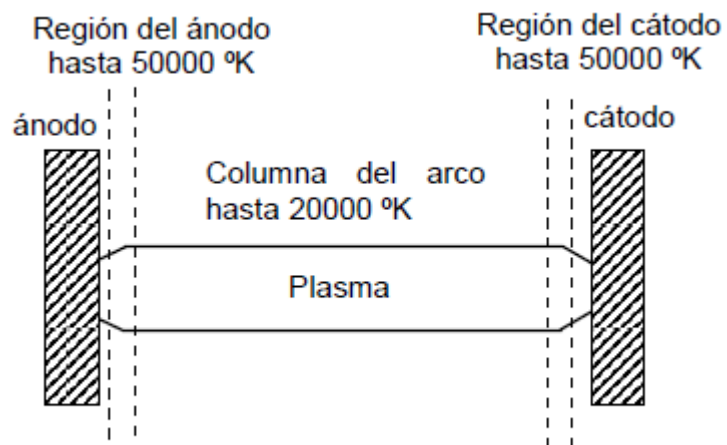
EL ARCO ELÉCTRICO

Normalmente el aire es un muy buen elemento aislante, sin embargo, bajo ciertas condiciones tales como altas temperaturas y altos campos eléctricos, puede convertirse en un buen conductor de corriente eléctrica.

Un arco eléctrico es una corriente que circula entre dos conductores a través de un espacio compuesto por partículas ionizadas y vapor de conductores eléctricos, y que previamente fue aire. La mezcla de materiales a través de la cual circula la corriente del arco eléctrico es llamada plasma.

La característica física que hace peligroso al arco eléctrico es la alta temperatura, la cual puede alcanzar 50000 °K en la región de los conductores (ánodo y cátodo) y 20000 °K en la columna.

EL ARCO ELÉCTRICO

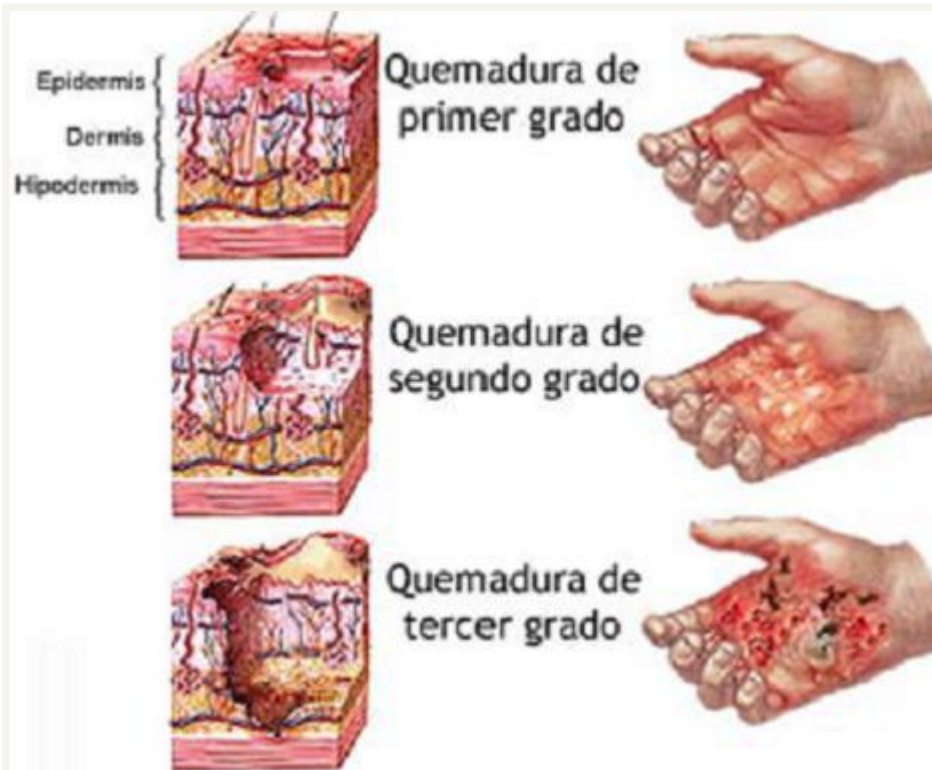


EL ARCO ELÉCTRICO

La temperatura tan elevada del arco eléctrico genera una radiación de calor que puede ocasionar quemaduras graves aun a distancias de 3 m. La cantidad de energía del arco depende de la corriente y de su tamaño, siendo menor el efecto del nivel de tensión del sistema, por lo cual debe tenerse un cuidado especial con los sistemas de baja tensión que muchas veces cuentan con los niveles de corriente de cortocircuito más elevadas.

