

# **Curso de Operación y Mantenimiento de Subestaciones Eléctricas**

**TEMA: EQUIPOS ELECTRICOS DE POTENCIA EN  
SUBESTACIONES DE ALTA Y MEDIA TENSION**

**Dr.-Ing. Eduardo Orduña**

**Santo Domingo, Rep. Dominicana**

**25-27 de Septiembre de 2019**

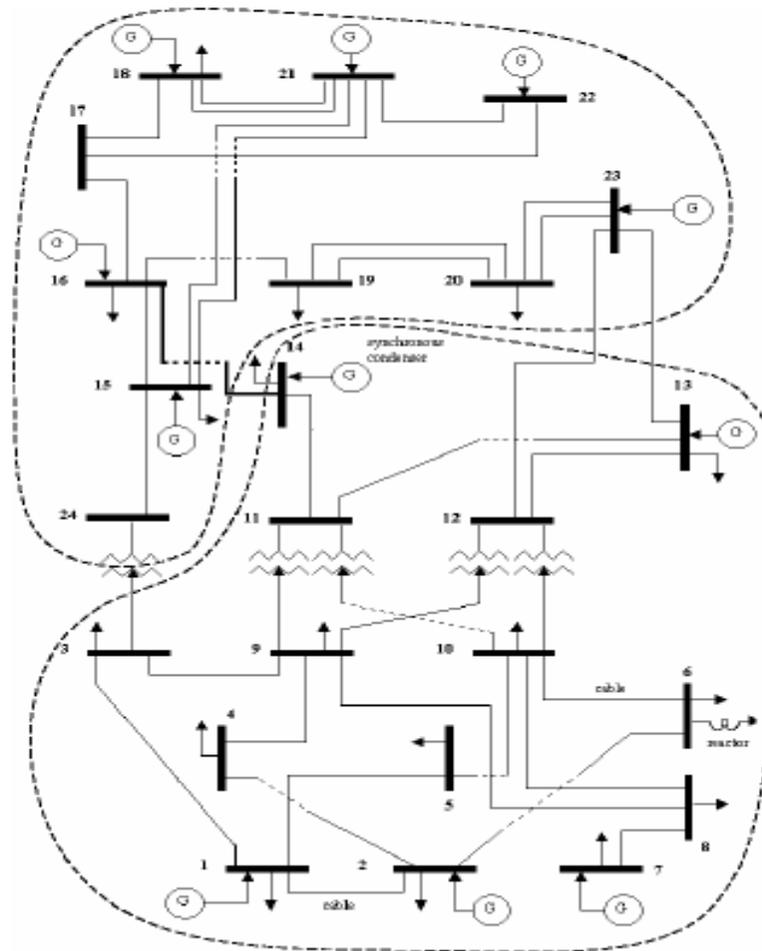
# Contenidos

- Introducción
- Elementos de una subestación
- Diseño de una subestación
- Disposición física
- Operación

# Introducción

- Instalación con tres objetivos:
  - Transformación de tensiones (generación, transporte, reparto, distribución)
  - Redistribución de energía eléctrica (confluencia de líneas)
  - Alojamiento de aparatos

## Introducción



# Introducción

## Localización de las subestaciones

- Depende de su función
  - Cercana a centros de consumo:
    - Primarias  $\Rightarrow$  Tensión de salida: 66, 110, 132 kV
    - Secundarias  $\Rightarrow$  Tensión de salida: 6.6, 15, 20 kV
  - Cercana a centros de generación
  - Dependiendo del nivel de tensión  $\Rightarrow$  Disponibilidad del terreno (urbano, rural)

# Introducción

## Clasificación según función

- Interconexión:
  - Confluencia de varias líneas sin transformación
  - Seguridad del suministro y reducción de costes de generación
  - Utilización frecuente

# Introducción

## Clasificación según función

- Transformación pura:
  - Típicamente 2 líneas de entrada y 1 transformación a un nivel inferior de tensión
  - Suministro de energía a niveles de subtransporte, reparto y distribución
  - Suministro a grandes consumidores conectados directamente a la red de transporte
  - Utilización reducida

# Introducción

## Clasificación según función

- Interconexión con transformación a uno o varios niveles inferiores de tensión
  - Utilización frecuente
- De central
  - Inyección en la red de la energía generada por las centrales
  - Emplazamientos con características muy especiales

# Subestación de central



# Introducción

## Clasificación según emplazamiento

- Intemperie
- Interior
- Blindadas
- Rurales

## Subestaciones de intemperie

- Soportan condiciones atmosféricas adversas, aunque no todo está en el exterior:
  - $V > V_{\text{DISTRIBUCIÓN}} (20 \text{ kV}) \Rightarrow$  Intemperie
  - $V_{\text{DISTRIBUCIÓN}} \Rightarrow$  Edificio
    - $\downarrow\downarrow V \Rightarrow$  Distancias menores
    - $\uparrow\uparrow$  protección y facilidad de reparación
- Edificio de mando y control: cuadro de mando y protecciones

## Subestaciones de interior

- Mayor parte de la instalación dentro de edificio
- Transformadores a la intemperie
- Uso poco extendido (poco espacio, tensiones bajas, interior de industrias o comercios)

## Subestaciones de interior

- Ventajas:
  - ↑↑ protección (contaminación, humedad, ambiente salino)
  - Distancias menores
- Inconvenientes:
  - ↑↑ caras (compromiso con el precio del suelo en zona urbana)
  - Problemas con incendios (saltan las protecciones por ionización del aire)

## Subestaciones blindadas

- Nuevo dieléctrico: Hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ )  $\Rightarrow$  Gas de alta capacidad dieléctrica, muy estable, no inflamable
- Permite distancias mucho menores  $\Rightarrow$  Uso en poblaciones o áreas de alta contaminación
- Limitación de tamaño  $\Rightarrow$  Transformadores (proporcional a potencia)
- Mantenimiento reducido (menos problemas que con el aceite de los transformadores)

## Comparación de tamaño

- Nivel de 220 kV:
  - Intemperie: Separación de 4 m
  - Interior: Separación de 2 m
  - Blindada: Separación de 15 cm

## Subestaciones rurales

- Instalaciones pequeñas (300 m<sup>2</sup> vs. 110 m<sup>2</sup>)
- Más simples
- Menor calidad de servicio
- No permiten demasiadas maniobras
- Suelen ser de tensión de reparto/distribución (66/20 kV)

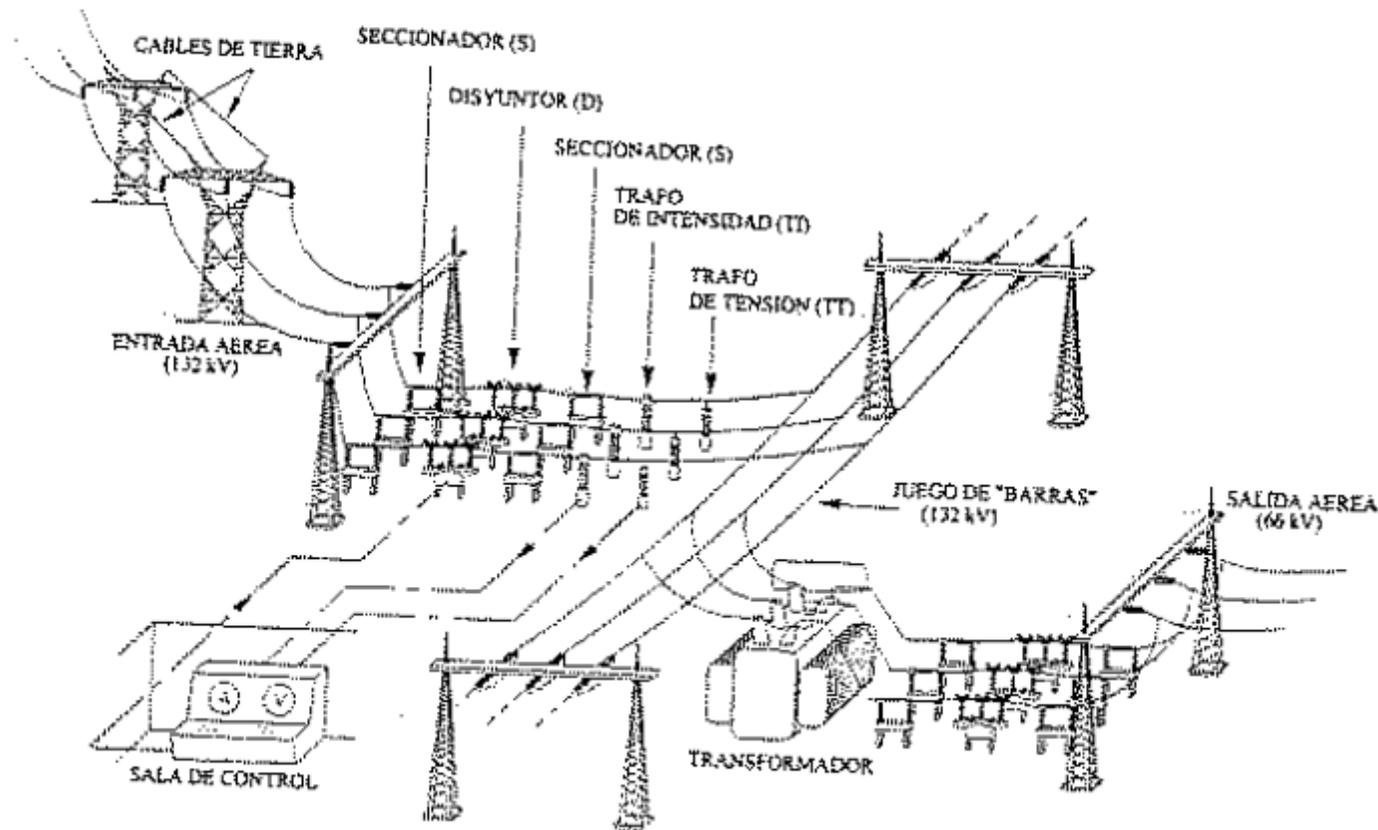
## Elementos de una subestación (I)

- Líneas
- Barras o embarrado
- Transformador de potencia
- Aparamenta de maniobra y corte
- Aparamenta de transformación
- Relés de protección (de línea, de transformador, de batería de condensadores)

## Elementos de una subestación (II)

- Elementos de medida
- Pararrayos
- Celdas
- Servicios auxiliares
- Instalaciones de mando y control
- Baterías (alimentación de protecciones)
- Obra civil

