



Subestaciones eléctricas

José Manuel Solla Sanz

Diseño e Innovación en Subestaciones y Cables

3 de setiembre de 2012

IES Universidade Laboral (Haciadama-Coruña)



INDICE

1. **Subestaciones y el Sistema Eléctrico**
2. **Aparamenta**
3. **Criterios de diseño de unifilares de subestaciones**
4. **Tecnología de subestaciones**
5. **Celdas GIS de AT**
6. **Equipos HIS de AT**
7. **Transformadores de potencia**
8. **Equipos móviles**



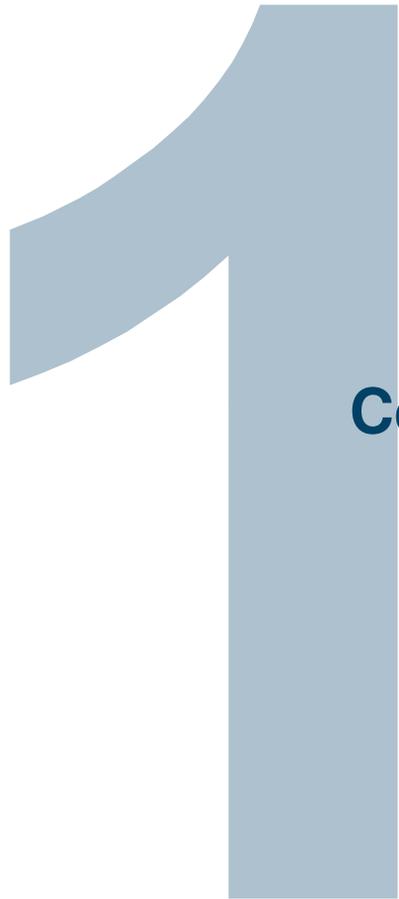
1. SUBESTACIONES Y EL SISTEMA ELECTRICO

INDICE

1. Concepto de subestación
2. Integración de las subestaciones en el sistema eléctrico
3. Arquitectura de Red
4. Calidad de suministro

gasNatural
fenosa





Concepto de subestación

CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Definición



Conjunto de equipos destinados a dirigir el flujo de energía eléctrica, en un punto de la red en el que confluyen líneas (conectan nudos lejanos de igual tensión) y transformadores (conectan nudos cercanos de distinta tensión).

El conjunto de la instalación está formada por la aparamenta eléctrica y los edificios necesarios para realizar alguna de las funciones siguientes: transformación de la tensión, de la frecuencia, del nº de fases, rectificación, compensación del factor de potencia y conexión de dos o más circuitos.

Incluye servicios auxiliares de corriente alterna y continuo necesarios para el funcionamiento de los diferentes equipos.

CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Funciones



- ✓ **SEGURIDAD:** aislando el sistema eléctrico de las zonas donde se ha producido una falta, limitando por tanto el riesgo para personas e instalaciones.
- ✓ **EXPLOTACIÓN:** dirigiendo los flujos de energía de manera óptima, minimizando pérdidas y permitiendo el mantenimiento de los equipos e instalaciones.
- ✓ **INTERCONEXIÓN:** escalonando los distintos niveles de tensión y garantizando la seguridad en el suministro mediante un adecuado mallado de la red eléctrica.

CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales



- ✍ Transformadores de potencia.
- ✍ Aparamenta y elementos de A.T.
- ✍ Sistema de Protección y (Tele)Control.
- ✍ Equipos de Servicios Auxiliares.
- ✍ Sistema de puesta a tierra.

CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales

Aparamenta y elementos de AT

Una subestación está formada por varios circuitos eléctricos (posiciones, módulos, calles,..) conectados a un sistema común de barras.

Cada circuito está compuesto por:

- ✓ **Interruptor** (apertura en carga/cortocircuito).
- ✓ **Seccionadores** (selectores (barras, by-pass, transferencia) y apertura sin carga manteniendo aislamiento (mtto.)).
- ✓ **Transformadores de intensidad y tensión** (monitorizan la intensidad/tensión del circuito para su medida y protección).
- ✓ **Autoválvulas** (protegen los equipos frente a sobretensiones).

CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales

Aparata y elementos de AT

Interruptores:

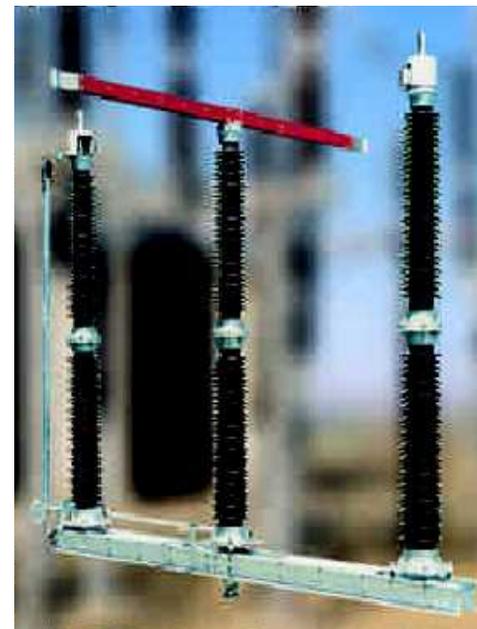


CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales

Aparamenta y elementos de AT

Seccionadores:

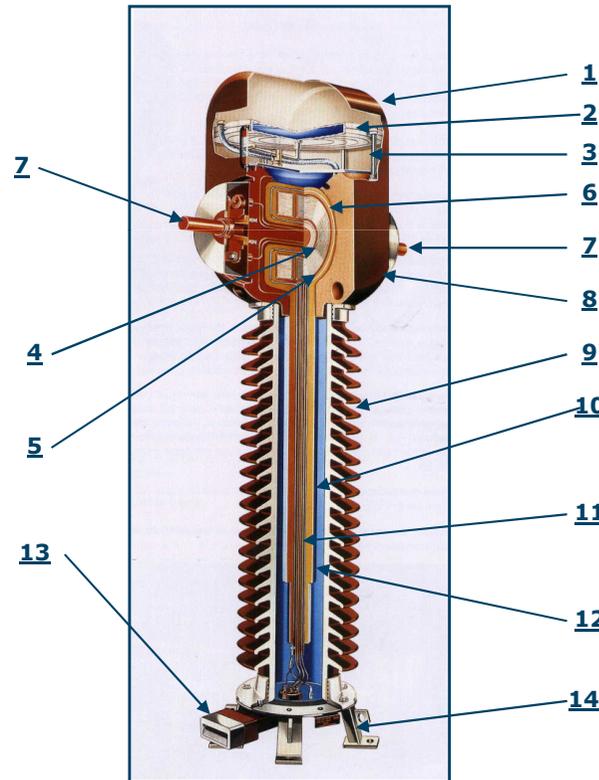


CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales

Aparamenta y elementos de AT

Transformadores de intensidad:



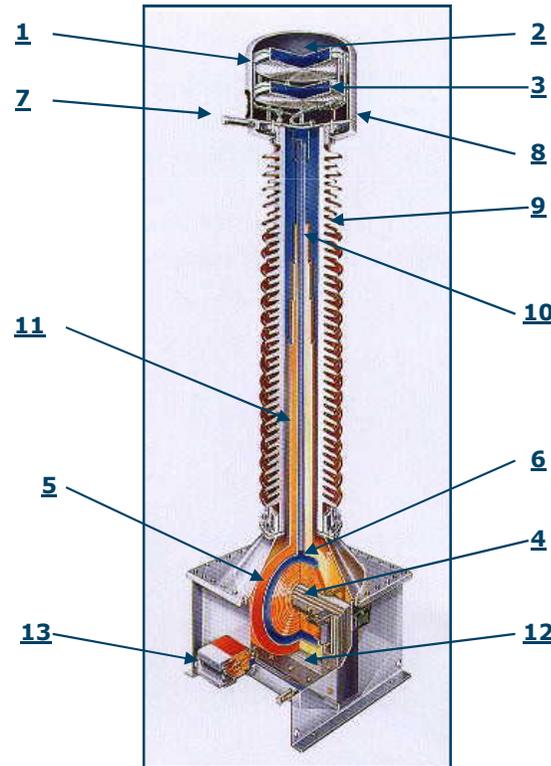
1. Cubierta
2. Compensador metálico
3. Indicador nivel aceite
6. Núcleos
7. Arrollamientos secundarios
8. Arrollamientos primarios
9. Terminales primarios
10. Cabeza metálica
11. Envolverte externa
12. Aceite
13. Papel aislante
14. Conductores secundarios
15. Caja terminales secundarios
16. Base de anclaje

CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales

Aparamenta y elementos de AT

Transformadores de tensión:



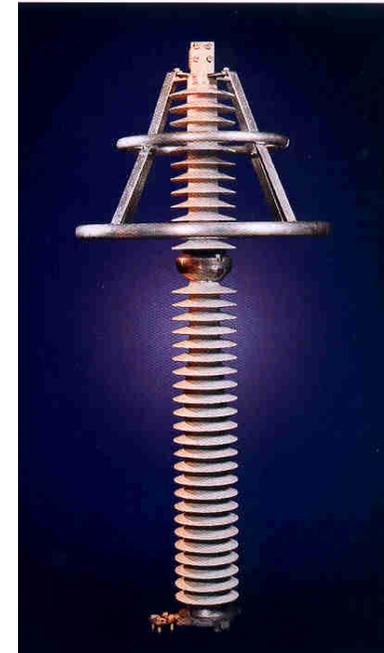
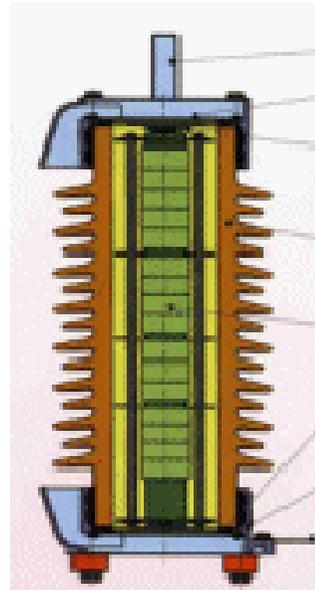
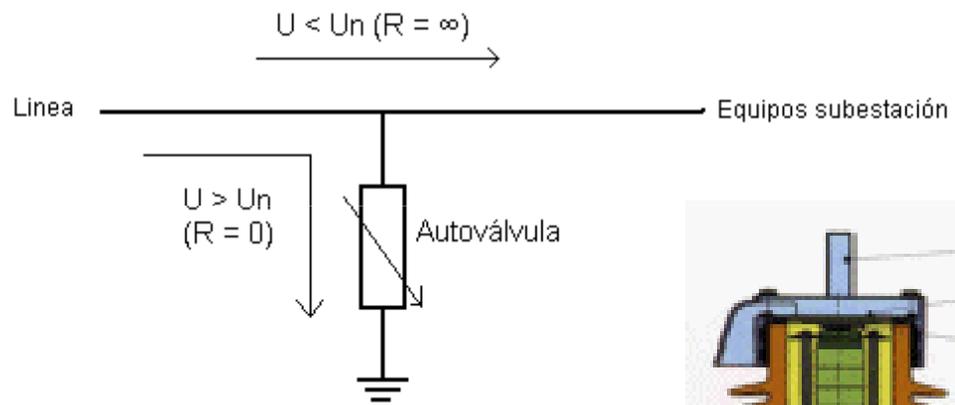
1. Cubierta
2. Cámara expansión aceite
3. Compensador metálico
4. Núcleos
5. Arrollamientos secundarios
6. Arrollamientos primarios
7. Terminal primario
8. Cabeza metálica
9. Envolverte externa
10. Aceite
11. Papel aislante
12. Conductores secundarios
13. Caja terminales secundarios

CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales

Aparata y elementos de AT

Autoválvulas:



CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales

Esquema unifilar



La configuración eléctrica de una subestación se expresa mediante su esquema unifilar (en el cual se disponen los elementos eléctricos constitutivos de cada uno de sus circuitos).

Es la **referencia básica en el diseño, proyecto y explotación de la instalación** (en función del tipo de configuración empleado: simple barra, doble barra, barra de transferencia, acoplamientos transversales o longitudinales, seccionamientos de transferencia o by-pass, interruptor y medio, anillos,..).

CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales

Esquema unifilar



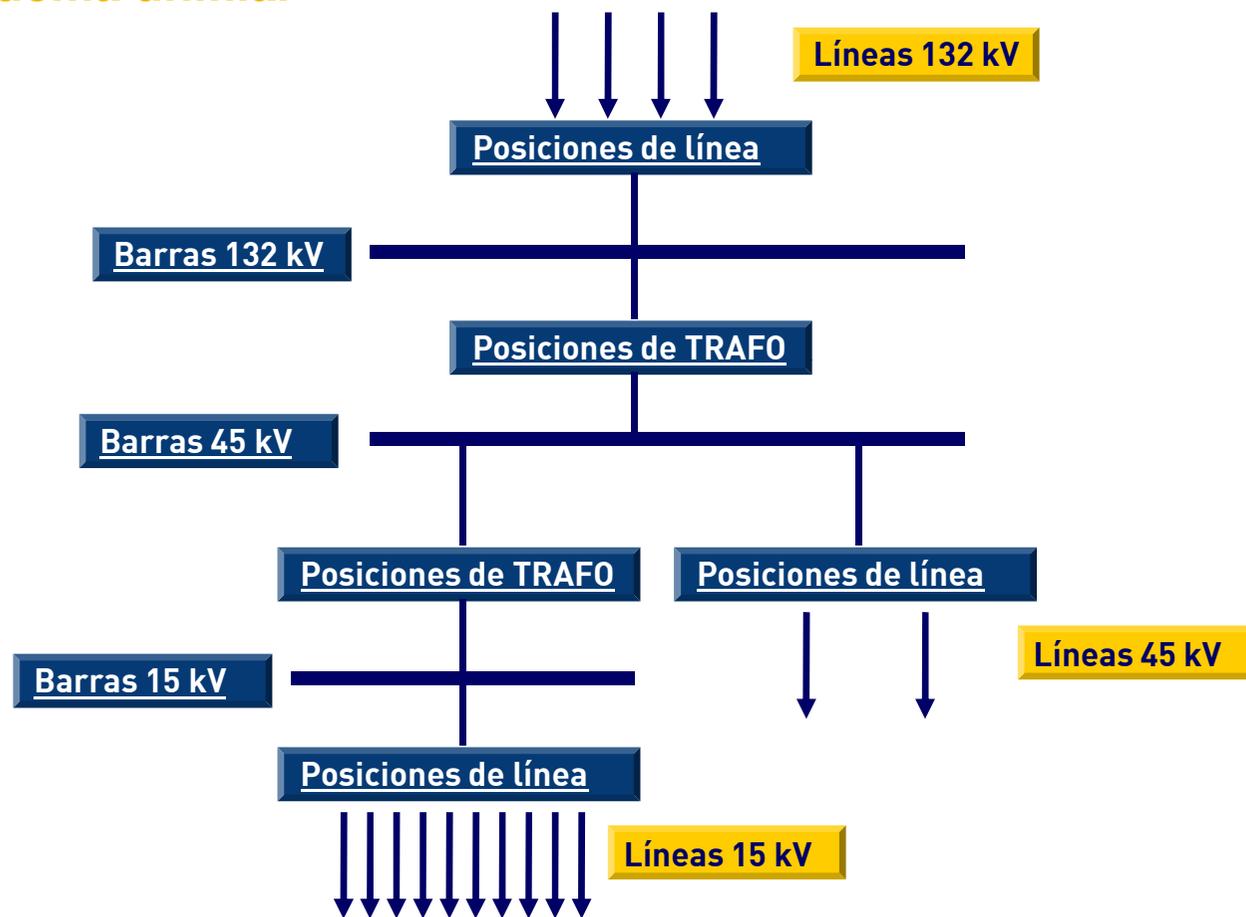
La elección del esquema unifilar de una subestación debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Función y situación de la subestación en la red
- Fiabilidad exigible y seguridad de servicio
- Evolución futura y ampliabilidad
- Flexibilidad necesaria para la operación y mantenimiento
- Coste

CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales

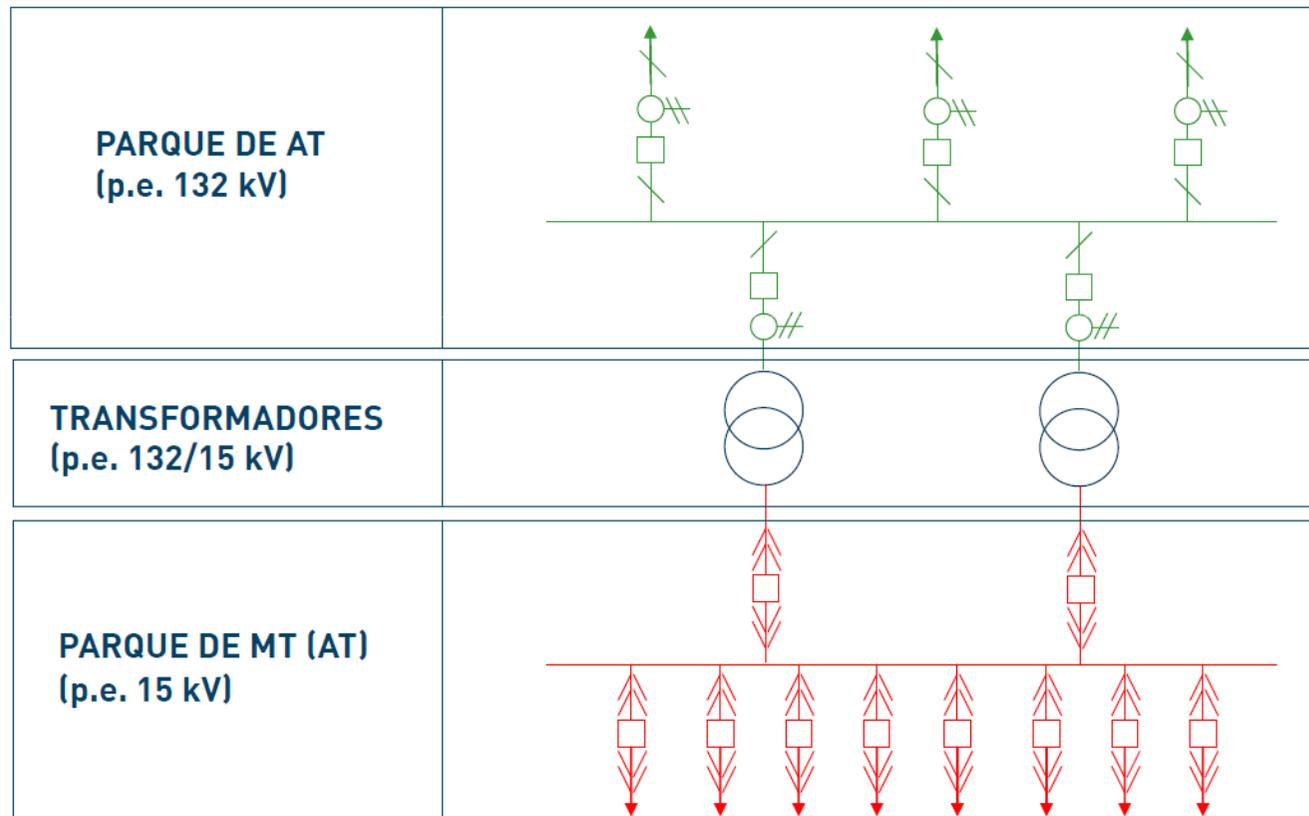
Esquema unifilar



CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales

Constitución de las subestaciones



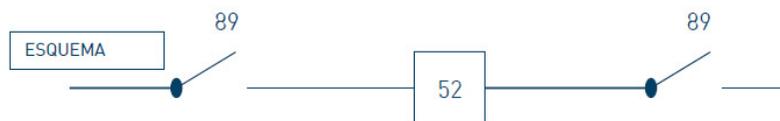
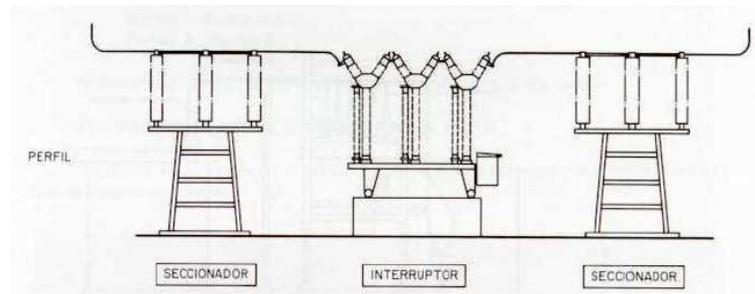
CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales

Constitución de las subestaciones. POSICIÓN.

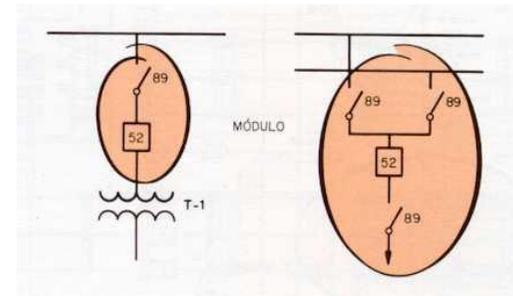
Es el conjunto de aparatos de corte **de una misma tensión** que intervienen en las maniobras de un circuito de Alta Tensión.

Básicamente está formado por un interruptor, seccionadores y trafos de medida



POSICIÓN [O MÓDULO]

Habrán de diferentes tipos, en función del tipo de barras, etc.



VARIANTES DE POSICIÓN [O MÓDULO]

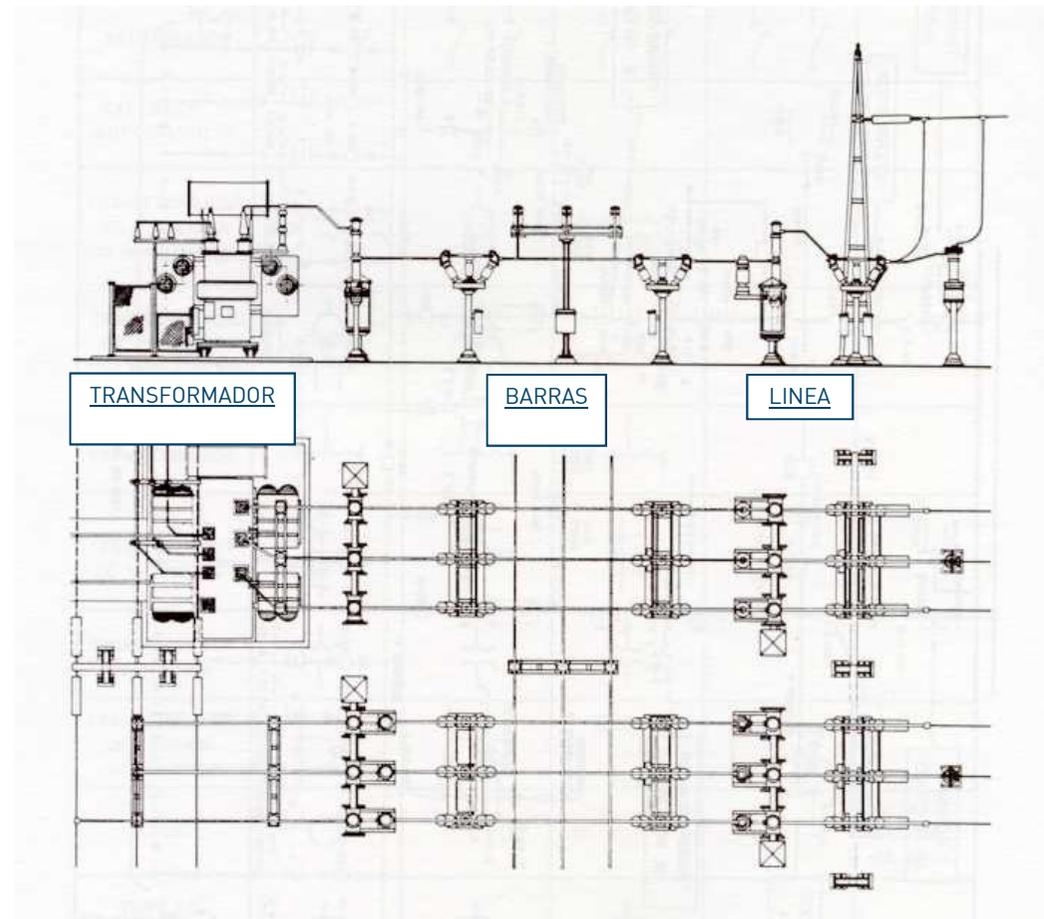
CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

Componentes principales

Constitución de las subestaciones.POSICIÓN.

Se puede dividir en las siguientes partes:

- Posición de línea o líneas
- Transformadores o autotransformadores
- Barras



CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

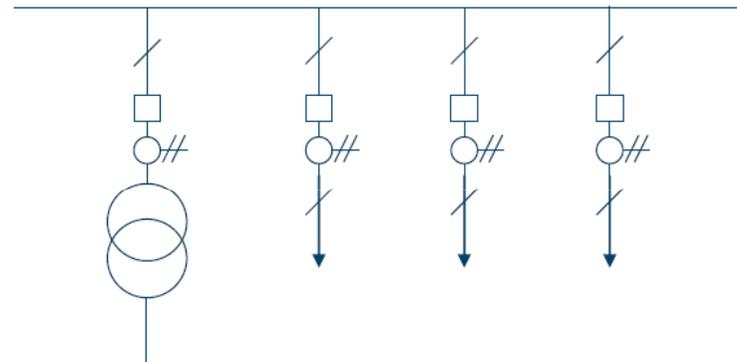
Componentes principales

Esquema unifilar

Se puede dividir en las siguientes partes:

- Posiciones de Línea
- Posiciones de Transformador
- Barras
- Acoplamiento (si hay más de una barra)

PARQUE DE SIMPLE BARRA



CONCEPTO DE SUBESTACIÓN

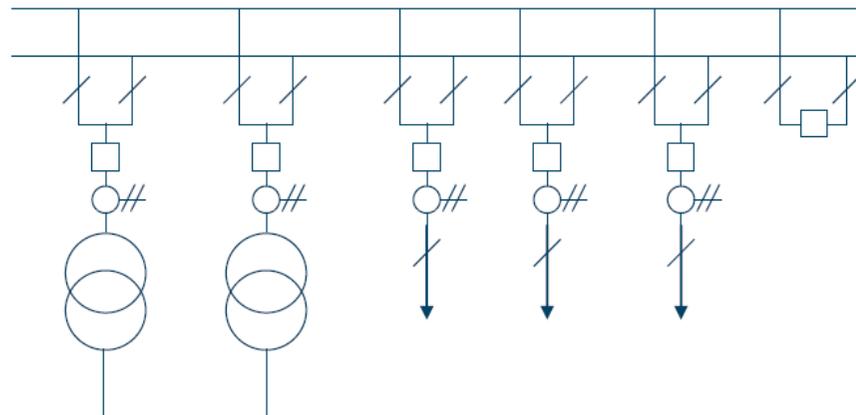
Componentes principales

Esquema unifilar

Se puede dividir en las siguientes partes:

- Posiciones de Línea
- Posiciones de Transformador
- Barras
- Acoplamiento (si hay más de una barra)

PARQUE DE DOBLE BARRA













gasNatural
fenosa 





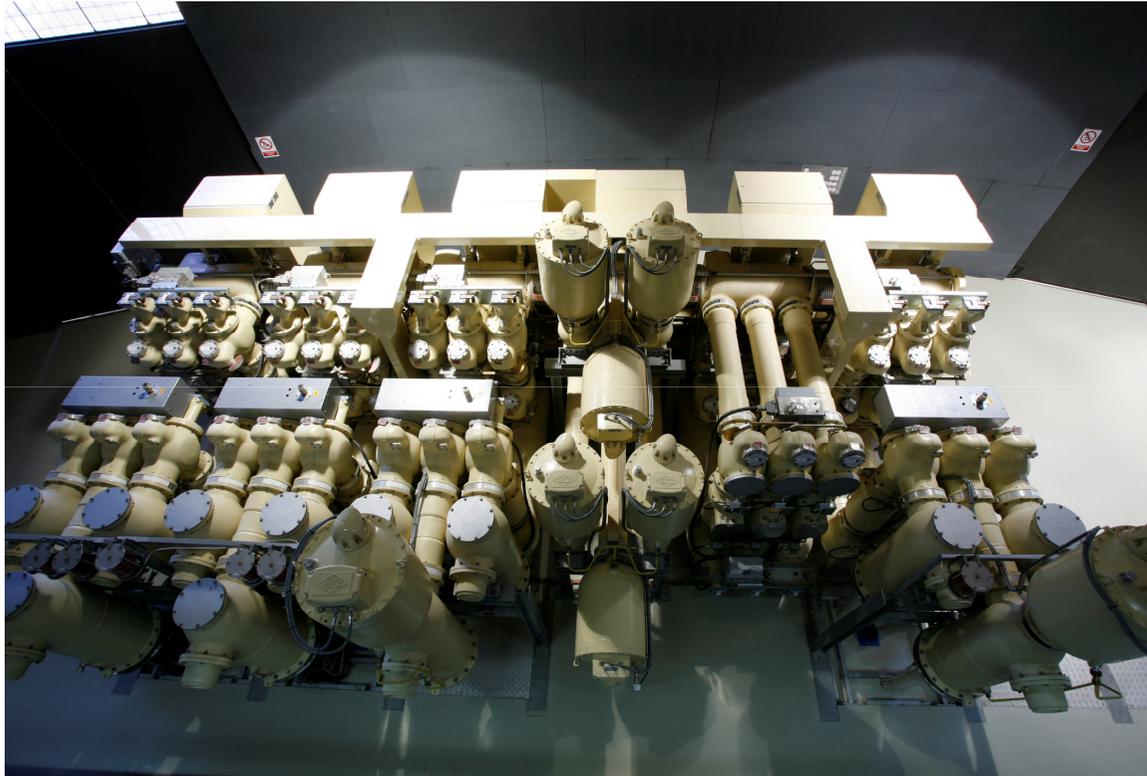








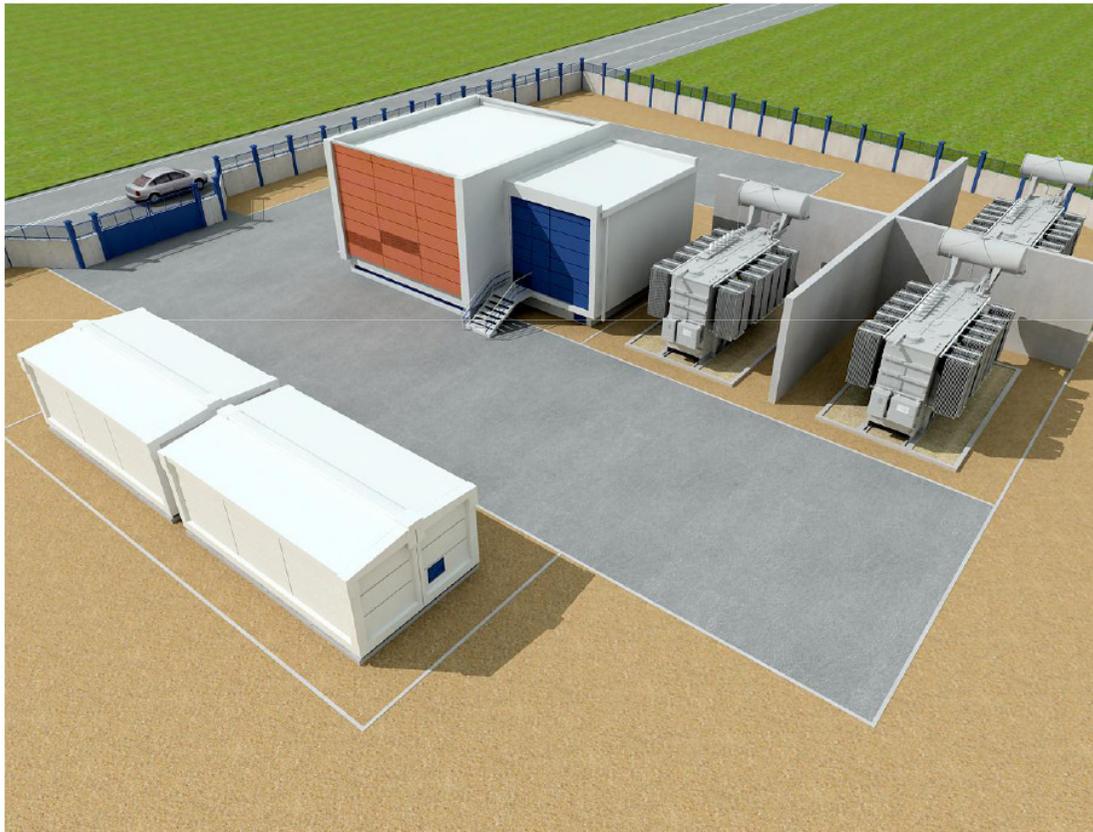
























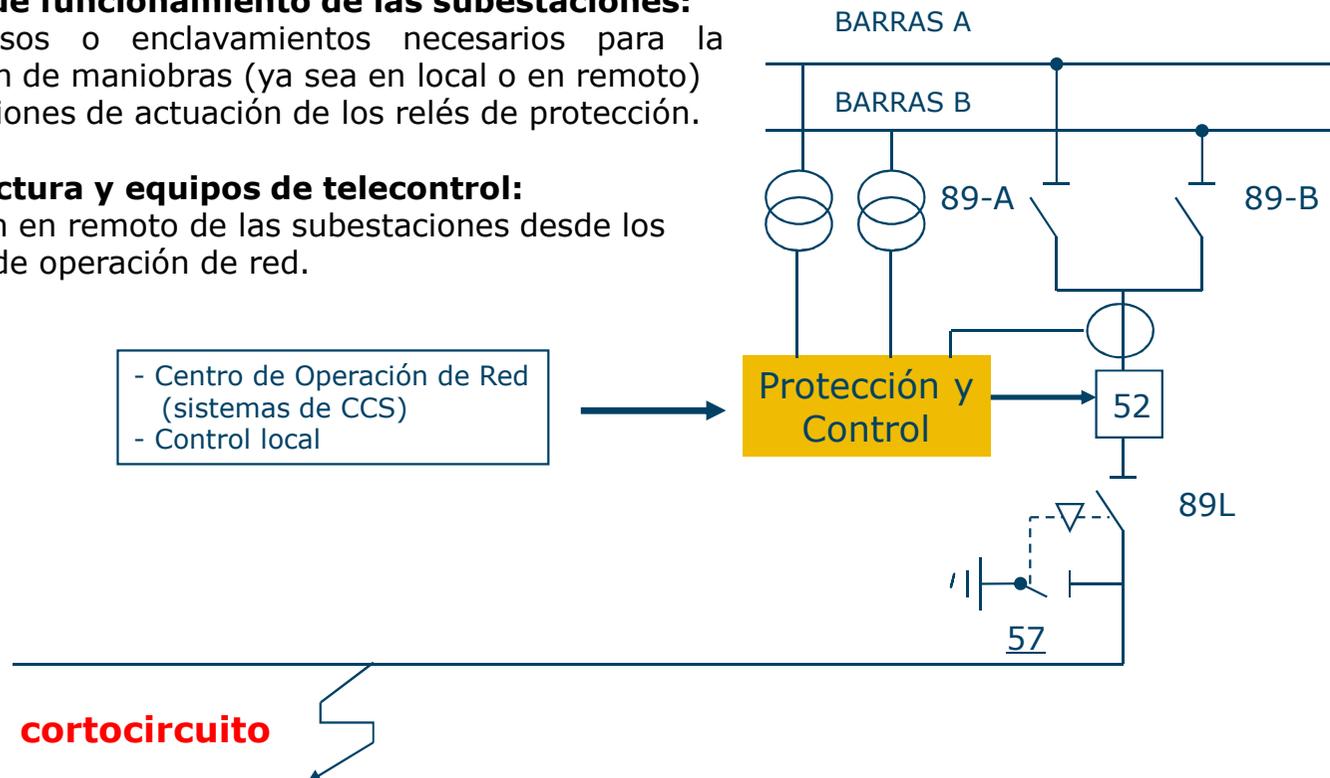
Sistema de protecciones y (tele)control:

Lógica de funcionamiento de las subestaciones:

- Permisos o enclavamientos necesarios para la ejecución de maniobras (ya sea en local o en remoto)
- Condiciones de actuación de los relés de protección.

Arquitectura y equipos de telecontrol:

- Gestión en remoto de las subestaciones desde los centros de operación de red.



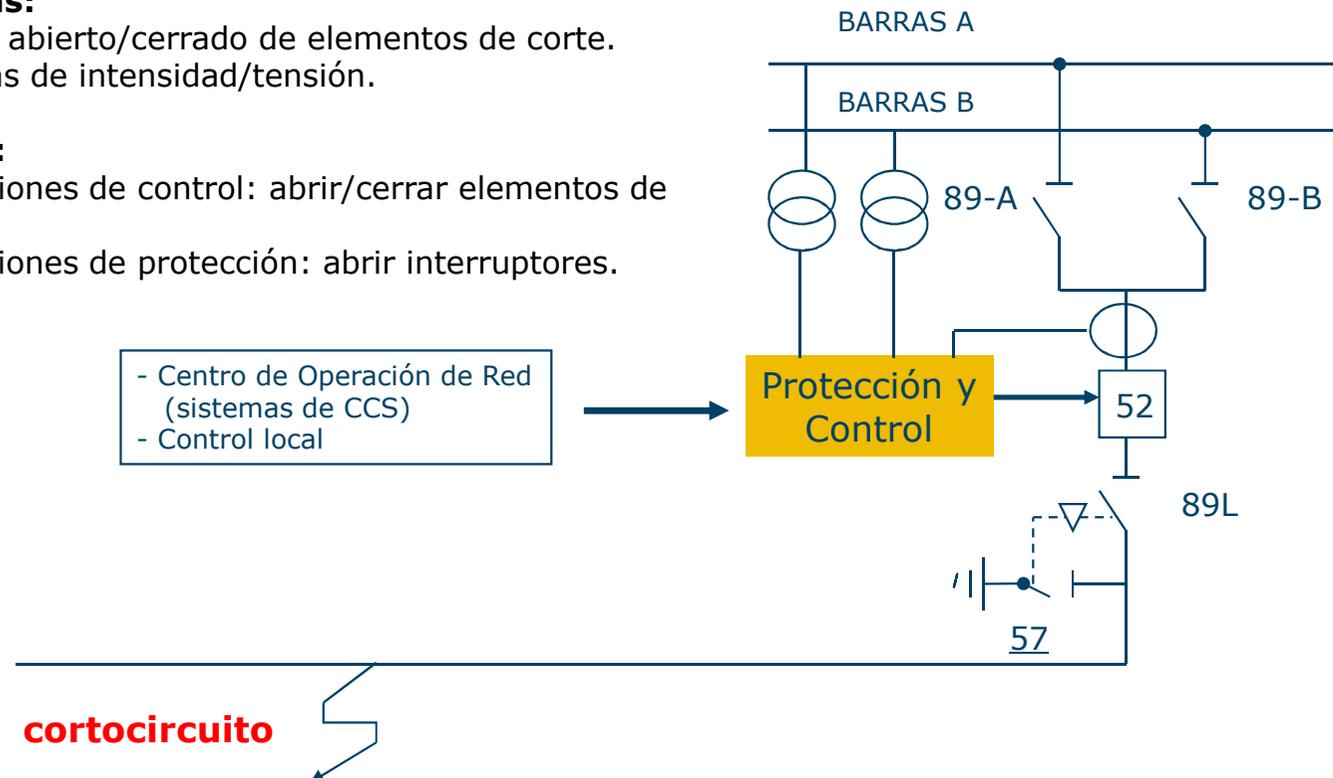
Sistema de protecciones y (tele)control:

Entradas:

- Estado abierto/cerrado de elementos de corte.
- Medidas de intensidad/tensión.

Salidas:

- Actuaciones de control: abrir/cerrar elementos de corte.
- Actuaciones de protección: abrir interruptores.