El daño generado por el arco eléctrico sobre una persona depende de la cantidad de calor que ésta recibe, la cual se puede disminuir manejando factores tales como la distancia de la persona al arco, el tiempo de duración del arco y la utilización ropas y equipos de protección personal que actúen como barreras o aislante térmicos.

EFFECTOS DEL ARCO ELÉCTRICO



A EXPLOSIÓN

Cuando se forma un arco eléctrico, el aire del plasma se sobrecalienta en un período muy corto de tiempo, lo cual causa una rápida expansión del aire circundante, produciendo una onda de presión que puede alcanzar presiones del orden de 1000 kg/m^2 . Tales presiones pueden ser suficientes para explotar bastidores, torcer láminas, debilitar muros y arrojar partículas del aire a velocidades muy altas.

Esta explosión genera efectos tales como:.

- Explosión de bastidores.
- Doblado de láminas.
- Arroja partículas a altas velocidades

LA EXPLOSIÓN



**¿RADIACIONES
ELECTROMAGNÉTICAS?**



212. Tensiones inducidas – Campos Eléctricos y Magnéticos

(Recomendaciones del ICNIRP- International Comisión on Non- Ionizing Radiation Protection)

En zonas de trabajo (exposición ocupacional), así como en lugares públicos (exposición poblacional), no se deben superar los valores Máximos de Exposición a Campos Eléctricos y Magnéticos a 60 Hz dados en la siguiente tabla:

Tipo de Exposición	Intensidad de Campo Eléctrico (kV/m)	Densidad de Flujo Magnético (μ T)
- Poblacional	4,2	83,3
- Ocupacional	8,3	416,7

En el caso de Exposición Ocupacional, la medición bajo las líneas eléctricas se debe realizar a un metro de altura sobre el nivel del piso, en sentido transversal al eje de la línea hasta el límite de la faja de servidumbre.

En el caso de Exposición Poblacional, para la medición se debe tomar en cuenta las distancias de seguridad o los puntos críticos, tales como lugares habitados o edificaciones cercanas a la línea eléctrica.

SERVIDUMBRE DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN?

Cuando una propiedad no tiene acceso directo a las vías públicas es común negociar y establecer una figura legal conocida como derecho de vía o servidumbre a través de una propiedad o un conjunto de propiedades que cuenten con este acceso.

En el caso de la transmisión de electricidad la empresa o institución que presta el servicio normalmente no es propietario del terreno situado entre la planta y las diferentes subestaciones y por tanto se recurre también a esta figura legal.

La servidumbre de una línea de transmisión es un derecho de paso a través de una franja de terreno que permite colocar las estructuras y conductores de una línea de transmisión en terrenos pertenecientes a otros propietarios, previa negociación y compensación económica. Normalmente el ancho de la franja de terreno utilizada varía entre 20 y 30 metros.



Servidumbres



LEY DE CONCESIONES ELÉCTRICAS

Artículo 31°.- Tanto los titulares de concesión como los titulares de autorización, están obligados a:

e) Cumplir con las disposiciones del Código Nacional de Electricidad y demás normas técnicas aplicables.

Artículo 99°.- Los estudios, proyectos y obras de las instalaciones necesarias para la prestación del Servicio Público de Electricidad, deberán ser efectuados cumpliendo con los requisitos que señalen el Código Nacional de Electricidad y demás Normas Técnicas

Reglas del Código Nacional de Electricidad

REGLA 219.B. Requerimiento de faja de Servidumbre

Las líneas eléctricas aéreas deben tener su faja de servidumbre, para facilitar la instalación, operación y mantenimiento de las mismas, para salvaguardar la seguridad pública (integridad física de personas y bienes en situaciones de riesgo eléctrico – mecánico).

Los Gobiernos Regional, Local y Nacional, están obligados a observar, cumplir y hacer cumplir los criterios técnicos de seguridad eléctrica y mecánica, de servidumbre o distancias de seguridad, establecidos por Ley de Concesiones y el C.N.E.