# Elementos de una subestación Esquema



# Elementos de una subestación

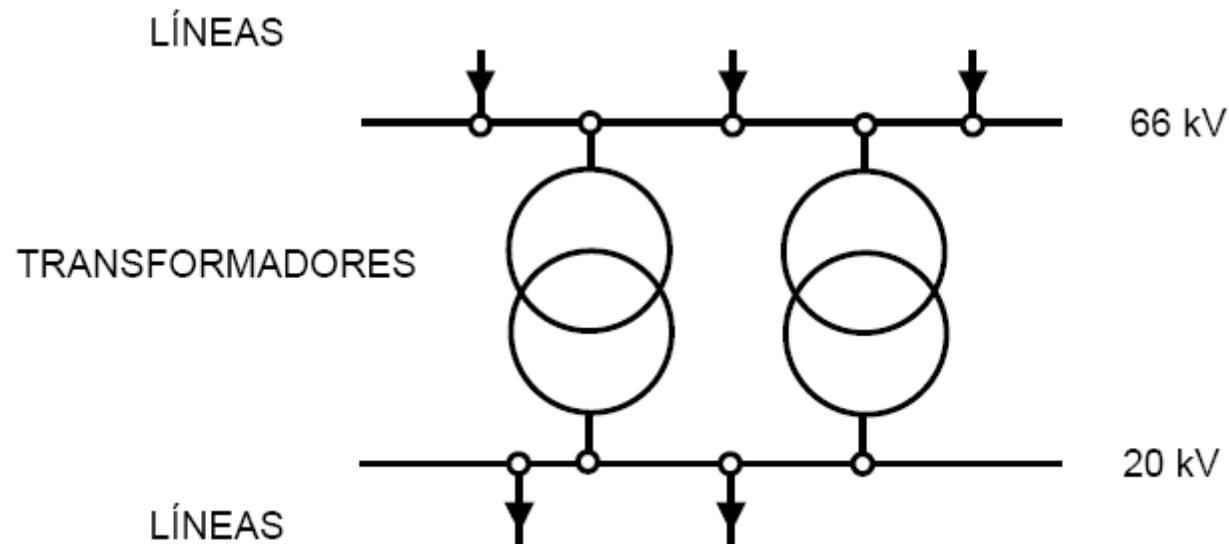
## Barra o embarrado

- Elemento conductor que recoge todas las intensidades que llegan a la subestación por las líneas
  - Intemperie  $\Rightarrow$  Cable de cobre (flexible), tubo de cobre o aluminio (rígido)
  - Interior  $\Rightarrow$  Tubo de cobre, pletina de cobre (8  $\times$  80 mm, 10  $\times$  80 mm, 2 de 10  $\times$  80 mm)

# Elementos de una subestación

## Barra o embarrado

Esquema unifilar:



# Elementos de una subestación

## Barra o embarrado

- Cálculo de secciones:
  - Por intensidad máxima admisible
  - Por esfuerzos electrodinámicos
- Cálculo de intensidad de cortocircuito

# Elementos de una subestación

## Barra o embarrado



# Elementos de una subestación

## Transformador de potencia

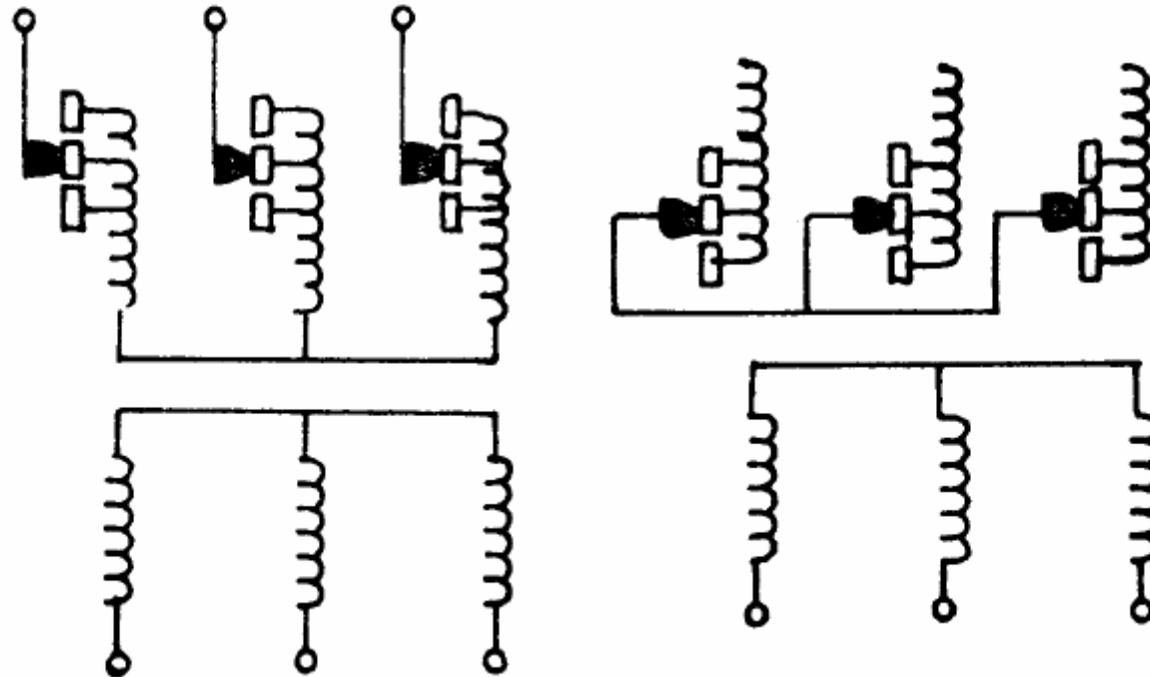
- Transformación de tensión a distintos niveles:
  - Núcleo trifásico
  - Banco de transformadores monofásicos (transporte más fácil, mayor fiabilidad)
  - Autotransformador (más económico, más pequeño, relación de transformación próxima a 1  $\Rightarrow$  220/132 kV)

## Elementos de una subestación Transformador con tomas

- Control de tensión dentro de límites legales
- Control de flujos de P y Q en la red
- Ajuste de tensión frente a  $\Delta$ Carga
  - 66/20 kV  $\Rightarrow$  Regulación en carga automática (Sistema Jansen)
  - 132/66 kV  $\Rightarrow$  Regulación en carga manual desde el despacho de maniobras

# Elementos de una subestación

## Transformador con tomas



# Elementos de una subestación

## Transformador de potencia



# Elementos de una subestación

## Transformador de potencia



# Elementos de una subestación

## Transformador de potencia



# Elementos de una subestación Aparamenta de maniobra y corte

- Seccionador
- Interruptor automático o disyuntor
- Interruptor o interruptor en carga
- Interruptor-seccionador

# Aparamenta de maniobra y corte

## Seccionador

- Une o separa de forma visible dos partes de un circuito  $\Rightarrow$  Seguridad en trabajos de inspección, mantenimiento o sustitución
- Usos:
  - Seccionador de interruptor
  - Seccionador de puesta a tierra (sólo en líneas)
  - Seccionador de by-pass

# Aparamenta de maniobra y corte

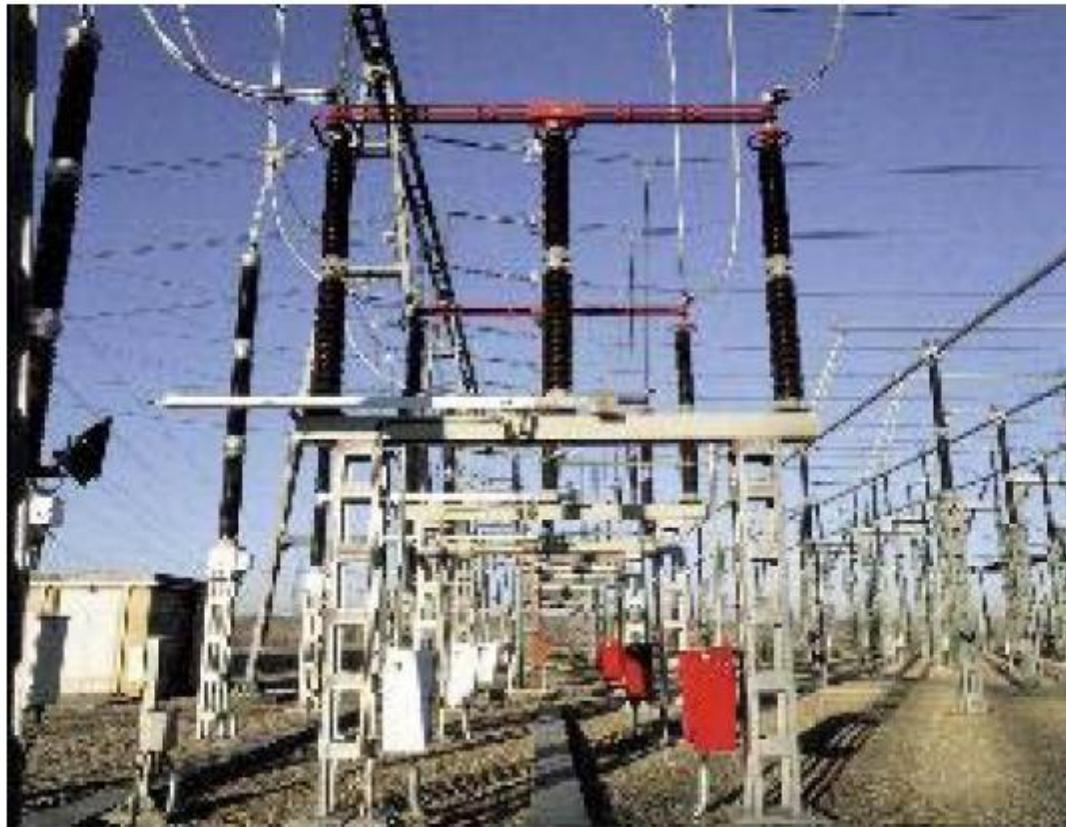
## Seccionador

- Apertura y cierre sin carga normalmente
- Apertura y cierre con cargas pequeñas  $\Rightarrow$  Sólo en media tensión (1 kV – 36 kV)
- No pueden interrumpir corrientes de cortocircuito  $\Rightarrow$  Interruptor automático
- Mecanismo de enclavamiento  $\Rightarrow$  Evita operaciones incorrectas

## Tipos de seccionador

- De cuchillas giratorias
- De cuchillas deslizantes
- De columnas giratorias
- De pantógrafo