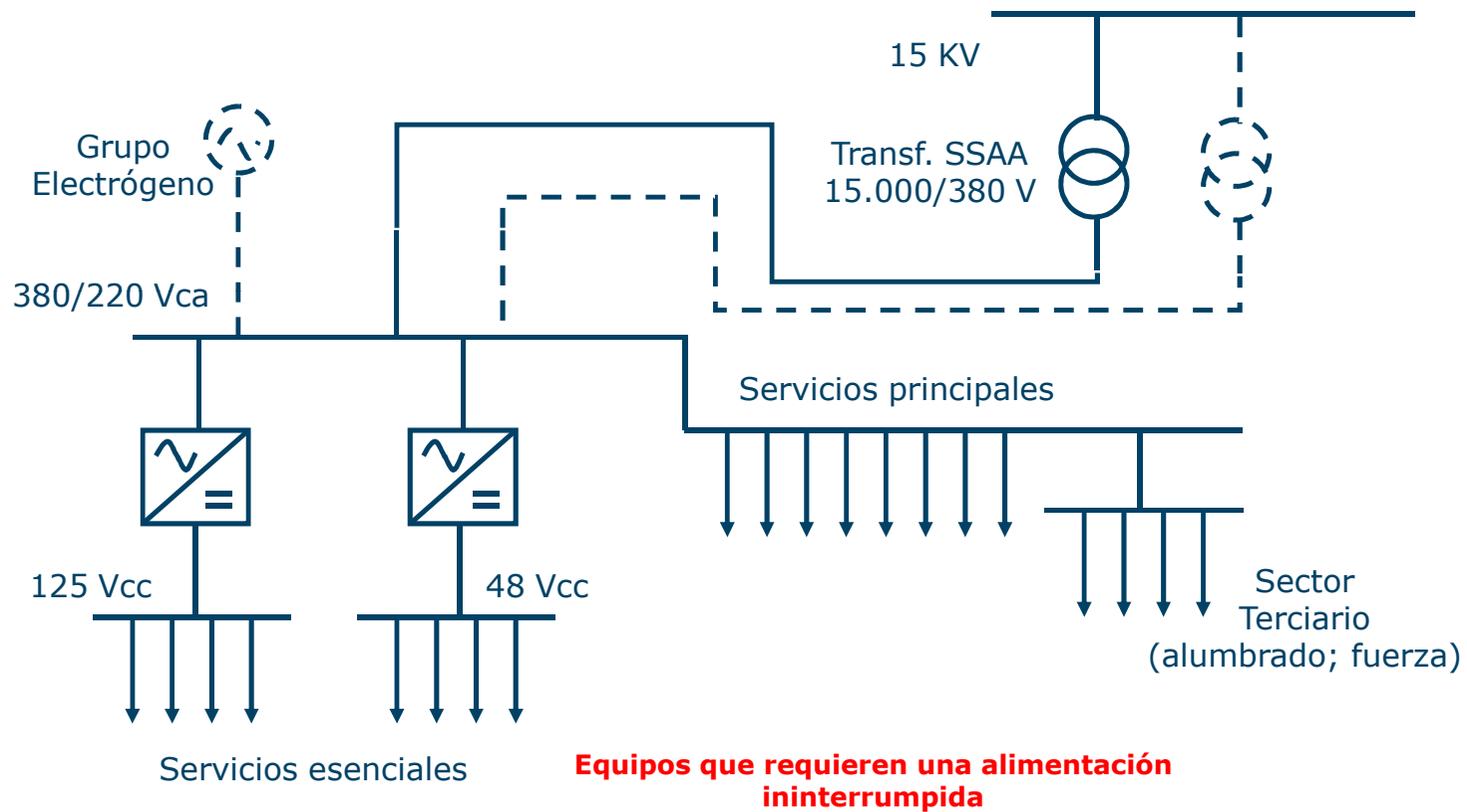


Sistema de servicios auxiliares:

Para el correcto funcionamiento de la subestación se requiere la existencia de fuentes de alimentación de corriente alterna y corriente continua que alimenten en baja tensión a:

- Relés de protección.
- Circuitos de control (disparo/cierre/enclavamientos/...).
- Motores de accionamiento de interruptores y seccionadores.
- Calefacción/Refrigeración de los equipos y armarios.
- Regulador de tensión y sistema de refrigeración del transformador
- Sector terciario (alumbrado, fuerza, ...).

Sistema de servicios auxiliares:

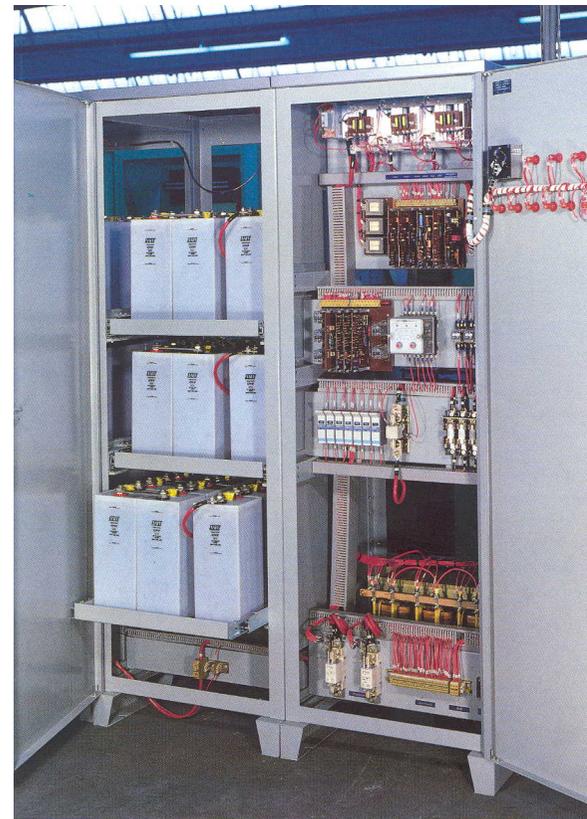


Sistema de servicios auxiliares – Fuentes de alimentación c.c.:

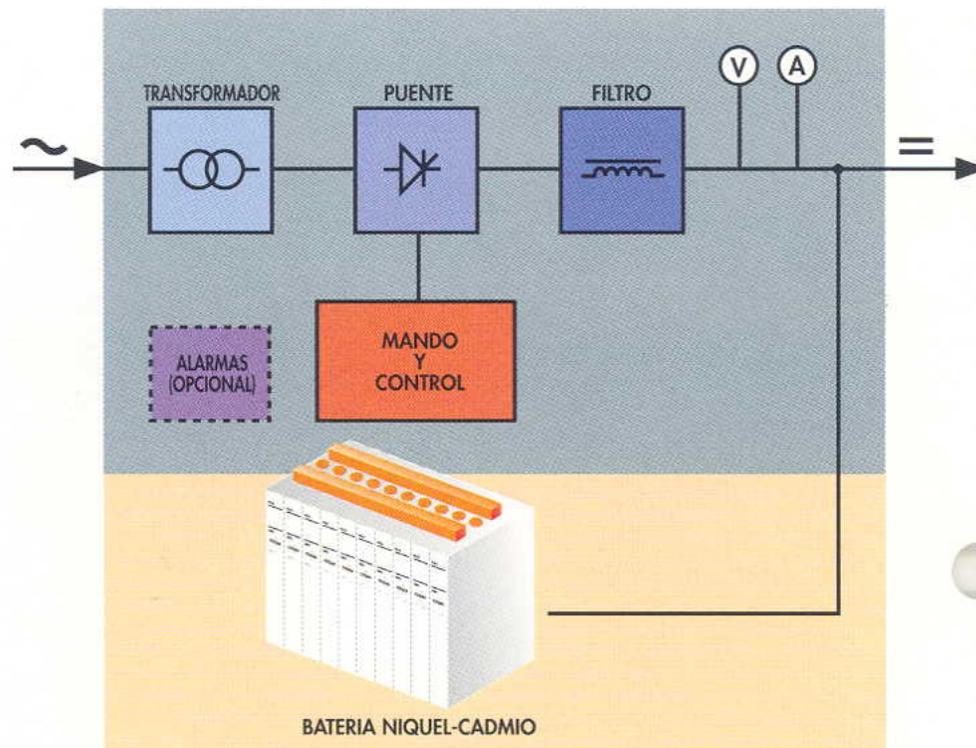
Equipos que proporcionan una alimentación a tensión de c.c. estabilizada a aquellos servicios que requieren un suministro de calidad y que no permiten verse afectados por un corte de la alimentación de c.a.

Constan de:

- Equipo rectificador-cargador.
- Batería de acumuladores (p.e. Ni-Cd).



Sistema de servicios auxiliares – Fuentes de alimentación c.c.:



Sistema de servicios auxiliares – Fuentes de alimentación c.c.:

El **rectificador-cargador** es una fuente que alimenta los servicios de la instalación (en presencia de la red de c.a.) y además carga la batería.

La carga de la batería se efectúa a tres regímenes:

- **Carga de Flotación** (1.4 V/elem.): mantiene la batería en estado de plena carga mediante una pequeña carga a tensión constante estabilizada.
- **Carga Rápida** (1.45 V/elem.): restituye en poco tiempo la capacidad de la batería después de una descarga.
- **Carga Excepcional** (1.6 V/elem.): proporciona una carga completa e intensa.

Sistema de servicios auxiliares – Fuentes de alimentación c.c.:

La **batería de acumuladores** proporciona una autonomía de alimentación de c.c a los equipos ante la ausencia de alimentación de c.a. al equipo rectificador-cargador (en presencia de red tienen un funcionamiento en tampón con el equipo cargador).

Según su característica de carga/descarga (resistencia interna) tenemos:

- **Baterías tipo H** (SBH, KPH,..): adecuadas para descargas de intensidades altas y tiempos breves (hasta 11 veces su capacidad en puntas de corta duración y 7 veces en régimen de descarga fuerte).
- **Baterías tipo M** (SBM, KPM,..): adecuadas para descargas medias (de 30 minutos a 3 horas).
- **Baterías tipo L** (SBL, KPL,..): adecuadas para descargas prolongadas, lineales y de baja intensidad (más de 3 horas).

Sistema de servicios auxiliares – Fuentes de alimentación c.c.:

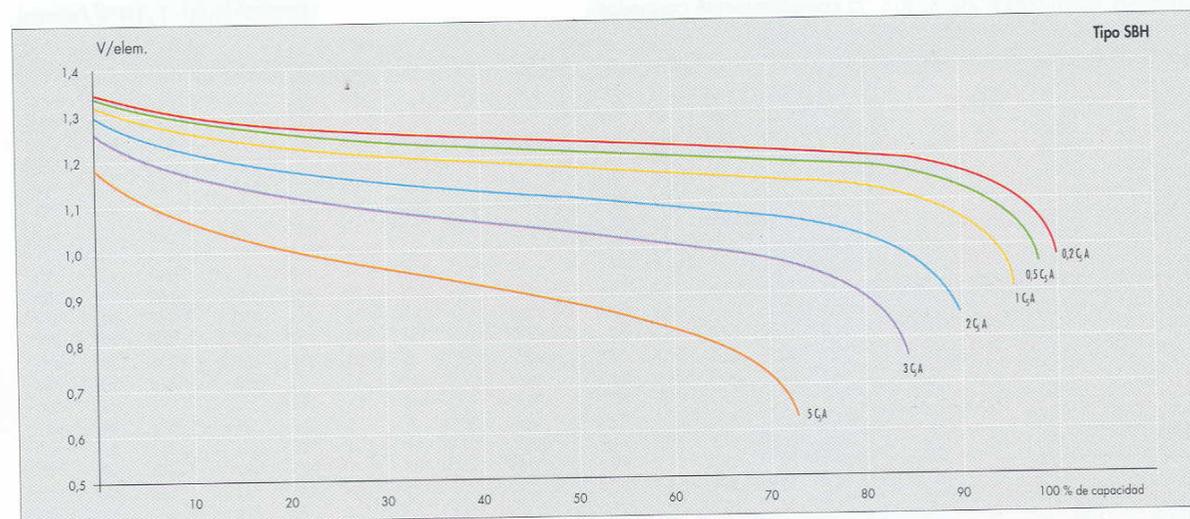
Parámetros característicos de las baterías de acumuladores:

- Tensión del sistema (24 V, 48 V, 125 V, 220 V).
- Tensión de elemento y tensión media durante la descarga (1.2 V/elem.).
- Tensión de flotación (necesaria para mantener la batería en condiciones de plena carga)(1.4 V/elem.).
- Capacidad (contenido nominal de energía en Ah). La capacidad es el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que dura la descarga, calculado hasta que se alcanza una tensión final establecida y a una temperatura dada. Las baterías industriales de Ni-Cd se clasifican para descarga en 5 horas (C5).

Sistema de servicios auxiliares – Fuentes de alimentación c.c.:

Característica de descarga:

A igual tensión final de descarga, cuanto mayor sea la intensidad de descarga, menor es la capacidad aprovechable de la batería en esa descarga y menor es la tensión inicial de descarga. Por tanto, se tiene menor autonomía de alimentación.

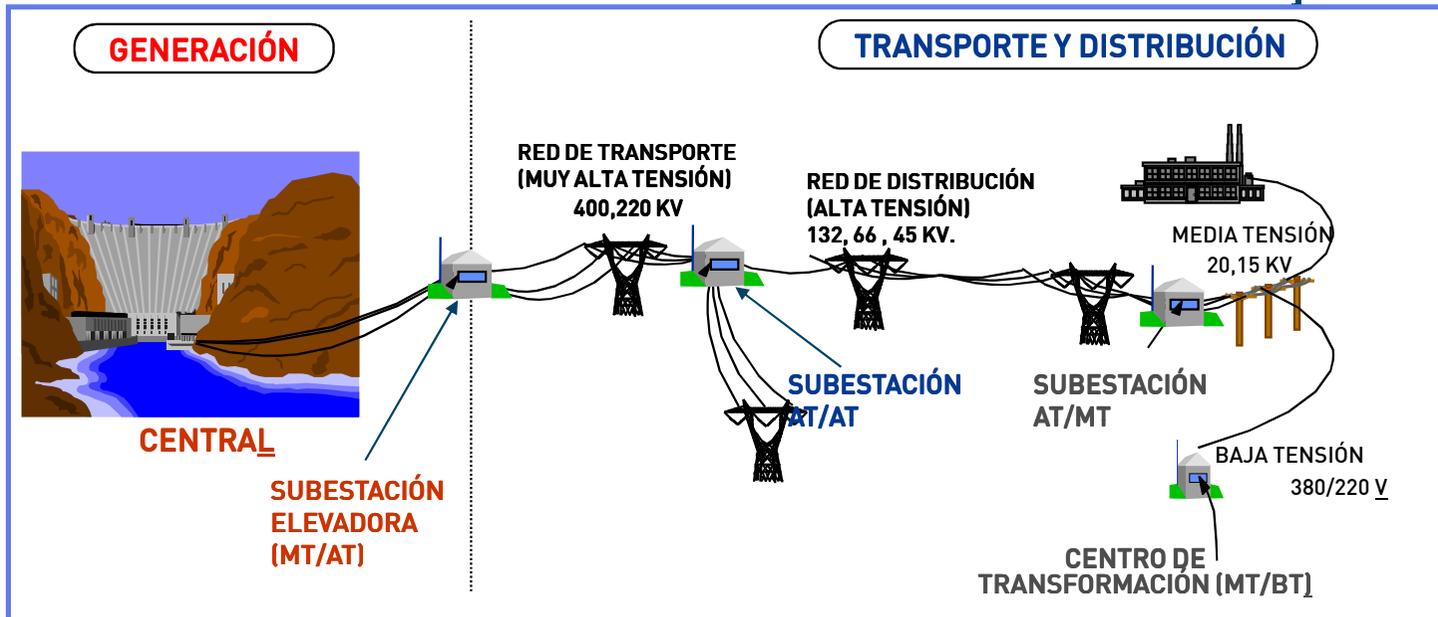




Integración de las subestaciones en el sistema eléctrico

INTEGRACIÓN SEs EN SISTEMA ELECTRICO

Estructura general del sistema eléctrico



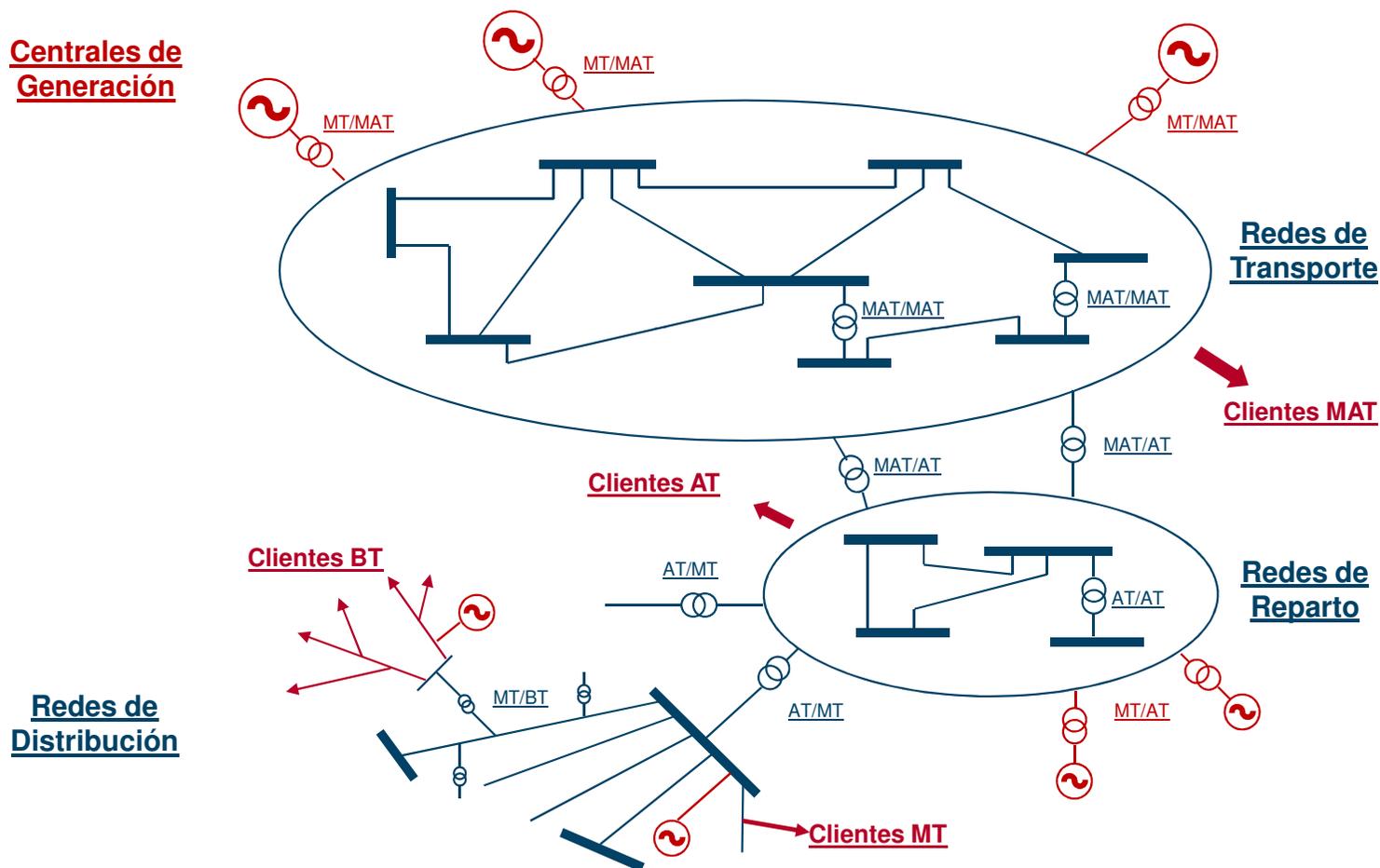
Generación: Genera la energía y la prepara para su transporte subiendo la tensión.

Transporte y Distribución: Transporta la energía con baja intensidad y alta tensión, con el objeto de generar las menores pérdidas posibles.

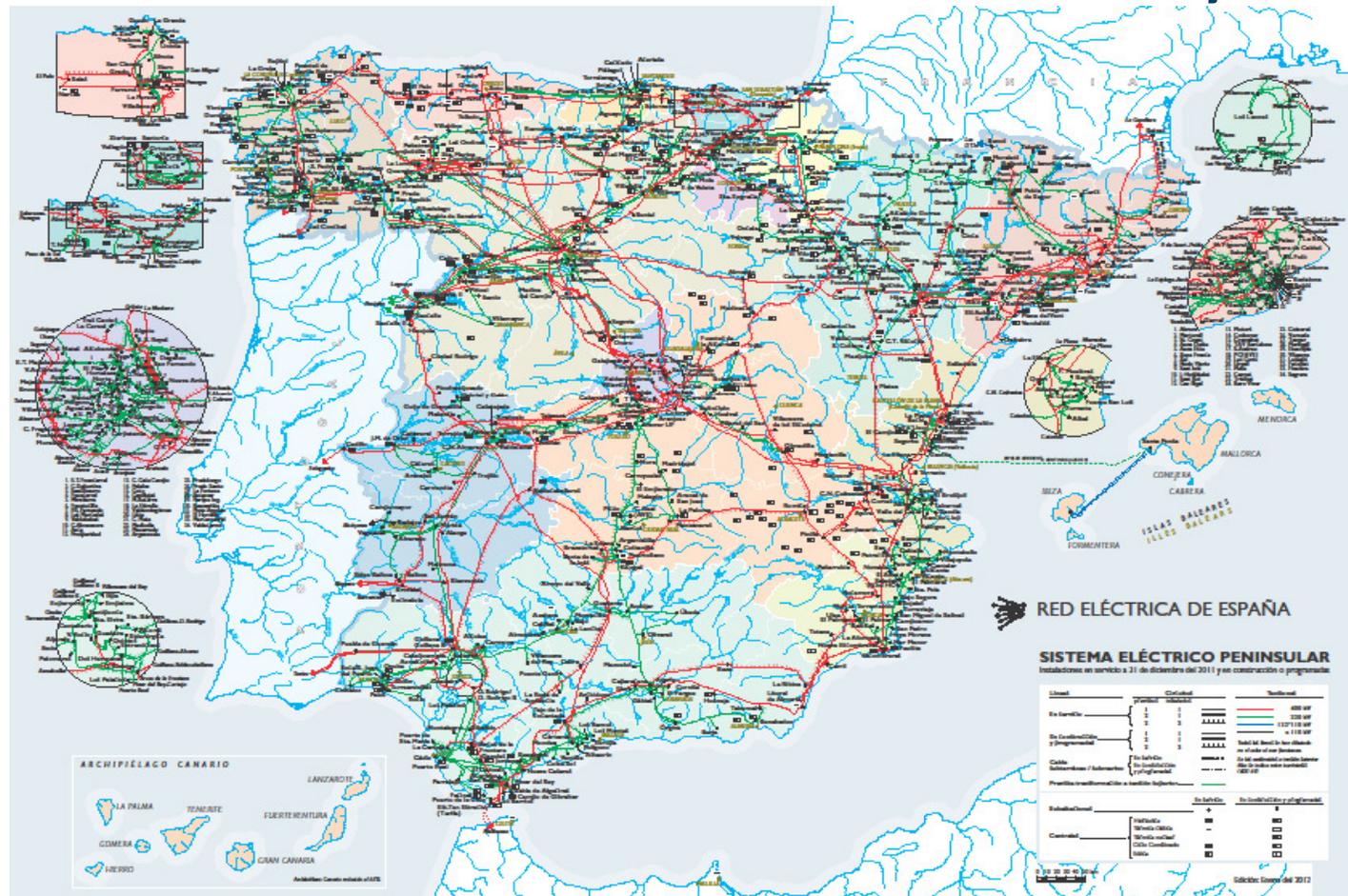
La energía se prepara para poder ser utilizada por el usuario, es decir, se transforma en baja tensión y se conecta con el cliente.

INTEGRACIÓN SEs EN SISTEMA ELECTRICO

Instalaciones que conforman las redes eléctricas gasNatural fenosa



Mapa Red de Transporte peninsular



Mapa Red de Transporte de Galicia



Galicia



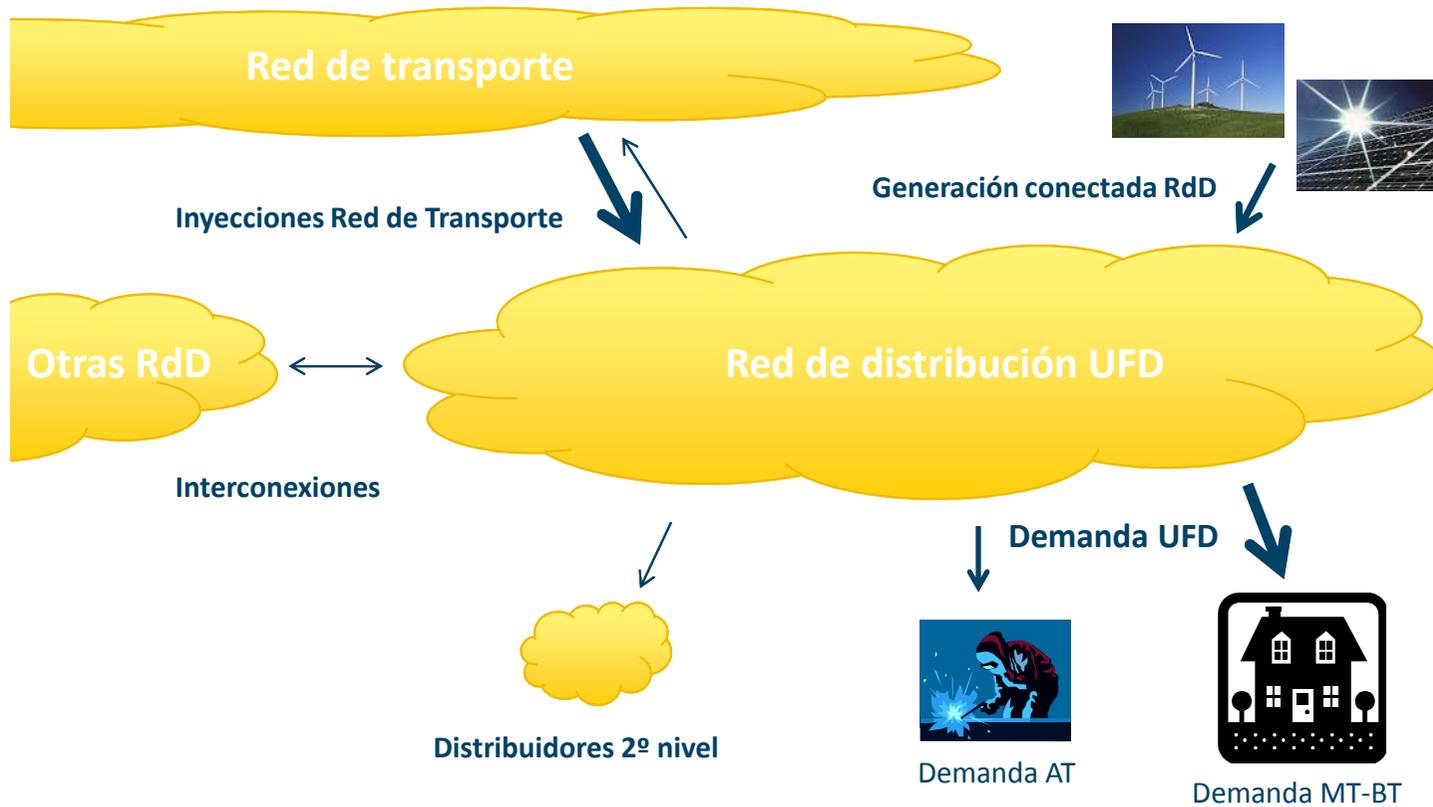
RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA
www.ree.es

Red de transporte de energía eléctrica
Instalaciones en servicio a 1 de enero del 2012 y en construcción o programadas

Línea	Circuitos		Tensión
	previstos	instalados	
En servicio	1	1	400 kV
	2	2	330 kV
En construcción y programadas	1	1	132-110 kV
	2	2	4-110 kV
Cable subterráneo / submarino	En servicio	●●●●●	Todas las líneas se han diseñado en el color de gas Natural
	En construcción o programadas	— — — — —	Se las construye o instalará después de haber estado permitidas (110 kV)
Previsión transformación a tensión superior	— — — — —		
Subestaciones	En servicio		En construcción y programadas
	Híbrida	■	■
Centrales	Térmica clásica	■	■
	Térmica nuclear	■	■
	Ciclo Combinado	■	■
	Solar	■	■

INTEGRACIÓN SEs EN SISTEMA ELECTRICO

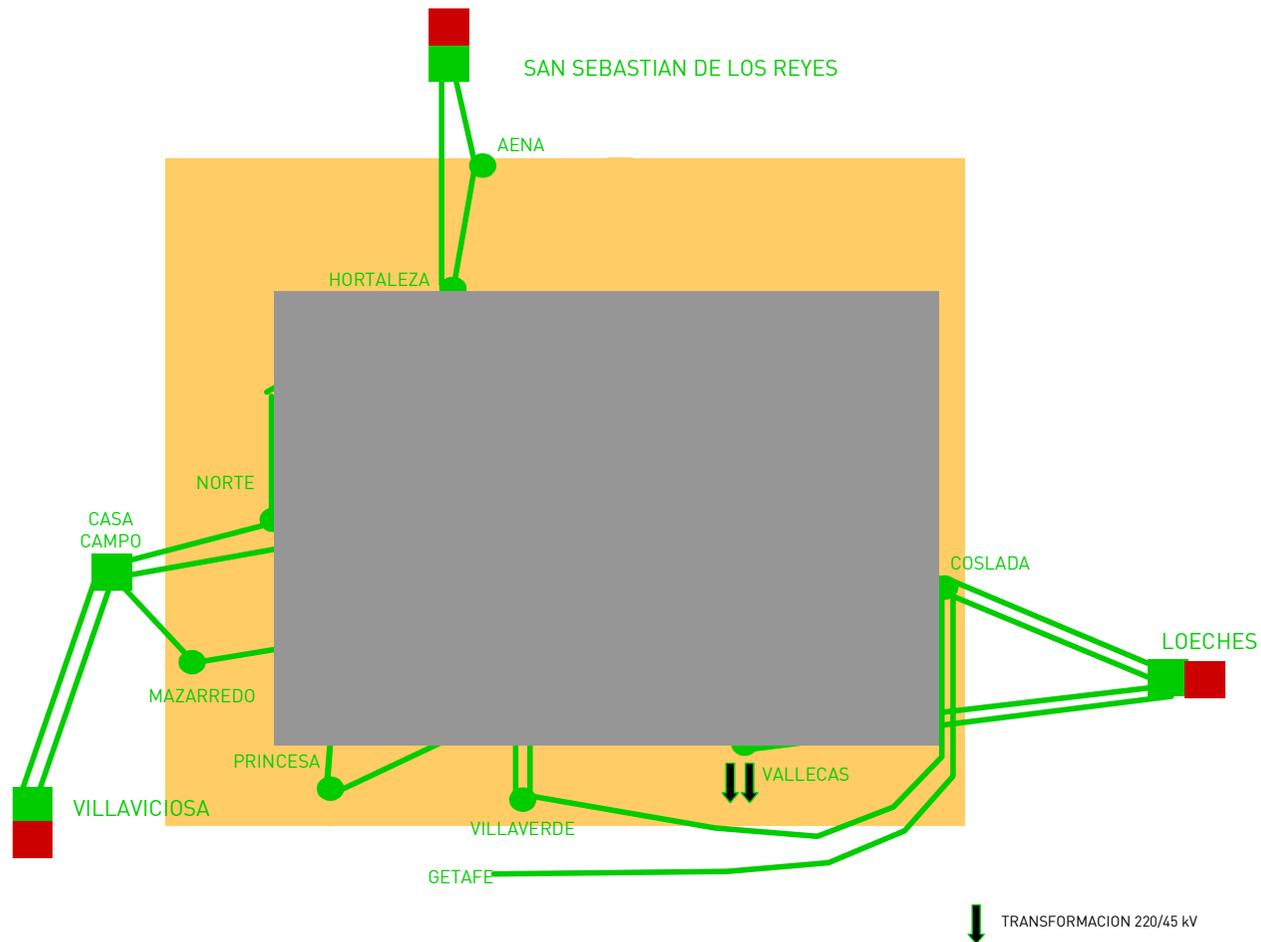
Flujos de potencia



INTEGRACIÓN SEs EN SISTEMA ELECTRICO

Flujos de potencia

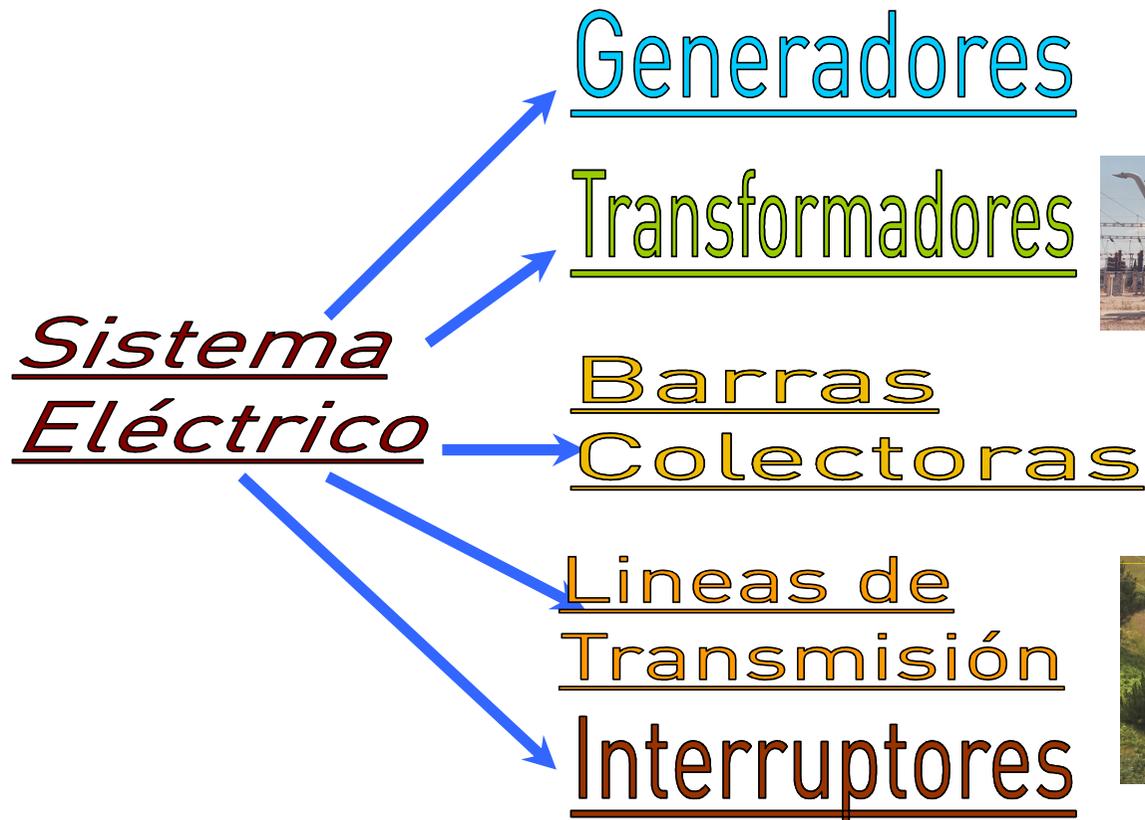
Ejemplos inyección transporte



INTEGRACIÓN SEs EN SISTEMA ELECTRICO

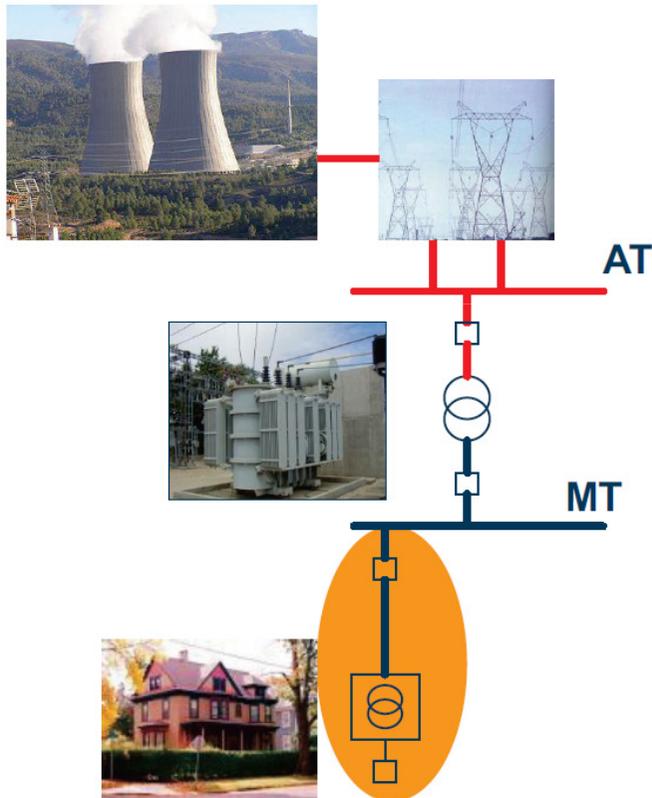
Componentes del sistema eléctrico I

gasNatural
fenosa 



INTEGRACIÓN SEs EN SISTEMA ELECTRICO

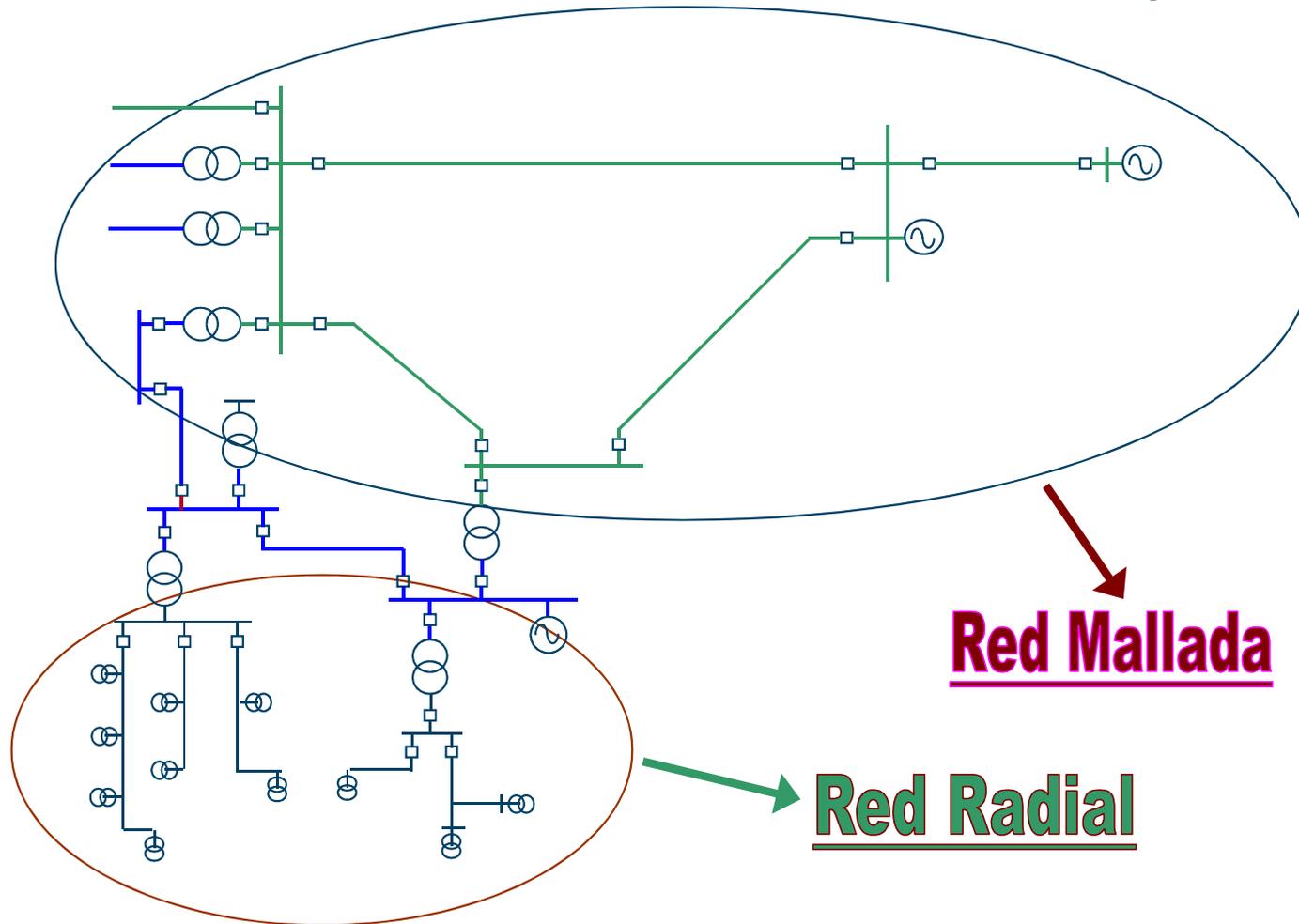
Componentes del sistema eléctrico II



- Generación
- Líneas de transporte y distribución
- Barras de AT en subestación
- Elemento de protección
- Transformador
- Elemento de protección
- Barra de M.T. En subestación
- Elemento de protección
- Salida de línea
- Tramo de línea
- CT
- RBT y acometida

INTEGRACIÓN SEs EN SISTEMA ELECTRICO

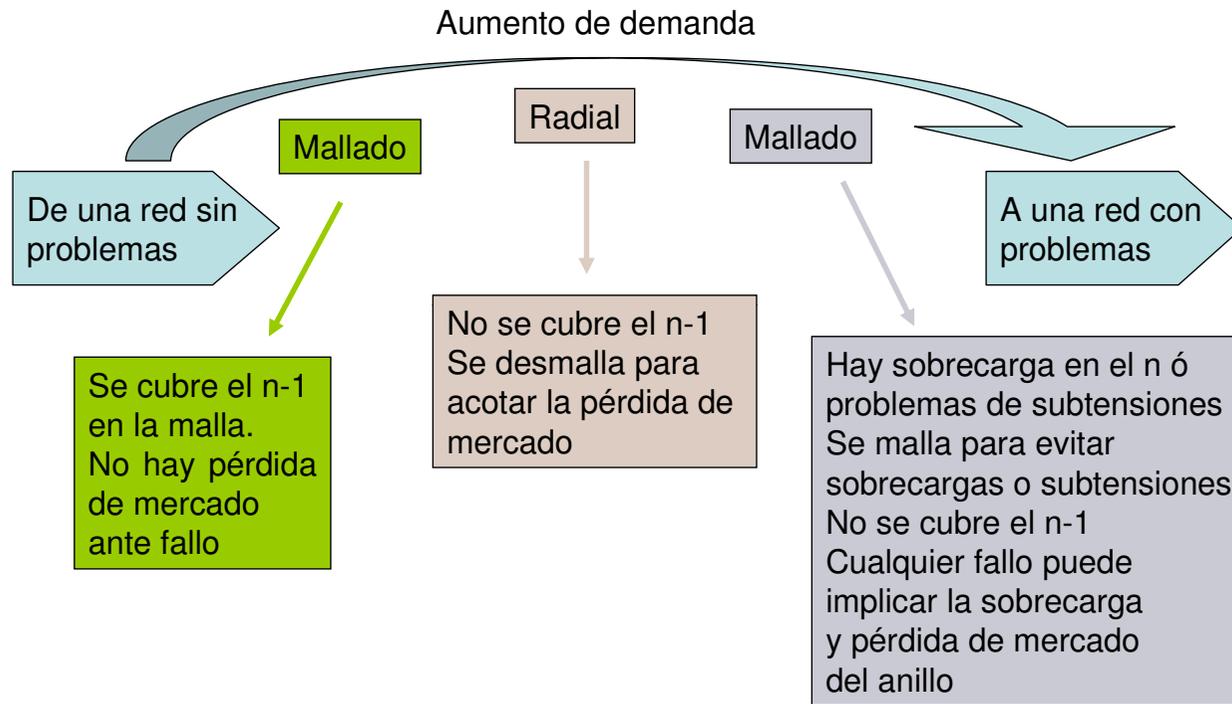
Estructura del sistema eléctrico



INTEGRACIÓN SEs EN SISTEMA ELECTRICO

Estructura del sistema eléctrico

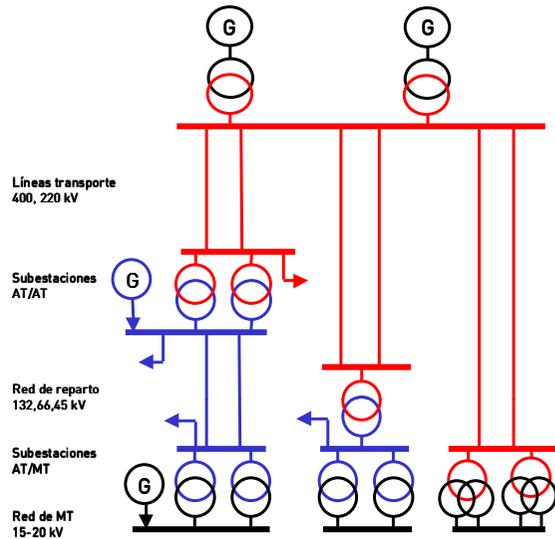
¿Mallado o radial ?