El MEM, impondrá servidumbres respecto de bienes de dominio privado y estatal. Las empresas Concesionarias están obligadas a velar su cumplimiento

Reglas del Código Nacional de Electricidad

FAJA DE SERVIDUMBRE

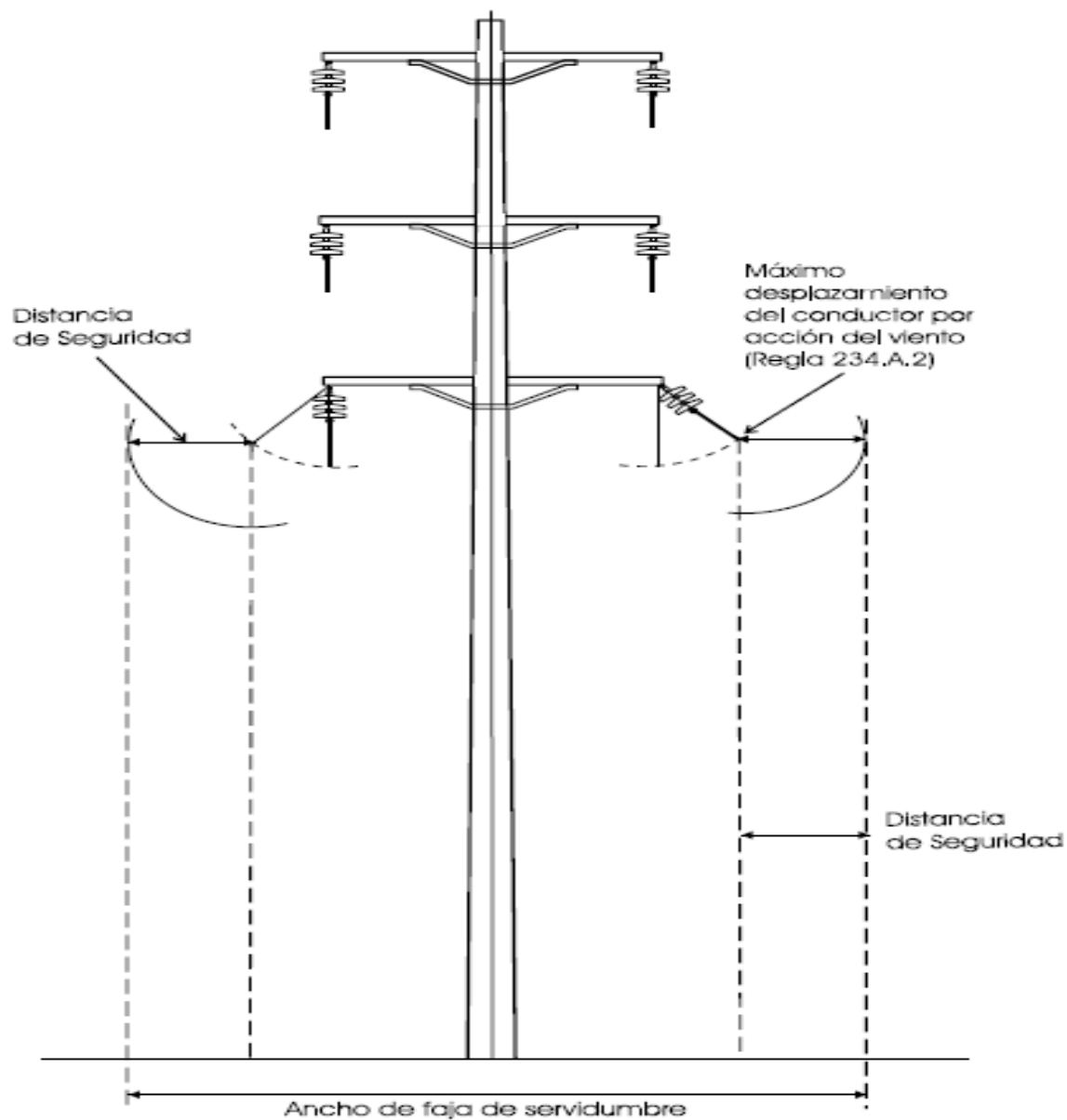
Toda línea nueva o ampliación (de titular o de tercero) deberá cumplir con el ancho mínimo de la faja de servidumbre indicada en la siguiente tabla:

Tensión nominal de la línea kV	Ancho (m)
De 10 a 15 kV	6
20-36	11
50-70	16
115-145	20
220	25
500	64