# Aparamenta de maniobra y corte Seccionador



# Aparamenta de maniobra y corte

## Interruptor automático

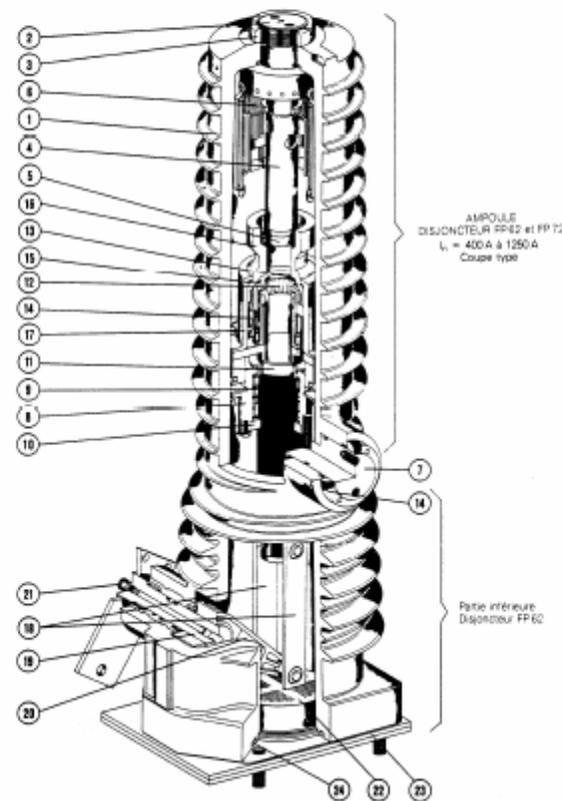
- Corte y establecimiento de corrientes en condiciones normales y anormales
- Permite el paso de corrientes anormales durante un tiempo limitado
- Permite el cambio de configuración de un sistema de energía eléctrica (conexión o desconexión prestablecida, condiciones anormales de servicio, averías repentinas)

# Aparamenta de maniobra y corte

## Interruptor automático

- Proceso de corte:
  - Separación de contactos  $\Rightarrow$  Arco eléctrico
  - Extinción del arco eléctrico
  - Reforzamiento dieléctrico del espacio entre contactos  $\Rightarrow$  Tensión de restablecimiento

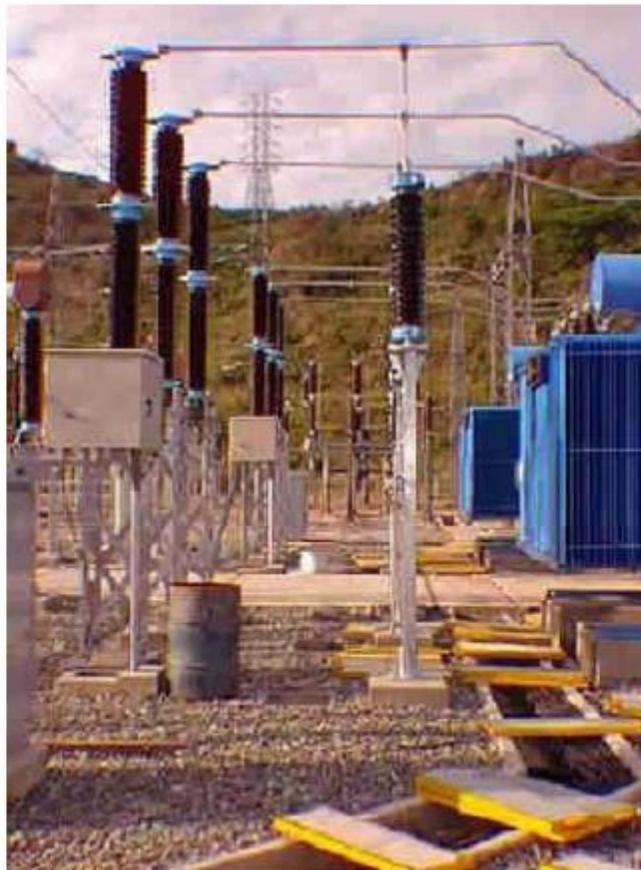
# Interruptor automático Cámara de corte



## Tipos de interruptor automático Según el medio de extinción del arco

- Aceite
- Aire comprimido
- Soplado magnético
- Hexafluoruro de azufre (usado actualmente en media tensión y alta tensión)
- Vacío (usado actualmente en media tensión)

# Aparamenta de maniobra y corte Interruptor automático



# Aparamenta de maniobra y corte

## Interruptor automático



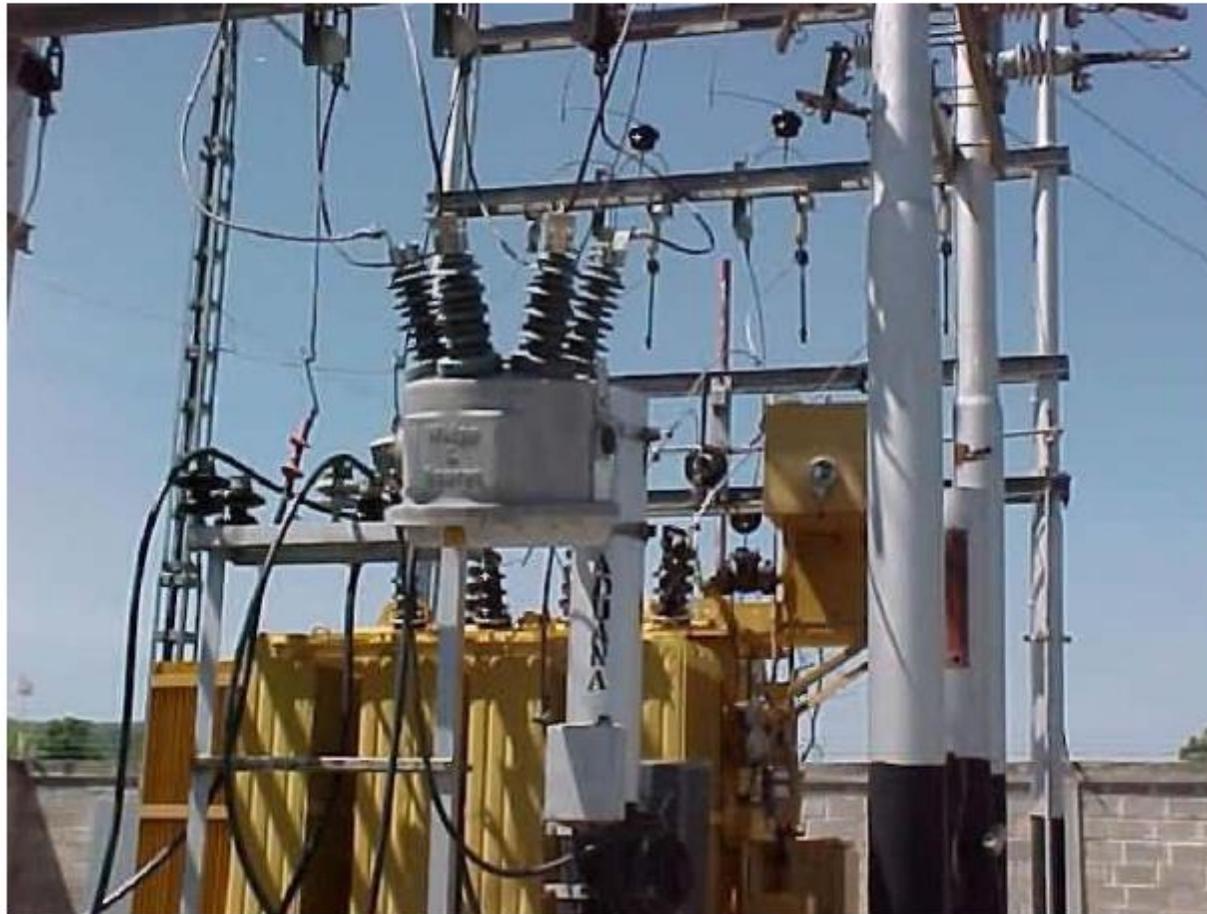
# Aparamenta de maniobra y corte

## Interruptor automático



# Aparamenta de maniobra y corte

## Interruptor automático



## Aparamenta de maniobra y corte Interruptor o interruptor en carga

- Establece, conduce e interrumpe corrientes en condiciones normales
- Establece y conduce corrientes en condiciones anormales durante un tiempo limitado
- No puede cortar corrientes de cortocircuito

# Aparamenta de maniobra y corte Interruptor-seccionador

- Funciones idénticas a un interruptor en carga
  - Corrientes normales  $\Rightarrow$  Establece, conduce e interrumpe
  - Corrientes anormales  $\Rightarrow$  Establece y conduce durante tiempo limitado, pero no las interrumpe

## Elementos de una subestación Aparamenta de transformación

- Reducen las magnitudes de  $V$  e  $I$  para medición y para señales de entrada a los relés de protección  $\Rightarrow$  Economía y seguridad
  - Transformador de tensión
  - Transformador de corriente



# Elementos de una subestación

## Transformador de corriente

- En serie
- Mide  $I_{LÍNEA}$



# Elementos de una subestación

## Relés de protección

- Relés de protección: Captan señales y dan órdenes de apertura/cierre a interruptores automáticos (en alta tensión  $\Rightarrow$  separados de los interruptores)
  - Magnitudes eléctricas  $\Rightarrow$  Tensión, corriente, frecuencia, potencia, impedancia
  - Magnitudes no eléctricas  $\Rightarrow$  Temperatura (relé térmico, relé Buchholz)

# Elementos de una subestación

## Pararrayos autoválvulas

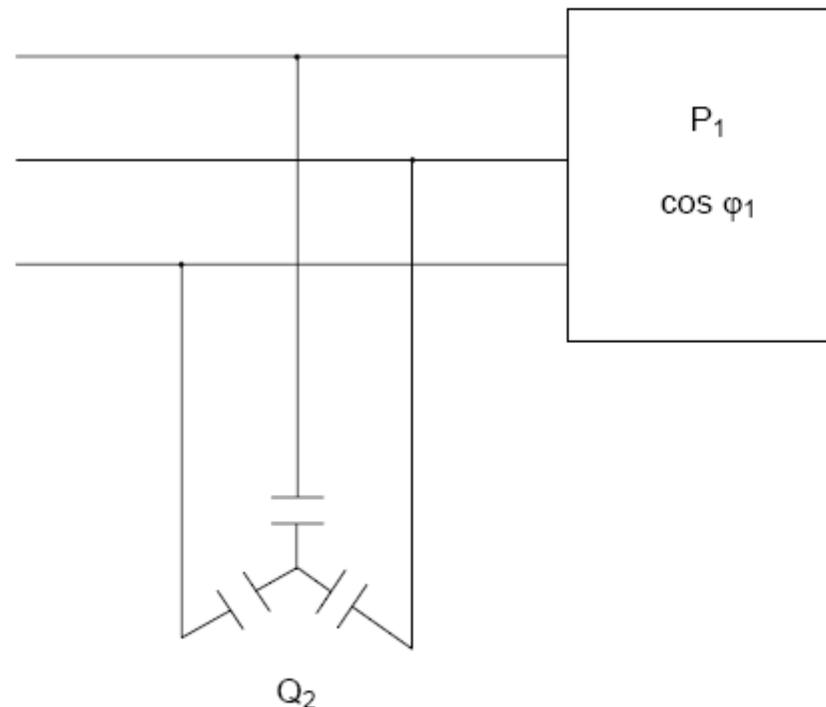
- Limita sobretensiones transitorias debidas a:
  - Descargas atmosféricas
  - Maniobras