3

Arquitectura de Red

Arquitectura de Red AT



TENSIÓN	FUNCIÓN	ESTRUCTURA	EXPLOTACIÓN
220 kV	Transporte o Reparto	Mallada	Mallada o radial
132 kV	Reparto	Mallada	Mallada o radial
66kV	Reparto	Mallada	Mallada o radial
45 kV	Reparto	Mallada	Radial o Mallada
15-20 kV	MT	Mallada o Radial	Radial
400 V	BT	Radial o Mallada	Radial

CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS	MT	45 kV	66 kV	132 kV	220 kV
Nivel de Aislamiento					
□ Tensión más elevada del material (Us)	24 kV	52 kV	72,5 kV	145 kV	245 kV
□ Tensión soportada a frecuencia industrial	50 kV	95 kV	140 kV	275 kV	460 kV
□ Tensión soportada a impulsos tipo rayo	125 kV	250 kV	325 kV	650 kV	1050 kV
Intensidad de cortocircuito máxima admisible	25 kA	--	31,5 kA	31,5 kA	50 kA
□ Simple barra	--	25 kA	--	--	--
□ Doble barra	--	31,5 kA	--	--	--
Tratamiento de neutro	Aislado	A tierra	A tierra	A tierra	A tierra
Tensión máxima en los nudos	16 kV	48 kV	70 kV	145 kV	245 kV
Tensión mínima en los nudos	14 kV	42 kV	61 kV	123 kV	205 kV
Explotación normal	Radial	Radial	Radial	Mallada	Mallada

ARQUITECTURA RED AT ELEMENTOS

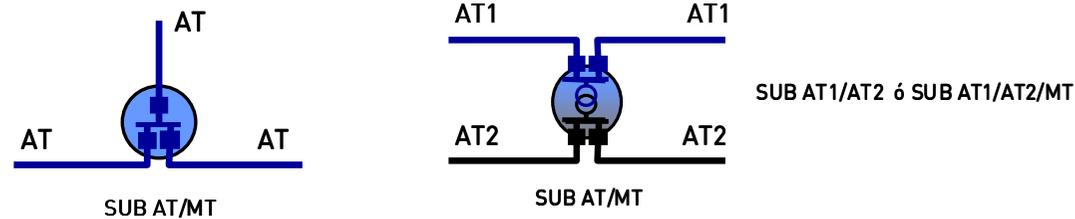
Nudo

Punto de la red de Alta Tensión , generalmente una subestación AT/ AT o AT/MT, en el que confluyen dos líneas de Alta Tensión del mismo nivel de tensión.



Nudo mallado

Un nudo de la red de AT se define como Nudo Mallado cuando confluyen en el mismo, tres o más alimentaciones:

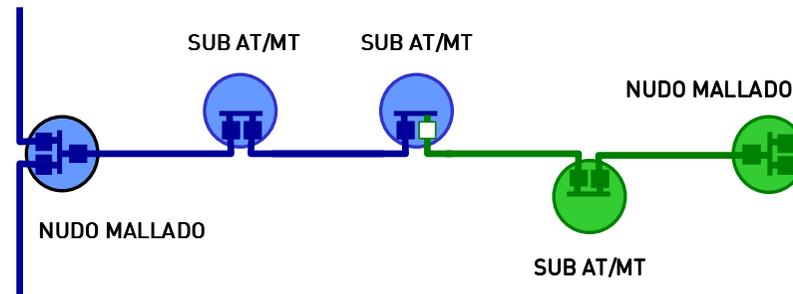


También se considera nudo mallado cuando confluyen 2 alimentaciones y existe inyección AT/AT.

ARQUITECTURA RED AT ESTRUCTURAS Puente

Estructura formada por dos circuitos con origen en un nudo mallado distinto, cada uno de los cuales alimenta una o varias subestaciones, coincidentes en un nudo frontera. Las exigencias de la red determinarán si la explotación es abierta en dicho nudo, en uno de sus extremos o con ambos circuitos acoplados.

La sección de las líneas deberá cumplir la condición N-1, permitiendo la alimentación de todas las subestaciones desde cualquiera de sus extremos.

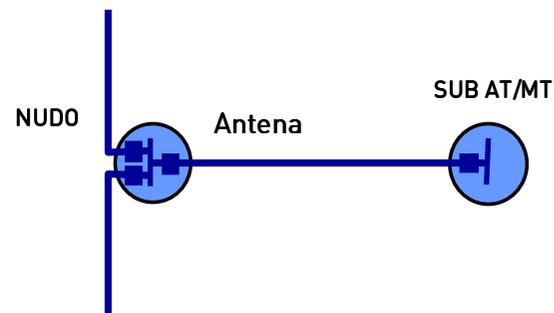


ARQUITECTURA RED AT ESTRUCTURAS

Antena

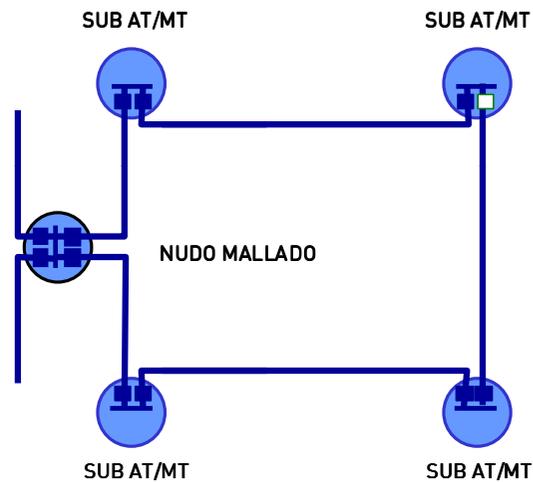
Estructura consistente en la alimentación única de una o varias subestaciones, desde un nudo.

Admisible en determinados niveles de tensión de 45 , 66 y 132 kV, cuando se cumpla la condición N-1 mediante socorro a través de la red de MT, o la demanda máxima sea inferior a un valor preestablecido.



ARQUITECTURA RED AT ESTRUCTURAS Bucle

Estructura formada por un circuito con origen y final en el mismo nudo mallado, que alimenta una o varias subestaciones.



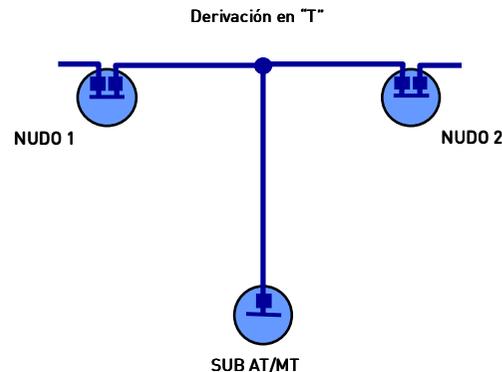
La sección de las líneas deberá cumplir la condición N-1, permitiendo la alimentación de todas las subestaciones desde cualquiera de sus extremos.

ARQUITECTURA RED AT ESTRUCTURAS Derivación en T

Variante de la estructura en antena, en la que la alimentación única se hace desde un punto intermedio de una línea de AT entre dos nudos.

Esta disposición es excepcional y es válida solamente en determinados niveles de tensión, y solo en los siguientes casos.

- Instalaciones existentes, en proceso de evolución a entrada/salida
- Instalaciones provisionales



El desarrollo de la red tendrá entre sus objetivos, el de ir reduciendo el número de subestaciones con esta disposición.

ARQUITECTURA RED AT

CRITERIOS DE SEGURIDAD

Criterio de fallo N-1

Garantizar que con el fallo simple de cualquier elemento:

- Equipo generador
- Línea
- Línea de doble circuito.
- Transformador

No se producen

- ✓ Cortes de mercado.
- ✓ Sobrecargas líneas no superiores a determinados límites
- ✓ No sobrecargas en transformadores
- ✓ Niveles de tensión dentro de márgenes.

ARQUITECTURA RED AT

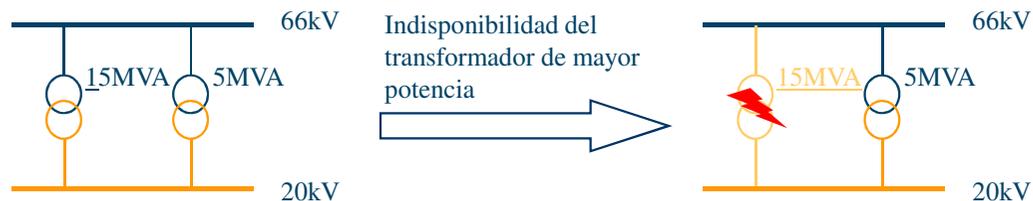
CRITERIOS DE SEGURIDAD

Criterio de fallo N-1. Potencia firme.



Es la potencia de transformación disponible en una zona o subestación cuando se pierde el transformador de mayor potencia, considerando una sobrecarga en los restantes del 20% en el caso de una red menor de 220kV y del 10% en una red de 220kV. Conceptualmente da una idea de la “firmeza” de la subestación o zona en cuanto al fallo de un elemento.

Ejemplo 1: Potencia firme de una subestación 15 + 5 MVA



Potencia firme de la subestación: $5 * 1,2 = 6MVA$

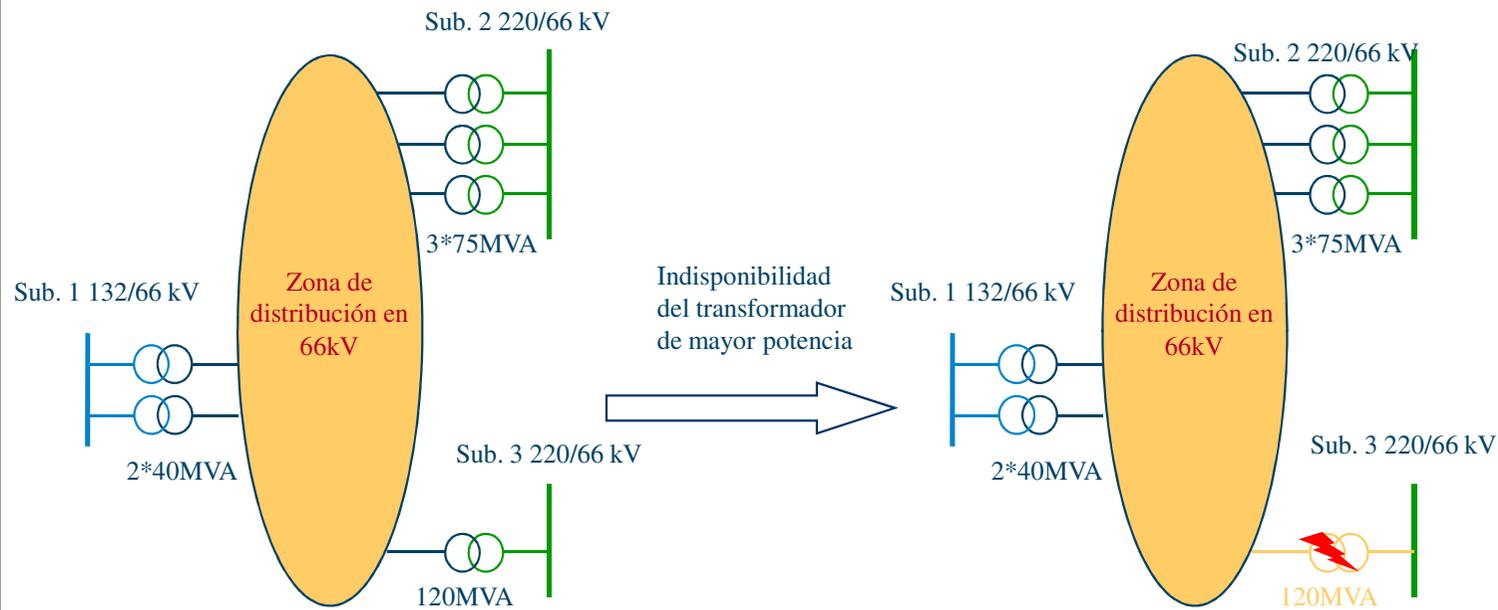
ARQUITECTURA RED AT

CRITERIOS DE SEGURIDAD

Criterio de fallo N-1. Potencia firme.



Ejemplo 2: Potencia firme de zona con transformación desde 220kV



Potencia firme de la zona: $(2*40)*1,2 + 3*75*1,1 = 343,5\text{MVA}$

ARQUITECTURA RED AT

CRITERIOS DE SEGURIDAD

Criterio de fallo N-1. Contingencias.



Otro aspecto a tener en cuenta en la planificación de la red, es su comportamiento ante una contingencia, que es la pérdida de un elemento cualquiera, línea o transformador (fallo N-1).

Ante el fallo N-1 de la red, el estado del resto de los elementos de la misma se ve afectado:

- Cambia el flujo que circula por las líneas (magnitud y/o sentido).
- Cambia el reparto de cargas de los transformadores.
- Cambia la tensión de los diferentes nudos.

Teniendo en cuenta esto, el estudio del comportamiento de la red ante la contingencia más desfavorable, es complejo, debido a que no es obvio determinar cuál es esta contingencia. Para ello se utilizan programas de análisis de redes eléctricas.

Los programas de análisis de redes son una aplicaciones informáticas que, a partir de un modelo de red, entre otras cosas, simulan todos los fallos N-1 que se pueden producir en la red y determina cuál o cuales de esos fallos producirían un funcionamiento anómalo de la propia red.

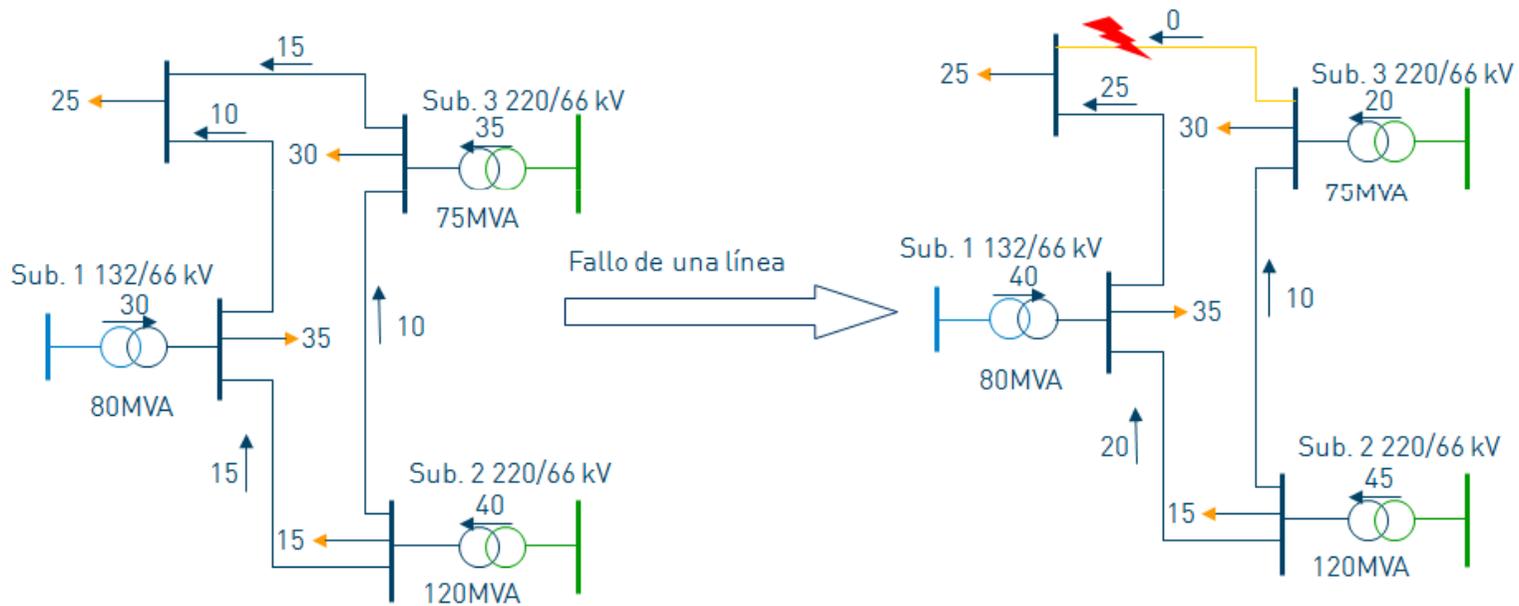
ARQUITECTURA RED AT

CRITERIOS DE SEGURIDAD

Criterio de fallo N-1. Contingencias.



Ejemplo 3: Comportamiento de la red ante fallo de una línea.



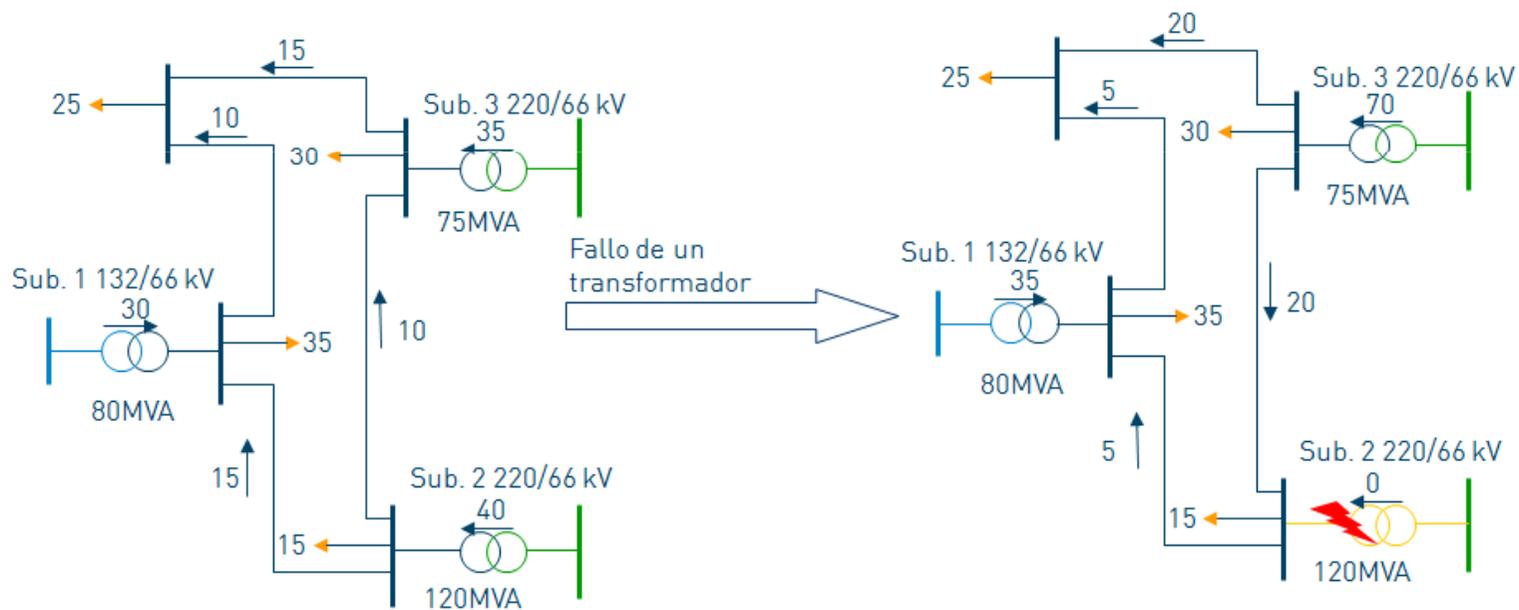
ARQUITECTURA RED AT

CRITERIOS DE SEGURIDAD

Criterio de fallo N-1. Contingencias.



Ejemplo 4: Comportamiento de la red ante fallo de un transformador



ARQUITECTURA RED AT

ACCESO DE CLIENTES



El punto de conexión para nuevos suministros o generadores en la red de AT, se fijará de acuerdo con la legislación vigente, de modo que la nueva carga no afecte al funcionamiento normal de la red de distribución, teniendo en cuenta su capacidad máxima y nivel de carga y fiabilidad, ni introduzca cambios en la filosofía de explotación y arquitectura de la misma, ni interfiera en el desarrollo planificado de la red.

Los elementos de la instalación del cliente que se integren en la red de AT se ajustarán a los proyectos tipo y especificaciones técnicas de la compañía eléctrica. Como norma general existirá siempre un elemento de seccionamiento, con acceso libre al personal de la compañía eléctrica que permita conectar y desconectar la instalación particular a la red de distribución e identifique claramente la frontera entre las instalaciones de la compañía eléctrica y las particulares. La propiedad de dicho seccionamiento será de la compañía eléctrica.

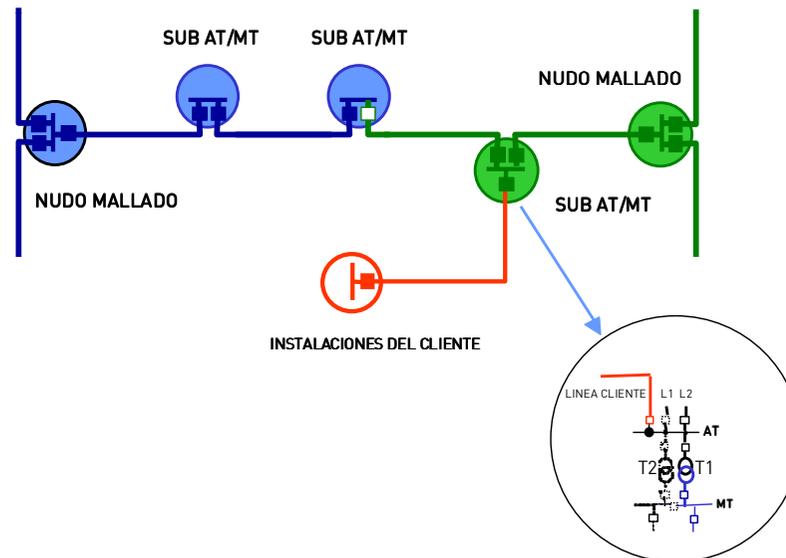
En los casos en los que la conexión de un tercero implique la construcción de una posición de su propiedad en una subestación de la compañía eléctrica, la concesión del punto de conexión estará condicionada a que el tercero contrate a la compañía eléctrica la Operación y Mantenimiento de la citada posición.

ARQUITECTURA RED AT

ACCESO DE CLIENTES

Conexión en subestaciones existentes de UFD

La conexión se hará mediante una posición de AT, propiedad del cliente, situada en la subestación de la compañía eléctrica, línea dedicada de propiedad del cliente y medida de la energía en dicha posición de AT. El seccionador de barras de la posición de AT es el punto frontera entre las instalaciones de la compañía eléctrica y las del cliente y debe ser propiedad de la compañía eléctrica.



ARQUITECTURA RED AT

ACCESO DE CLIENTES



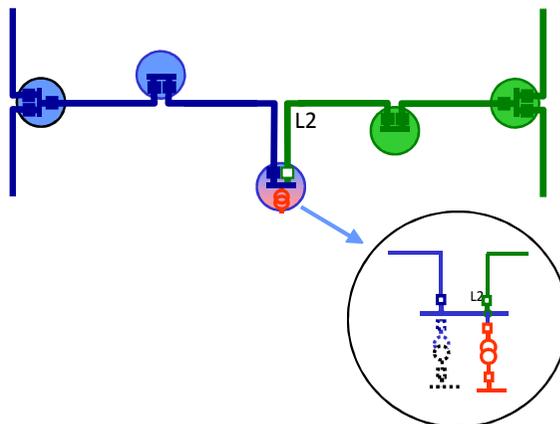
Conexión mediante nueva subestación en línea UFD

Se permitirá la conexión mediante nueva subestación de entrada/salida cuando se prevea a corto plazo una posible utilización de esa subestación para funciones de distribución.

Se deberá condicionar dicho acceso a que exista espacio suficiente que permita la utilización por parte de la compañía eléctrica, y realizarse de acuerdo a los proyectos normalizados por ésta.

El límite de propiedad de esa subestación será el seccionador de barras de la posición del cliente, que es propiedad de la compañía eléctrica.

La longitud máxima de la traza de la línea DC hasta la nueva subestación no podrá ser superior a 1 km, salvo que dicha subestación vaya a ser utilizada por la compañía eléctrica para funciones de distribución.



ARQUITECTURA RED MT

CONCEPTOS BÁSICOS

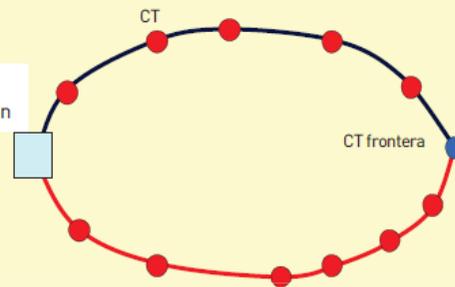
- **Punto de Alimentación:** Subestación o Centro de Alimentación
- **Circuito Activo:** Lo conforman todos los tramos y centros de transformación desde el Interruptor Automático del Punto de Alimentación hasta el punto frontera/ centro de reflexión sobre el que se apoya.
- **Cable Cero:** Circuito sin carga cuya misión principal es proporcionar una vía alternativa de alimentación ante el fallo de alguno de los tramos del circuito activo al que apoya.
- **Centro de Reflexión:** Punto de maniobra que permite el apoyo entre el cable cero y los circuitos activos.
- **Estado n-1:** Estado de red en el que están operativos los "n" elementos que la conforman, menos 1.

ARQUITECTURA RED MT

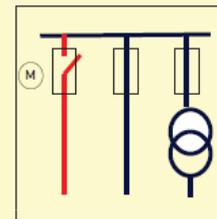
ESTRUCTURAS MT

Pétalo

Punto
alimentación



Centro transformación frontera

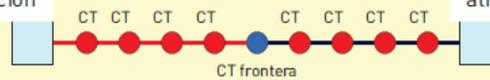


OPERACIÓN

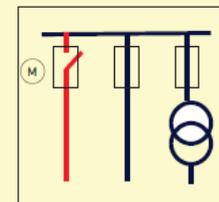


Pétalo apoyado

Punto
alimentación

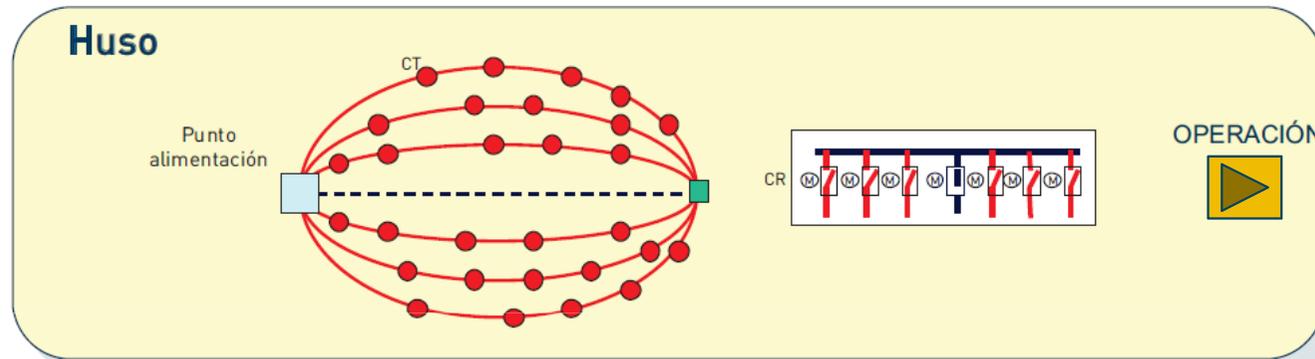


Centro transformación frontera



ARQUITECTURA RED MT

ESTRUCTURAS MT

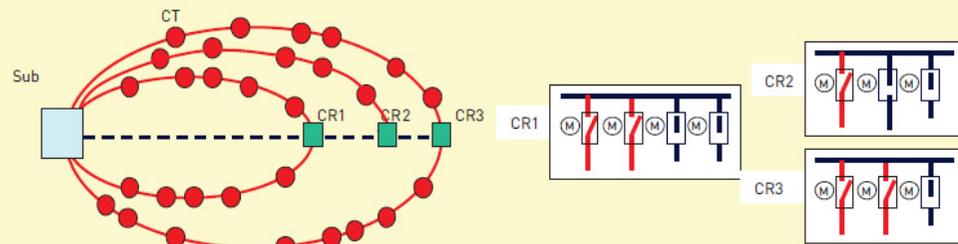


- Conjunto de **circuitos con origen en el mismo punto de alimentación** que confluyen en un mismo punto de socorro, denominado Centro de Reflexión (CR).
- Uno de dichos **circuitos**, denominados **Cero (0)**, no tiene CT's conectados y permite disponer de toda su capacidad para alimentar, a través del CR a los restantes circuitos en caso de fallo de cualquiera de estos.
- Los interruptores del **CR** estarán **Telecontrolados**.
- Además del centro de reflexión, los criterios de aplicación determinarán **los centros de transformación intermedios** de cada circuito que deberán ser **telecontrolados**.

ARQUITECTURA RED MT

ESTRUCTURAS MT

Espiga



- Conjunto de circuitos con origen en el **mismo punto de alimentación** que confluyen en **distintos centros de reflexión (CR)**, apoyados en el **mismo cable cero**.
- Los interruptores del **CR** estarán **Telecontrolados**.
- Además del centro de reflexión, los criterios de aplicación determinarán **los centros de transformación intermedios** de cada circuito que deberán ser **telecontrolados**

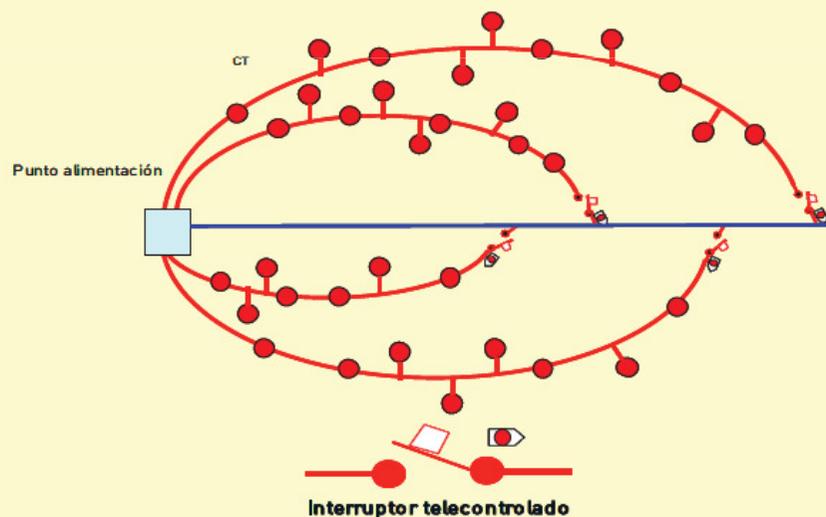
ARQUITECTURA DE RED MT

ARQUITECTURA RED MT

ESTRUCTURAS MT

Espiga en redes aéreas

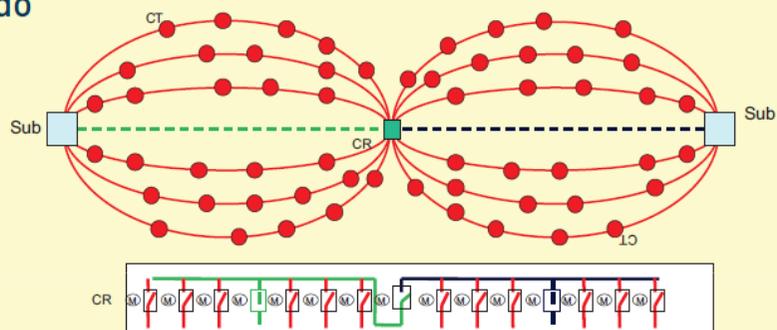
Variante espiga red aérea: Cuando la red completamente aérea, se sustituyen los CR por interruptores telecontrolados en el último apoyo del circuito activo, anterior a su conexión al cable cero.



ARQUITECTURA RED MT

ESTRUCTURAS MT

Huso apoyado



•Estructura formada por **dos husos de distinto punto de alimentación, con un CR común** a ambos, con dos cables cero, uno desde cada punto de alimentación.

•Se podrá **prescindir de uno de los cables cero** si se cumplen las siguientes condiciones:

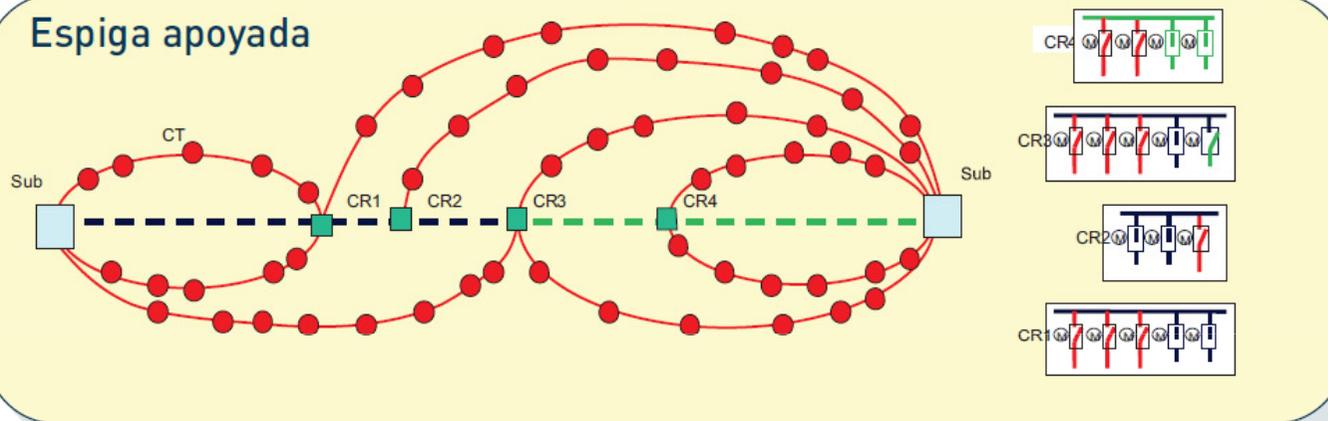
- **El número total de circuitos es igual o inferior a seis** en redes nuevas y a nueve en adecuación de redes existentes.

- **El punto de alimentación de dicho cable cero tiene capacidad** suficiente para soportar, además de la carga de los circuitos activos, el transvase correspondiente al circuito con mayor carga del otro PA.

ARQUITECTURA RED MT

ESTRUCTURAS MT

Espiga apoyada



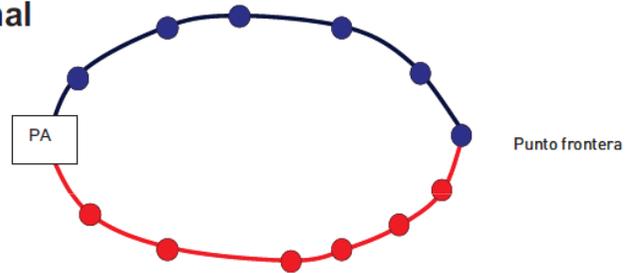
- Espiga en que los distintos circuitos activos parten de dos o más PA confluyendo en varios centros de reflexión (CR). La estructura dispondrá normalmente de dos cables cero.
- Se podrá prescindir de uno de los cables cero bajo las mismas condiciones descritas para husos apoyados.
- Además del centro de reflexión, los criterios de aplicación determinarán los **centros de transformación intermedios** de cada circuito que deberán ser **telecontrolados**

ARQUITECTURA RED MT

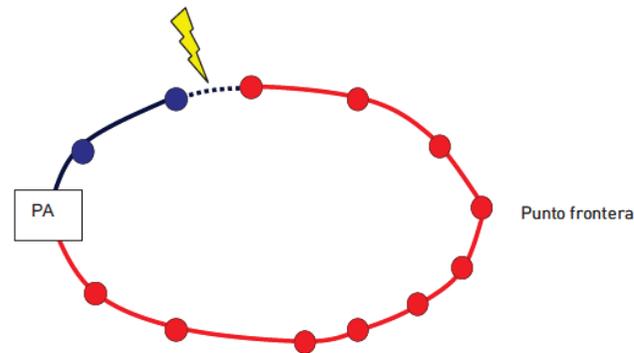
COBERTURA FALLO N-1. OPERACIÓN EN ESTRUCTURA TIPO PETALO



Explotación normal



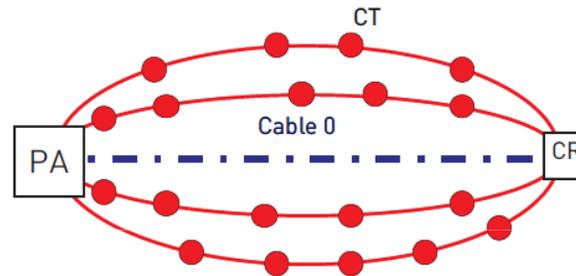
Cobertura n-1



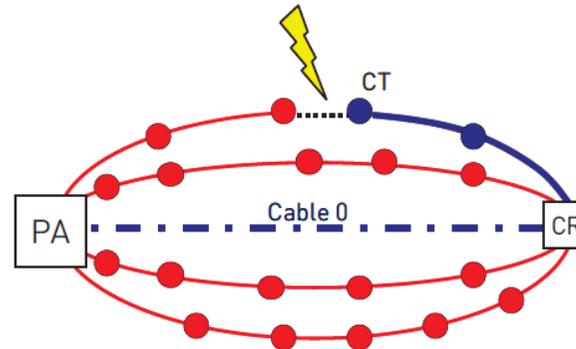
ARQUITECTURA RED MT

COBERTURA FALLO N-1. OPERACIÓN EN ESTRUCTURA TIPO HUSO

Explotación normal



Cobertura n-1



4

Calidad de Suministro

CALIDAD DE SUMINISTRO

DEFINICIÓN

- Se tienen en cuenta tres conjuntos de parámetros:
 - Continuidad del suministro, relativa al número y duración de las interrupciones del suministro.
 - Calidad en la atención y relación con el cliente:
 - Elaboración de los presupuestos correspondientes a nuevos suministros.
 - Ejecución de las instalaciones necesarias para los nuevos suministros.
 - Enganche e instalación del equipo de medida.
 - Atención de las reclamaciones.
 - Calidad del producto
 - Caída de tensión admisible.
 - Características de la onda de tensión (Normas UNE e instrucciones técnicas).