FAJAS DE SERVIDUMBRE
DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD
CONDICIONES DISEÑO MECÁNICO

FAJA DE SERVIDUMBRE LÍNEA 2 TERNAS - MT



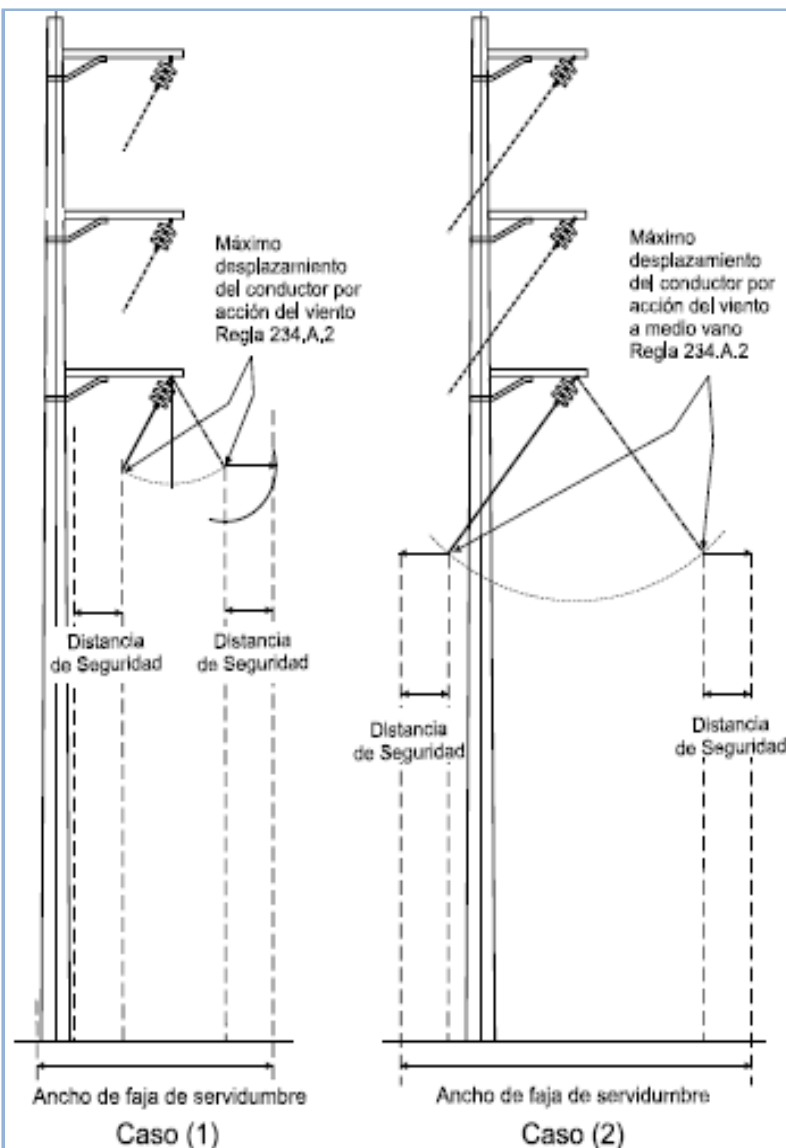


Figura 219-2
FAJA DE SERVIDUMBRE –
LÍNEA CON TERNAS A UN SOLO
LADO DE LA ESTRUCTURA