# Elementos de una subestación

## Baterías de condensadores

- Compensación del factor de potencia



# Elementos de una subestación

## Celdas

- Compartimento que puede contener:
  - Seccionador de puesta a tierra
  - Seccionador de aislamiento de la línea y puesta a tierra del interruptor
  - Terminales de las líneas
  - Interruptor automático
  - Transformadores de tensión y corriente

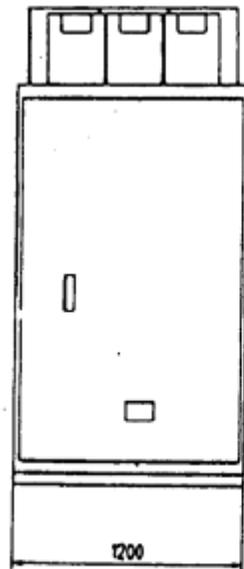
# Elementos de una subestación

## Celdas

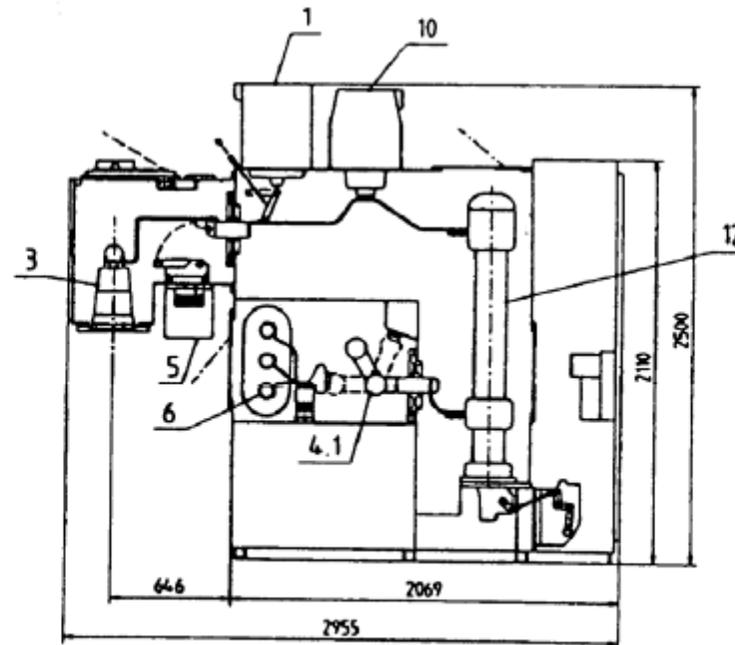
- ❑ Seccionador de barras y puesta a tierra del interruptor
- ❑ Embarrado
- ❑ Equipo de accionamiento, operación y maniobra
- ❑ Equipos de protección, medida y telemando

# Elementos de una subestación Celda de línea (66 kV)

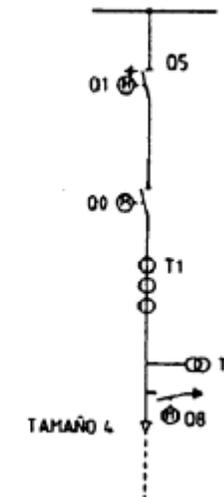
VISTA FRONTAL



SECCION

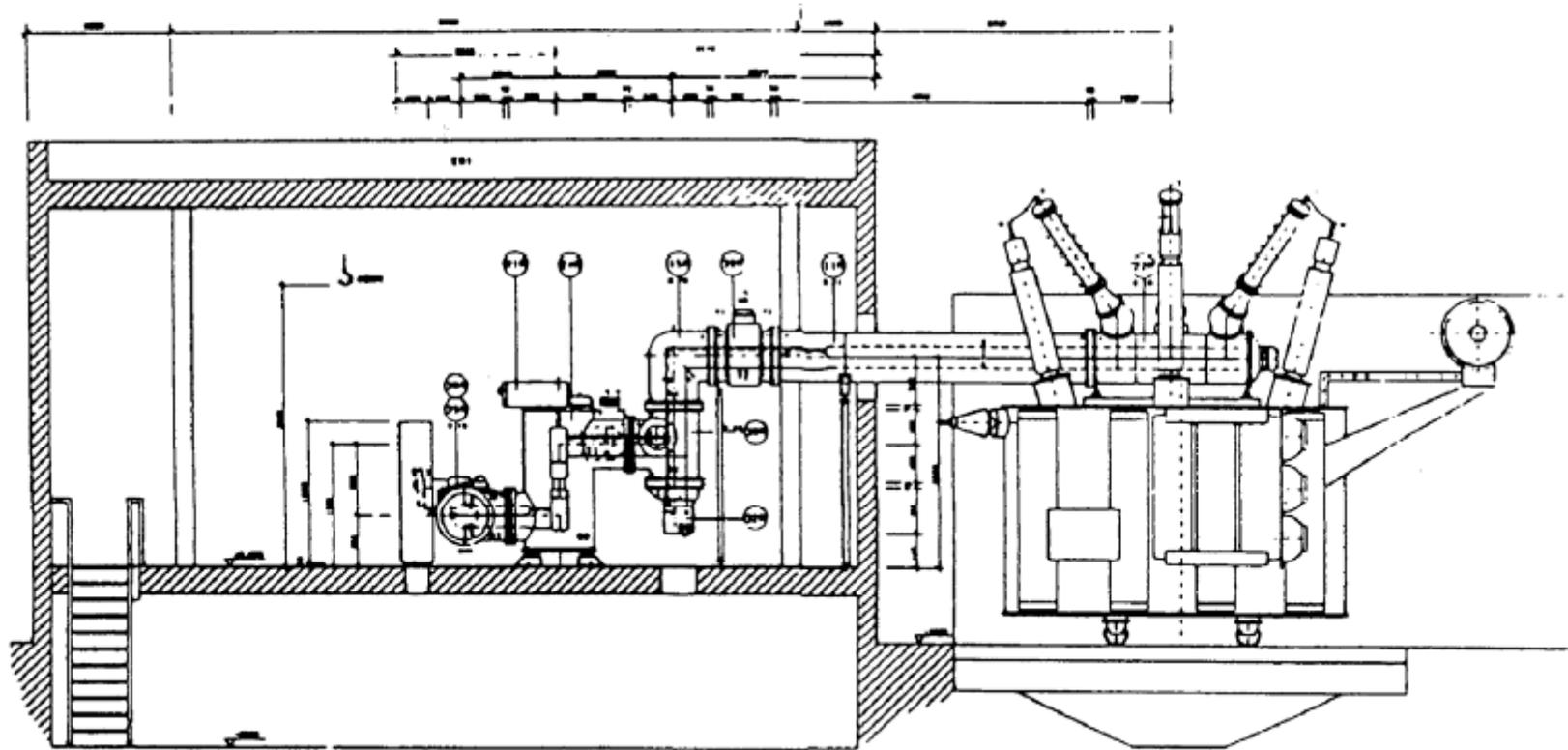


ITEM	DESCRIPCION
1	TRANSFORMADOR DE TENSION T5
10	TERMINACION DESMONTABLE DE CABLE TAMAÑO 4
4.1	SECCIONADOR CON P.A.T. 01
5	SECCIONADOR DE P.A.T. RAPIDO 02
6	BARRAS
10	TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD T1
12	INTERRUPTOR 03



# Elementos de una subestación

## Celda de transformador



# Elementos de una subestación Obra civil

- Estructuras metálicas
- Calles y pórticos
- Parque intemperie

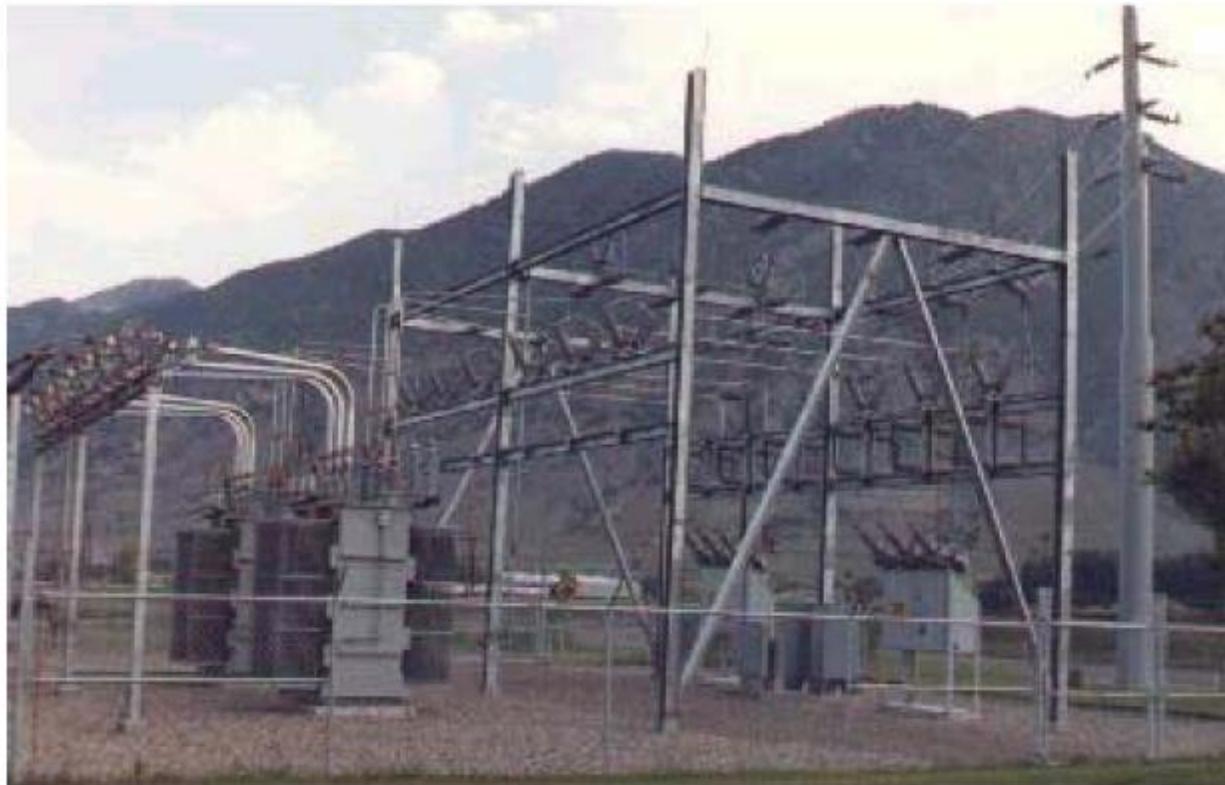
# Obra civil

## Estructuras metálicas

- Construidas en acero galvanizado
- Amarre de líneas y conexiones tendidas
- Soporte de equipo eléctrico y embarrado
- Estructuras y herrajes auxiliares