CALIDAD DE SUMINISTRO

CONTINUIDAD DEL SUMINISTRO

- Calidad individual:

	Media tensión (de 1 a 36 kV):		Baja tensión (menor o igual a 1 kV):	
	Número de horas	Número de interrupciones	Número de horas	Número de interrupciones
Zona urbana	3,5	7	5	10
Zona semiurbana	7	11	9	13
Zona rural concentrada	11	14	14	16
Zona rural dispersa	15	19	19	22

- Calidad zonal

	TIEPI	Percentil 80 del TIEPI	NIEPI
Zona urbana	1,5	2,5	3
Zona Semiurbana	3,5	5	5
Zona rural concentrada	6	10	8
Zona rural dispersa	9	15	12

- Clasificación zonal
 - Urbana: municipios > 20.000 suministros, incluyendo capitales de provincia.
 - Semiurbana: municipios entre 2.000 y 20.000 suministros.
 - Rural concentrada: municipios entre 200 y 2.000 sum.
 - Rural dispersa: municipios < 200 suministros.

CALIDAD DE SUMINISTRO

CONTINUIDAD DEL SUMINISTRO

TIEPI: Es el tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada en media tensión ($1 \text{ kV} < V \leq 36 \text{ kV}$). Este índice se define mediante la siguiente expresión:

$$TIEPI = \frac{\sum_{i=1}^K (PI_i \times H_i)}{\sum PI}$$

Donde:

ΣPI = Suma de la potencia instalada de los centros de transformación MT/BT del distribuidor más la potencia contratada en MT (en kVA).

PI_i = Potencia instalada de los centros de transformación MT/BT del distribuidor más la potencia contratada en MT, afectada por la interrupción «i» de duración H_i (en kVA).

H_i = Tiempo de interrupción del suministro que afecta a la potencia PI_i (en horas).

K = Número total de interrupciones durante el período considerado.

Las interrupciones que se considerarán en el cálculo del TIEPI serán las de duración superior a tres minutos.

Percentil 80 del TIEPI: Es el valor del TIEPI que no es superado por el 80 por 100 de los municipios del ámbito provincial, dentro de cada tipo de zona.

CALIDAD DE SUMINISTRO

CONTINUIDAD DEL SUMINISTRO

NIEPI: Es el número de interrupciones equivalente de la potencia instalada en media tensión ($1 \text{ kV} < V \leq 36 \text{ kV}$). Este índice se define mediante la siguiente expresión:

$$NIEPI = \frac{\sum_{i=1}^K PI_i}{\sum PI}$$

Donde:

ΣPI = Suma de la potencia instalada de los centros de transformación MT/BT del distribuidor más la potencia contratada en MT (en kVA).

PI_i = Potencia instalada de los centros de transformación MT/BT del distribuidor más la potencia contratada en MT, afectada por la interrupción «i» (en kVA).

K = Número total de interrupciones durante el período considerado.

Las interrupciones que se considerarán en el cálculo del NIEPI serán las de duración superior a tres minutos. A efectos de NIEPI, se computará una interrupción por cada incidencia.

CALIDAD DE SUMINISTRO

CONTINUIDAD DEL SUMINISTRO

- Consecuencias del incumplimiento
 - Calidad individual:
 - Descuento en la facturación en función del número de interrupciones o horas de corte que exceda del máximo reglamentario con un tope del 10% de la facturación.
 - Calidad zonal:
 - Elaboración y desarrollo de un plan de mejora de la calidad.

CALIDAD DE SUMINISTRO

Calidad de Producto



REAL DECRETO 1955/2000, DE 1 DE DICIEMBRE

CALIDAD DEL PRODUCTO

TENSION DE ALIMENTACION $\pm 7\% U_c$

FRECUENCIA (Redes Acopladas)

50 Hz $\pm 1\%$ (49,5 a 50,5 Hz) 99,5% de un año

50 Hz + 4% / - 6% (47 a 52 Hz) 100% del tiempo

INTERRUPCIONES BREVES (t < 3 minutos)

(Pendiente de regulación)

HUECOS DE TENSION

(Pendiente de regulación)

2. APARAMENTA

INDICE

- 1. Seccionadores**
- 2. Interruptores automáticos**
- 3. Transformadores de medida**





Seccionadores

SECCIONADORES



Definición:

Aparato mecánico de maniobra sin carga, que por razones de seguridad, **asegura, en posición de abierto, una distancia de aislamiento** y que se emplea para aislar un elemento de una red eléctrica o una parte de la misma del resto de la red, con el fin de ponerlos fuera de servicio, o para llevar a cabo trabajos de mantenimiento.

Un seccionador debe poder soportar de forma indefinida las corrientes que se presentan en condiciones normales y las que se presentan en condiciones excepcionales, como las de cortocircuito.

Valores característicos:

Tensión nominal (kV)

Intensidad nominal (A)

Tensiones de ensayo (kV)

Intensidad de corta duración (kA,s)

SECCIONADORES

• Dado que el seccionador no se debe de maniobrar en carga, es conveniente que exista un enclavamiento entre el interruptor y los seccionadores asociados de forma que no se puedan maniobrar los seccionadores cuando el interruptor esté cerrado. No obstante, según Reglamento, este enclavamiento no es obligatorio. El tipo de enclavamiento puede ser:

- Mecánico: el interruptor y los seccionadores disponen de una cerradura con la misma llave. Para maniobrar los seccionadores hace falta la llave, la cual solo puede ser extraída de la cerradura del interruptor cuando éste está abierto
- Eléctrico: el circuito eléctrico que alimenta el motor del seccionador tiene un contacto auxiliar del interruptor que está en posición de abierto cuando el interruptor está cerrado y, por tanto, impide la maniobra del seccionador.
- Vía software: el dispositivo informático (PLC, PC,..) recibe el estado de los equipos (abierto o cerrado) mediante contactos auxiliares y da permiso a las ordenes de apertura o cierre en función del estado de dichos contactos.

CLASIFICACION DE SECCIONADORES

- Según el tipo de apertura:

- Rotativos de dos columnas
Apertura lateral o central
- Rotativos de tres columnas
Doble apertura lateral o lateral en V
- Basculantes
- Pantógrafos

- Según el número de fases:

- Monofásico
- Trifásico

- Según el tipo de mando:

- Neumático
- Eléctrico
- Manual

- Según el tipo de aislamiento:

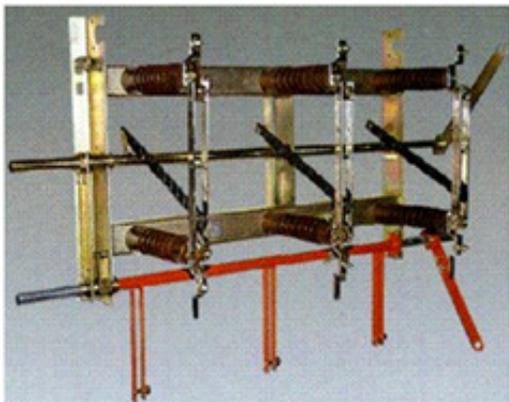
- Al aire
- En SF6

SECCIONADORES. Tipos constructivos

		APERTURA LATERAL SIDE BREAK	AP. CENTRAL CENTRE BREAK	DOBLE AP. LATERAL DOUBLE BREAK	DOBLE AP. LATERAL DOUBLE BREAK	PUESTA A TIERRA EARTHING SWITCH	PANTOGRAFO PANTOGRAPH
kV	A						
≤ 36	≤ 2000	✓	✓	✓		✓	
52	≤ 2000	✓	✓	✓		✓	
72.5	≤ 3150	✓	✓	✓		✓	✓
100	≤ 3150	✓	✓	✓		✓	✓
123	≤ 3150	✓	✓	✓		✓	✓
145	≤ 3150		✓	✓	✓	✓	✓
170	≤ 3150		✓	✓	✓	✓	✓
245	≤ 4000		✓	✓	✓	✓	✓
420	≤ 4000			✓		✓	✓

Intensidades térmicas y de cresta hasta 63 kA y 125 kA respectivamente
Short time and peak withstand currents up to 63 kA and 125 kA respectively

SECCIONADORES



Seccionador de cuchillas giratorias.



Seccionadores de cuchillas deslizantes montados en intemperie.



Seccionadores de columnas giratorias.



Seccionador de pantógrafo.

SECCIONADORES DE PUESTA A TIERRA



- Aparato mecánico que permite unir eléctricamente la parte activa con masa mediante el movimiento de sus cuchillas.
- Se utiliza en trabajos sin tensión, para asegurar que cualquier tensión (inducida o directa) que aparezca en los conductores se deriva a tierra, protegiendo al trabajador.
- Puede o no tener poder de cierre, según se especifique.
- El poder de cierre se consigue con un dispositivo en el accionamiento que asegure una determinada velocidad de cierre. Este dispositivo acostumbra a ser un mecanismo de acumulación de energía a base de resortes, la cual se libera bruscamente de tal manera que la fuerza y la velocidad de cierre son independientes de la acción del operador.
- El seccionador de tierra puede ir montado en el mismo soporte que el seccionador principal. En este caso habrá enclavamiento mecánico entre ambos para que ambos no puedan estar simultáneamente cerrados.

2

Interrupidores Automáticos

INTERRUPTORES AUTOMATICOS



MISION: Apertura y cierre de intensidades de carga y de cortocircuito

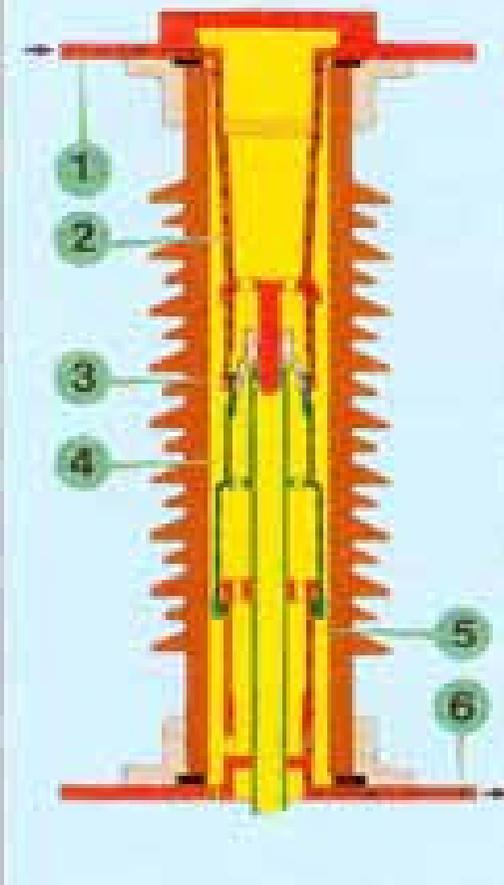
TIPOS DE INTERRUPTOR SEGÚN EL MEDIO DE EXTINCIÓN DEL ARCO

- Aire
- Gran volumen de aceite (GVA)
- Pequeño volumen de aceite (PVA)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆)
- Vacío

TIPOS DE MANDO EN INTERRUPTOR

- Resorte o muelles
- Neumático o de aire comprimido
- Hidráulico

Fase 1: Interruptor cerrado



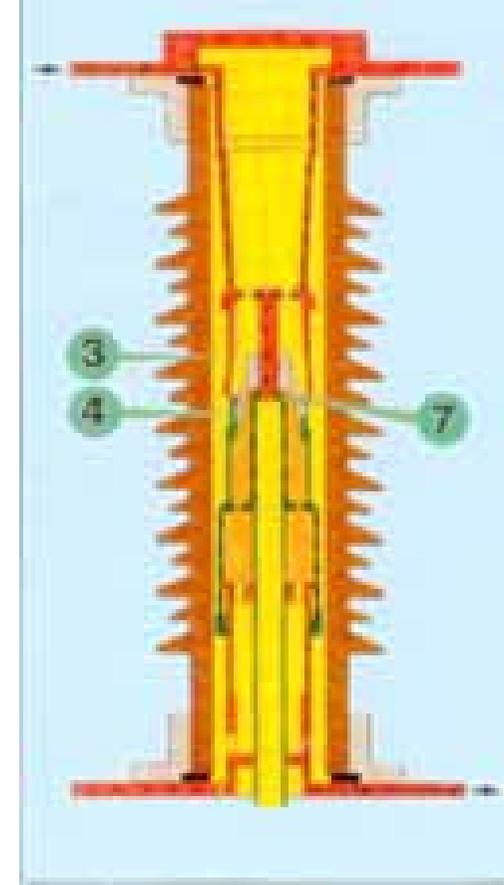
Contactos fijos principales

Contactos de arco

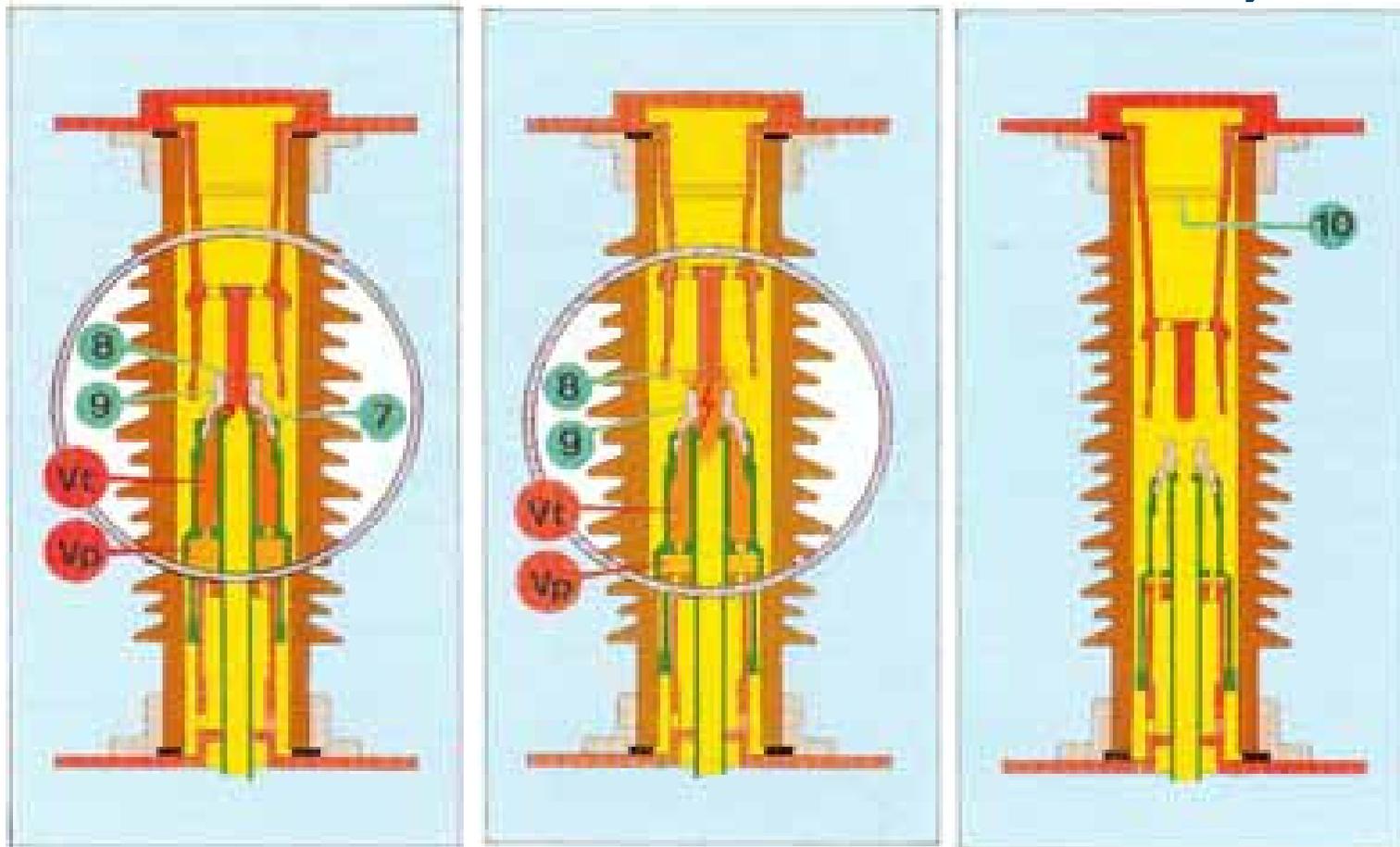
Contactos móviles

Gas presurizado

Fase 2: Inicio del arco



INTERRUPTORES. Extinción del arco



INTERRUPTORES. EXTINCION DEL ARCO DURANTE APERTURA



Campana presurizadora

Contactos fijos principales

Contactos de arco



INTERRUPTORES

- **CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL INTERRUPTOR**

- Tensión nominal de servicio (kV)
- Tensión de impulso tipo rayo (kV)
- Tension de maniobra (kV)
- Intensidad nominal de servicio
- Poder de corte (kA)
- Duración nominal del cortocircuito (s)
- Poder de cierre (kA)
- Tipo de extinción
- Tipo de mando
- Presión y masa del gas (bar y kg)
- Ciclo de maniobras: 0 – 0,3s – CO – 1m – CO
- Clase de temperatura
- Numero de maniobras e intensidades extinguidas para sustitución de elementos

INTERRUPTORES. Medios de extinción

Aire

- Basado en la desionización natural de los gases por la acción enfriadora. Sistema obsoleto.

Aceite

- Se descompone durante el arco por altas temperaturas y los gases producidos extinguen el arco por sus condiciones de presión y de circulación.

SF₆

- Mayor rigidez dieléctrica que el aceite. Se recompone después del arco.
- La extinción es mediante autosoplado.

Vacio

- La corriente se corta al primer paso por cero por aumentar rápidamente la rigidez dieléctrica. El arco formado es por la descomposición en vapores metálicos de los contactos del interruptor.

INTERRUPTORES

INTERRUPTORES DE ALTA TENSION DE GRAN VOLUMEN DE ACEITE



INTERRUPTORES

INTERRUPTORES DE MEDIA TENSION DE PEQUEÑO VOLUMEN DE ACEITE



Montaje en carro seccionable



Montaje en carro fijo



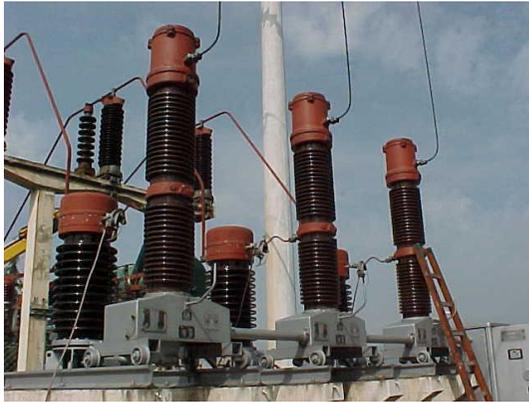
Montaje mural



Montaje exterior

INTERRUPTORES

INTERRUPTORES DE ALTA TENSION DE PEQUEÑO VOLUMEN DE ACEITE



De una sola cámara de corte



Dos cámaras de corte



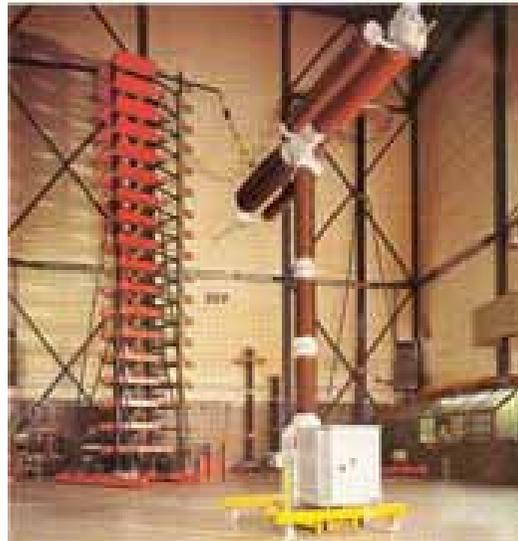
Cuatro cámaras de corte

INTERRUPTORES

INTERRUPTORES DE ALTA TENSION DE SF6



72,5 kV. Montaje exterior. TI's incorporados



400 kV. Exterior. Dos camaras de corte con resistencias de preinserción

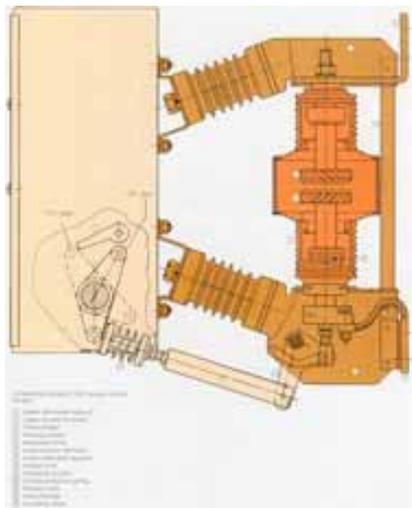


72,5 kV. Interior

INTERRUPTORES



INTERRUPTORES DE MEDIA TENSION DE VACIO



Montaje mural



Montaje en carro fijo o seccionable



Montaje en celda blindada

INTERRUPTORES. Mando por resorte

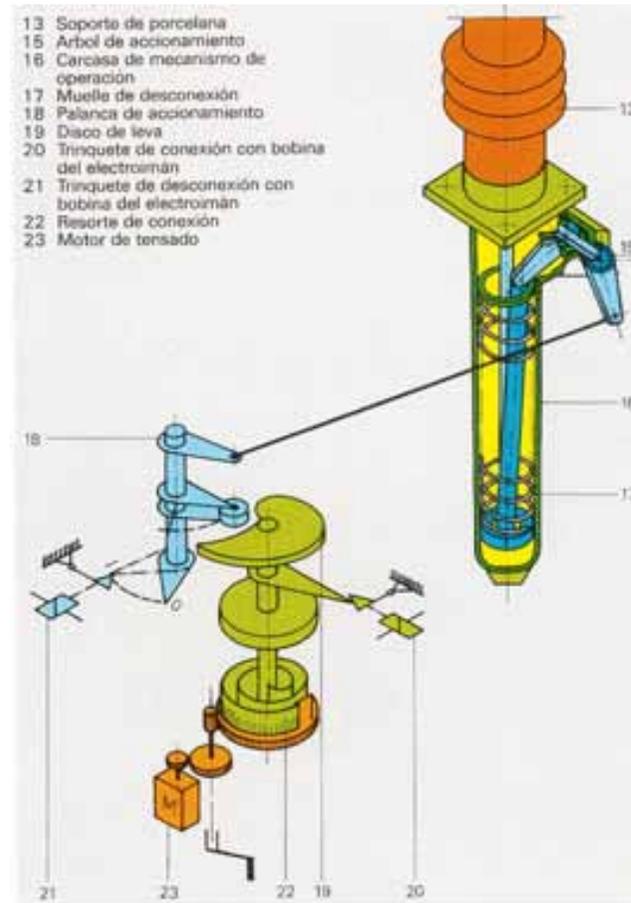
Maniobra de cierre:

Condición previa: resorte de cierre tensado (22)
Se energiza eléctricamente la bobina de cierre (20) que libera un trinquete permitiendo girar a la leva y transmitir la energía del resorte de cierre al contacto móvil del interruptor. El movimiento de cierre tensa el resorte de apertura

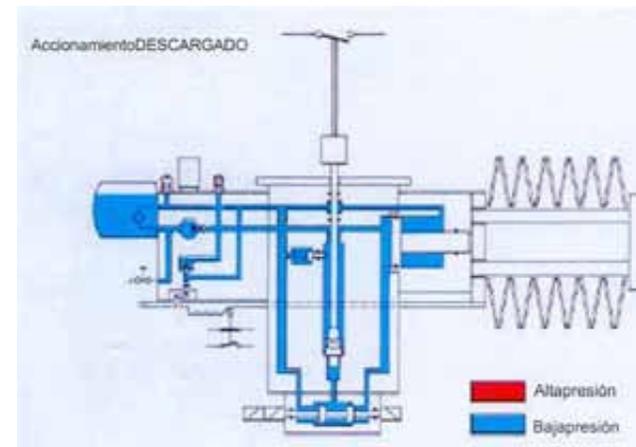
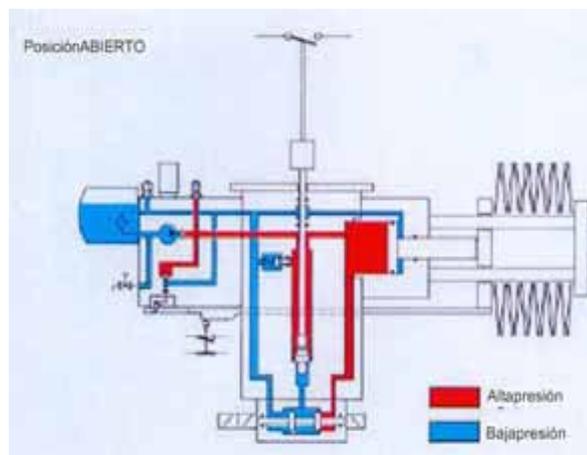
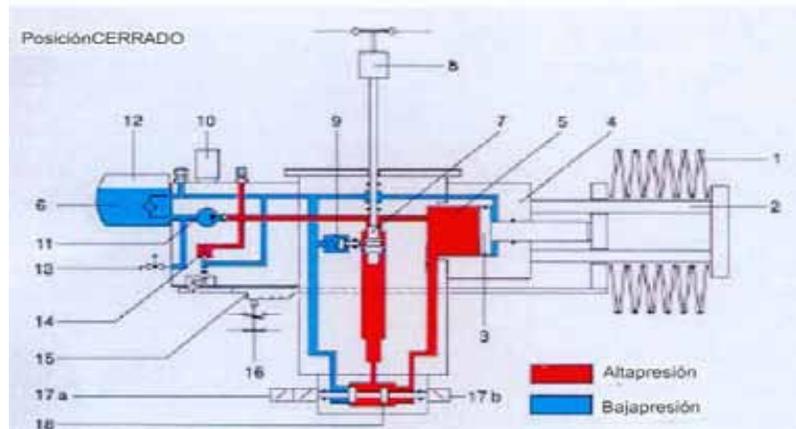
El resorte de cierre queda destensado después de una maniobra de cierre. Un motor eléctrico se encarga de volverlo a tensar en pocos segundos.

Maniobra de apertura:

Se energiza eléctricamente la bobina de apertura (21) que libera un trinquete permitiendo girar a la leva y transmitir la energía del resorte de apertura al contacto móvil del interruptor.



INTERRUPTORES. Mando Hidráulico



3

Transformadores de Medida

TRANSFORMADORES DE MEDIDA

DEFINICION:

Los transformadores de medida son los aparatos encargados de transformar las magnitudes primarias a medir en corrientes y tensiones moderadas en el secundario.

OBJETIVOS:

- 1. Aislar o separar los circuitos y aparatos de medida y protección de la Alta Tensión.**
- 2. Evitar perturbaciones electromagnéticas y reducir las corrientes de cortocircuito en los aparatos de medida.**
- 3. Obtener intensidades y tensiones proporcionales a las que se desea medir y transmitir las a los aparatos apropiados.**

CLASIFICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE MEDIDA:

- **Según la magnitud transformada:**

Trafos de intensidad
Trafos de tensión inductivos
Trafos de tensión capacitivos
Trafos combinados

- **Según la funcionalidad:**

Trafos de medida
Trafos de protección
Condensadores de acoplamiento

- **Según tipo de servicio:**

Interior
Exterior

- **Según el tipo de aislamiento interno:**

Seco o de resina
Papel-aceite
SF₆

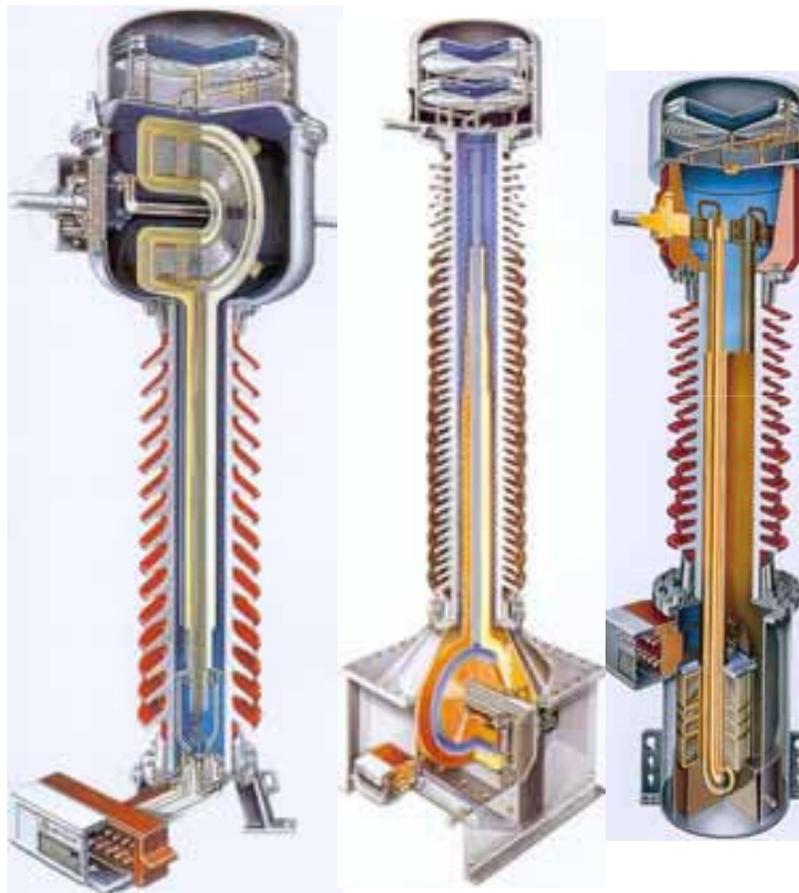
- **Según el tipo constructivo:**

Horquilla
Aguja
Intermedio
Invertido
Toroidal

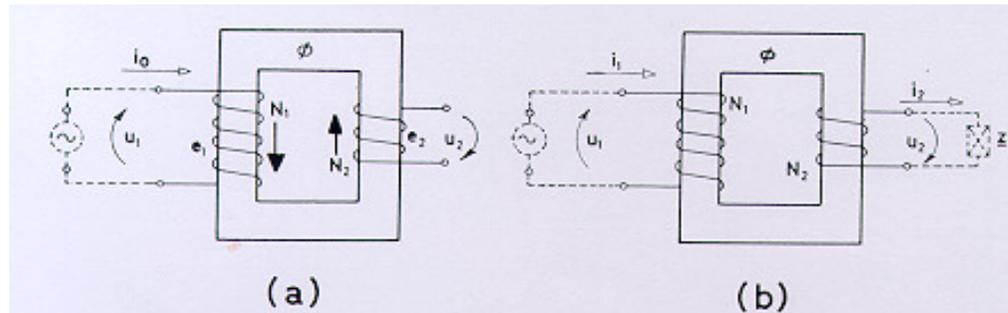
TRANSFORMADORES DE MEDIDA

COMPONENTES:

- Circuito eléctrico primario
- Circuito eléctrico secundario
- Circuito magnético
- Aislamiento externo
 - Porcelana, resina, composite
- Aislamiento interno
- Compensador de aceite
 - Colchón de nitrógeno, balón de gas, membrana de goma, fuelle metálico, bolsa de plástico,
- Accesorios
 - Toma capacitiva, Válvula de toma de muestras de aceite



TRANSFORMADORES DE MEDIDA. Principio de funcionamiento



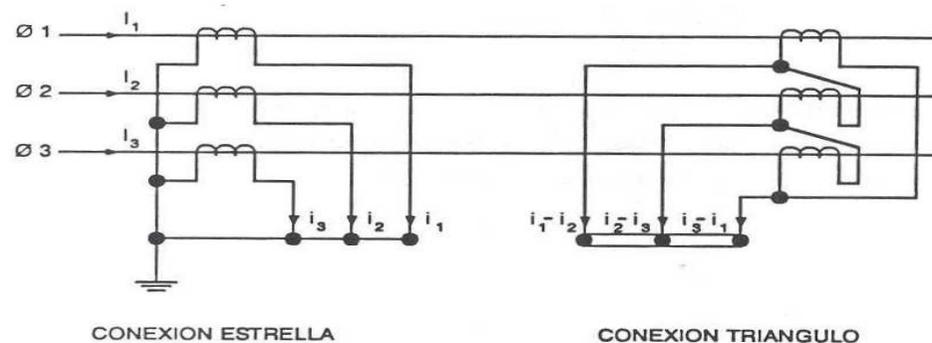
$$r_{tn} = \frac{U_{1,nominal}}{U_{2,vacio}} \approx \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

Problemas en un transformador:

- Intensidad de excitación elevada (caso de trafo de intensidad con secundario abierto)
- Intensidad de cortocircuito de larga duración (caso de trafo de tensión con secundario cortocircuitado)

TRAFOS DE INTENSIDAD:

- Se conectan en SERIE con el circuito principal
- Por el primario circula la intensidad de línea
- Cada arrollamiento secundario está bobinado sobre su propio núcleo
- Los arrollamientos primarios permiten conseguir varias intensidades nominales variando la conexión del arrollamiento
- El devanado secundario no debe quedarse en circuito abierto



PARAMETROS PRINCIPALES TRAFOS INTENSIDAD

- Tensión nominal, tensiones de ensayo y frecuencia nominal
- Tipo de aislamiento (Interior/externo)
- Intensidad nominal primario / secundario
- Intensidad límite térmica: valor eficaz de la corriente primaria que soporta el transformador. $I_{ter} \rightarrow \sqrt{t} I_{cc}$ $t =$ duración de cortocircuito
- Intensidad límite dinámica: cresta de la primera semionda que puede soportar el transformador (2,5 veces I_{cc})
- Intensidad térmica permanente o de calentamiento (120 % I_n)
- Error de intensidad de fase / compuesto
- Clase de precisión
- Carga de precisión; valor en VA de carga conectada en el secundario con la que se garantiza la clase de precisión

CLASES DE PRECISIÓN

- Secundarios de medida: deben ser precisos para intensidades de carga pero se deben saturar para intensidades de cortocircuito con objeto de no dañar los aparatos que alimentan
- Secundarios de protección: deben ser precisos para intensidades de cortocircuito y la precisión importa menos para intensidades de carga

- Clase de precisión de un secundario de medida: limite del error de relación para la intensidad primaria nominal estando conectada la carga de precisión.
- Clase de precisión de un secundario de medida de gama extendida: limite del error de relación para una intensidad primaria entre el 20 y el 120 % de la nominal, estando conectada la carga de precisión.

Los valores de precisión se han de mantener entre 25-100 % de la carga de precisión

Ejemplos de clase de precisión de un secundario de medida: cl. 0.5, cl. 0.2S (extendida)

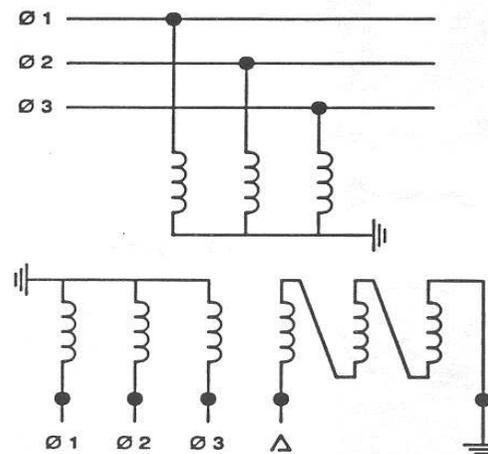
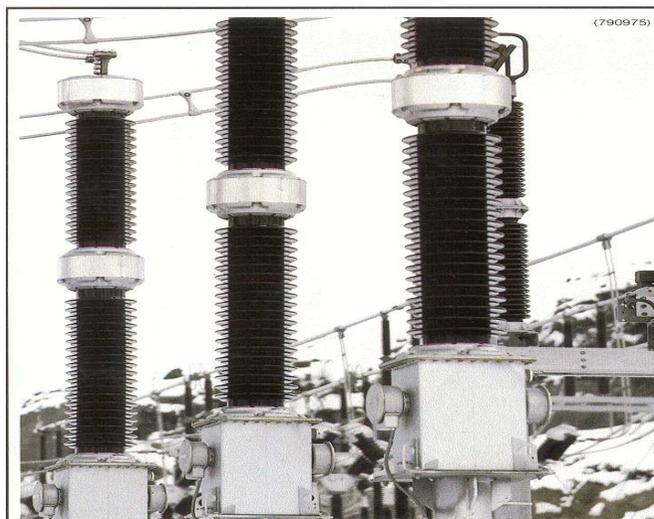
Para secundarios de protección:

- Intensidad límite de precisión nominal ILP : valor más elevado de la intensidad primaria para que el TI cumpla lo especificado en cuanto al error compuesto.
- Factor Limite de Precisión : $FLP = ILP / I1n$
- Clase de precisión de un secundario de protección: límite del error para la intensidad limite de precisión estando conectada la carga de precisión

Ejemplo de clase de precisión: cl. 5P20: error del 5 % hasta una intensidad 20 veces superior a la nominal

TRAFOS DE TENSION:

- Se conecta en PARALELO con el circuito principal
- Por el primario apenas circula intensidad
- Todos los arrollamientos secundarios están bobinados sobre el mismo núcleo
- El arrollamiento primario se pueden conectar: **Conexión fase-tierra** y **Conexión fase-fase**



PARAMETROS PRINCIPALES TRAFOS TENSION:

- Tensión nominal primario
- Tensión nominal secundario
- Factor de tensión o de sobretensión
- Tensiones de ensayo
- Forma de conexión (fase-fase o fase-tierra)
- Frecuencia nominal
- Tipo de aislamiento (Interior/exterior)
- Error de tensión (o error de relación) / Error de fase
- Potencia de secundario
- Clase de precisión

CLASE DE PRECISION TRAFOS DE TENSION

- Clase de precisión (Medida). Limite del error de relación para cualquier tensión entre el 80-120% de la tensión nominal y para cualquier carga entre 25-100 % de la carga de precisión.

Ejemplos de clase de precisión: cl. 0.2

- Clase de precisión (Protección). Limite del error de relación para cualquier tensión entre 5 % de la tensión nominal y la tensión correspondiente al factor de tensión. Al 2 % de la tensión nominal, los errores admisibles son el doble.

Ejemplo de clase de precisión: cl. 3P

CONEXIÓN TRAFOS DE TENSIÓN

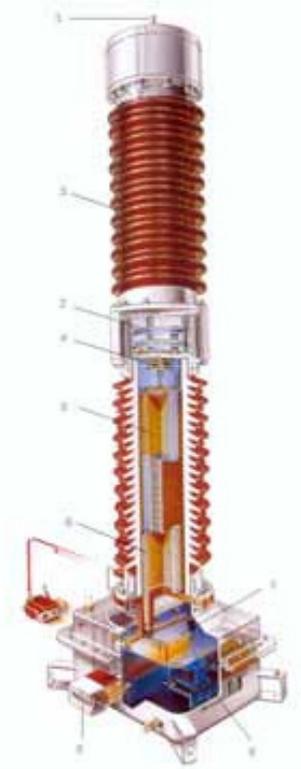
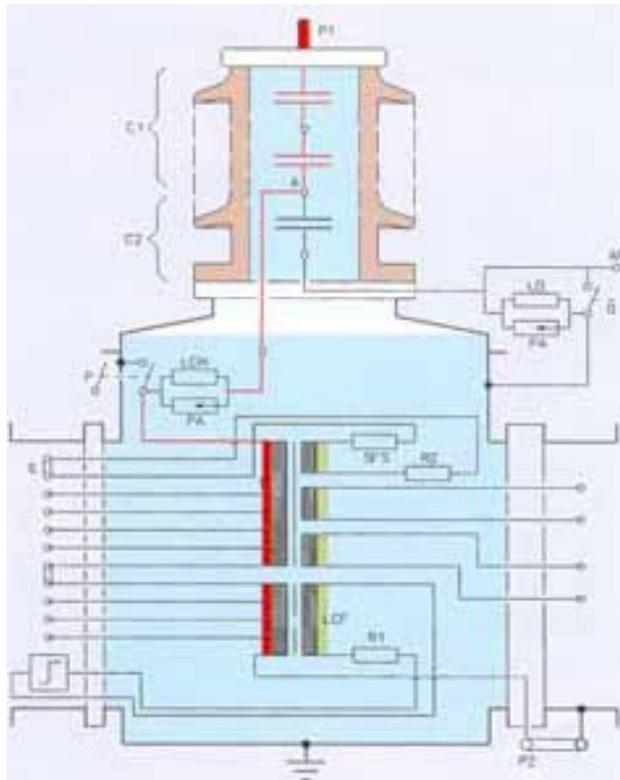
Conexión fase-tierra



Conexión fase-fase



TRAFOS DE TENSION CAPACITIVOS



ASPECTOS PRACTICOS DE LOS TRAFOS DE TENSION:

- **Funcionamiento del T.T. en cortocircuito:**

Cuando el circuito secundario esta en cortocircuito, la intensidad secundaria está limitada unicamente por la impedancia interna del T.T. Lo que implica que la carga sea superior a la carga admisible por el equipo, produciendose calentamientos superiores a los admisibles.

- **Ferroresonancia:**

Es un fenómeno oscilatorio que genera sobretensiones importantes debido al acoplamiento LC entre el T.T. y la Red. (es mas frecuente en el caso de T.T. Capacitivos). En el caso de T.T. Inductivos prácticamente se elimina conectando uno de los circuitos secundarios en triángulo abierto y cargado por una resistencia del valor adecuado (entre 25 -50 Ohmios).