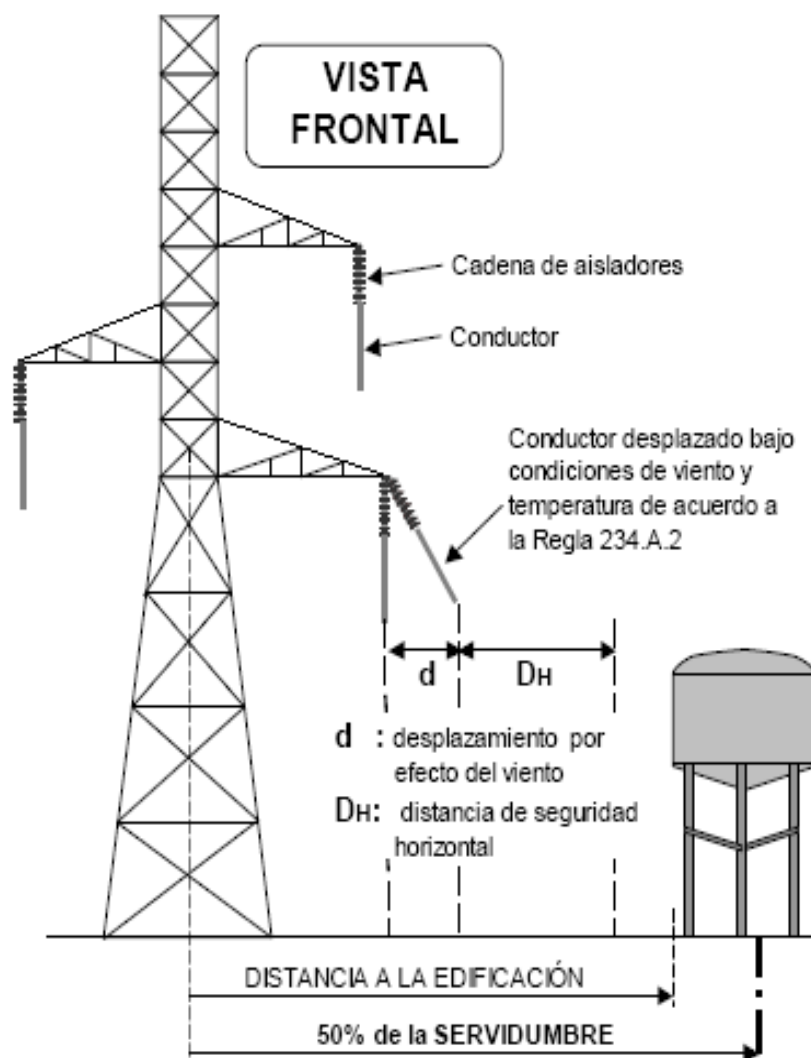
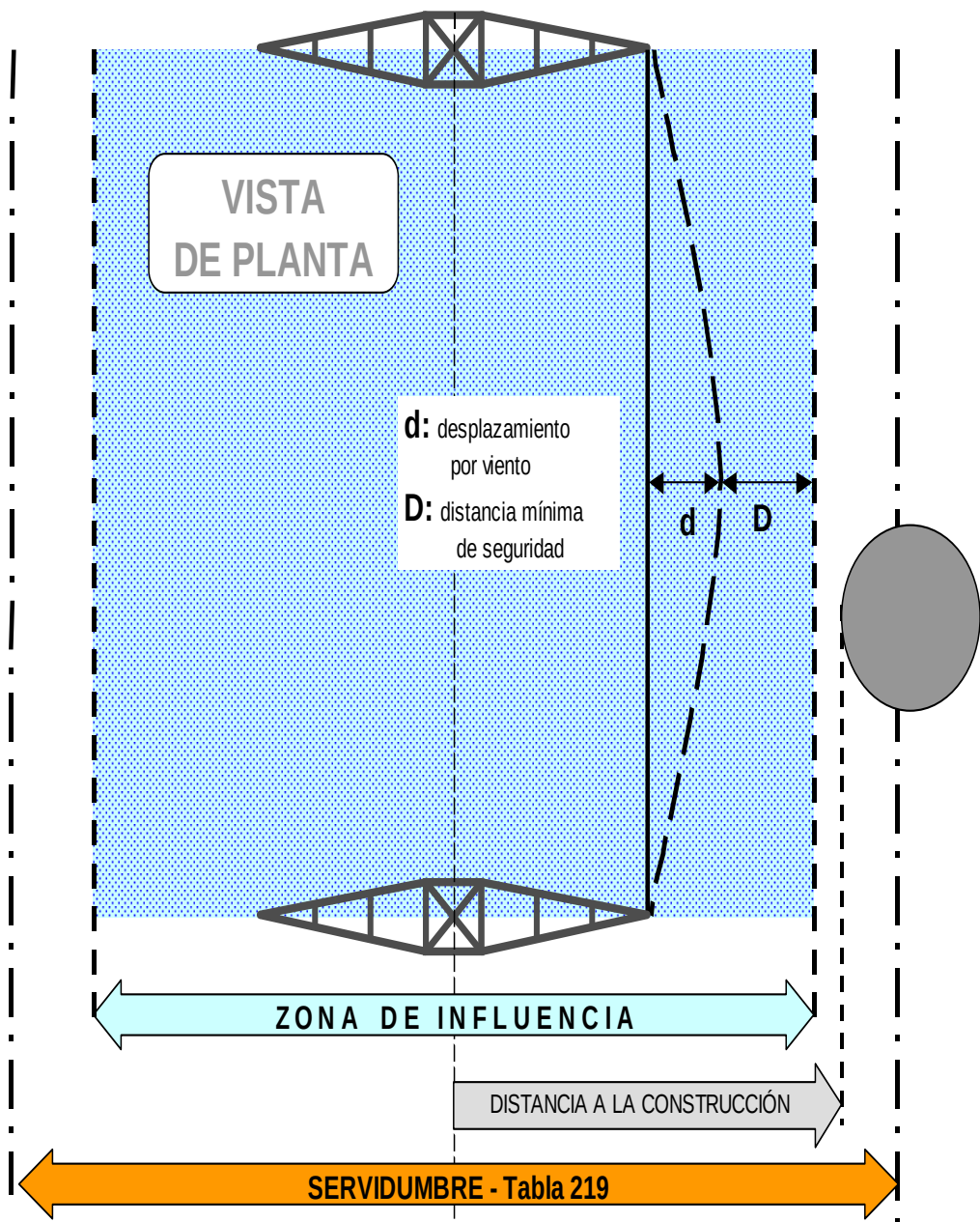
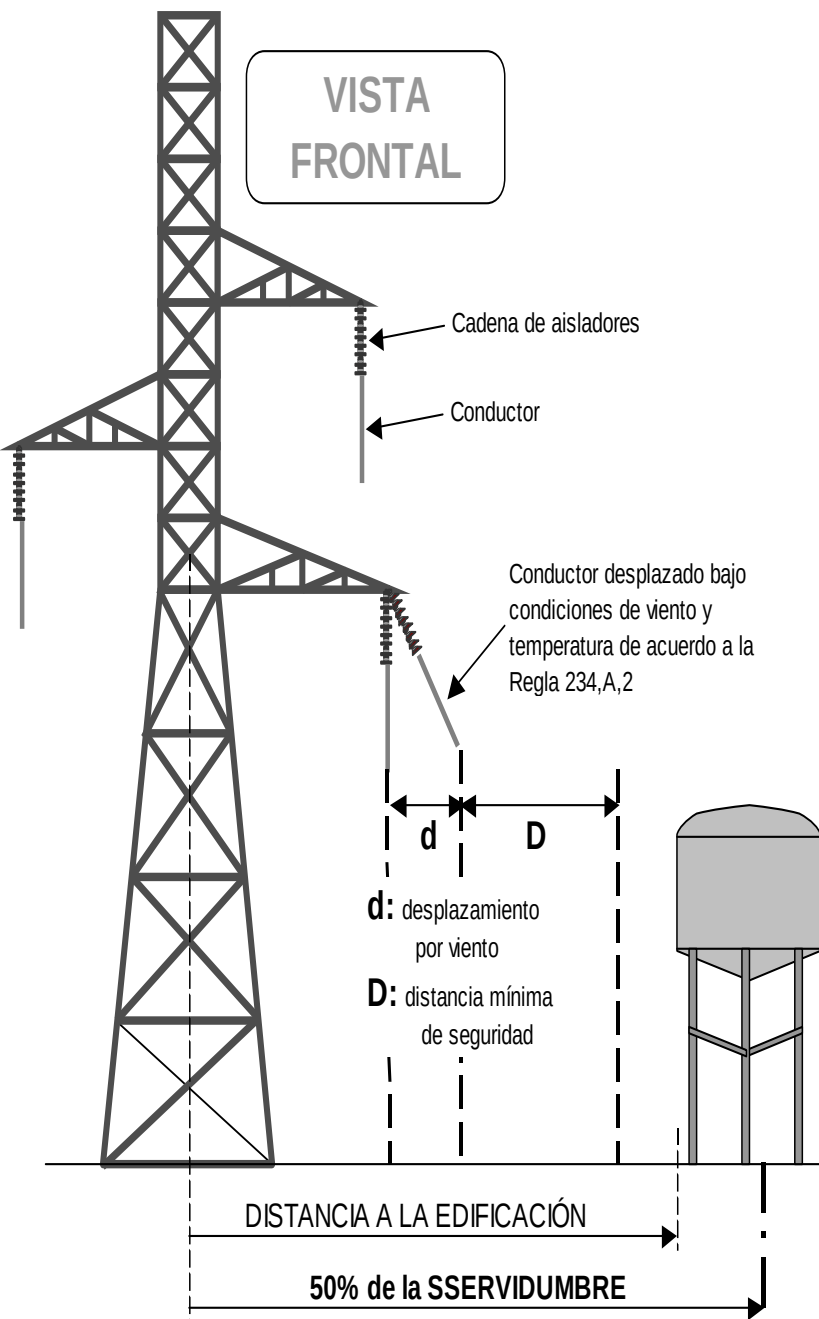