# Obra civil Calles y pórticos



# Obra civil

## Parque intemperie

- Cimentaciones de hormigón
- Canales de cables de control  $\Rightarrow$  De hormigón y cubiertos con tapas
- Transformadores y reactancias  $\Rightarrow$  Bancadas de hormigón, camino de rodadura con raíles, muros cortafuegos
- Drenaje
- Edificio de mando y control y caseta de relés

## Diseño de las subestaciones

- Determinado por:
  - Función de la subestación
  - Características de la zona de la red

## Criterios de diseño (I)

- Adecuación a los requisitos del sistema (niveles de potencia y tensiones, potencia de cortocircuito, etc.)
- Operación simple en condiciones normales y de emergencia
- Seguridad, flexibilidad y fiabilidad en la operación
- Economía (coste de inversión, operación y mantenimiento)

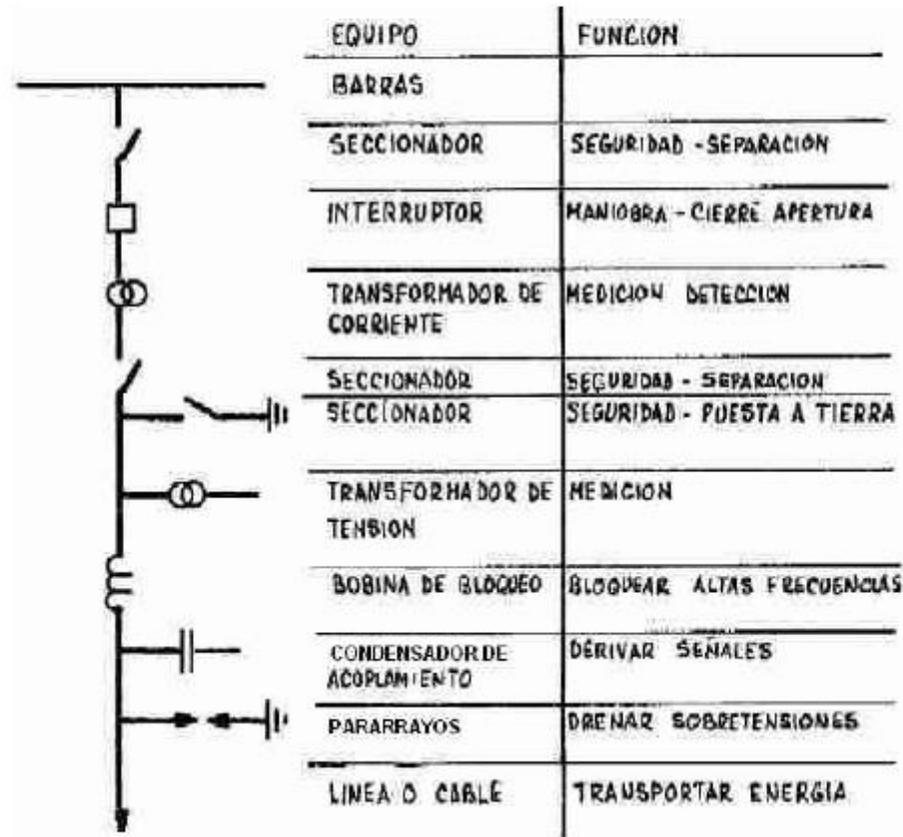
## Criterios de diseño (II)

- Continuidad en el servicio (mantenimiento de interruptores)
- Flexibilidad y complejidad del mantenimiento
- Disponibilidad de espacio
- Facilidad de ampliación y reforma

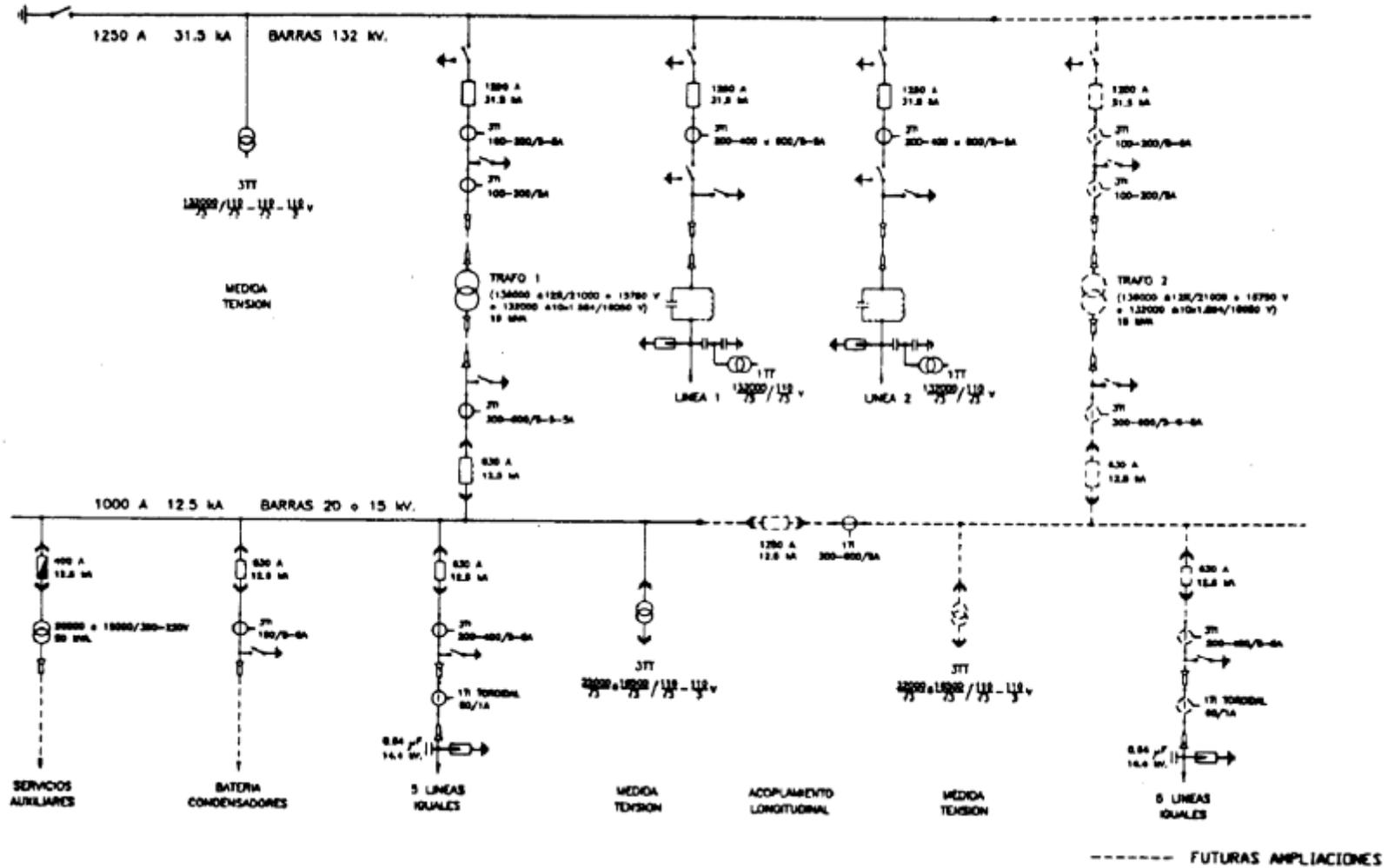
## Criterios de diseño (III)

- Estandarización de parámetros eléctricos
- Reducción del impacto ambiental
- Mantenimiento reducido
- Seguridad y protección frente a agentes externos

## Esquema unifilar Simbología



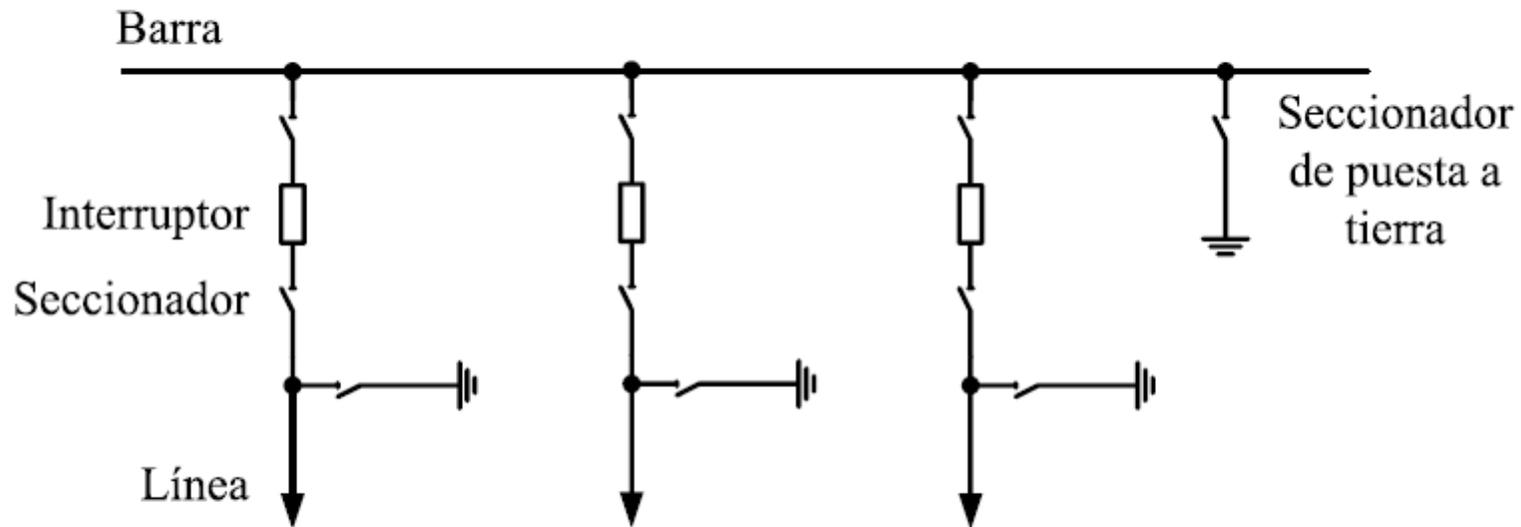
## Esquema unifilar



## Configuraciones más habituales

- Barra simple
- Barra partida
- Barra principal y barra de transferencia
- Barra doble
- Barra doble y doble interruptor
- En anillo
- De interruptor y medio