- **Caída de tensión en el circuito de tensión:**

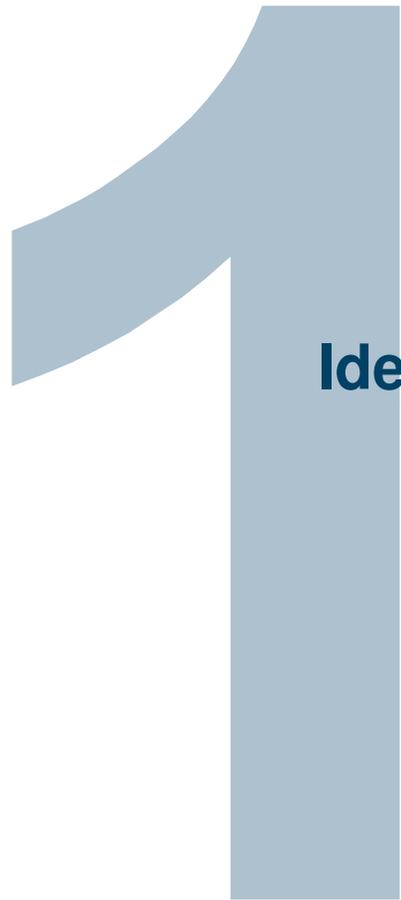
En el dimensionado de la sección del conductor hay que tener en cuenta la caída de tensión producida en el cable hasta el equipo de medida o protección

3. CRITERIOS DE DISEÑO DE UNIFILARES DE SUBESTACIONES

INDICE

- 1. Ideas generales**
- 2. Diseños típicos**
- 3. Factores a considerar**
- 4. Resumen pros-contras**





Ideas Generales

IDEAS GENERALES



- El esquema más fiable es aquel que implementa con menos elementos, lo que redundaría en la reducción de tasas de fallos.
- Explotación de la red: mallada/radial.
- Vigilancia potencia de cortocircuito → uso de acoplamientos.
- Posibilidad de hacer tareas de mantenimiento sin pérdida de mercado.
- Posibilidad de ampliación sin pérdida de servicio.
- Interdependencia sistema de protección, control y enclavamientos
- Requisitos espaciales de implantación

IDEAS GENERALES

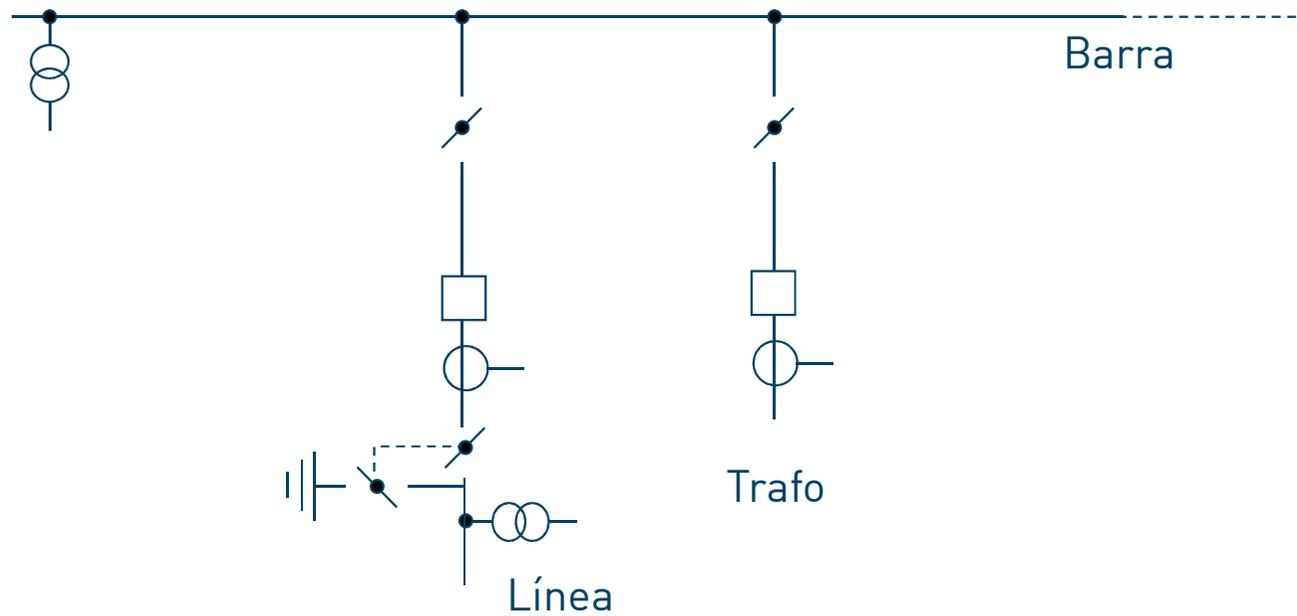


- Partiendo de esquemas sencillos, es posible aumentar la flexibilidad de operación/explotación añadiendo acoplamientos:
 - Longitudinales → posibilidad de ampliar la instalación manteniendo el servicio en parte de la subestación.
 - Transversales → posibilidad de mantener servicio de la instalación en caso de indisponibilidad de una barra.
- **Red de transporte y reparto** → explotación MALLADA → NO son admisibles configuraciones en barra simple o barra doble SIN acoplamiento.
- **Red de distribución** → explotación RADIAL → son admisibles configuraciones en barra simple o barra doble SIN acoplamiento.
- La configuración en anillo es muy excepcional por su complejidad en el sistema de control, enclavamientos y mantenimiento.



Diseños Típicos

DISEÑOS TÍPICOS. 1) SIMPLE BARRA



DISEÑOS TÍPICOS. 2.1) SIMPLE BARRA CON BY-PASS EN SALIDA



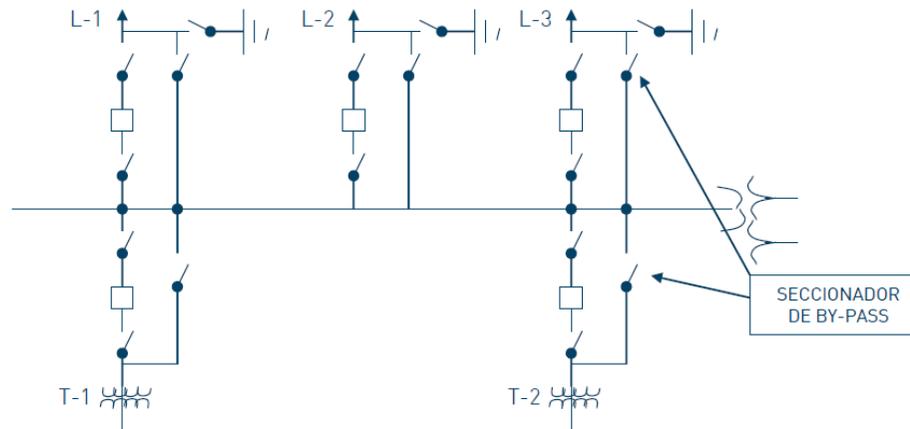
2. Barras simples con seccionador de by-pass en salida: todos los circuitos conectados a una única barra, pero en paralelo con cada módulo se instala un seccionador llamado by-pass

Ventajas:

- Las mismas del caso anterior, pero además ya no se deberá poner fuera de servicio toda la instalación para la revisión de los equipos conectados a las barras

Desventajas:

- Mientras el servicio esté por by-pass, la instalación queda sin protecciones y en el caso de perturbaciones dispararán los interruptores adyacentes a los de cabecera de los circuitos alimentadores

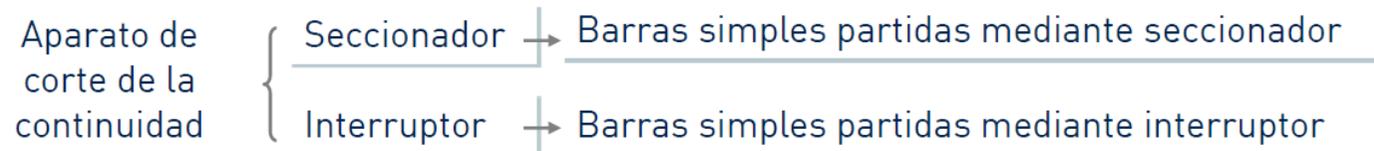


102

DISEÑOS TÍPICOS. 2.2) SIMPLE BARRA PARTIDA



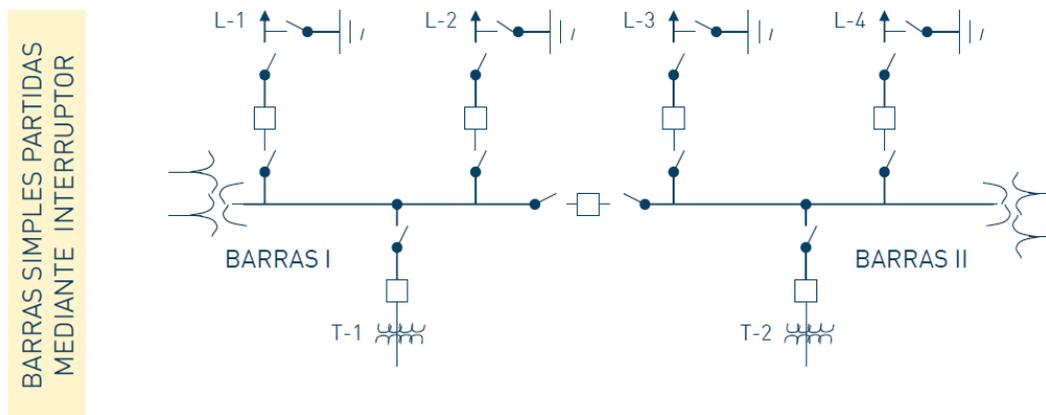
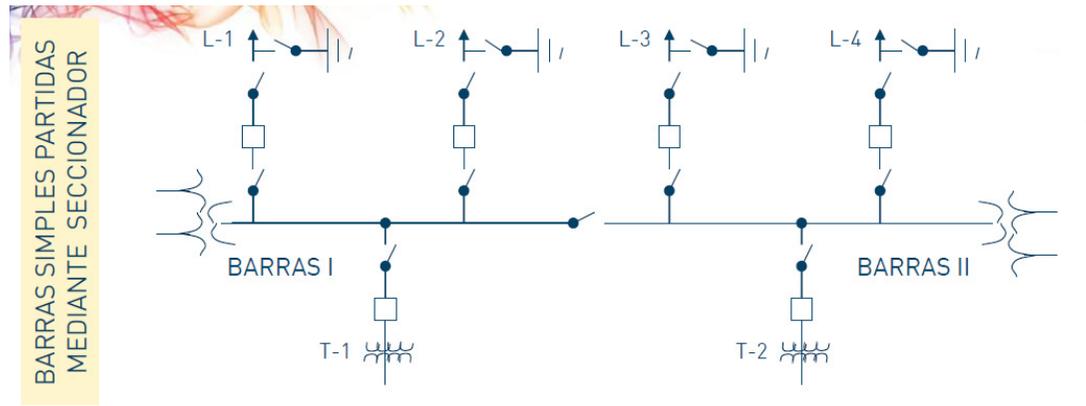
Barras simples partidas: consiste en interrumpir la continuidad de la barra mediante un aparato de corte



Ventajas:

1. Mediante esta solución pueden separarse las fuentes alimentadoras
2. Una revisión de un equipo conectado a barras dejaría sin servicio el 50% de la instalación
3. Mediante automatismos adecuados puede hacerse que en el caso de quedarse sin servicio el circuito alimentador de una semibarra, se cierre el interruptor de acoplamiento

DISEÑOS TÍPICOS. 2.3) SIMPLE BARRA PARTIDA

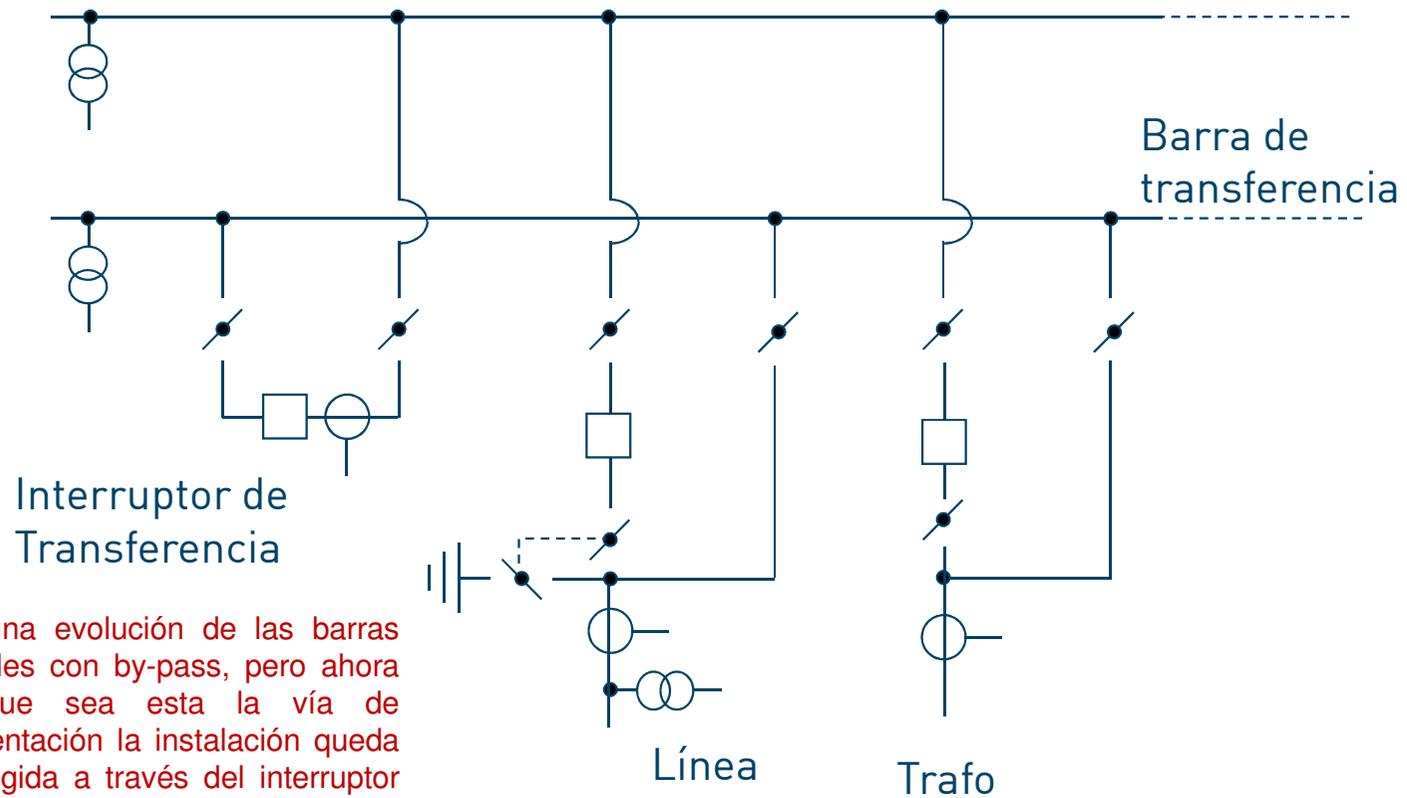


DISEÑOS TÍPICOS. 2.4) SIMPLE BARRA CON TRANSFERENCIA

gasNatural
fenosa

Barra 1

Barra de
transferencia



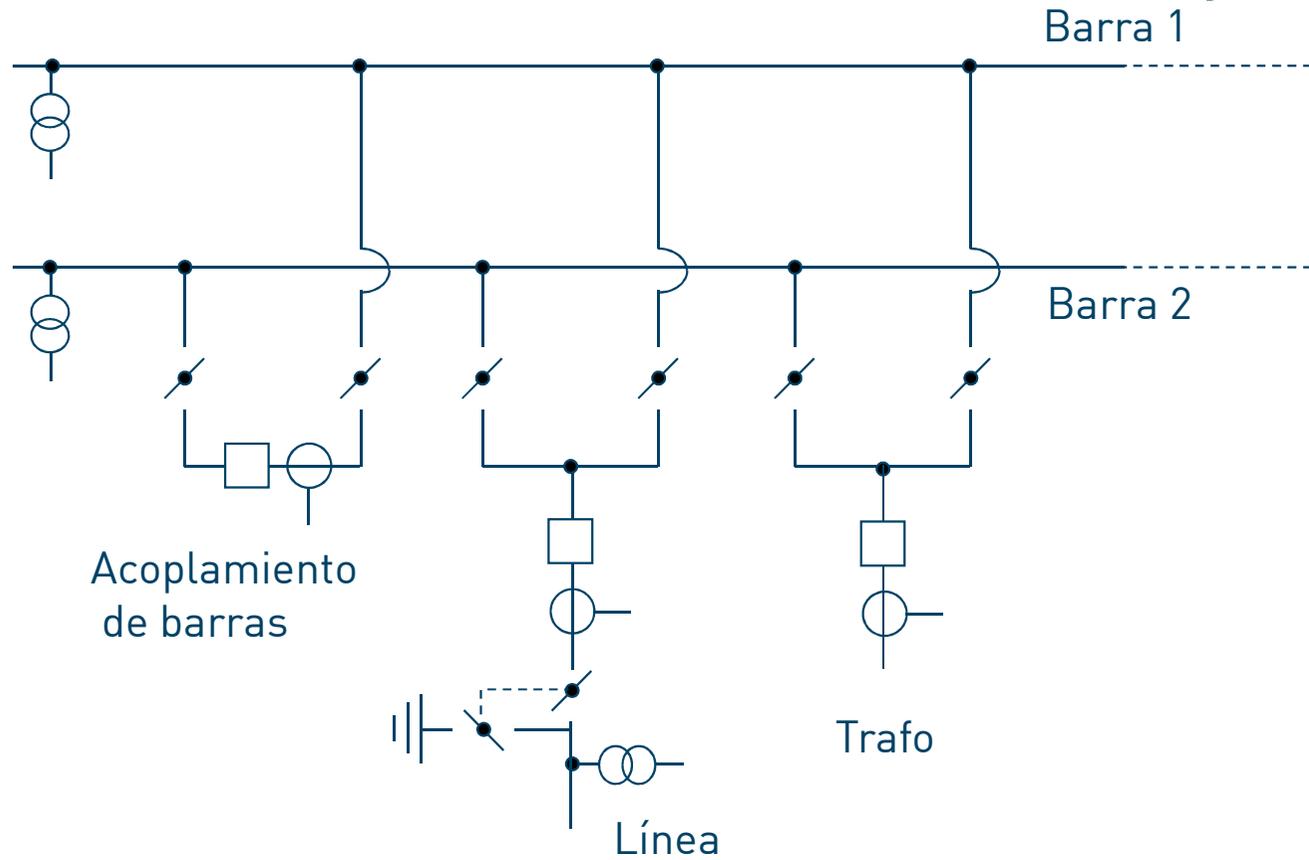
Interruptor de
Transferencia

Es una evolución de las barras simples con by-pass, pero ahora aunque sea esta la vía de alimentación la instalación queda protegida a través del interruptor de acoplamiento

Línea

Trafo

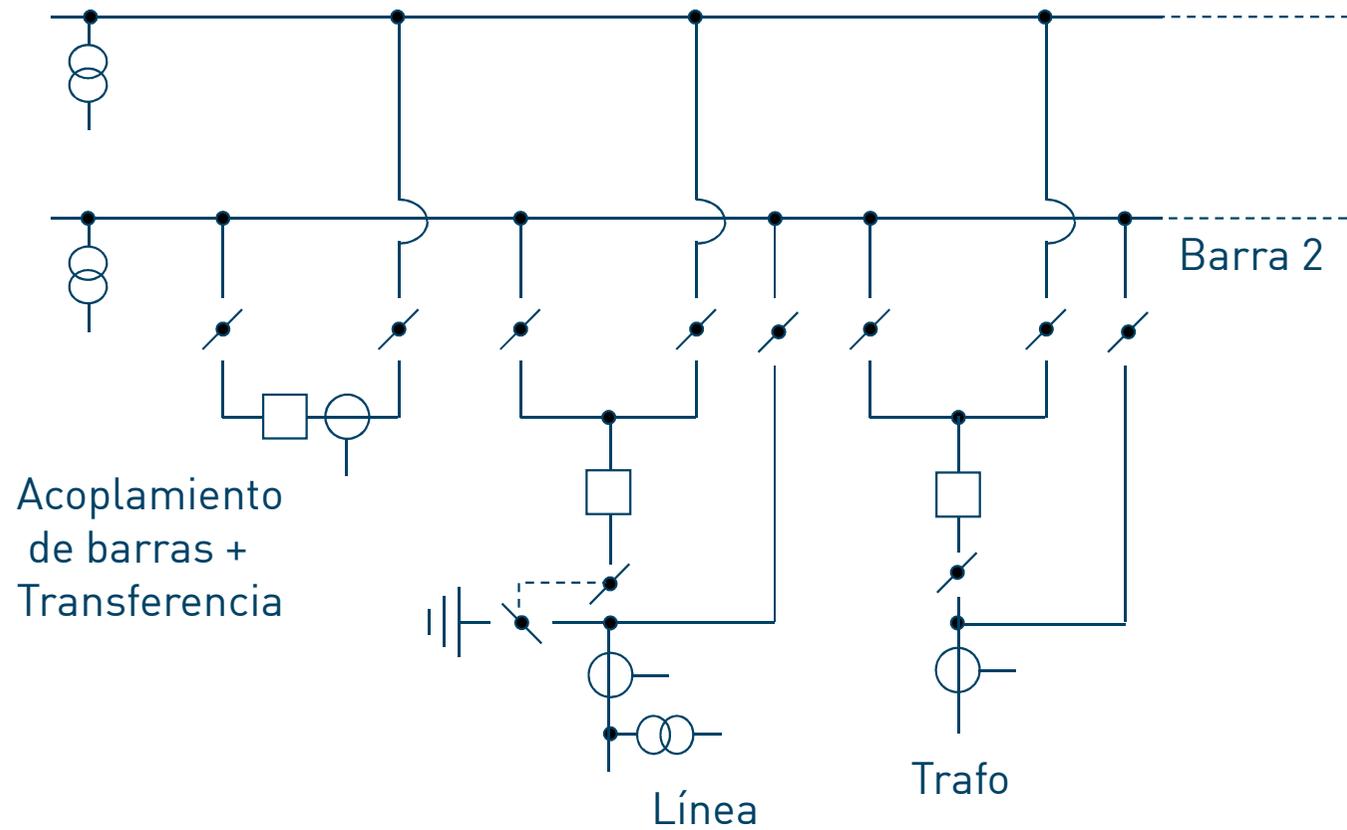
DISEÑOS TÍPICOS. 3) DOBLE BARRA



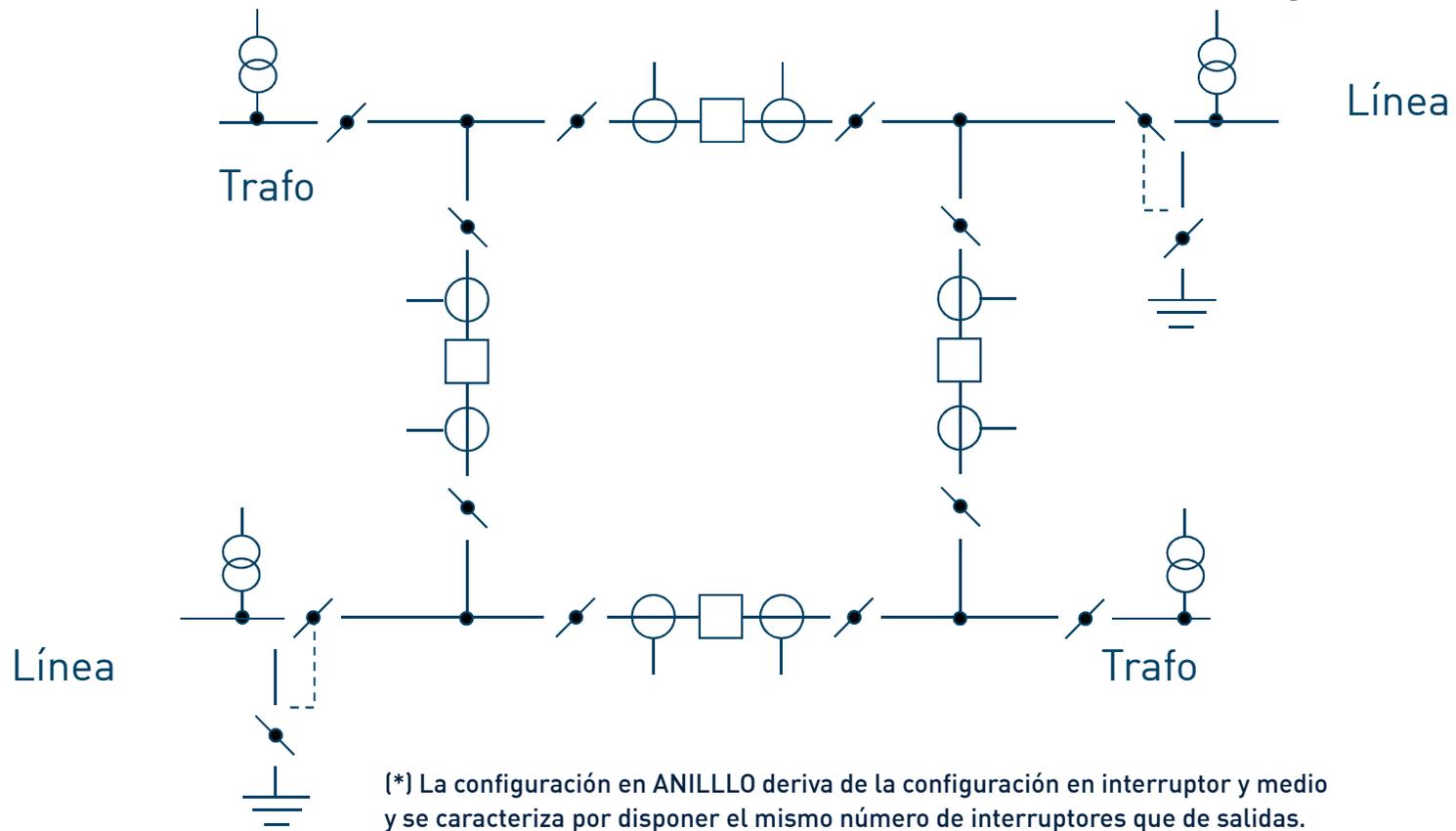
DISEÑOS TÍPICOS. 4) DOBLE BARRA CON TRANSFERENCIA

Barra 1

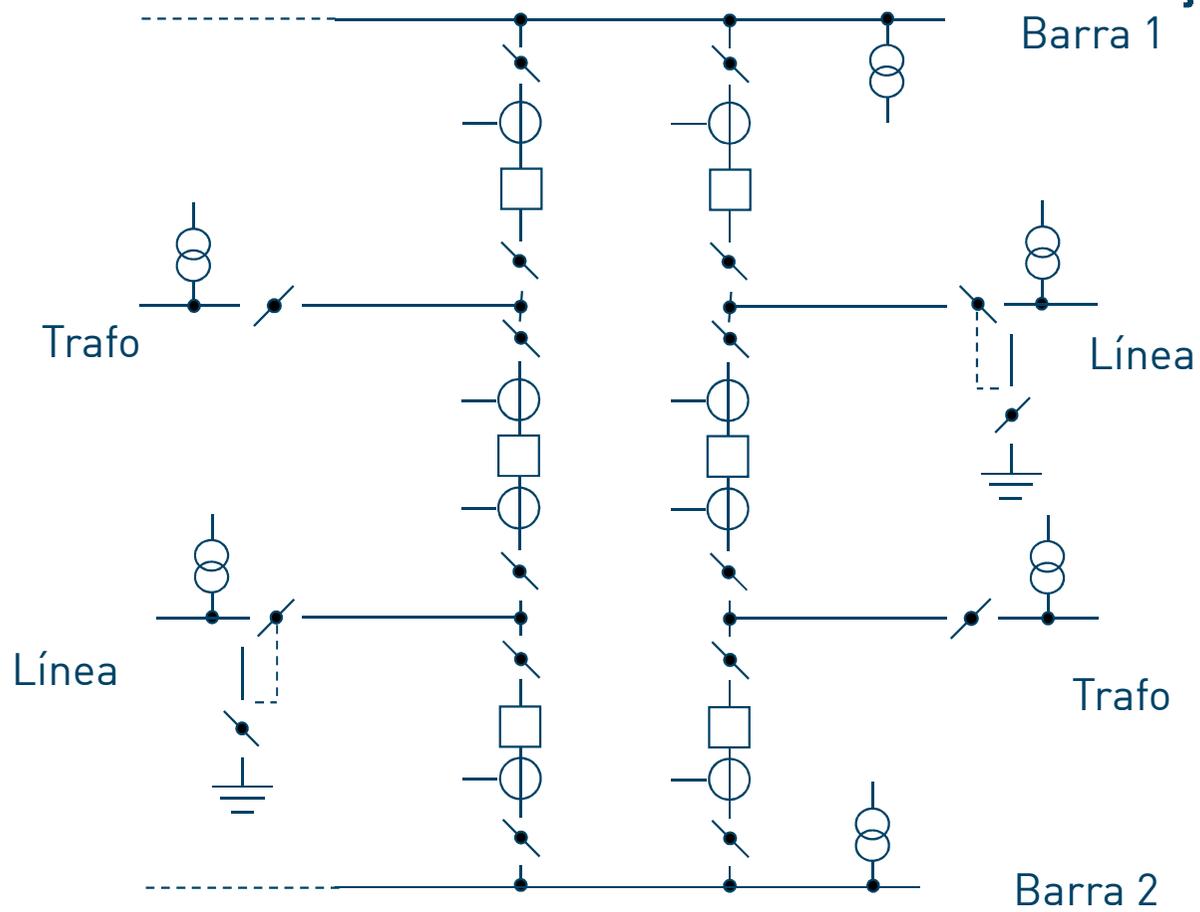
Barra 2



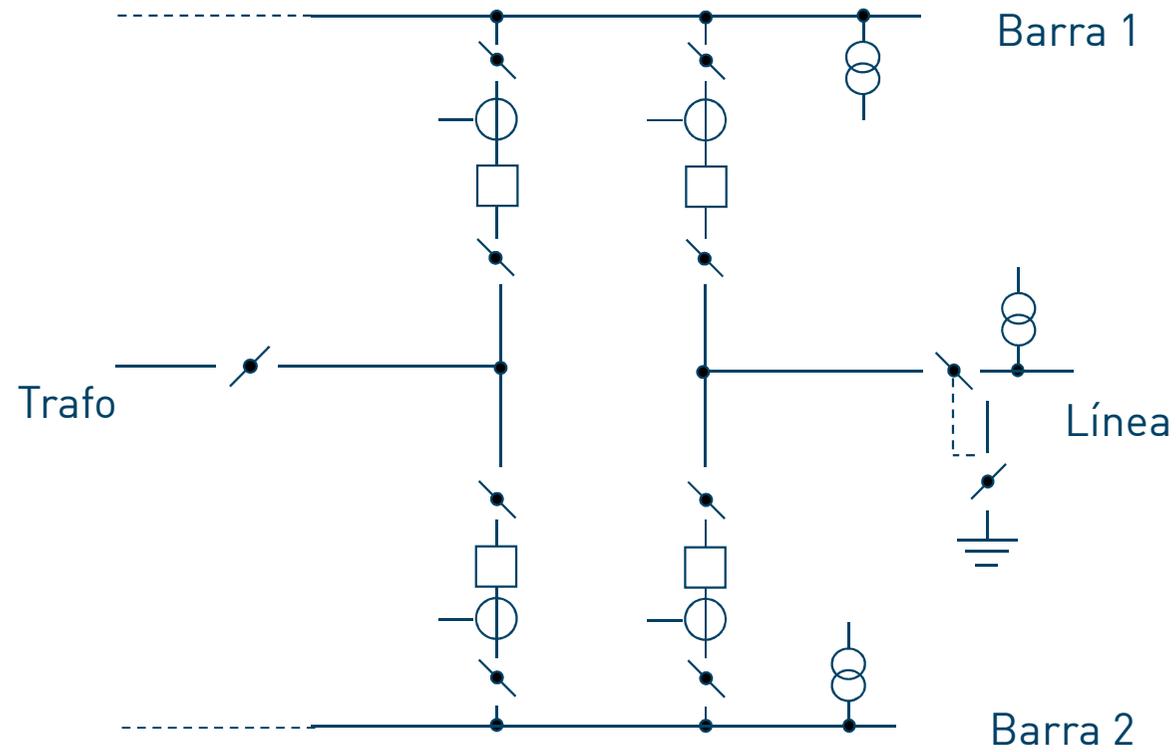
DISEÑOS TÍPICOS. 5) ANILLO



DISEÑOS TÍPICOS. 6) INTERRUPTOR Y MEDIO



DISEÑOS TÍPICOS. 7) DOBLE INTERRUPTOR



3

Factores a considerar

FACTORES A CONSIDERAR



- Eliminación de faltas en la red
 - Eliminación con fallo de interruptor
 - Eliminación con fallo (múltiple) de protección
 - Probabilidad. Desconexiones necesarias
 - Consecuencias en ulteriores sobrecargas
 - Consecuencias en la estabilidad
- Eliminación de faltas en la subestación
 - Faltas en barras. Faltas en ubicaciones singulares
 - Probabilidad. Desconexiones necesarias
 - Consecuencias en ulteriores sobrecargas
 - Consecuencias en la estabilidad
- Mantenimiento del aparellaje
- Ampliación de nuevas posiciones
- Tasa de averías
- Fiabilidad de las protecciones.
- Desgaste del aparellaje en maniobra de equipos de conmutación frecuente
- Inversión y gastos operativos
- Requerimientos de explotación

ELIMINACIÓN DE FALTAS. CRITERIO N-1



Criterio N-1 de Planificación y Explotación de Redes: _

La desconexión de un solo elemento de la red, en cualquier momento de la explotación, no debe dar lugar a:

- Sobrecarga en ningún otro elemento, por encima de los límites definidos
- Tensiones y/ó frecuencia fuera de límites

Las barras de subestación no suelen incluirse como “elemento”, a estos efectos.

No obstante es lógico perseguir en el diseño el mínimo efecto para el sistema de una falta en cualquier punto de una subestación.

Ello incluye analizar la falta en barras y en las “ubicaciones singulares”

ELIMINACIÓN DE FALTAS EN RED. TIEMPO CRÍTICO DE ELIMINACIÓN

Tiempo crítico de eliminación de faltas (T_{CE}) en un punto del sistema de potencia:

Tiempo que el sistema puede soportar, en ese punto, una falta, sin que:

- Se produzca pérdida de sincronismo de unas barras con respecto a otras
- Se desencadene una pérdida de generación mayor que un límite postulado
- Se desencadene el fraccionamiento automático de la red interconectada

El diseño de subestación tiene mucha influencia en la probabilidad y en la duración de las faltas en sus diversos puntos, así como en las desconexiones necesarias para su eliminación.

El T_{CE} en un nudo es, pues, función del diseño de subestación adoptado.

4

Resumen pros-contras

1) SIMPLE BARRA.. PROS Y CONTRAS



PROS

- Gran sencillez de explotación.
- Eliminación de faltas en red requiere una sola apertura de interruptor.
- Mínima tasa de averías.
- Máxima fiabilidad de las protecciones.
- Mínimo desgaste del aparellaje en posiciones de maniobra frecuente.
- Mínima inversión y gasto operativo.

CONTRAS

- Eliminación de faltas en red, con fallo de interruptor supone indisponibilidad total
- Eliminación de faltas en barra supone indisponibilidad total
- Mantenimiento del aparellaje requiere indisponibilidad del elemento asociado y en algunos casos total de BARRAS
- Ampliación requiere indisponibilidad total

2) SIMPLE BARRA CON TRANSFERENCIA.. PROS Y CONTRAS



PROS

- Eliminación de faltas en red requiere una sola apertura de interruptor
- Mantenimiento del aparellaje con disponibilidad del elemento asociado
- Mínimo desgaste del aparellaje en posiciones de maniobra frecuente

CONTRAS

- Eliminación de faltas en red, con fallo de interruptor supone indisponibilidad total
- Eliminación de faltas en barra supone indisponibilidad total
- Ampliación requiere indisponibilidad total
- Tasa de averías mayor que 1)
- Fiabilidad de las protecciones menor que 1)
- Inversión y gasto operativo mayor que 1)

3) DOBLE BARRA. PROS Y CONTRAS



PROS

- Se puede pasar el servicio de una a otra sin corte, reparto de cargas entre las dos cargas, pérdida de circuito alimentador solo afecta a posiciones asociadas a esa barras
- Eliminación de faltas en red requiere una sola apertura de interruptor
- Eliminación de faltas en red, con fallo de interruptor supone indisponibilidad parcial
- Eliminación de faltas en barra supone indisponibilidad parcial
- Fallo interruptor línea o trafo puede suplirlo el interruptor de acoplamiento.
- Ampliación/mantenimiento con plena disponibilidad
- Fiabilidad de las protecciones mejor que 2)
- Mínimo desgaste del aparellaje en posiciones de maniobra frecuente

CONTRAS

- Mantenimiento del aparellaje con indisponibilidad del elemento asociado
- Tasa de averías similar a 2)
- Inversión y gasto operativo similar a 2)

4) DOBLE BARRA CON TRANSFERENCIA. PROS Y CONTRAS



PROS

- Se puede pasar el servicio de una a otra sin corte, reparto de cargas entre las dos barras, pérdida de circuito alimentador solo afecta a posiciones asociadas a esa barras
- Eliminación de faltas en red requiere una sola apertura de interruptor
- Eliminación de faltas en red, con fallo de interruptor supone indisponibilidad parcial
- Eliminación de faltas en barra supone indisponibilidad parcial
- Mantenimiento del aparellaje con disponibilidad del elemento asociado
- Ampliación/Mantenimiento con plena disponibilidad
- Mínimo desgaste del aparellaje en posiciones de maniobra frecuente

CONTRAS

- Maniobras complicadas
- Tasa de averías mayor que 3)
- Fiabilidad de las protecciones menor que 3)
- Inversión y gasto operativo mayor que 3)

5) ANILLO. PROS Y CONTRAS



PROS

- Flexibilidad en el reparto de cargas
- Eliminación de faltas en red, con fallo de interruptor supone indisponibilidad del elemento contiguo
- No existe barra a efectos de eliminación, no necesita interruptor de acoplamiento
- Mantenimiento del aparellaje con disponibilidad del elemento asociado
- Tasa de averías comparable a 3)
- Fiabilidad de las protecciones comparable a 3)

CONTRAS

- Eliminación de faltas en red requiere apertura de dos interruptores
- Máxima dificultad de ampliación
- Máximo desgaste del aparellaje en posiciones de maniobra frecuente
- Inversión y gasto operativo mayor que 3)

6) INTERRUPTOR Y MEDIO. PROS Y CONTRAS



PROS

- Flexibilidad en el reparto de cargas
- Eliminación de faltas en red, con fallo de interruptor supone menor indisponibilidad adicional que 5)
- Eliminación de faltas en barra sin indisponibilidad
- Mantenimiento del aparellaje con disponibilidad del elemento asociado
- Fácil ampliación

CONTRAS

- Eliminación de faltas en red requiere apertura de dos interruptores
- Tasa de averías mayor que 3)
- Fiabilidad de las protecciones inferior a 3)
- Máximo desgaste del aparellaje en posiciones de maniobra frecuente
- Inversión y gasto operativo mayor que 5)

7) DOBLE INTERRUPTOR. PROS Y CONTRAS



PROS

- Eliminación de faltas en red, con fallo de interruptor sin indisponibilidad adicional
- Eliminación de faltas en barra sin indisponibilidad
- Mantenimiento del aparellaje con disponibilidad del elemento asociado
- Fácil ampliación
- Moderado desgaste del aparellaje en posiciones de maniobra frecuente

CONTRAS

- Eliminación de faltas en red requiere apertura de dos interruptores
- Tasa de averías similar a 6)
- Fiabilidad de las protecciones similar a 6)
- Máxima inversión y gasto operativo

4. TECNOLOGIA DE SUBESTACIONES



Tipos y tecnologías de subestaciones:

✓ **SUBESTACIONES CONVENCIONALES (AIS):**

- _Montaje individual equipos y en intemperie
- Grandes superficies de implantación
- Elevado impacto medioambiental
- Coste equipos reducido



Tipos y tecnologías de subestaciones:

✓ **SUBESTACIONES CONVENCIONALES (AIS) - MODULARES:**

- Estructura metálica común, ensamblada y probada de fábrica
- Reducción de espacio
- Ahorro en el tiempo y costes de ingeniería, montaje y puesta en servicio



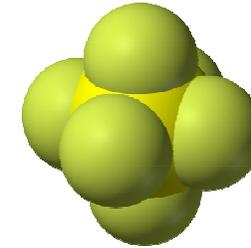
Tipos y tecnologías de subestaciones:

**✓ SUBESTACIONES CONVENCIONALES (AIS) –
PARQUES MT:**



El Hexafluoruro de Azufre (SF₆):

- Gas inerte, 5 veces más pesado que el aire, no tóxico ni inflamable, pero asfixiante.
- Excelentes estabilidades química y térmica, pero al exponerlo a elevadas temperaturas (como las producidas por los arcos eléctricos), se descompone dando lugar a productos tóxicos los cuales pueden ser muy corrosivos en presencia de humedad.
- Rigidez dieléctrica 3 veces superior a la del aire a presión atmosférica; a 2,5 bar es 6 veces superior y a 4 bar es 12 veces superior (en subestaciones blindadas su presión relativa de servicio es 6-7 bar).
- Elevada conductividad térmica - excelente medio extintor del arco eléctrico (el tiempo de apagado de un arco en SF₆ es unas 170 veces menor que en el aire).