Figura 219.B-1
Edificaciones o
construcciones de dominio
privado dentro de la Faja
de Servidumbre pero Fuera
de su Zona de Influencia



Invasiones de la faja de servidumbre



Invasiones de la faja de servidumbre



FALLAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

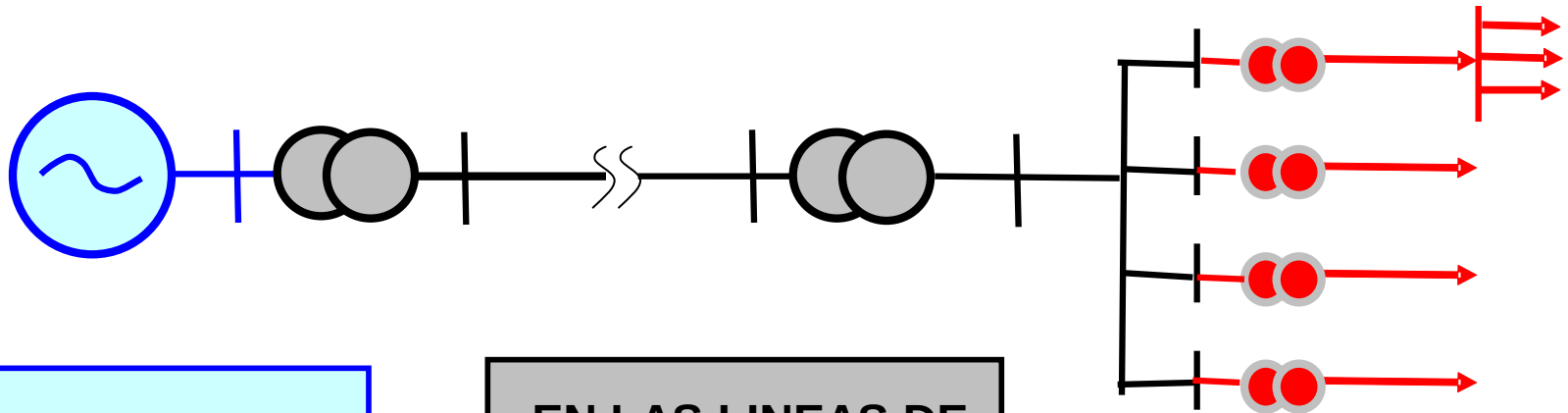
Ubicación :

- Líneas de Transmisión : 85%
- Barras : 12%
- Transformadores y Generadores : 03%

Tipos :

	<220 kV	>230 KV
● Monofásicas	72%	85%
● Bifásicas	22%	10%
● Trifásicas	6%	5%

¿DONDE SE GENERAN INTERRUPCIONES?



EN LAS CENTRALES DE GENERACIÓN

Inundación
Mala Operación
Mantenimiento
Falla Componentes
Falla Equipos Etc.