# Barra simple

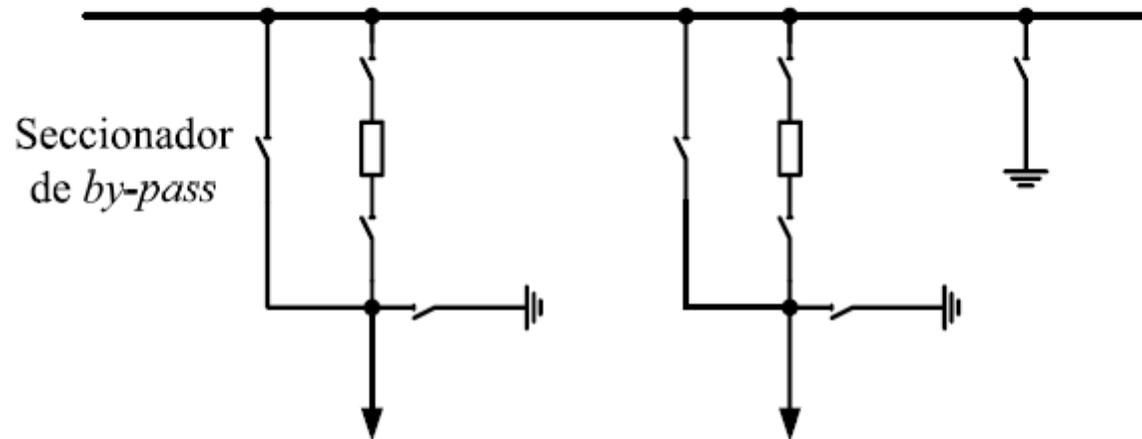


- Pocos dispositivos y poco espacio  $\Rightarrow$  Configuración más sencilla y económica

## Barra simple

- Falta o mantenimiento en barra  $\Rightarrow$  Pérdida total del suministro (fiabilidad baja)
- Interruptor en mantenimiento  $\Rightarrow$  Pérdida del suministro asociado
- No se puede alimentar independientemente una o varias líneas
- Ampliación  $\Rightarrow$  Pérdida total del suministro
- Uso en redes radiales de “poca importancia” (redes rurales)

## Barra simple con by-pass

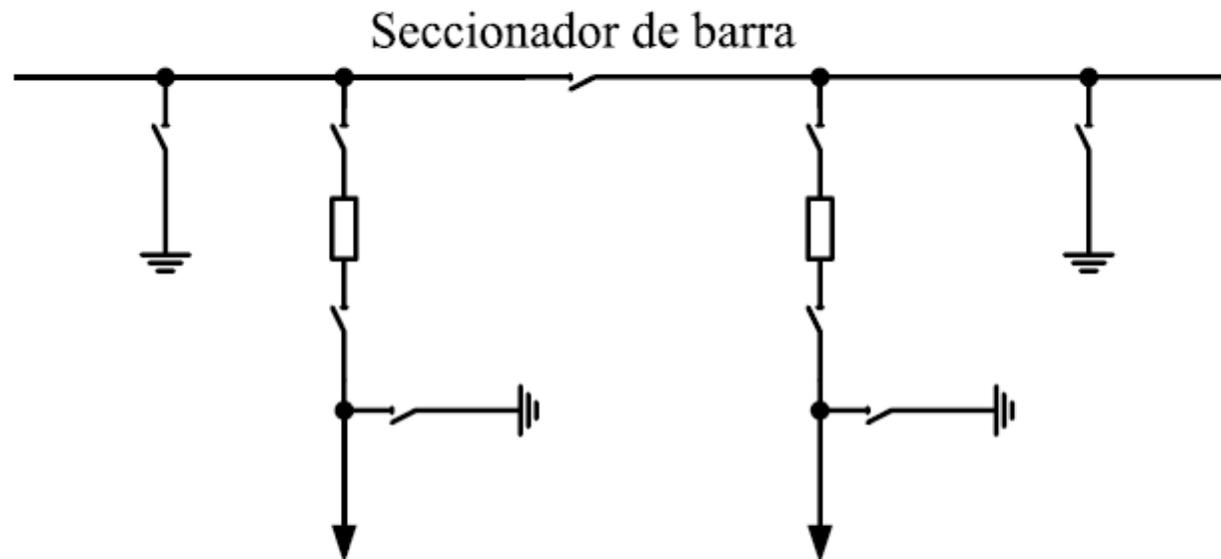


- Seccionador de *by-pass*  $\Rightarrow$  Aísla al interruptor para su mantenimiento sin interrumpir el suministro

## Barra simple con by-pass

- Enclavamiento entre seccionador de by-pass e interruptor
- Falta en línea con seccionador de by-pass cerrado  $\Rightarrow$  Pérdida total del suministro
- Interruptor de reserva
- Resto de características  $\Rightarrow$  Barra simple

## Barra partida

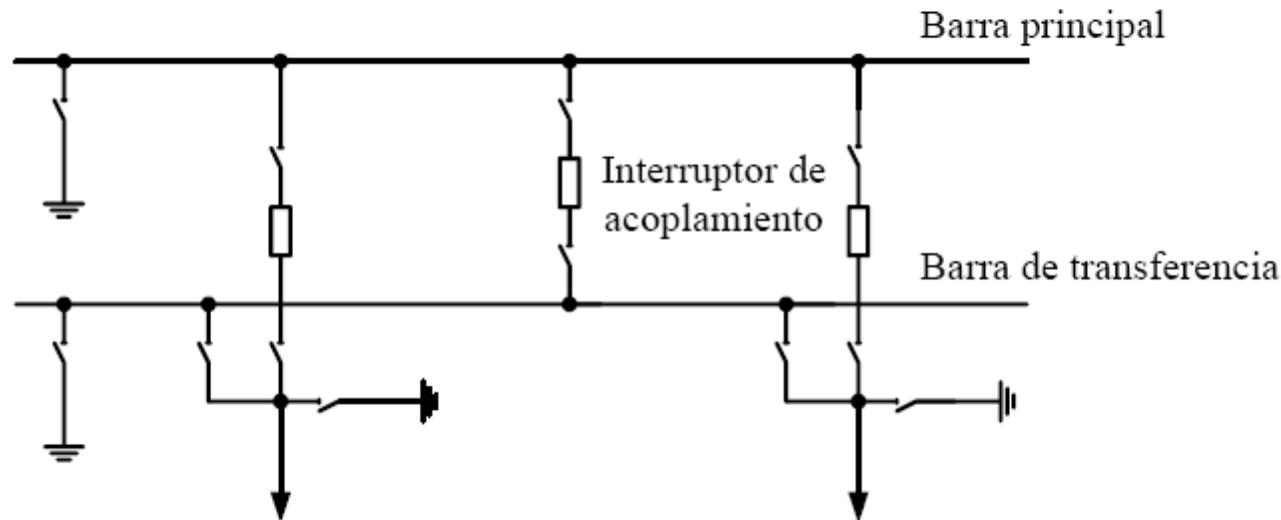


- También permite seccionador de by-pass

## Barra partida

- ↑ Seguridad y flexibilidad de operación y mantenimiento:
  - Reparto de líneas entre las secciones de la barra
  - Falta o mantenimiento en barra  $\Rightarrow$  Pérdida del suministro sólo en la sección afectada
  - Posibilidad de dos fuentes de alimentación
- Sistema de protección más complejo

# Barra principal y barra de transferencia



- Esquema más caro (más dispositivos) y con mayores necesidades de espacio

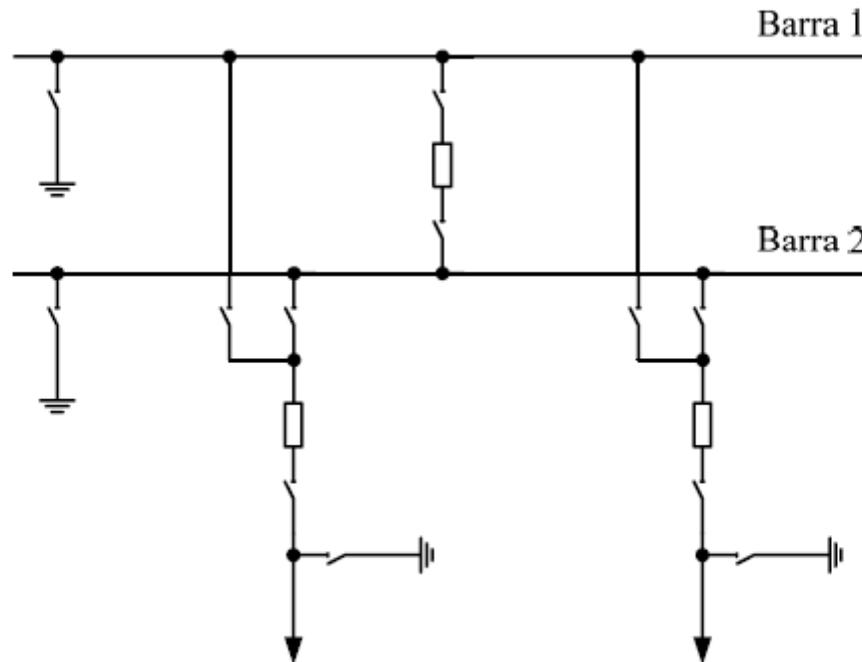
## Barra principal y barra de transferencia

- Funcionamiento normal  $\Rightarrow$  Circuitos conectados a barra principal
- Esquema más flexible y seguro:
  - Interruptor de línea abierto (mantenimiento o falta)  $\Rightarrow$  Restablecimiento del suministro mediante conexión a barra de transferencia y cierre de interruptor de acoplamiento

## Barra principal y barra de transferencia

- Inconvenientes de operación:
  - Fallo en barra  $\Rightarrow$  Pérdida total del suministro
  - Mantenimiento del interruptor de acoplamiento  $\Rightarrow$  Una barra fuera de servicio