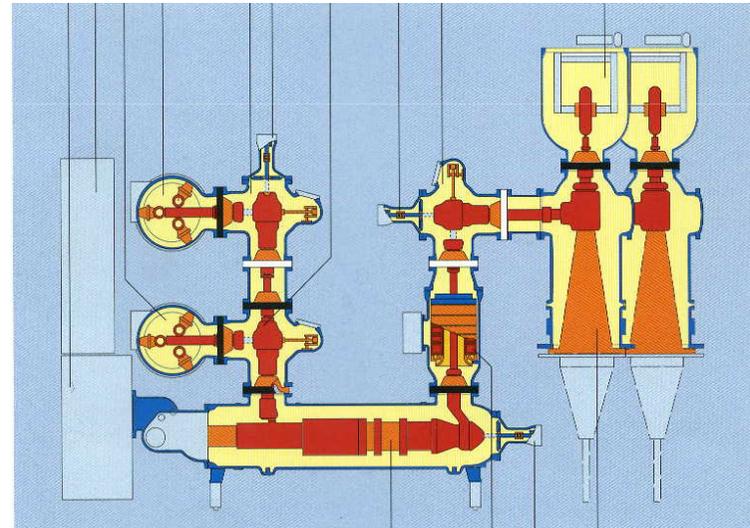
Tipos y tecnologías de subestaciones:

✓ SUBESTACIONES BLINDADAS (GIS):

- Enorme reducción de espacio
- Montaje en edificios sin impacto visual externo
- Elevada fiabilidad de los equipos (debido al alto grado de integración entre los equipos y la envolvente protectora)
- Dificultad de restablecimiento ante averías
- Coste elevado

Tipos y tecnologías de subestaciones:

✓ **SUBESTACIONES BLINDADAS (GIS):**



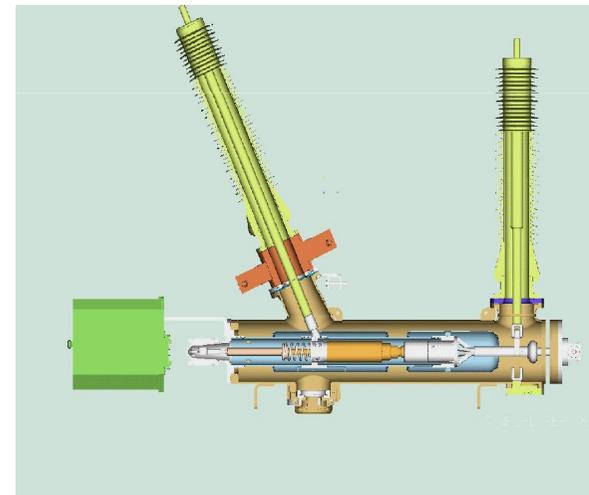
Tipos y tecnologías de subestaciones:

✓ **SUBESTACIONES HIBRIDAS (HIS):**

- Integración de una parte de la aparamenta (seccionadores, interruptor y transformadores de intensidad) de una misma posición, bajo una envolvente blindada, pero manteniendo los embarrados y la propia disposición de la subestación en un montaje intemperie.
- Equilibrio entre la necesidad de espacio y el coste de la instalación
- Implantación en nuevas subestaciones y ampliación de existentes en entornos rurales.

Tipos y tecnologías de subestaciones:

✓ **SUBESTACIONES HIBRIDAS (HIS):**



EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

Según aparellaje empleado para la implementación de la instalación:

- ✓ Subestaciones CONVENCIONALES (AIS) → aislamiento aire → instalaciones de intemperie.
- ✓ Subestaciones HÍBRIDAS (HIS) → aislamiento partes activas en SF₆ y aislamiento zonas pasivas aire → instalaciones de intemperie
- ✓ Subestaciones BLINDADAS (GIS) → aislamiento SF₆ → instalaciones de interior (superficie o subterráneas).

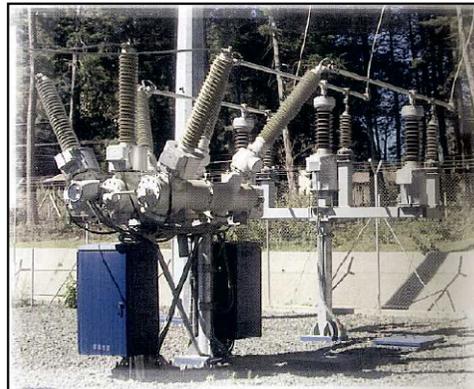
Evolución de la tecnología en subestaciones



Posición de línea AIS 220 kV dimensiones:
(A x F x H) 12 x 30 x 10 m



Posición de línea GIS 220 kV dimensiones:
(A x F x H) 1,50 x 4,70 x 3,50 m



Posición de línea HIS 132 kV dimensiones: (A x F x H) 9,00 x 7,00 x 8,50 m

TECNOLOGIA SUBESTACIONES



EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA



DIMENSIONES TÍPICAS

(Ancho x Fondo x Altura)

Ej.: Posición de línea

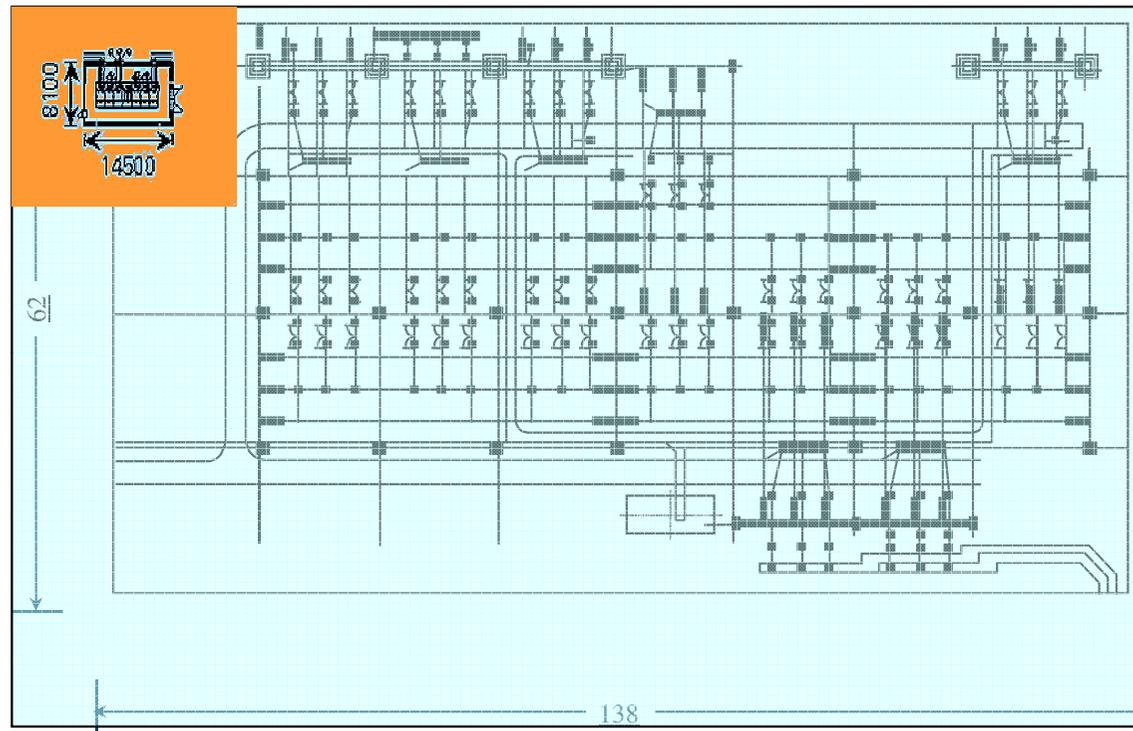
AIS (220 kV): 12 x 30 x 10 m

HIS (132 kV): 9 x 7 x 8,5 m

GIS (220 kV): 1,5 x 4,7 x 3,5 m

REDUCCIÓN GLOBAL DE DIMENSIONES → Posibilidad de “compactar” las instalaciones → minimizar impacto visual → aumentar fiabilidad (garantía de calidad desde origen)

EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA



Requisitos dimensionales para la implantación del parque AT en una subestación 220 kV con tecnología convencional y blindada

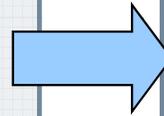
EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

CONCEPTO	SOLUCIÓN		
	AIS	HIS	GIS
Ocupación de superficie	☹️	😐	😊
Reutilización de edificios	☹️	☹️	😊
Fiabilidad de los equipos	☹️	😊	😊
Impacto visual	☹️	😐	😊
Tiempo de reposición	😊	😊	☹️

EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

Innovaciones en la tecnología blindada

- Paso de aislamiento monofásico a trifásico
- Paso de aislamiento aire a SF₆ y uso de la tecnología de corte en vacío en lugar de corte en SF₆ (MT)
- Desarrollo de la tecnología del cable aislado



Consecuencias

- Mayor integración en las instalaciones
- Mejor adaptabilidad al entorno
- Mejor adecuación a la demanda al ser posible llegar más cerca del consumo

EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

- **AISLAMIENTO TRIFÁSICO vs AISLAMIENTO MONOFÁSICO 220 kV**



**GIS ABB 220 kV. Aislamiento monofásico
(A x F x H) 1,70 x 6,25 x 3,75 m**



**GIS SIEMENS 220 kV. Aislamiento trifásico
Barras (A x F x H) 1,50 x 4,70 x 3,50 m**

EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

- Aislamiento aire y corte en SF6 vs aislamiento SF6 y corte en vacío en MT



Posición de línea ISOWAT- ABB
dims. (A x F x H) 0,80 x 2,75 x 3,20 m



Posición de línea ISOWAT- SIEMENS
dims. (A x F x H) 0,60 x 1,85 x 2,60 m

TECNOLOGIA SUBESTACIONES

Subestación Vallecas 220 - 45 - 15 kV

1970



2005



TECNOLOGIA SUBESTACIONES



Subestación Hortaleza 220 - 45 - 15 kV



1980



2003

TECNOLOGIA SUBESTACIONES



Subestación Mediodía 220/15 kV

TECNOLOGIA SUBESTACIONES



Subestación Mediodía 220/15 kV

5. CELDAS GIS DE AT



SUBESTACIONES BLINDADAS



SUBESTACIONES AISLADAS EN GAS (SF₆)

- Instalación de alta tensión formada por elementos aislados en SF₆ dentro de una envolvente metálica, con unas dimensiones reducidas.

GIS (GAS INSULATED SWITCHGEAR)

SUBESTACIONES BLINDADAS



VENTAJAS:

- Necesita poco espacio
- Gran fiabilidad
- Solución ideal para una planificación estética urbana o en condiciones de impacto ambiental grave.
- Menor mantenimiento

INCONVENIENTES:

- Coste más elevado
- Mayor dependencia del fabricante
- Tiempo mayores de indisponibilidad en caso de fallo.
- Gas contaminante

SUBESTACIONES BLINDADAS

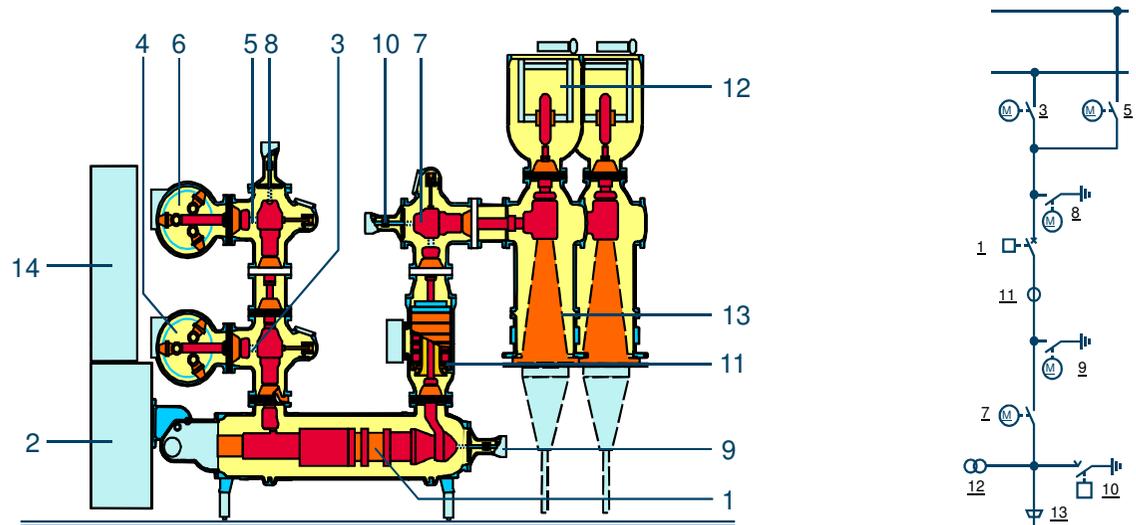
Celda tipo GIS SIEMENS 8DN9 220 kV

■ Voltaje nominal	hasta 245 kV
■ Frecuencia nominal	50 / 60 Hz
■ Tensión de prueba a baja frecuencia (1 min)	hasta 460 kV
■ Tensión de prueba de impulso por rayo (1,2/50 μ s)	hasta 1050 kV
■ Corriente nominal del bus	hasta 3150 A
■ Corriente nominal del alimentador	hasta 3150 A
■ Corriente nominal de corta duración (1 seg.)	hasta 50 kA
■ Corriente nominal de interrupción c.c.	hasta 50 kA
■ Hermeticidad por año y por compartimiento de gas	\leq 0,5 %
■ Ancho de bahía	1500 mm
■ Alto de bahía	3500 mm
■ Profundidad de bahía	4700 mm
■ Peso por bahía	5 ton.



SUBESTACIONES BLINDADAS

Celda tipo GIS SIEMENS 8DN9 220 kV



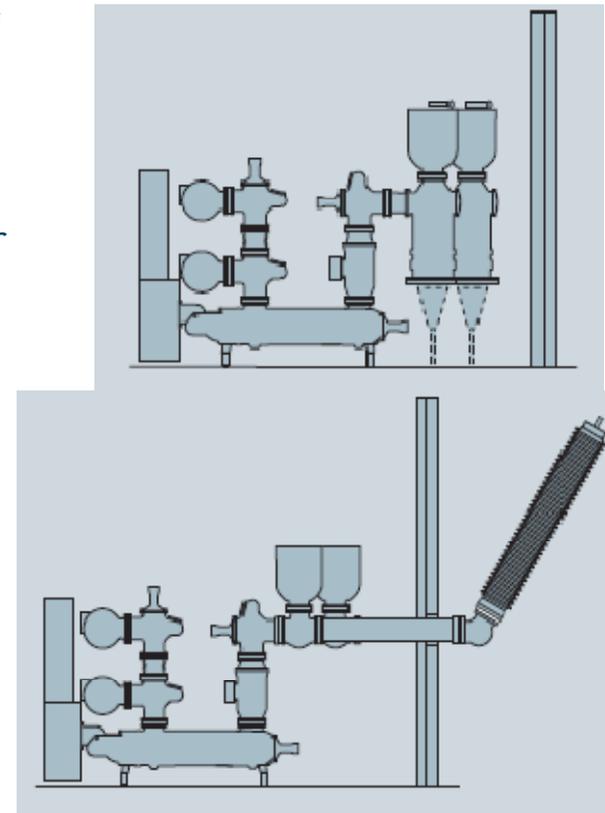
- | | | | |
|---|---|----|--|
| 1 | Unidad ruptora del interruptor de potencia | 8 | Cuchilla de puesta a tierra (para trabajos de mantenimiento) |
| 2 | Mecanismo de operación con energía almacenada por resorte con unidad de control del interruptor | 9 | Cuchilla de puesta a tierra (para trabajos de mantenimiento) |
| 3 | Seccionador del bus I | 10 | Cuchilla de tierra para pruebas (alta velocidad) |
| 4 | Bus I | 11 | Transformador de corriente |
| 5 | Seccionador del Bus II | 12 | Transformador de tensión |
| 6 | Bus II | 13 | Terminal para cable de potencia |
| 7 | Seccionador de salida | 14 | Cubículo de control local integrado |

SUBESTACIONES BLINDADAS

Celda tipo GIS SIEMENS 8DN9 220 kV

Solución óptima gracias a :

- Alta flexibilidad gracias a su diseño modular
- Solución muy compacta (Ancho de celda 1500mm)
- Celdas preensambladas en fábrica
- Alta seguridad operativa
- Alta hermeticidad al gas
- Larga vida útil
- Reducidos costes de mantenimiento
- Facilidad de acceso y ergonomía
- Alta disponibilidad
- Servicio seguro en condiciones extremas.



SUBESTACIONES BLINDADAS



COMPONENTES:

- **Envolventes**

Son piezas de fundición, hechas de aleación de aluminio, con excepción de las uniones rectas, realizadas a partir de tubos extrusionados.

- **Aisladores**

Se soportan los conductores y partes activas por aisladores moldeados de resina epoxi. Existen dos tipos de aisladores, aquellos que no limitan compartimentos estancos y los que sí. La alúmina mezclada con la resina les confiere una excelente resistencia mecánica y previene cualquier ataque químico por los productos en descomposición del SF₆.

- **Juntas de estanqueidad**

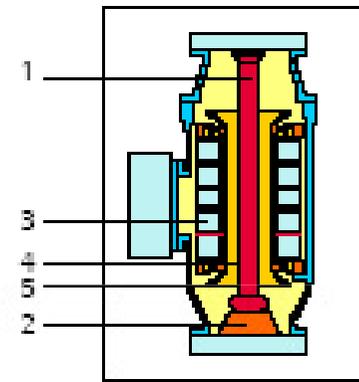
La estanqueidad entre las bridas está garantizada por una junta de elastómero sintético, con una sección especialmente estudiada para constituir tres labios concéntricos. Los dos labios internos están así muy bien protegidos del medio exterior.

SUBESTACIONES BLINDADAS



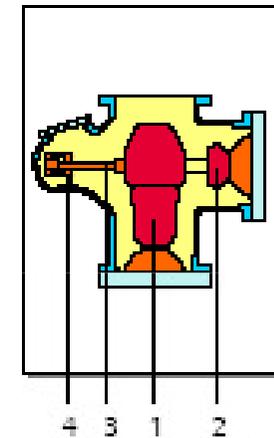
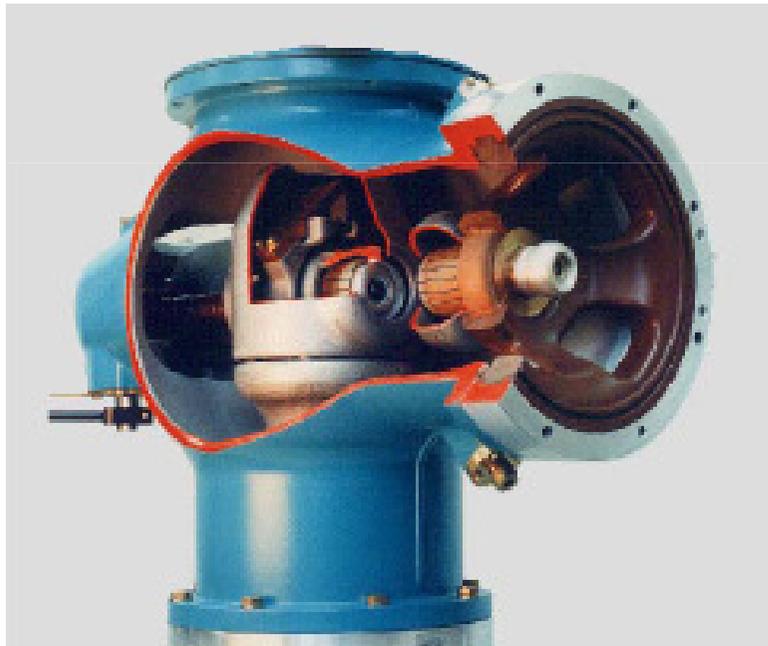
- **Interruptor**
De cámara única por polo, con mando unipolar, mecánico o hidráulico.
- **Seccionador**
De línea, barra o de puesta a tierra lenta o rápida. El mando normalmente es tripolar. Las partes activas del seccionador están soportadas por aisladores cónicos de tipo abierto o estanco.
- **Transformadores de corriente**
Están constituidos por toros colocados en el aire dentro de una envolvente cilíndrica. El conductor central principal constituye el devanado primario. La segunda envolvente cilíndrica entre los toros y el conductor asegura la estanqueidad del SF₆.
- **Transformadores de tensión**
Son de tipo inductivo. Están situados en el interior de un compartimento de gas independiente. La parte activa está constituida por un núcleo rectangular sobre el cual están colocados los devanados secundarios y la bobina de AT.

Gas-Insulated Switchgear 245 kV Current Transformers



- 1 Conductor / primary winding
- 2 Bushing
- 3 Cores with secondary winding
- 4 Inner electrode
- 5 Grading electrode

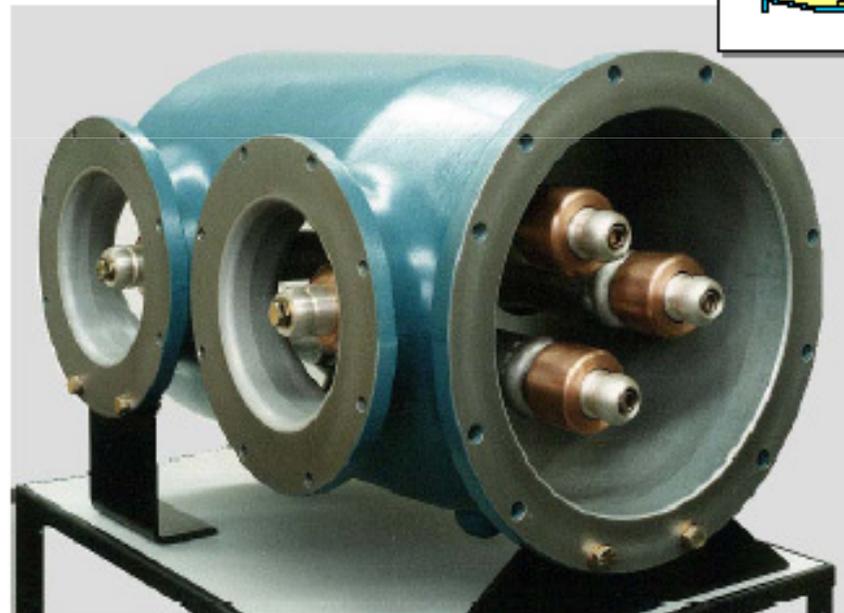
Gas-Insulated Switchgear 245 kV Disconnecter Modules



- 1 Contact support
- 2 Insulating contact
- 3 Insulating rod
- 4 Main shaft

SUBESTACIONES BLINDADAS

Gas-Insulated Switchgear 245 kV
Busbar Module



6. EQUIPOS HIS DE AT



Equipos de aislamiento híbrido (HIS) **Evolución tecnológica en subestaciones**

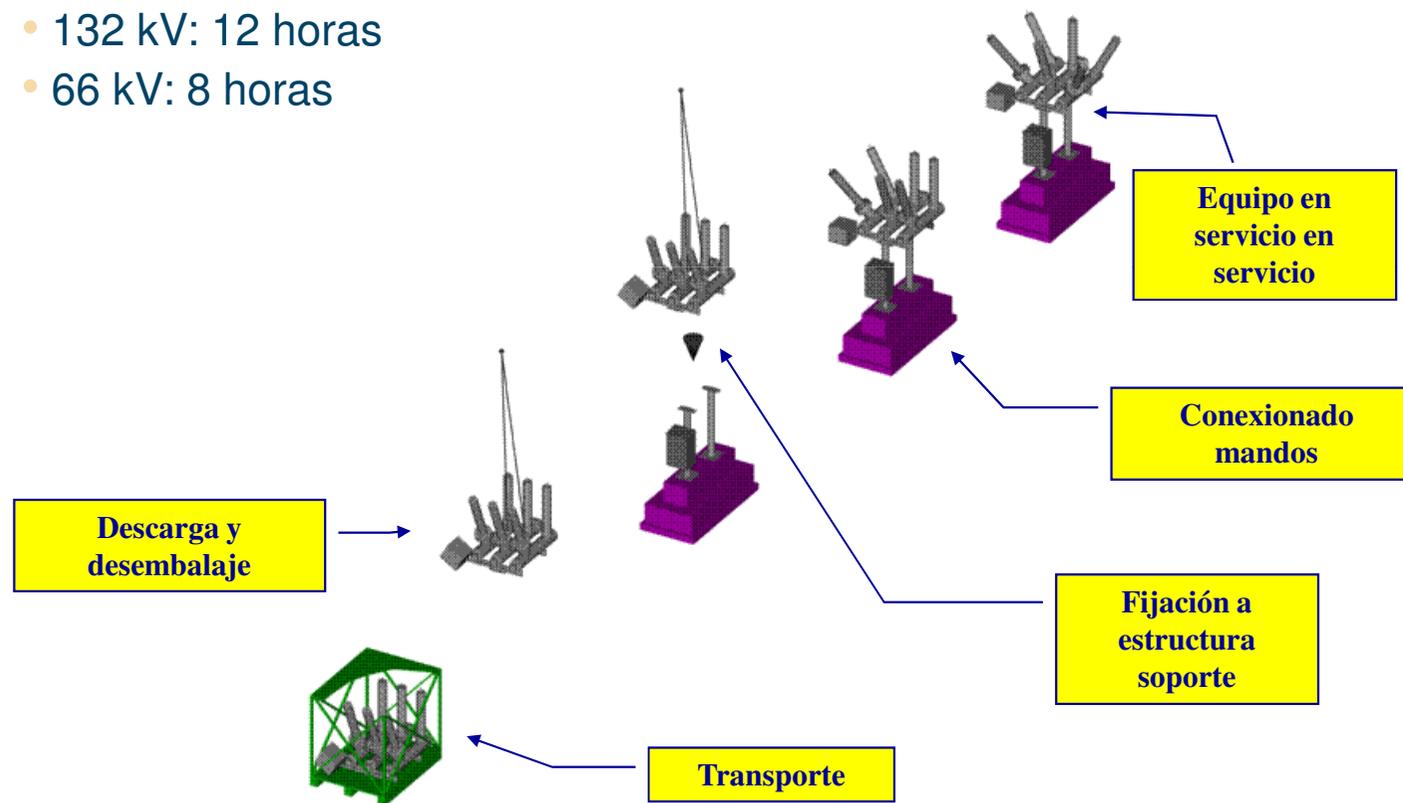


- Integración de todas las funciones principales en un solo equipo
- Componentes principales encapsulados en SF6 → reducción tasa de fallos frente a instalaciones convencionales.
- Fiabilidad → equipo ensayado en origen.
- Flexibilidad de instalación → adaptación a distintos esquemas unifilares.
- Reducción de tiempos de montaje, pruebas y reposición en caso de fallo.
- Reducción de obra civil.

Equipos de aislamiento híbrido (HIS)

Evolución tecnológica en subestaciones

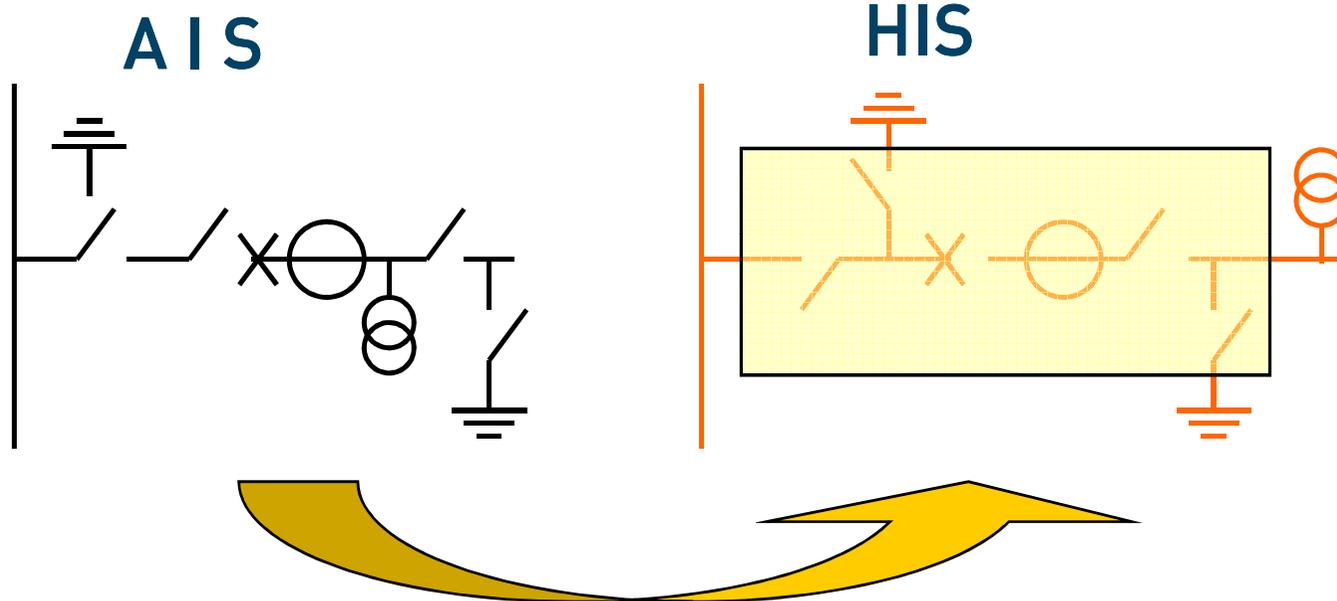
- Secuencia temporal de montaje
 - 132 kV: 12 horas
 - 66 kV: 8 horas



Equipos de aislamiento híbrido (HIS)

Características constructivas generales

Integración de funciones



Interruptor - Seccionadores - Seccionadores puesta a tierra encapsulados

Equipos de aislamiento híbrido (HIS)

Características constructivas generales

Integración de funciones



Equipos de aislamiento híbrido (HIS)

Equipos simple barra

132 kV (145 kV)



_ABB - PASS M0



_ALSTOM GRID - HYPACT

66 kV (72,5 kV)



_ABB - PASS M00

Equipos de aislamiento híbrido (HIS)

Equipos normalizados. Características



FABRICANTE	ABB PASS M0	AREVA HYPACT	ABB PAS M00
CARACTERÍSTICAS			
Tensión nominal	145 kV	145 kV	72,5 kV
Intensidad nominal	2500 A	2500 A	2000 A
Intensidad de cortocircuito	40 kA (3 s)	40 kA (3 s)	31,5 kA (3s)
Intensidad de cierre	100 kA	100 kA	80 kA
BIL	650 kV	650 kV	375 kV
Temperatura ambiente mínima	-30°C	-30°C	-30°C'
Temperatura ambiente máxima	55°C	40°C	40°C
Peso (simple barra)	1.900 kg	2.900 kg	1.160 kg
Presión SF6 de servicio	680 kPa	640 kPa	600 kPa
Presión SF6 de alarma	620 kPa	540 kPa	560 kPa
Presión SF6 de bloqueo	600 kPa	510 kPa	540 kPa

7. TRANSFORMADORES DE POTENCIA

INDICE

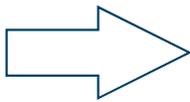
1. Introducción
2. Elementos Constructivos
3. Aceite mineral aislante
4. Sistema de refrigeración
5. Regulación de tensión
6. Protecciones de transformador



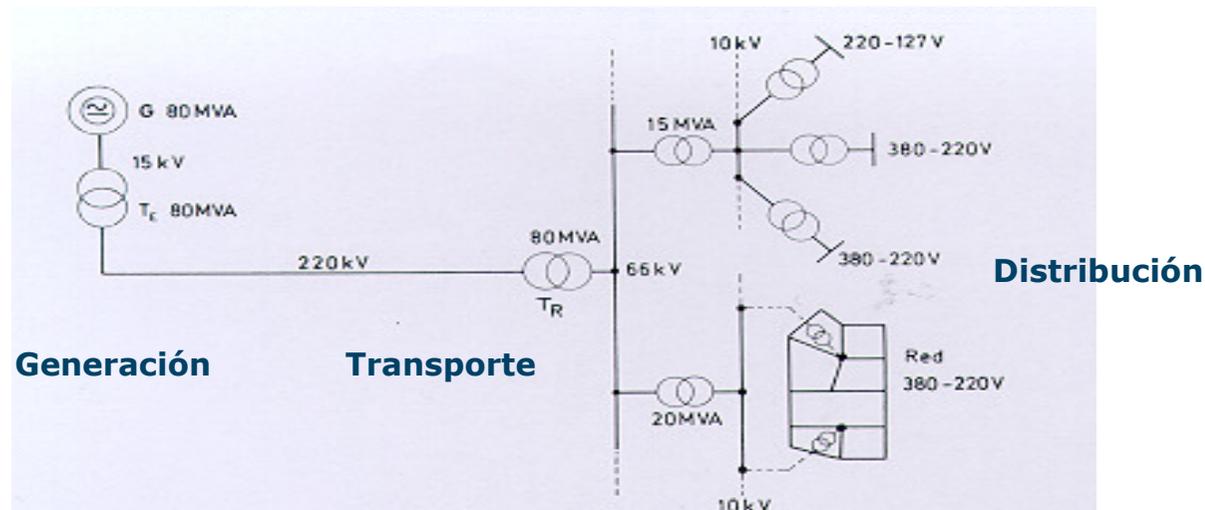
1 Introducción

1. Aspectos Introdutorios

Finalidad de los transformadores:

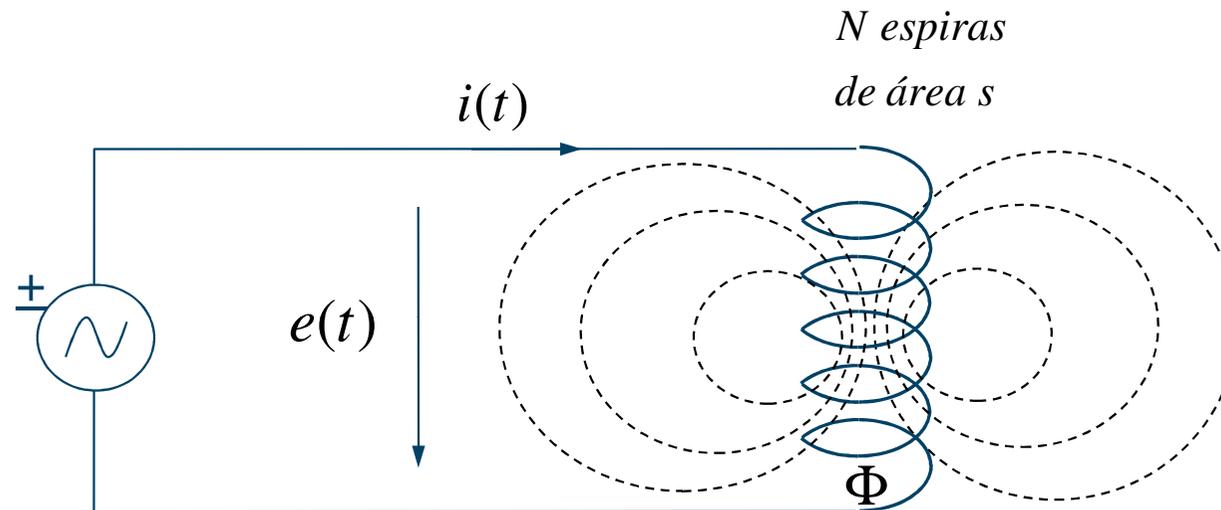


Transmisión de la energía eléctrica desde un sistema con una determinada tensión a otro con otra tensión distinta.



1. Aspectos Introdutorios

Principio de funcionamiento de los transformadores:



$$H = k \cdot N \cdot i \quad B = \mu \cdot H \quad \Phi = B \cdot s$$

$$e(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

$$e(t) = k \cdot \mu \cdot N \cdot s \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

1. Aspectos Introdutorios

Si $e(t)$ es sinusoidal, de frecuencia angular $\omega = 2\pi f$, $i(t)$ también lo será, así como $H(t)$, $B(t)$ y $\Phi(t)$.

En régimen permanente, vendrán representados por sus fasores E , H , B , Φ e I

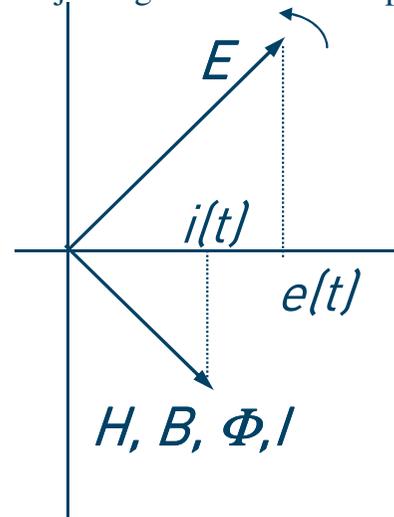
$$H = k \cdot I$$

$$B = \mu \cdot H$$

$$\Phi = N \cdot s \cdot B$$

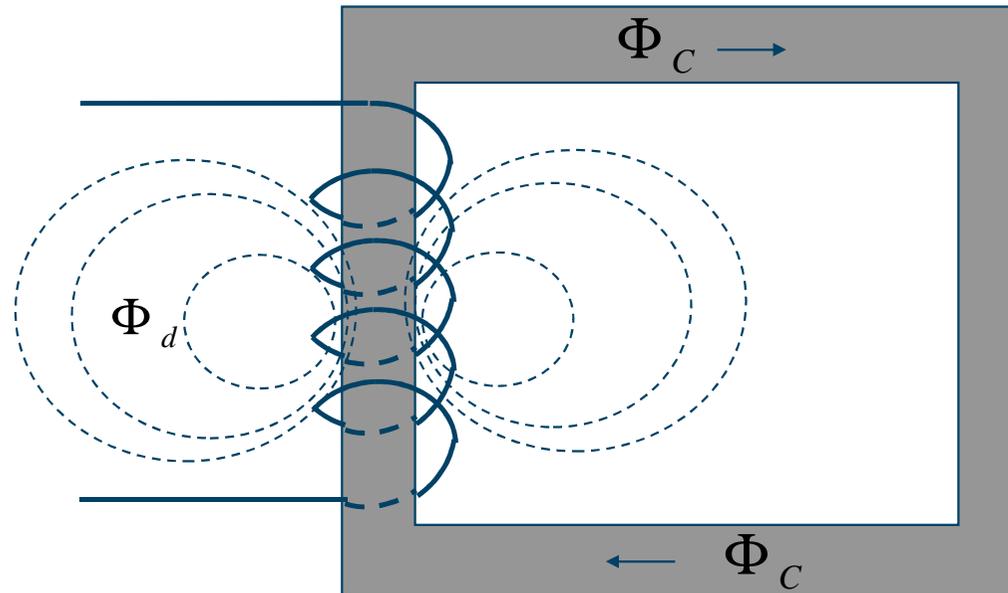
$$E = j \cdot \omega \cdot \Phi$$

- k Constante dependiente de la longitud de la bobina
- μ Permeabilidad del medio en el interior de la bobina
- N Número de espiras
- s Área de la sección
- B Inducción magnética en el interior de la bobina
- Φ Flujo magnético abrazado por la bobina



1. Aspectos Introdutorios

Principio de funcionamiento de los transformadores:

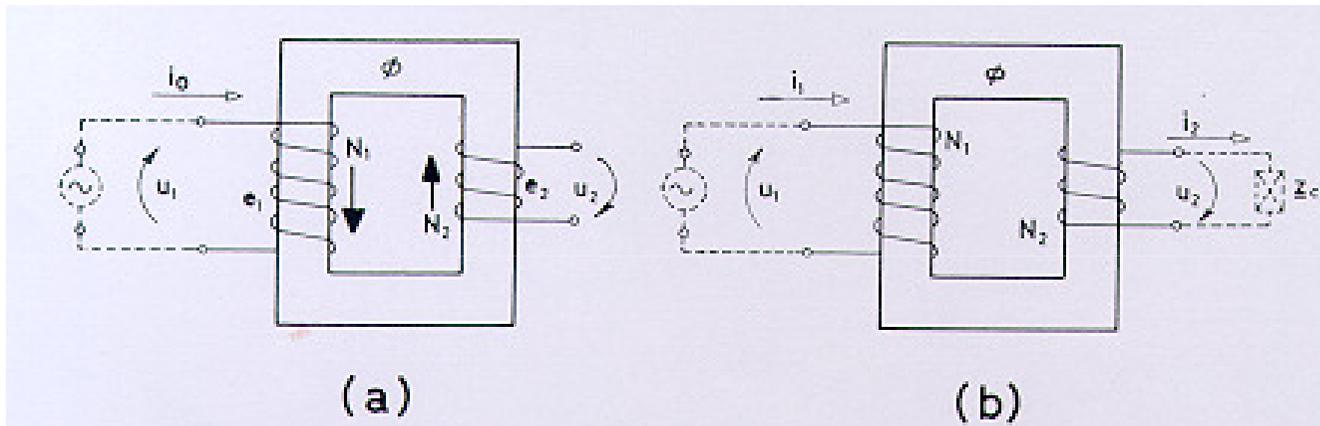


Como $\mu \gg \mu_0$

$$\Phi_C \gg \Phi_d$$

1. Aspectos Introdutorios

Principio de funcionamiento de los transformadores:



Funcionamiento en vacío

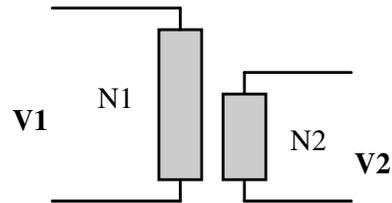
Funcionamiento en carga

Relación de transformación :

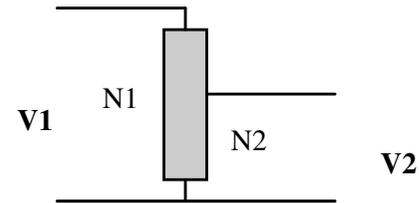
$$r_{tn} = \frac{U_{1,nominal}}{U_{2,vacio}} \approx \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

1. Aspectos Introdutorios

Autotransformadores:



Transformador de arrollamientos separados



Autotransformador

VENTAJAS:

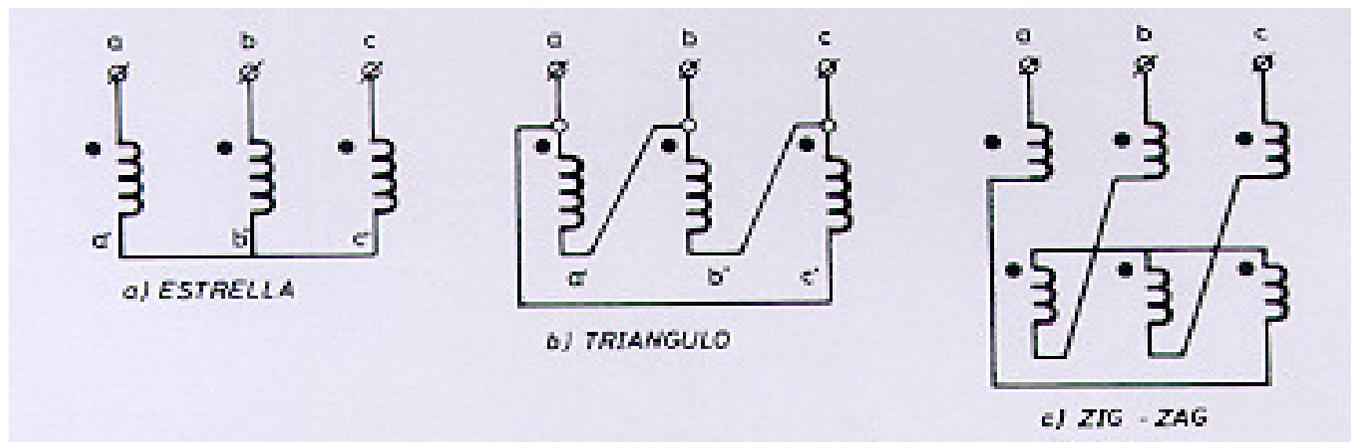
- Menos materiales activos.
- Menores pérdidas.
- Menor tensión de cortocircuito.
- Menor corriente de vacío.