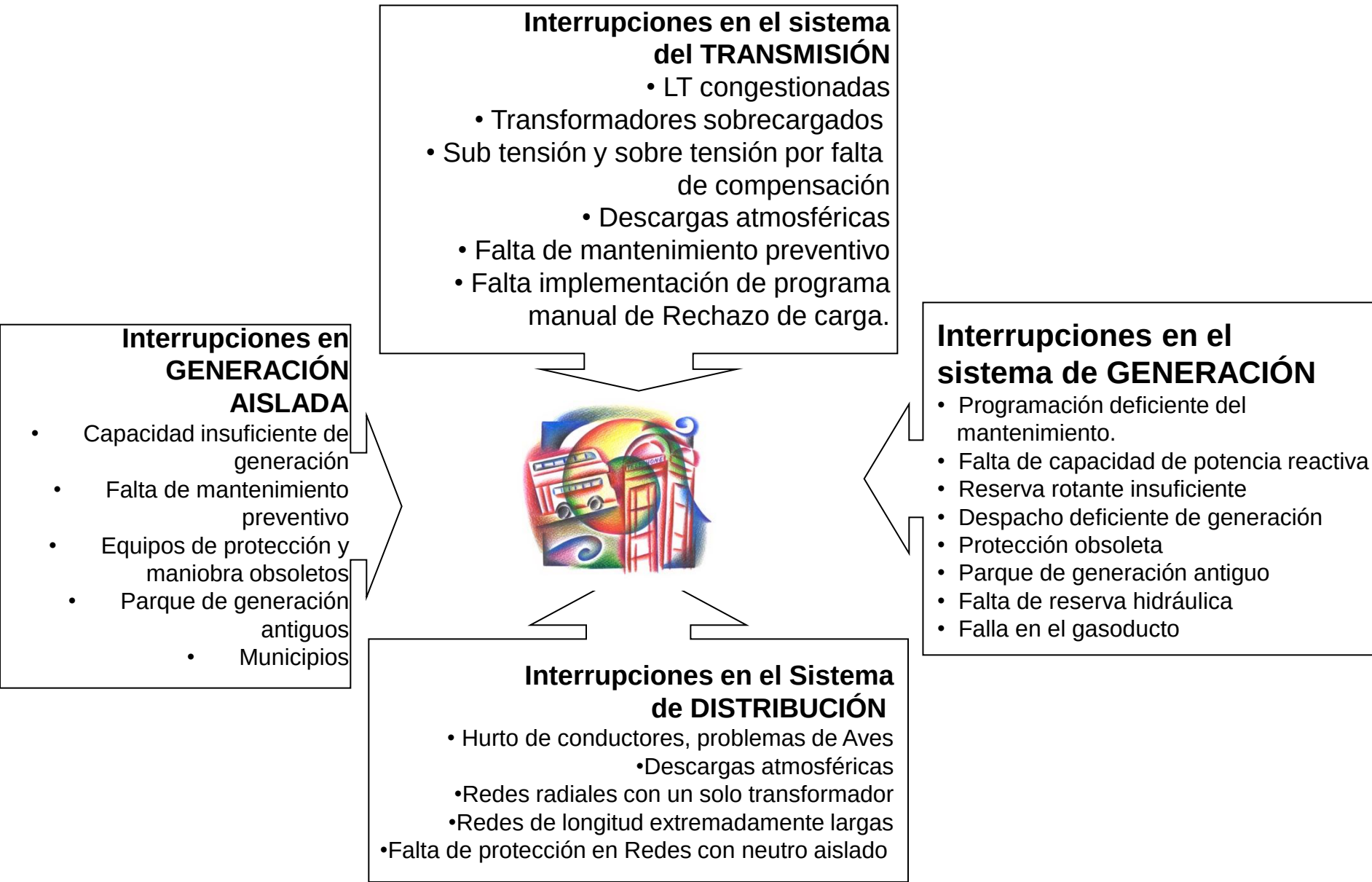
EN LAS LINEAS DE TRANSMISIÓN

Descargas atmosféricas
Invasión Servidumbre
Mantenimiento
Mala Operación
Etc.

EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

Hurto de conductores
Mantenimiento
Fallas componentes
Mala Operación, Etc.

Problemática de las Interrupciones



Causas de Desconexiones



Tala de árboles



Condiciones climáticas



Terceros



Causas de Desconexiones



Robo de conductores

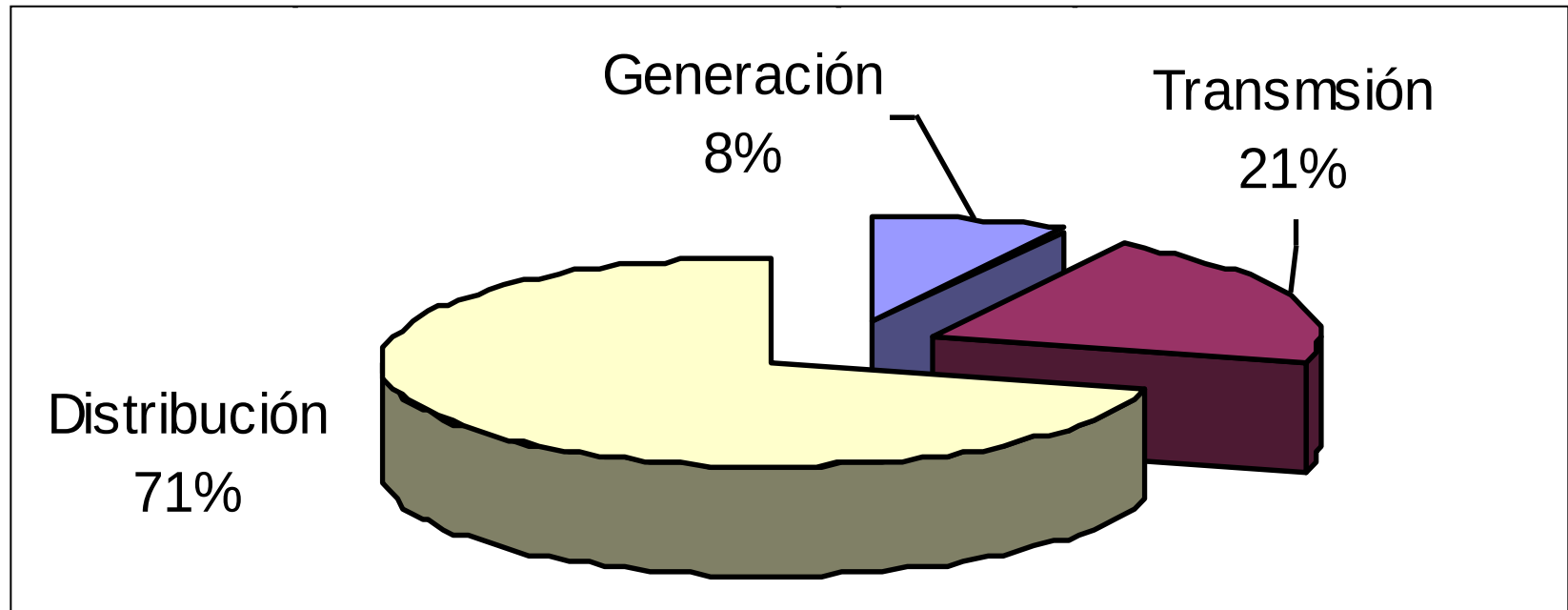


Falla interna



Mantenimiento insuficiente

Interrupciones en el Sistema Eléctrico por Tipo de Actividad



Interrupciones Horas-usuario

* Resto del País