# Barra doble

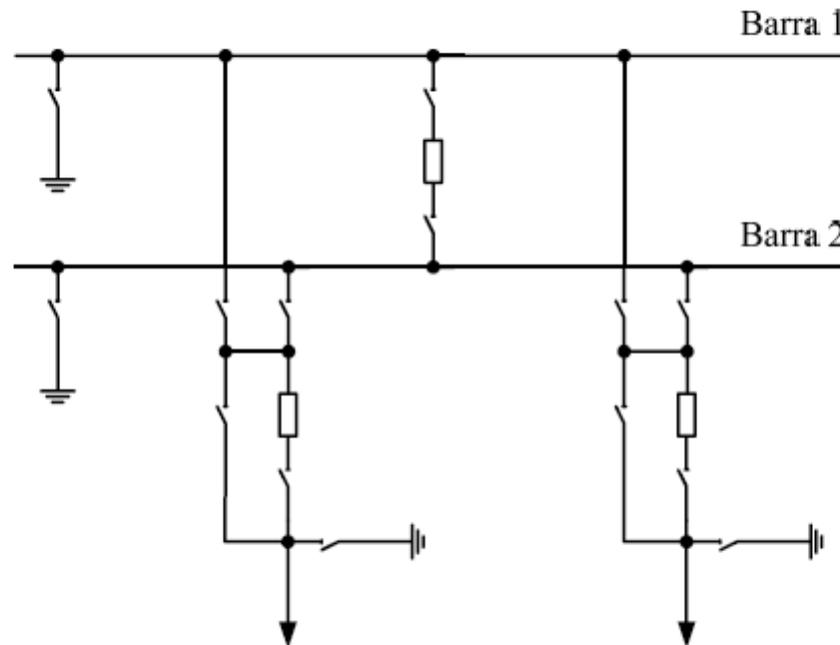


- Mismo número de dispositivos que esquema de barra principal y barra de transferencia

## Barra doble

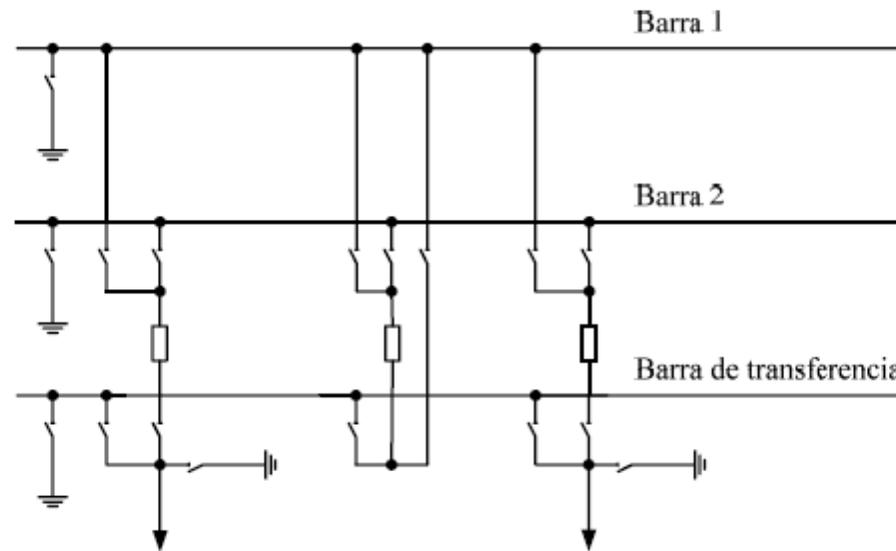
- Las líneas se pueden conectar indistintamente a cualquier barra protegidas por su propio interruptor
- Fallo o mantenimiento en una barra:
  - Disparo del interruptor de acoplamiento
  - Conexión a la otra barra (apagón momentáneo)
- Interruptor de línea en mantenimiento ⇒ Pérdida del suministro asociado

# Barra doble con by-pass



- El interruptor de acoplamiento protege la línea con interruptor en mantenimiento

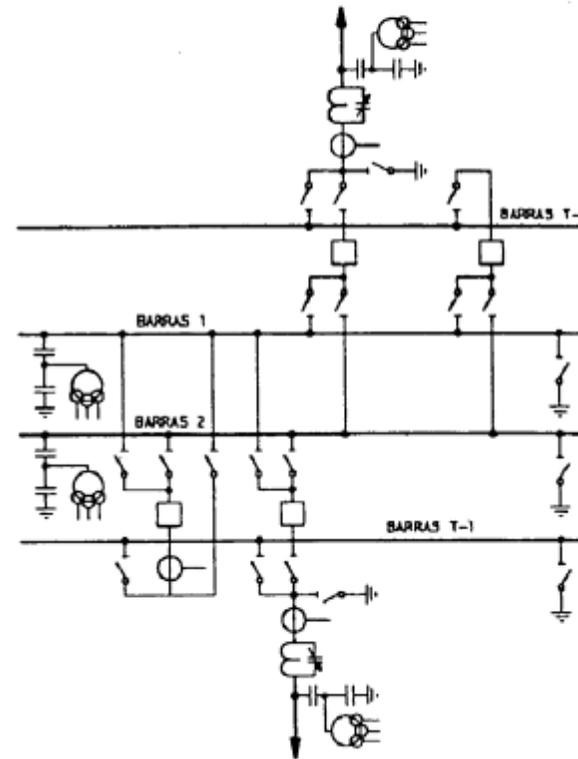
## Barra doble y barra de transferencia



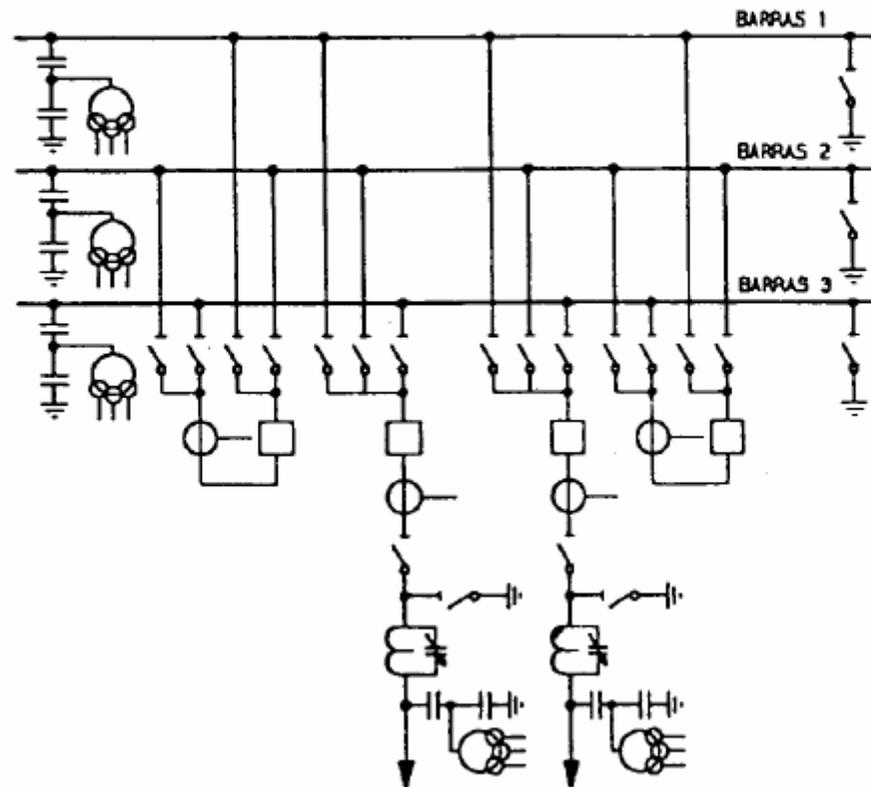
- Fallo de barra  $\Rightarrow$  Barra simple con barra de transferencia tras operación del interruptor de acoplamiento

# Doble barra con dos barras de transferencia

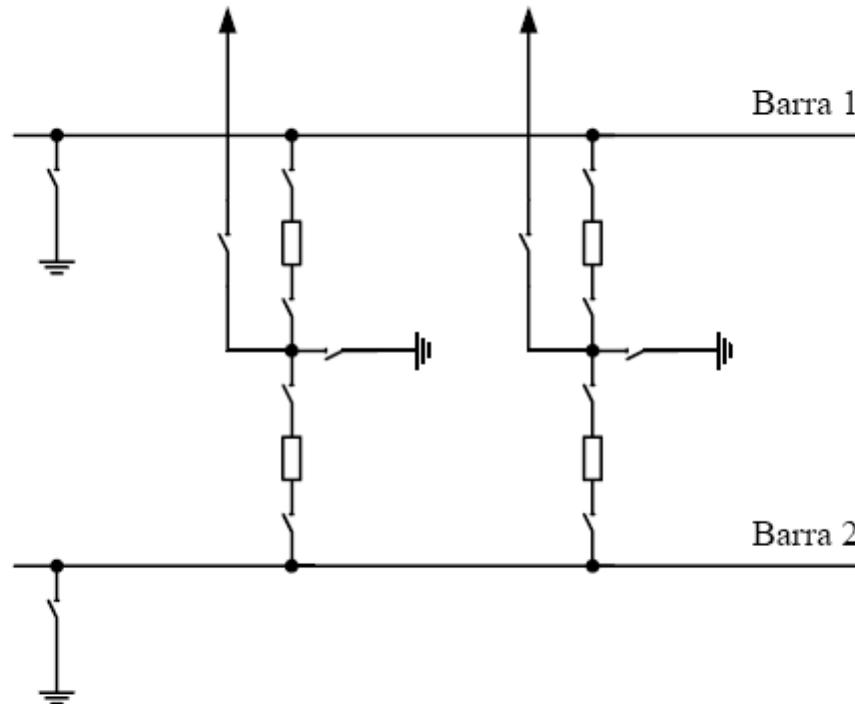
- 2 interruptores de acoplamiento
- Reparto de líneas en barras de transferencia



# Triple barra



# Barra doble y doble interruptor

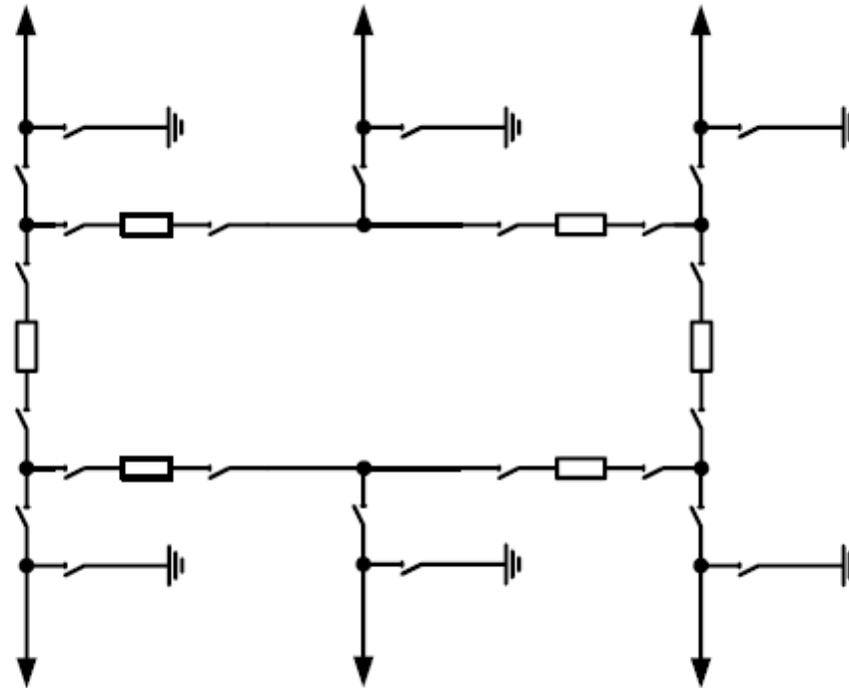


- El interruptor de acoplamiento se reemplaza por un interruptor por línea

## Barra doble y doble interruptor

- Mayor fiabilidad:
  - Fallo o mantenimiento en barra  $\Rightarrow$  Conexión de las líneas a la otra barra
  - Mantenimiento de un interruptor de línea  $\Rightarrow$  Línea en servicio por la otra barra con el otro interruptor
- Coste elevado