INCONVENIENTES:

- Menor tensión de cortocircuito.
- P.a.t. accidentales en A.T.
- Dificultad trabajo en paralelo.

1. Aspectos Introdutorios

Transformadores trifásicos – Tipos de conexión:



ESTRELLA	Y (lado de A.T.)	y (lado de B.T.)
TRIANGULO	D (lado de A.T.)	d (lado de B.T.)
ZIG-ZAG	Z (lado de A.T.)	z (lado de B.T.)

1. Aspectos Introdutorios

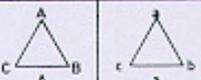
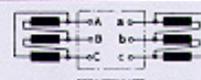
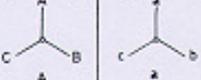
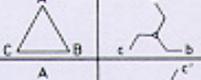
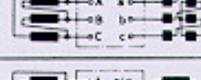
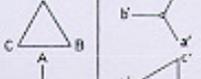
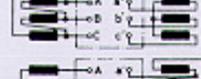
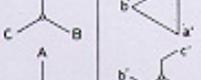
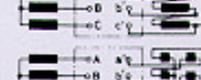
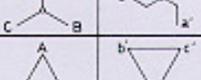
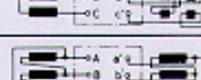
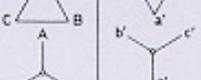
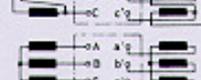
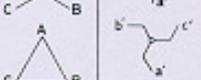
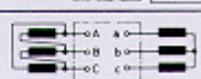
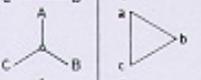
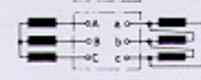
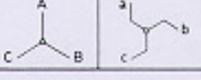
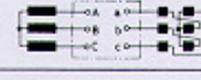
Transformadores trifásicos - Grupos de conexión:

Índice horario:

- Desfase existente, en vacío, entre las tensiones de línea primaria y secundaria en bornes homólogos.
- No se indica en grados sino en múltiplos de 30°.

Grupos de conexión:

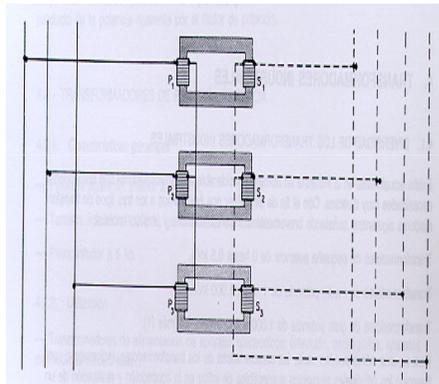
- Caracteriza las conexiones de los dos arrollamientos y el índice horario.

Índice de desfase (horario)	SIMBOLO DE ACOPLAMIENTO o de CONEXIONES	Esquema vectorial		Esquema de conexiones	Relación de transformación (2)
		mayor tensión	menor tensión		
0 (0°)	D d 0				$\frac{N_1}{N_2}$
	(3) Y y 0				$\frac{N_1}{N_2}$
	D z 0				$\frac{2}{3} \frac{N_1}{N_2}$
5 (150°)	(3) D y 5				$\frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}$
	Y d 5				$\frac{\sqrt{3} N_1}{N_2}$
	Y z 5				$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{N_1}{N_2}$
6 (180°)	D d 6				$\frac{N_1}{N_2}$
	Y y 6				$\frac{N_1}{N_2}$
	D z 6				$\frac{2 N_1}{3 N_2}$
11 (330°) (-30°)	D y 11				$\frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}$
	Y d 11				$\frac{\sqrt{3} N_1}{N_2}$
	Y z 11				$\frac{2 N_1}{\sqrt{3} N_2}$

1. Aspectos Introdutorios

Transformadores trifásicos – Formas constructivas:

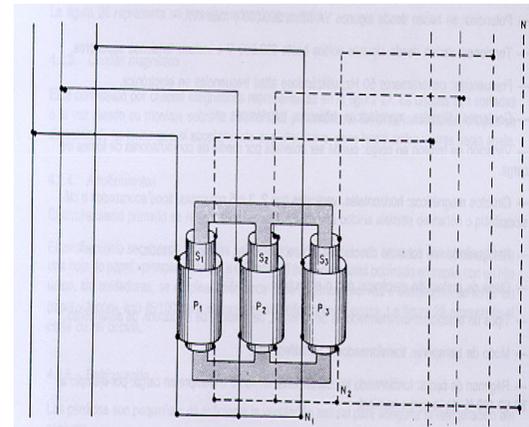
Banco de transformación



VENTAJAS:

- Mayor facilidad de transporte.
- Unica unidad de reserva.
- Facilidad de refrigeración.

Transformadores de núcleo trifásico



VENTAJAS:

- Menor volumen de hierro.
- Menos elementos adicionales.
- Mejor comportamiento en vacío y cargas deseq. (Yy).

2

Elementos constructivos

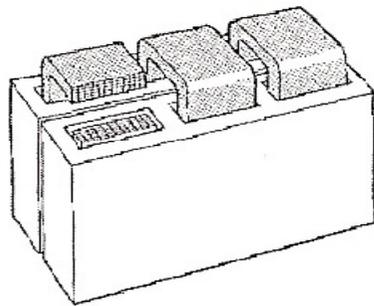
2. Elementos constructivos

Elementos constructivos de un transformador de potencia:

- NÚCLEO FERROMAGNÉTICO
- ARROLLAMIENTOS
- ACEITE MINERAL
- CUBA
- BORNAS
- ACCESORIOS Y PROTECCIONES
- SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
- REGULADOR DE TENSIÓN

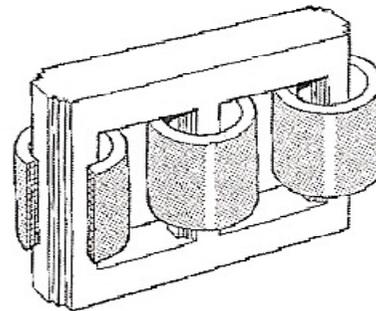
2. Elementos constructivos

Tipos de núcleos ferromagnéticos trifásicos:



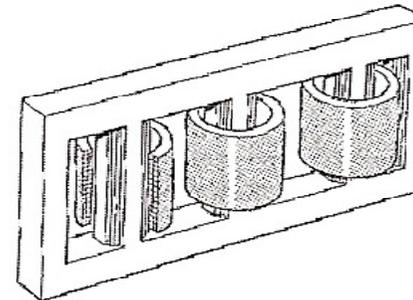
(a) Shell-type transformer

Acorazado



(b) Core-type transformer

De Tres Columnas



(c) Five limb core-type transformer

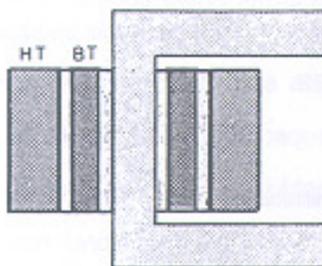
De Cinco Columnas

2. Elementos constructivos

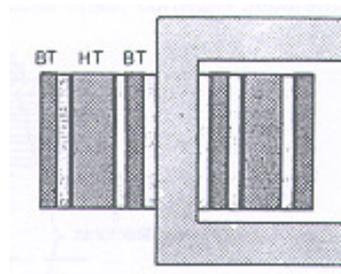
Arrollamientos:

- Nº de ESPIRAS.
- Forma CIRCULAR (mejor resistencia a los cortocircuitos).
- Tipos: CILÍNDRICOS y ALTERNADOS.

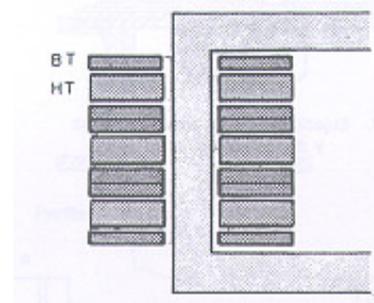
Concéntricos simples



Concéntricos dobles



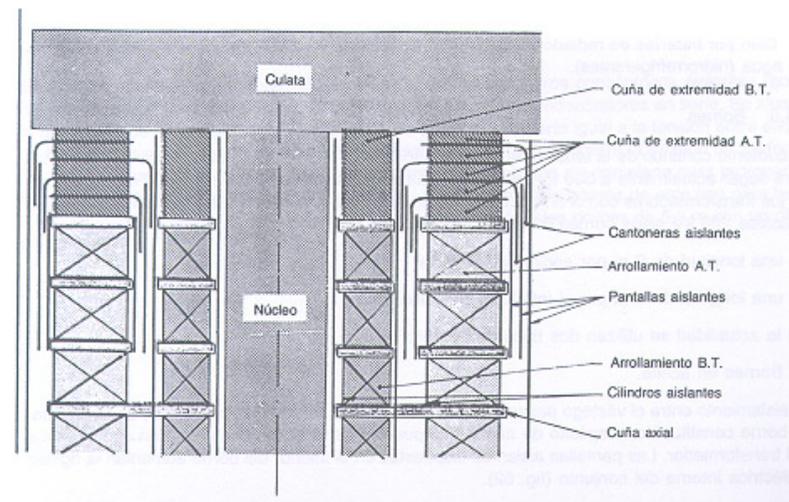
Alternados



2. Elementos constructivos

Aislamientos:

- ENTRE ESPIRAS Y CAPAS: CAPAS DE PAPEL (KRAFT).
- ENTRE BOBINAS: ACEITE en los canales de refrigeración o ANILLOS PRESSBOARD.
- ENTRE ARROLLAMIENTOS: aceite de los canales o TUBOS AISLANTES DE PRESSBOARD.



2. Elementos constructivos

Montaje de núcleo magnético y arrollamientos:

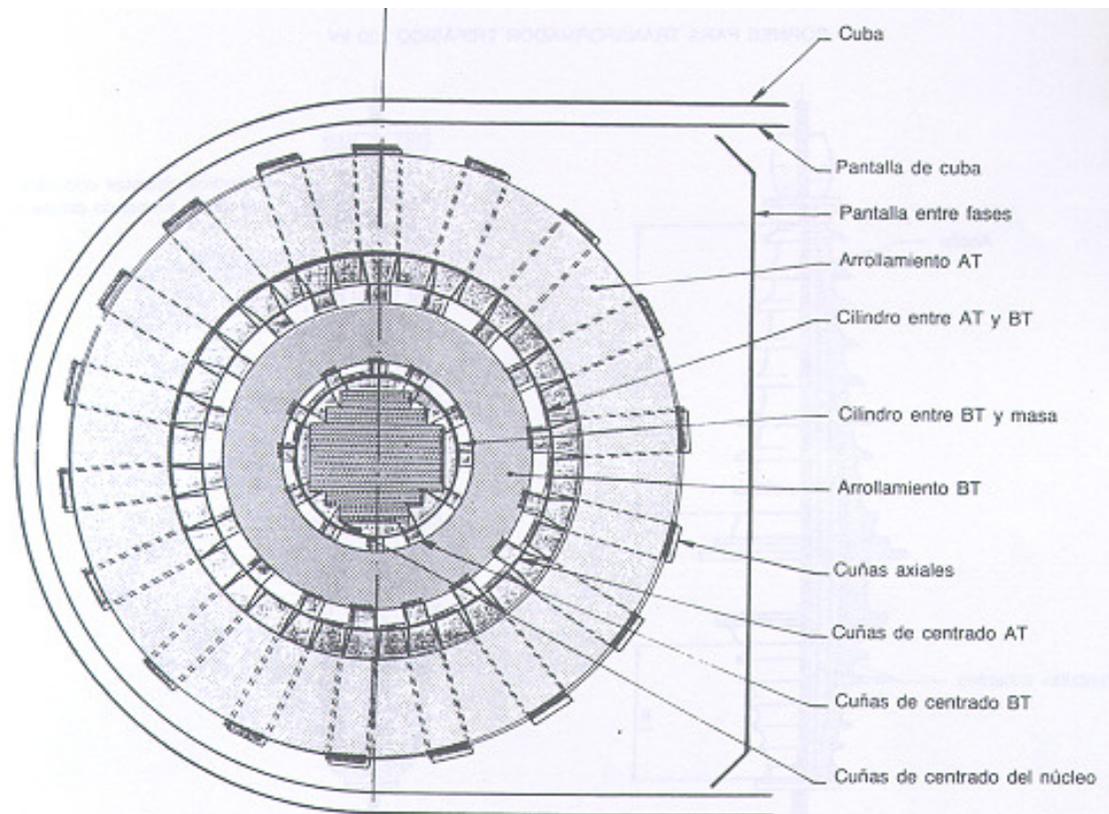


FIGURA 61 Montaje de los arrollamientos AT y BT

2. Elementos constructivos

Montaje de núcleo magnético y arrollamientos:



2. Elementos constructivos

Montaje de núcleo magnético y arrollamientos:



2. Elementos constructivos

Cuba:

- LÁMINAS DE ACERO SOLDADAS + REFUERZOS.
- ELEMENTOS DE IZAJE y ELEVACIÓN, MÉNSULAS, RUEDAS.
- TAPA ATORNILLADA.
- TERMINACIÓN:
 - LIMPIEZA CON GRANALLA DE ACERO.
 - 3 CAPAS DE PINTURA.

2. Elementos constructivos

Bornas o pasatapas:

- FUNCIÓN DE LAS BORNAS -

- SOPORTE.
- DISPOSICIÓN EN DISTANCIA.
- AISLAMIENTO.
- CONEXIÓN A LOS CONDUCTORES.

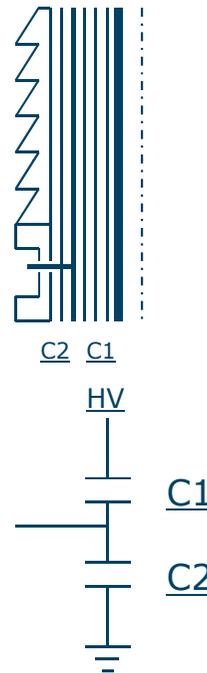
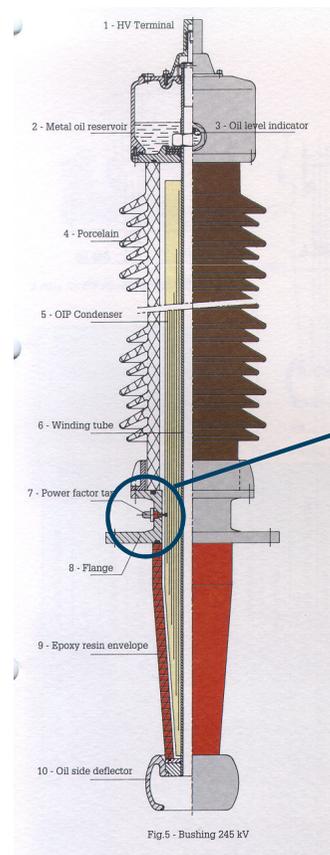
- TIPOS DE BORNAS -

- ACEITE - AIRE.
- ACEITE - ACEITE.
- ACEITE - SF6.



2. Elementos constructivos

Constitución física de las bornas:



1. Terminal de alta tensión.
2. Depósito metálico de aceite.
3. Indicador del nivel de aceite.
4. Porcelana.
5. Condensadores de papel impregnado en aceite.
6. Tubo conductor.
7. Toma capacitiva.
8. Brida.
9. Envoltura de resina epoxy.
10. Deflector.

2. Elementos constructivos

Accesorios y elementos de protección:

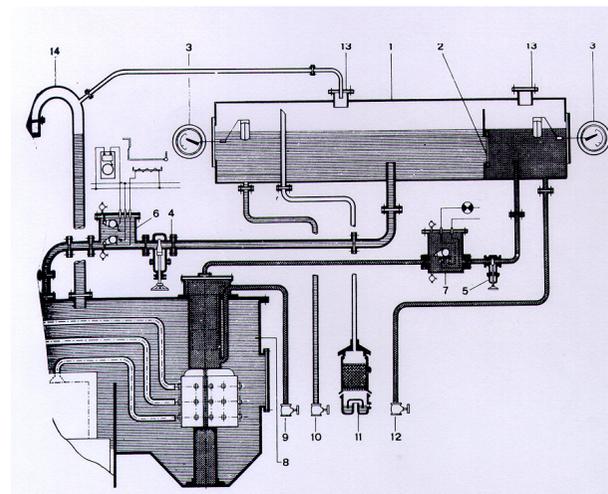
- DEPÓSITO CONSERVADOR.
- DESECADOR DE AIRE.
- INDICADOR DE NIVEL DE ACEITE.
- CHIMENEA / VÁLVULA DE EXPANSIÓN.
- RELÉS BUCHHOLZ y JANSEN.
- IMAGEN TÉRMICA.
- TERMÓMETROS y TERMOSTATOS.
- VÁLVULAS de LLENADO y VACIADO, de PURGA, etc.
- ARMARIO DE CONTROL.

2. Elementos constructivos

Depósito Conservador:

Funciones:

- MANTENER CONSTANTE EL NIVEL DE ACEITE.
- IMPEDIR EL ENVEJECIMIENTO DEL ACEITE.
- IMPEDIR LA ABSORCIÓN DE HUMEDAD.



2. Elementos constructivos

Desecador de aire:

- SECA EL AIRE QUE ENTRA EN EL TRASFORMADOR.
- GRAVILLA DE GEL DE SÍLICE
(absorbe hasta un 40% de su peso en HUMEDAD).
- JUNTA LÍQUIDA para evitar contacto directo con la ATMÓSFERA.

 ESTADO ACTIVO

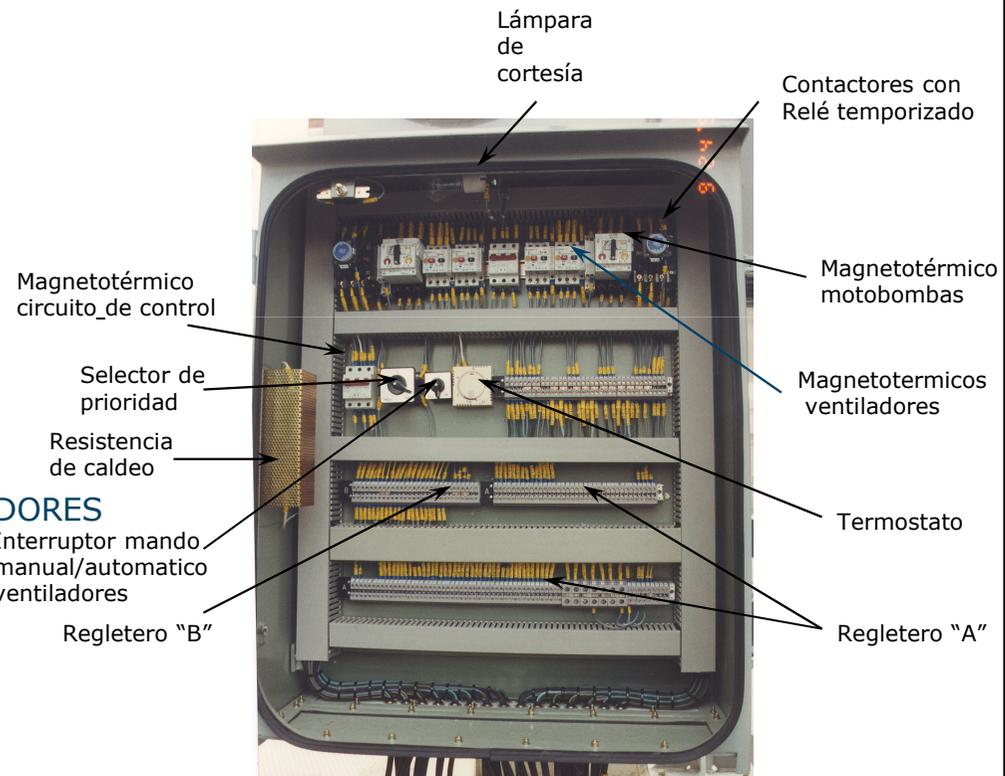
 SATURADA



2. Elementos constructivos

Armario de Control:

- CENTRALIZACIÓN DE LOS CIRCUITOS.
- SEÑALIZACIONES DE ALARMA Y DISPARO.
- ACCIONAMIENTO DE VENTILADORES Y MOTOBOMBAS.



3

Aceite mineral aislante

3. Aceite mineral aislante

Funciones del aceite mineral:

a) AISLANTE

- ✓ TENSIÓN DE RUPTURA ALTA
- ✓ TANGENTE DE DELTA BAJA

b) REFRIGERANTE

- ✓ VISCOSIDAD BAJA
- ✓ DENSIDAD BAJA
- ✓ PUNTO DE CONGELACIÓN BAJO
- ✓ PUNTO DE INFLAMACIÓN ALTO

c) PROTECTOR DEL AISLAMIENTO CELULÓSICO

d) Elemento INDICADOR DE INCIDENCIAS internas en el transformador

3. Aceite mineral aislante

Principales enemigos del aceite mineral:

- HUMEDAD.
- ESTRÉS ELÉCTRICO.
- TEMPERATURA.
- OXÍGENO.
- PARTICULAS Y PRODUCTOS POLARES.



*La conjunción de estos factores conduce al deterioro de las propiedades aislantes del aceite básicamente mediante procesos de **envejecimiento-oxidación**.*

3. Aceite mineral aislante

Estructura aislante del transformador:

- PAPEL AISLANTE IMPREGNADO EN ACEITE.
- CARTÓN IMPREGNADO EN ACEITE.
- ACEITE.

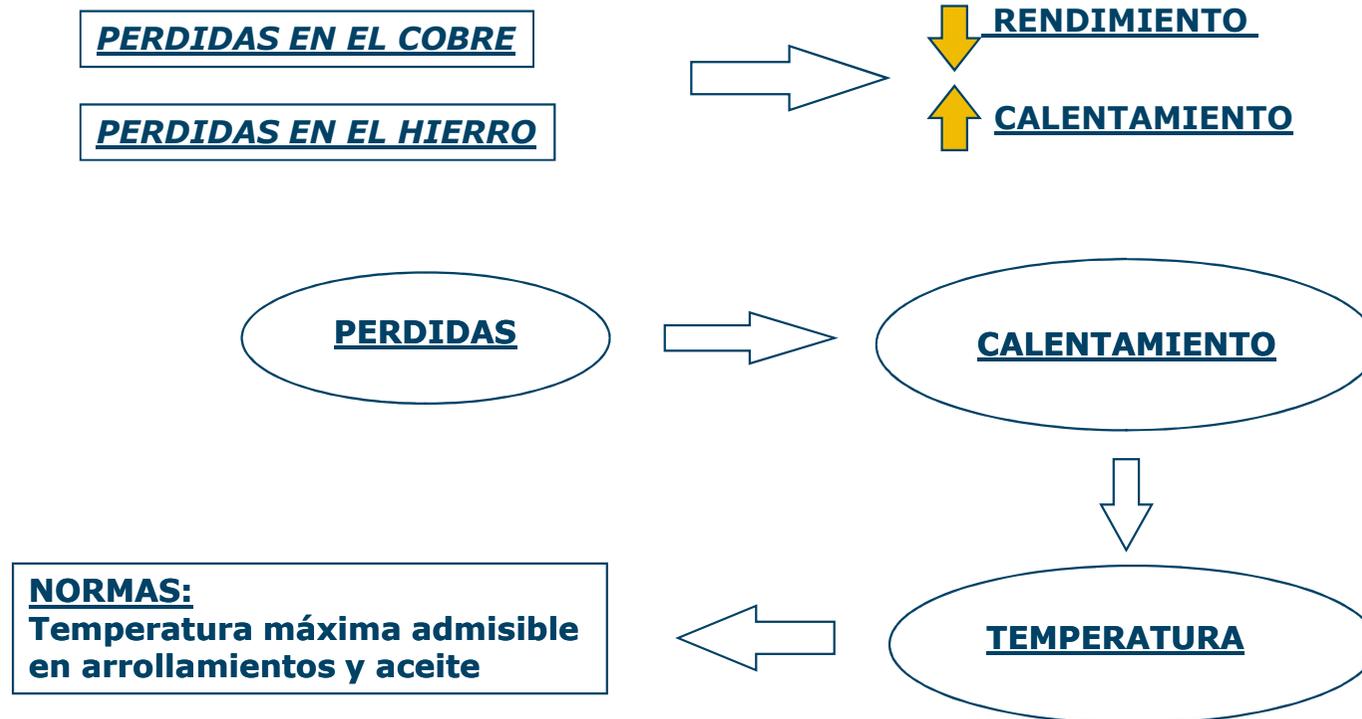


4

Sistema de refrigeración

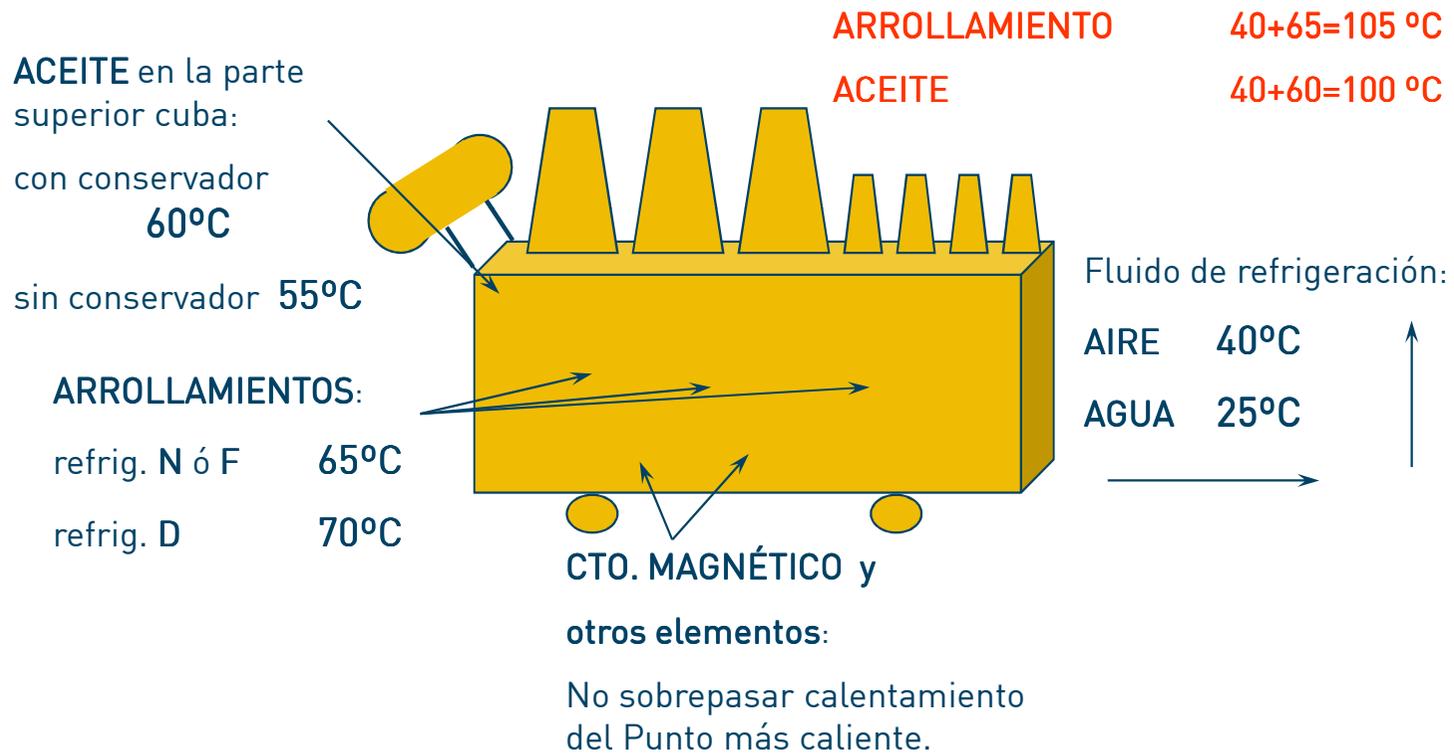
4. Sistema de refrigeración

Funciones del sistema de refrigeración:



4. Sistema de refrigeración

Calentamientos:



4. Sistema de refrigeración

Designación del sistema de refrigeración:

NATURALEZA DEL MEDIO

•ACEITE NATURAL O LÍQUIDO AISLANTE SINTETICO	O
•LÍQUIDO AISLANTE SINTÉTICO NO INFAMABLE	L
•AGUA	W
•AIRE	A
•GAS	G

TIPO DE CIRCULACIÓN

•NATURAL	N
•FORZADA (ACEITE NO DIRIGIDO)	F
•FORZADA ACEITE DIRIGIDO	D

DESIGNACIÓN:

1ª letra **NATURALEZA MEDIO PRIMARIO**

2ª letra **TIPO CIRCULACIÓN MEDIO PRIMARIO**

3ª letra **NATURALEZA MEDIO SECUNDARIO**

4ª letra **TIPO CIRCULACIÓN MEDIO SECUNDARIO**

ONAN/ONAF 70/100%

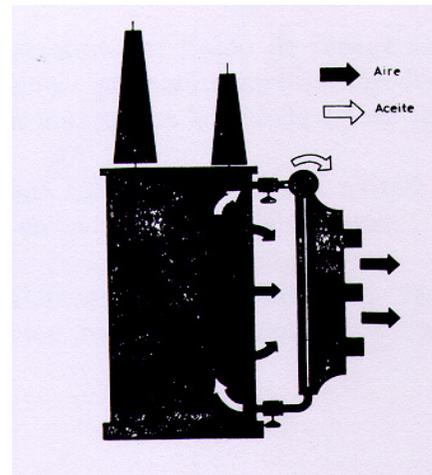
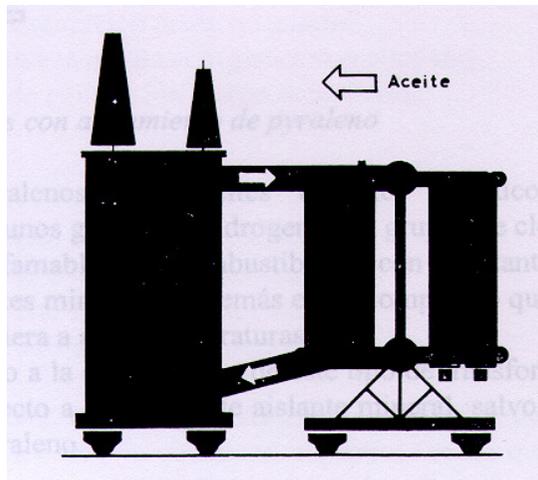
OFAF

AN

4. Sistema de refrigeración

Funcionamiento del sistema de refrigeración:

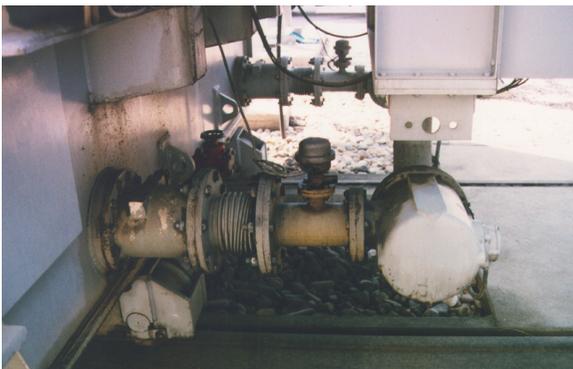
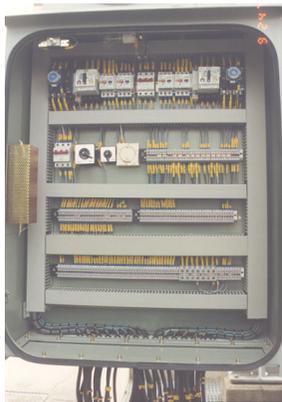
- Se EVACÚA el AIRE por los RADIADORES.
- Para ACELERAR la TRANSMISIÓN:
 - VENTILACIÓN FORZADA.
 - AERORREFRIGERANTES.
 - MOTOBOMBAS.



4. Sistema de refrigeración

Elementos del sistema de refrigeración:

- CUBA
- RADIADORES
- VENTILADORES
- AERORREFRIGERANTES
- MOTOBOMBAS
- INDICADORES DE CIRCULACIÓN DE ACEITE
- ARMARIO DE CONTROL DE REFRIGERACIÓN

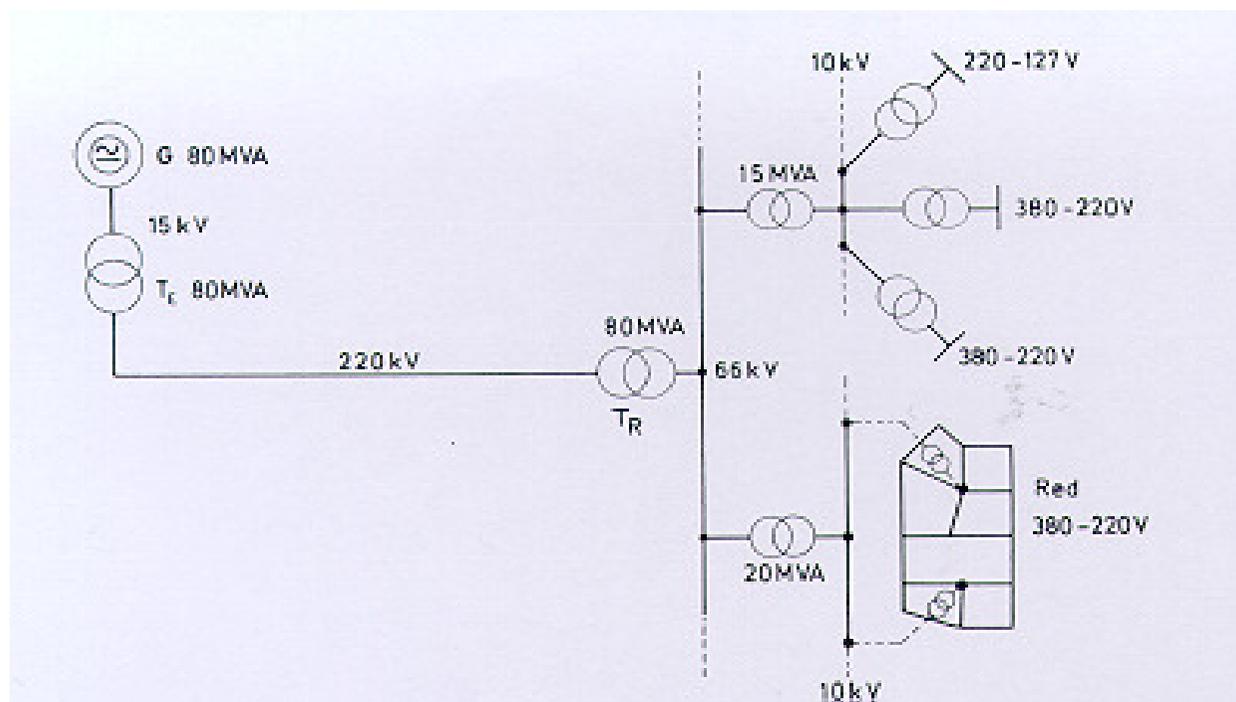


5

Regulación de tensión

5. Regulación de tensión

Necesidad de la regulación de tensión:

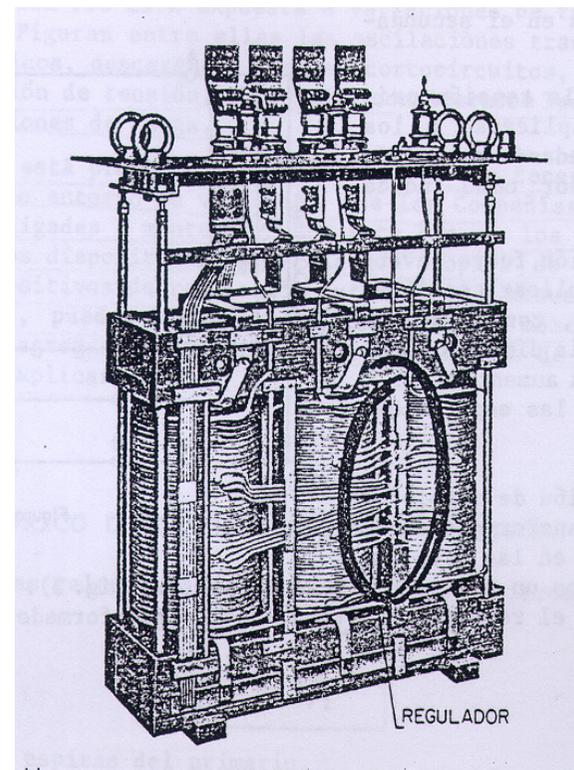


5. Regulación de tensión

Tipos de regulación de tensión:

(a) Regulación en vacío

No debe existir circulación de corriente por el regulador en el momento de la conmutación

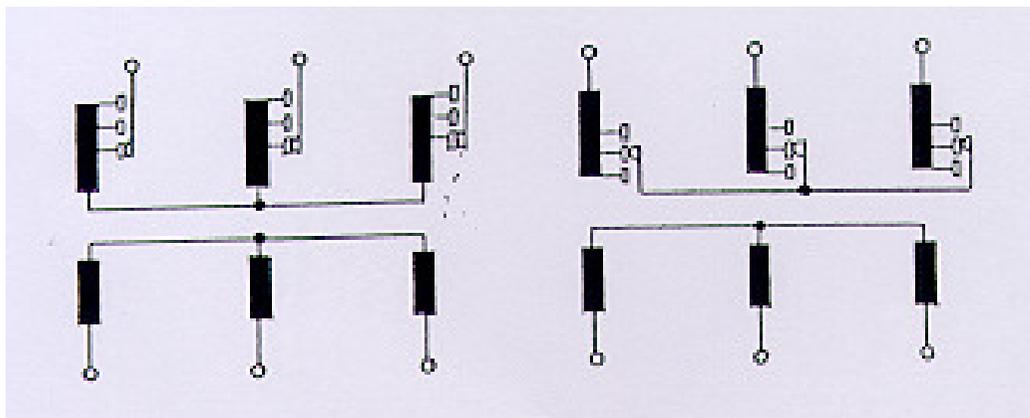


5. Regulación de tensión

Tipos de regulación de tensión:

(b) Regulación bajo carga

Se realiza la variación de tensión sin interrupción del servicio

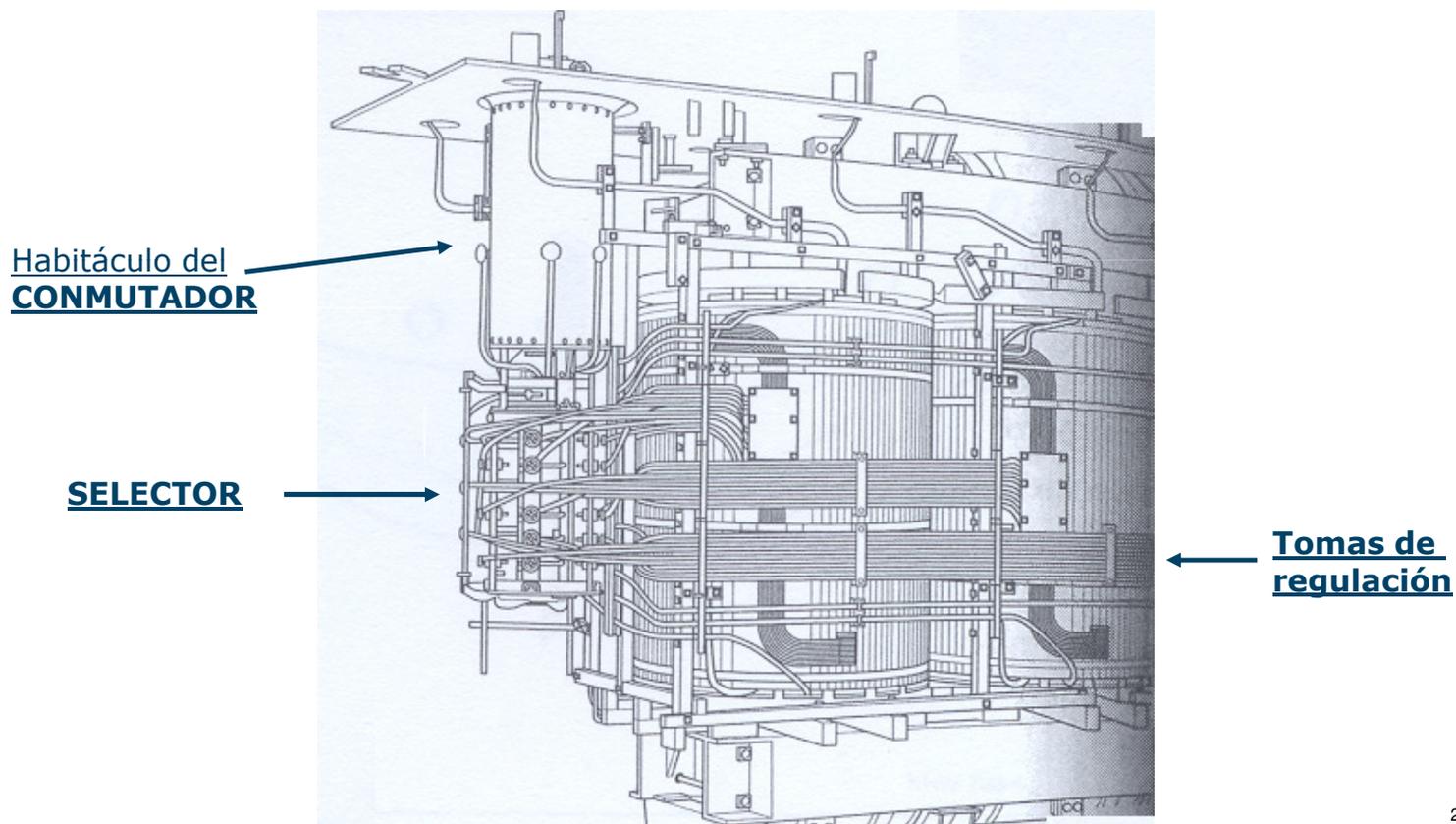


Regulación por fase

Regulación por corrimiento de neutro

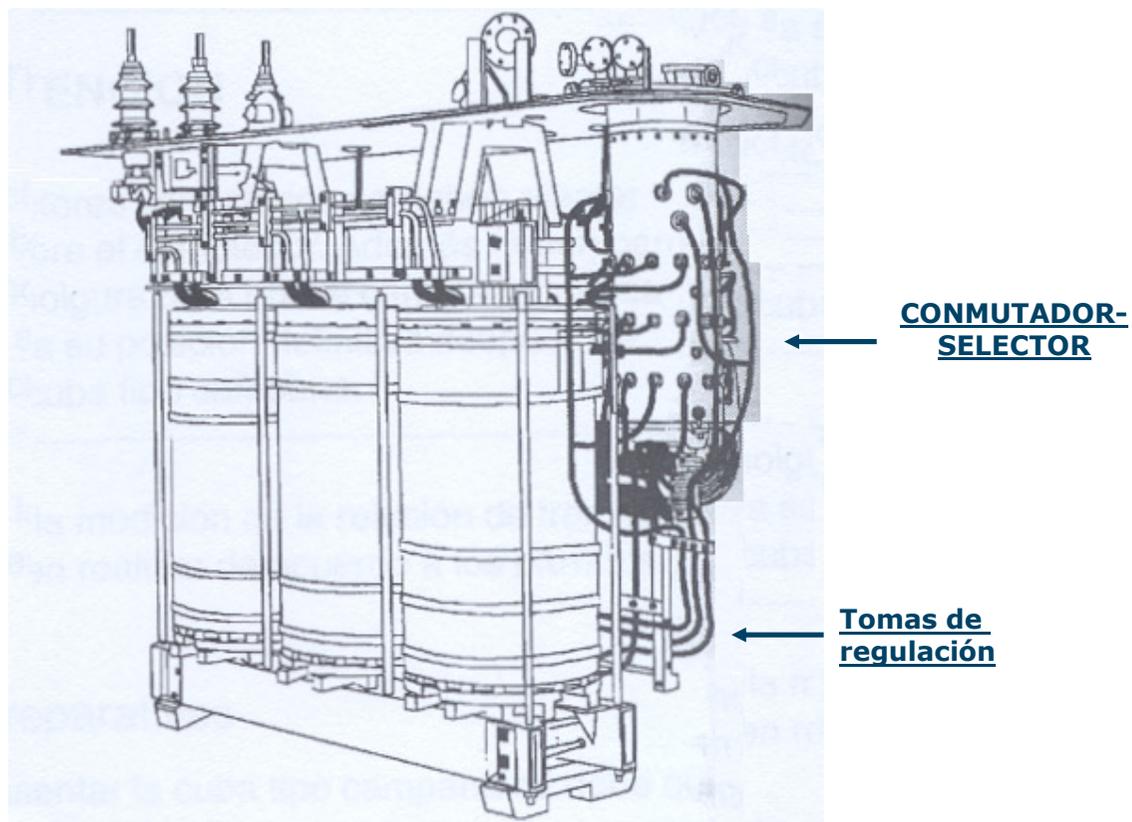
5. Regulación de tensión

Disposición física de un cambiador de tomas en carga:



5. Regulación de tensión

Disposición física de un cambiador de tomas en carga:



5. Regulación de tensión

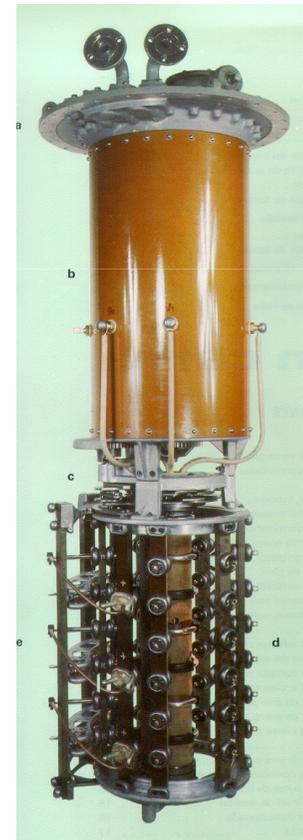
Disposición física de un cambiador de tomas en carga:



5. Regulación de tensión

Elementos principales de un cambiador de tomas en carga:

- CONMUTADOR O RUPTOR
- SELECTOR DE TOMAS
- DEPÓSITO DE ACEITE DEL CONMUTADOR
- CABEZA DEL REGULADOR
- ARMARIO DE ACCIONAMIENTO O MANDO
- TRANSMISIÓN



5. Regulación de tensión

Elementos principales de un cambiador de tomas en carga:

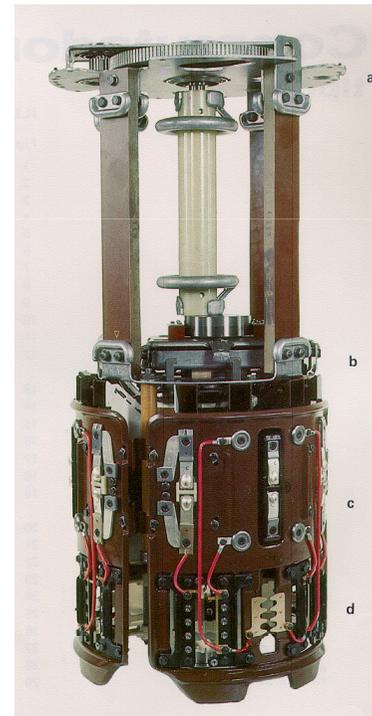
CONMUTADOR:

Realiza la conmutación (paso de una toma a otra) sin interrupción de servicio



ESPIRAS CORTOCIRCUITADAS

- Conmutación breve
- Resistencias transitorias
- Aceite independiente

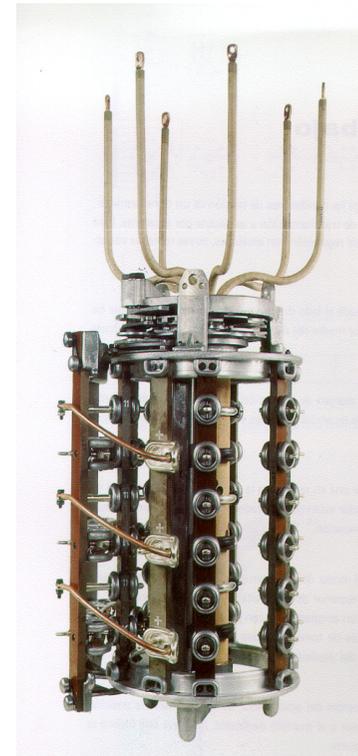


5. Regulación de tensión

Elementos principales de un cambiador de tomas en carga:

SELECTOR :

- _Conduce la corriente de la toma en servicio
- Selecciona la próxima toma

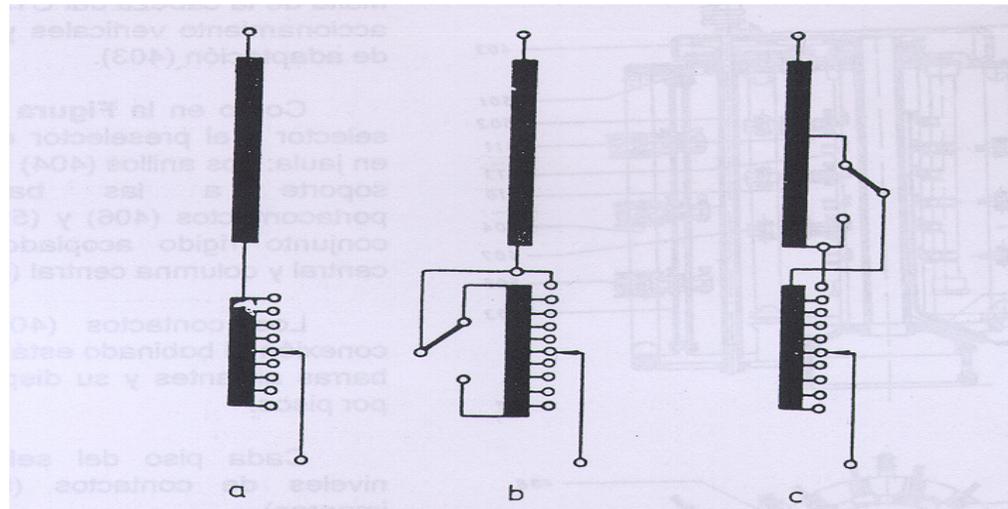


5. Regulación de tensión

Elementos principales de un cambiador de tomas en carga:

PRESELECTOR

Conecta bobinado pral. con bobinado de regulación
permitiendo duplicar el nº posiciones



sin preselector

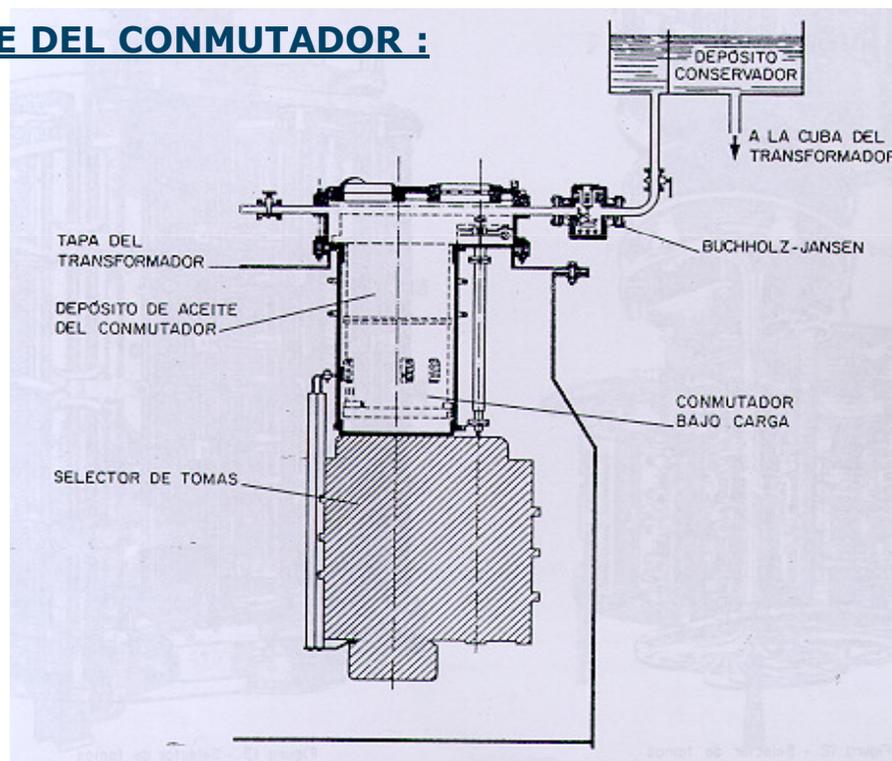
inversor

gran escalón

5. Regulación de tensión

Elementos principales de un cambiador de tomas en carga:

DEPOSITO DE ACEITE DEL CONMUTADOR :

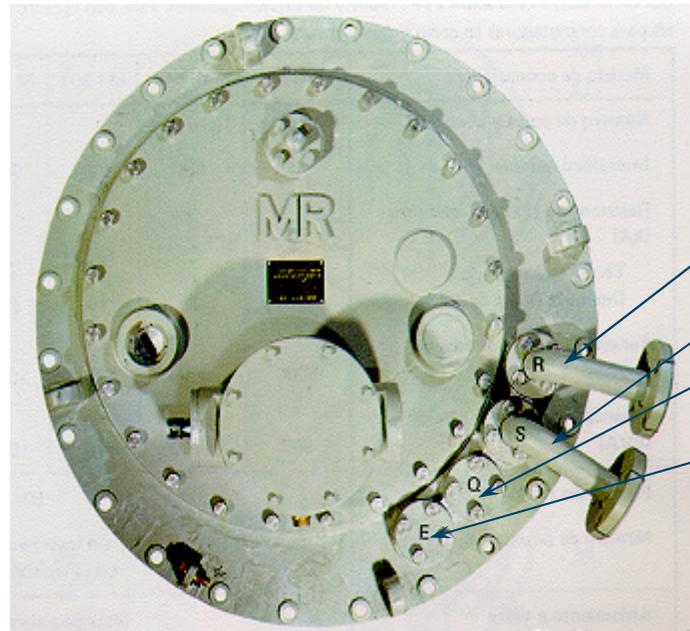


5. Regulación de tensión

Elementos principales de un cambiador de tomas en carga:

CABEZA DEL REGULADOR :

Contiene el mecanismo de acumulación de energía y el accionamiento del selector



Depósito (BJ)

Fondo (vaciado)

Retorno aceite (filtrado)

Comunicación cuba

5. Regulación de tensión

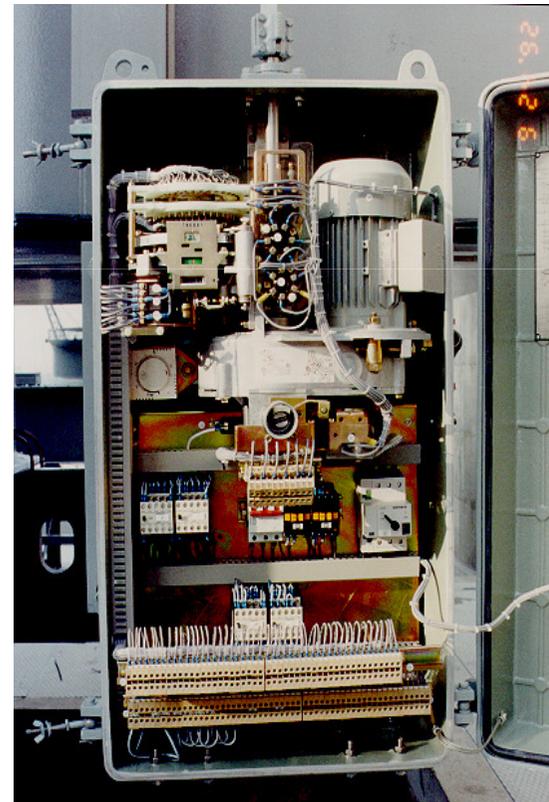
Elementos principales de un cambiador de tomas en carga:

ARMARIO DE ACCIONAMIENTO :

- Motor eléctrico
- Reductor de velocidad
- Indicador de posiciones
- Contactores de arranque del motor
- Relés intermedios de enclavamiento
- Contador de maniobras
- Pulsadores de mando
- Resistencias de caldeo y termostato
- Regleta de salida de cables

Funcionamiento:

- Automático (SCADA-PANTAM)
- Manual (local-distancia)
- Emergencia (manivela)



5. Regulación de tensión

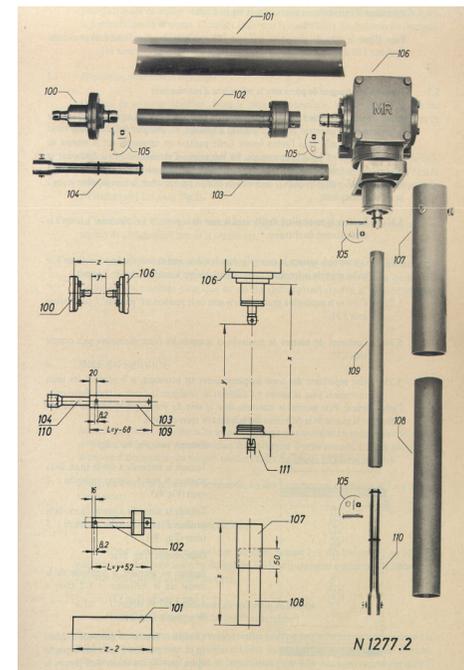
Elementos principales de un cambiador de tomas en carga:

TRANSMISION :

- Motor eléctrico
- Reductor de velocidad
- Eje de transmisión vertical
- Caja de reenvío en ángulo
- Eje de transmisión horizontal



Desregulaciones
Asincronismos



6

Protecciones de transformador

6. Protecciones de transformador

Tipos de protecciones de un transformador:

PROPIAS

TERMÓMETRO	26-1
TERMOSTATO	26-2
IMAGEN TÉRMICA	49
INDICADOR NIVEL DE ACEITE	63N
LIBERADOR DE PRESIÓN	63L
RELÉ BUCHHOLZ	63B
RELÉ BUCHHOLZ-JANSEN	63-BJ

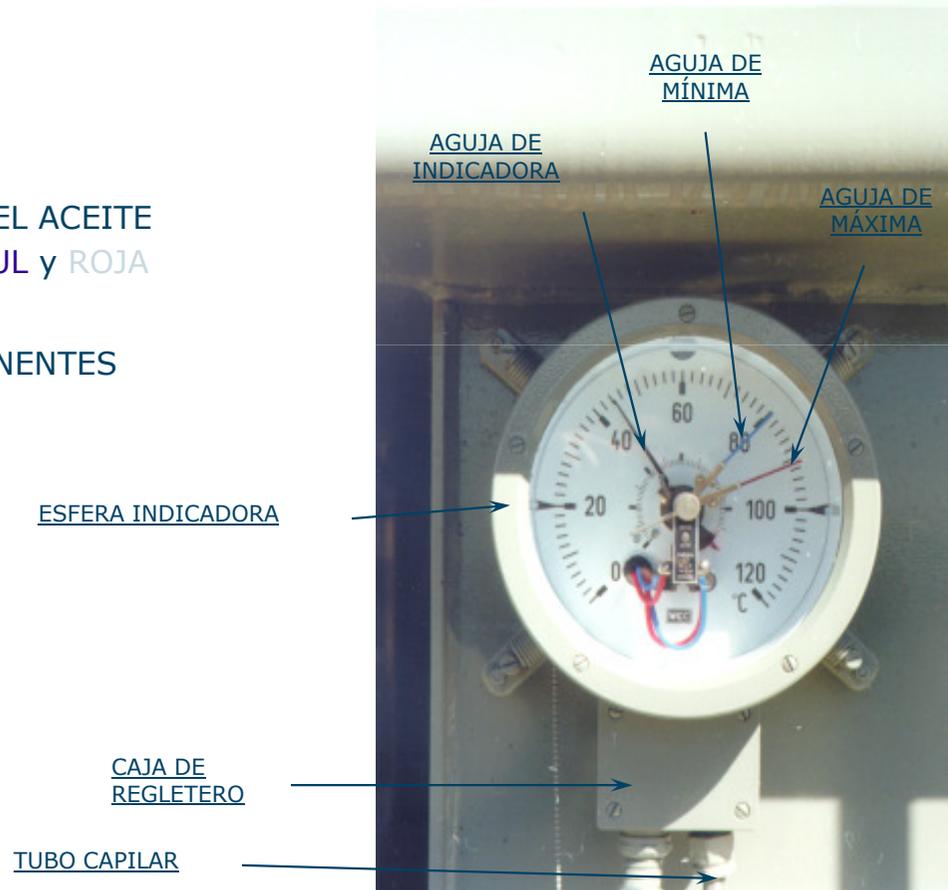
EXTERNAS

<i>DIFERENCIAL</i>	<i>87</i>
<i>SOBREINTENSIDAD</i>	<i>50-51</i>

6. Protecciones de transformador

Termómetro:

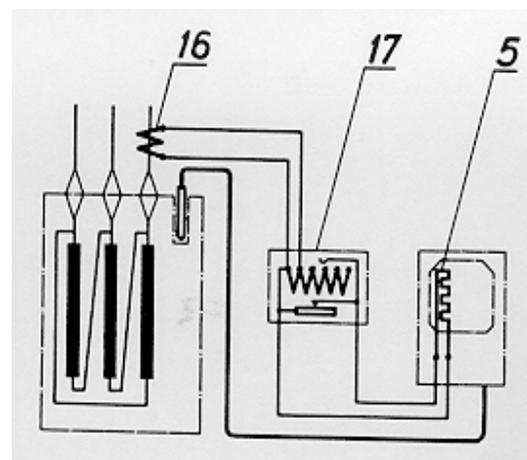
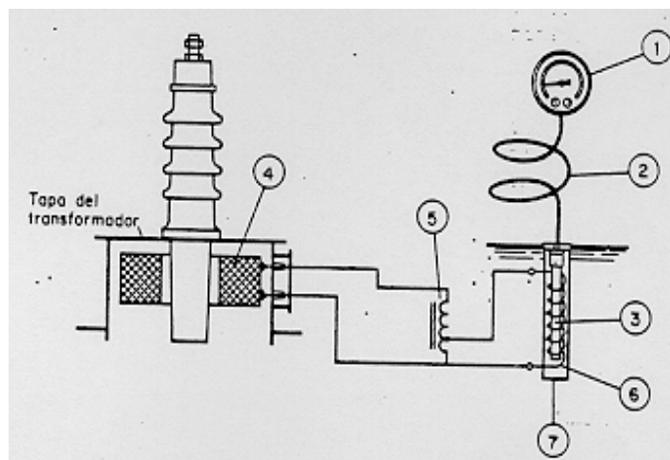
- MIDE TEMPERATURA DEL ACEITE
- 3 AGUJAS: NEGRA, AZUL y ROJA
- SEÑAL DE ALARMA
- SOBRECARGAS PERMANENTES



6. Protecciones de transformador

Imagen térmica:

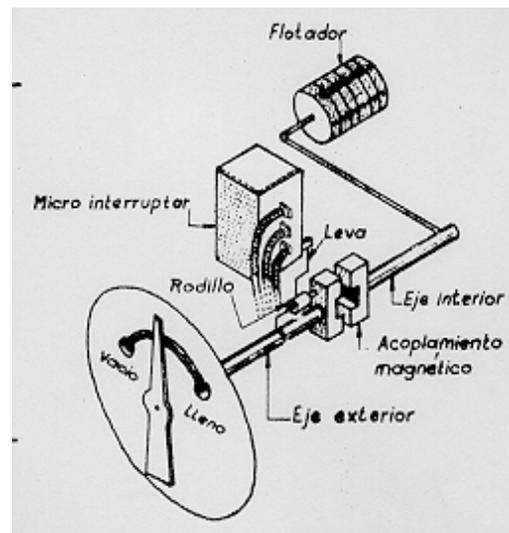
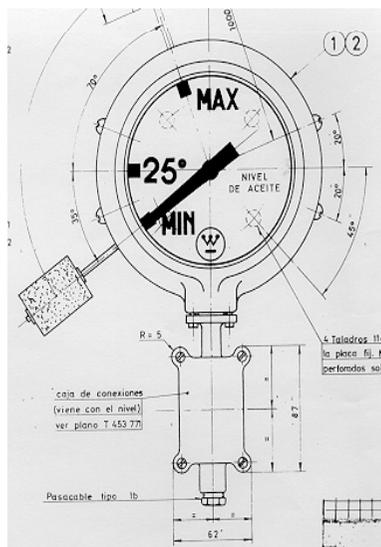
- TEMPERATURA DEL ACEITE + INTENSIDAD ARROLLAMIENTOS
- ACCIONAMIENTO VENTILADORES / MOTOBOMBAS
- SEÑAL DE ALARMA y DISPARO (SOBRECARGAS PERMANENTES)
- BUSHING EN BORNAS



6. Protecciones de transformador

Indicador de nivel de aceite:

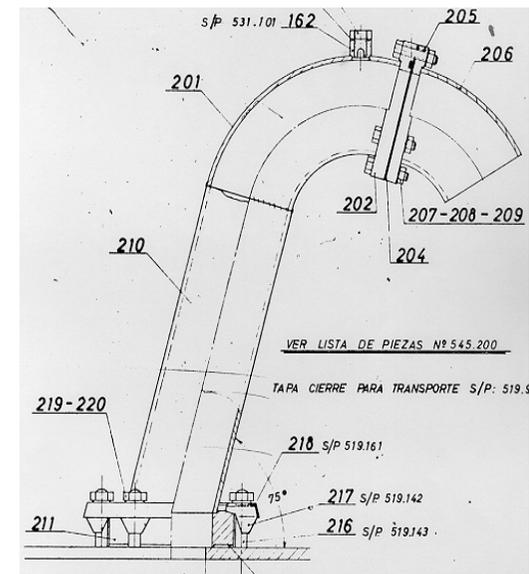
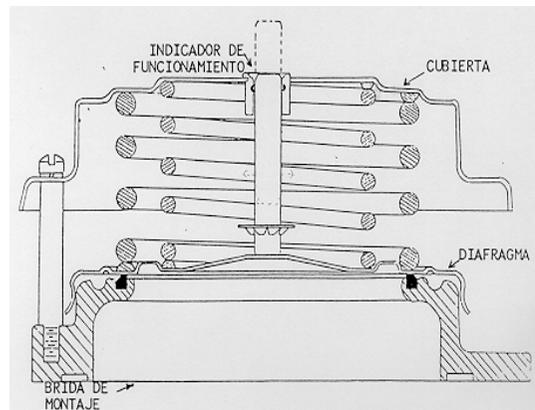
- NIVEL DE ACEITE EN CUBA y CONMUTADOR
- TUBO DE CRISTAL / NIVEL MAGNÉTICO
- SEÑAL DE ALARMA PARA BAJO NIVEL DE ACEITE



6. Protecciones de transformador

Liberador de presión:

- CHIMENEA / VÁLVULA LIBERADORA DE PRESIÓN
- ELIMINA SOBREPRESIONES
(EVAPORACIÓN+CALENTAMIENTO DEL ACEITE POR CORTOCIRCUITOS o DERIVACIONES)
- SEÑAL DE ALARMA



6. Protecciones de transformador

Relé Buchholz:

- DETECTA DESPRENDIMIENTOS DE GASES
- CALENTAMIENTOS LOCALES
- SEÑAL DE ALARMA y DISPARO
- RECUPERACIÓN DE GASES
- ANTISÍSMICOS



DESCOMPOSICIÓN GASES
COMBUSTIÓN AISLANTES



TIPOS DE FALTAS:

- ROTURA CONEXIÓN
- DEFECTOS AISLAMIENTO
- CORTOCIRCUITOS / SOBRECARGAS
BRUSCAS
- DESCARGAS PARCIALES EN ACEITE
- MAL ESTADO JUNTAS NÚCLEO-CULATAS
o UNIÓN CHAPAS MAGNÉTICAS

COLOR GAS

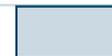
ORIGEN



PAPEL o CARTÓN



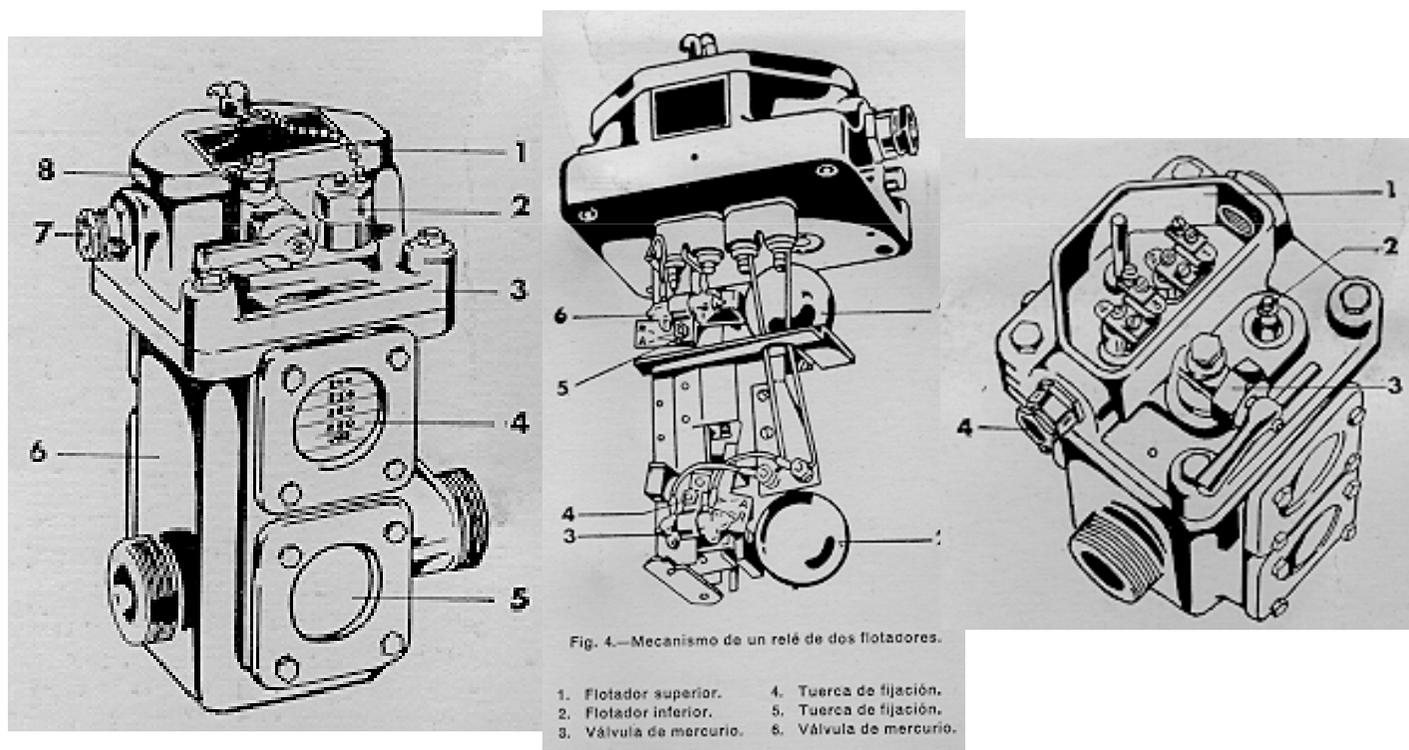
MADERA



ACEITE

6. Protecciones de transformador

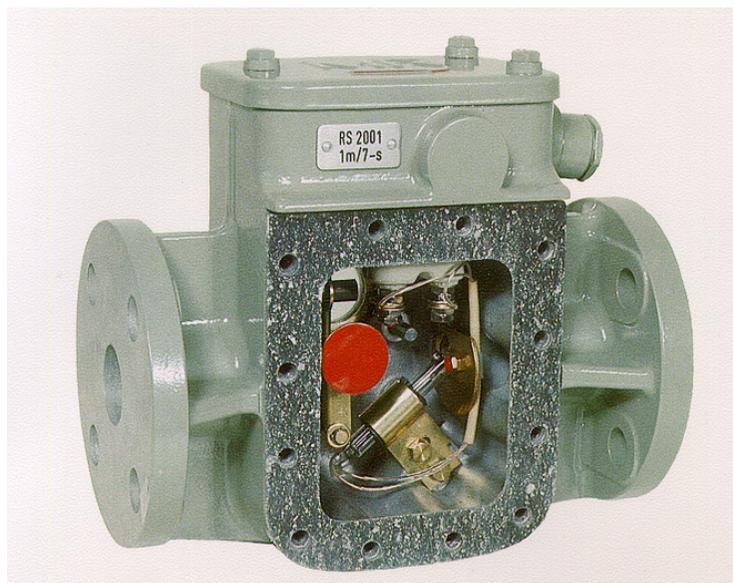
Relé Buchholz:



6. Protecciones de transformador

Relé Buchholz-Jansen:

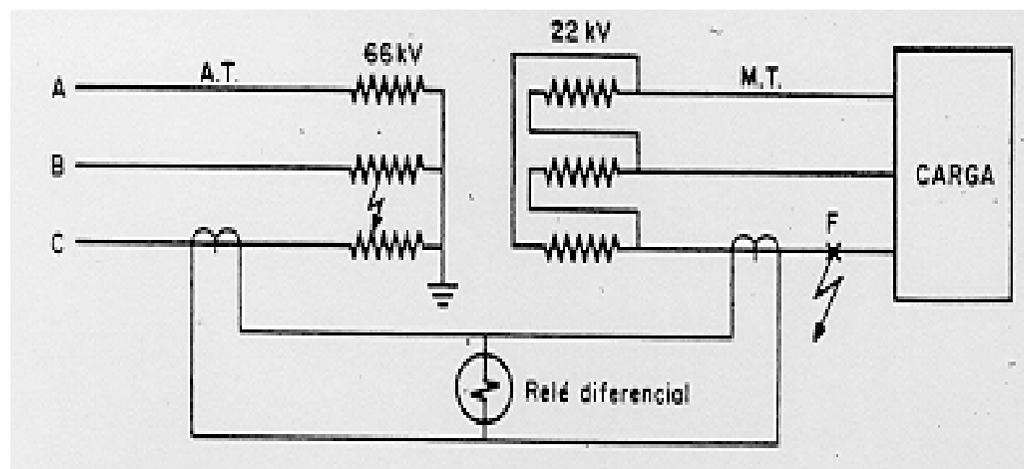
- __PARA EL REGULADOR TIPO JANSEN
- DETECTA CIRCULACIÓN DEL ACEITE POR SOBREPRESIONES
- SEÑAL DE **DISPARO**
- DISPOSITIVO DE COMPUERTA



6. Protecciones de transformador

Protección diferencial:

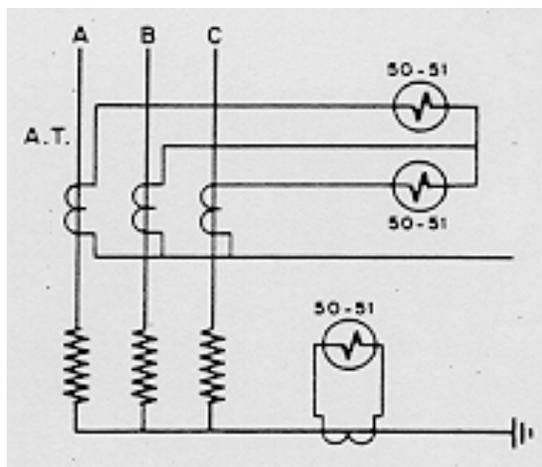
- DETECTA CORTOCIRCUITOS Y DERIVACIONES A MASA
- PPO. FUNCIONAMIENTO: VECTOR DIFERENCIA DE INTENSIDADES
- SEÑAL DE **DISPARO**
- TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD



6. Protecciones de transformador

Protección de sobreintensidad:

- DETECTA SOBREINTENSIDADES
- PROTECCIÓN DE "RESERVA" o SEGUNDA PROTECCIÓN
- SEÑAL DE ALARMA
- TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD
- **50** Instantáneo **51** Retardado (caract. tiempo constante o inversa)



8. EQUIPOS MOVILES

EQUIPOS MOVILES.



APLICACIONES

- Restablecimiento rápido del servicio ante situaciones de emergencia.
- Garantía de la continuidad del suministro durante mantenimientos programados o reparaciones/ampliaciones de subestaciones convencionales.
- Apoyo en puntas.
- Retrasar inversiones en función del ritmo de crecimiento de la demanda.
- Atención inmediata para petición de suministro urgente.

CONTINUIDAD DEL SUMINISTRO y ADAPTACIÓN A LA DEMANDA

Tipología equipos móviles



- **Parque Móvil**

- Equipo fácilmente transportable que incluye aparamenta blindada/convencional entre 15 y 132 kV, desde 1 posición a 9 posiciones (línea/trafo) y su correspondiente armario de protección UFD. Precisa alimentación auxiliar de corriente alterna y canal de comunicación externo, lo que implica su uso en el interior de subestación.

- **Transformador Móvil**

- Equipo fácilmente transportable que incluye transformador de potencia bi-tensión tanto en AT (132-66 kV) como en MT (20-15 kV), de 15 a 30 MVA, transformador de servicios auxiliares, cables de potencia del puente de trafo MT y armario de protección UFD de transformador AT/MT.

Tipología equipos móviles



- **Subestación Móvil**

- Equipo fácilmente transportable que incluye parque móvil de 45 kV, parque móvil de 15 kV y transformador móvil 45/15 kV , de 15 a 25 MVA, formando un único equipo funcional interconectado eléctricamente entre sí.
- Incluye armario de protección UFD para cada posición 45 y 15 kV, así como alimentación propia de corriente alterna, continua y a nivel de comunicaciones, posibilidad de comunicación V-SAT, lo que le confiere una característica de autonomía que posibilita su implantación fuera de subestación.

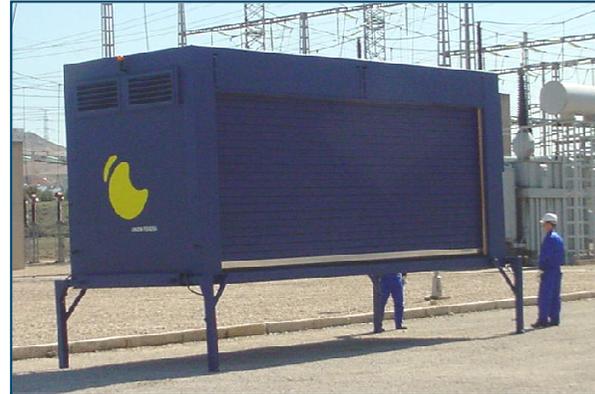
Posición móvil de maniobra 132-66 kV



Transformador móvil 132-66/20-15 kV 15 MVA



Parque móvil 20-15 kV



Parque móvil 20-15 kV



Parque móvil 45 kV



Parque móvil 45 kV



Parque móvil 132-66 kV



Subestación móvil 45/15 kV 15 MVA



Subestación móvil 45/15 kV 25 MVA

UNIDAD MÓVIL DE TRANSFORMACIÓN



PARQUE MÓVIL MT



Subestación rural móvil (66 kV)



Muchas gracias



Esta presentación es propiedad del Gas Natural Fenosa. Tanto su contenido temático como diseño gráfico es para uso exclusivo de su personal.

©Copyright Gas Natural SDG, S.A.