# En anillo o polígono



- Igual número de dispositivos por línea que el esquema de barra simple

## En anillo o polígono

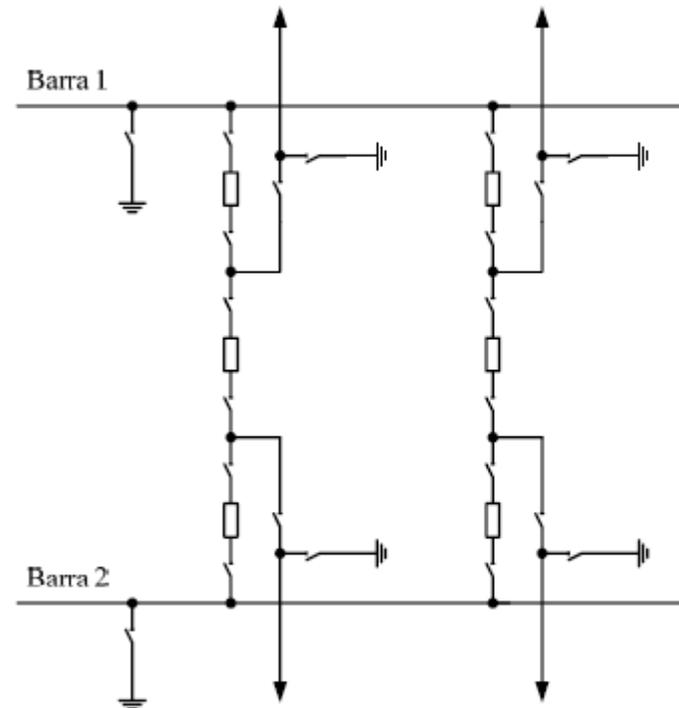
- Trayectorias alternativas alrededor del anillo  
⇒ ↑ seguridad que barra simple:
  - Fallo o mantenimiento en barra ⇒ Se aísla la parte afectada abriendo dos interruptores (pérdida de una línea)
  - Mantenimiento de un interruptor ⇒ Protección garantizada mediante los interruptores restantes

## En anillo o polígono

- Desventajas:
  - ↑ requerimiento de espacio
  - Apertura del anillo  $\Rightarrow$  ↑ corriente por interruptores operativos  $\Rightarrow$  Posibles disparos intempestivos
  - Diseño de protecciones más complejo
  - Ampliación  $\Rightarrow$  Pérdida total del suministro

## Interrupción y medio

- Esquema de barra doble con 3 interruptores por pareja de líneas



- Sin interruptor de acoplamiento

- Solución intermedia entre barra doble y barra doble y doble interruptor

## Interruptor y medio

- Conexión indistinta a cualquier barra
- Mantenimiento sin corte del suministro y con total protección
- Posibles disparos intempestivos
- Coordinación de interruptores más compleja
- Solución de compromiso entre coste y seguridad de operación

## Configuraciones del esquema unifilar Resumen

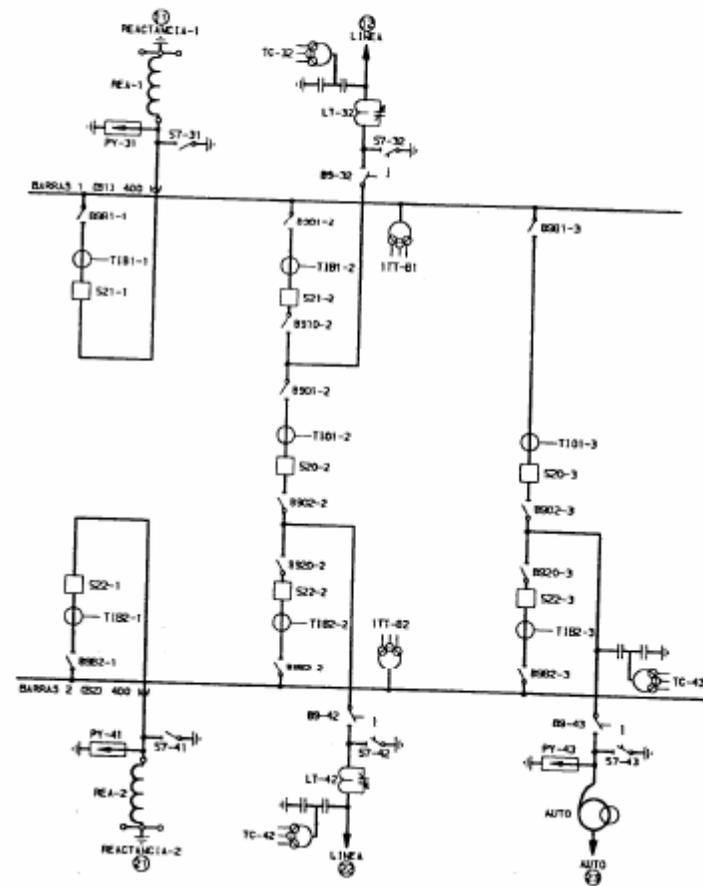
Configuración	# Interruptores	# Seccionadores
Barra simple	# Líneas	$1 + 3 \times \# \text{ Líneas}$
Barra simple con by-pass	# Líneas	$1 + 4 \times \# \text{ Líneas}$
Barra partida	# Líneas	$3 \times \# \text{ Líneas} + 3 \times \# \text{ Barras} - 1$
Barra principal y barra de transferencia	$1 + \# \text{ Líneas}$	$4 + 4 \times \# \text{ Líneas}$
Barra doble	$1 + \# \text{ Líneas}$	$4 + 4 \times \# \text{ Líneas}$

## Configuraciones del esquema unifilar Resumen

Configuración	# Interruptores	# Seccionadores
Barra doble con by-pass	$1 + \# \text{ Líneas}$	$4 + 6 \times \# \text{ Líneas}$
Barra doble y barra de transferencia	$1 + \# \text{ Líneas}$	$7 + 5 \times \# \text{ Líneas}$
Barra doble y doble interruptor	$2 \times \# \text{ Líneas}$	$2 + 6 \times \# \text{ Líneas}$
Anillo	$\# \text{ Líneas}$	$4 \times \# \text{ Líneas}$
Interruptor y medio	$1.5 \times \# \text{ Líneas}$	$2 + 5 \times \# \text{ Líneas}$

# Configuraciones más usadas por REE en transporte

- Interruptor y medio
- Doble barra con doble interruptor
- Barra simple para reactancias



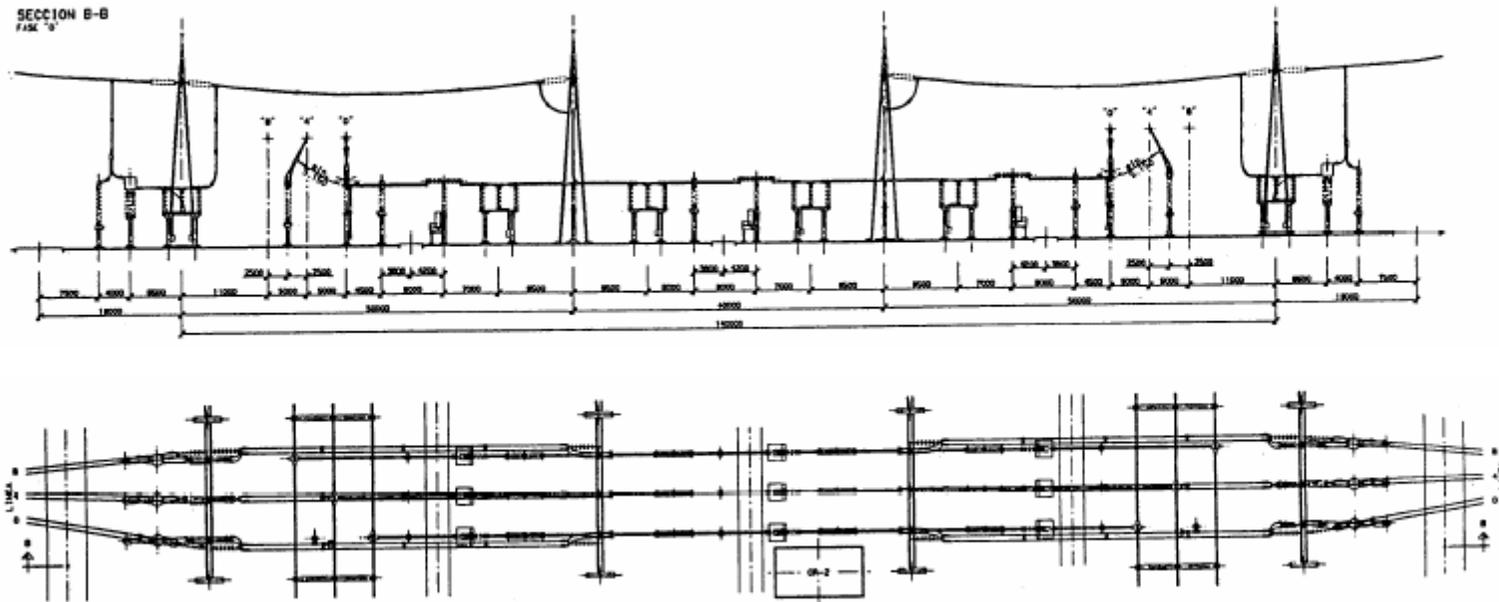
## Disposición física Distancias de seguridad

- Mantenimiento en una posición no debe afectar a las contiguas
- Circulación libre de personas por toda la superficie de la instalación ⇒
  - Zócalos de aisladores a 2.3 m y elementos a tensión nominal a 6 m mínimo
- Viales pavimentados para vehículos
- Delimitación de la zona de trabajo

## Disposición física. Embarrados

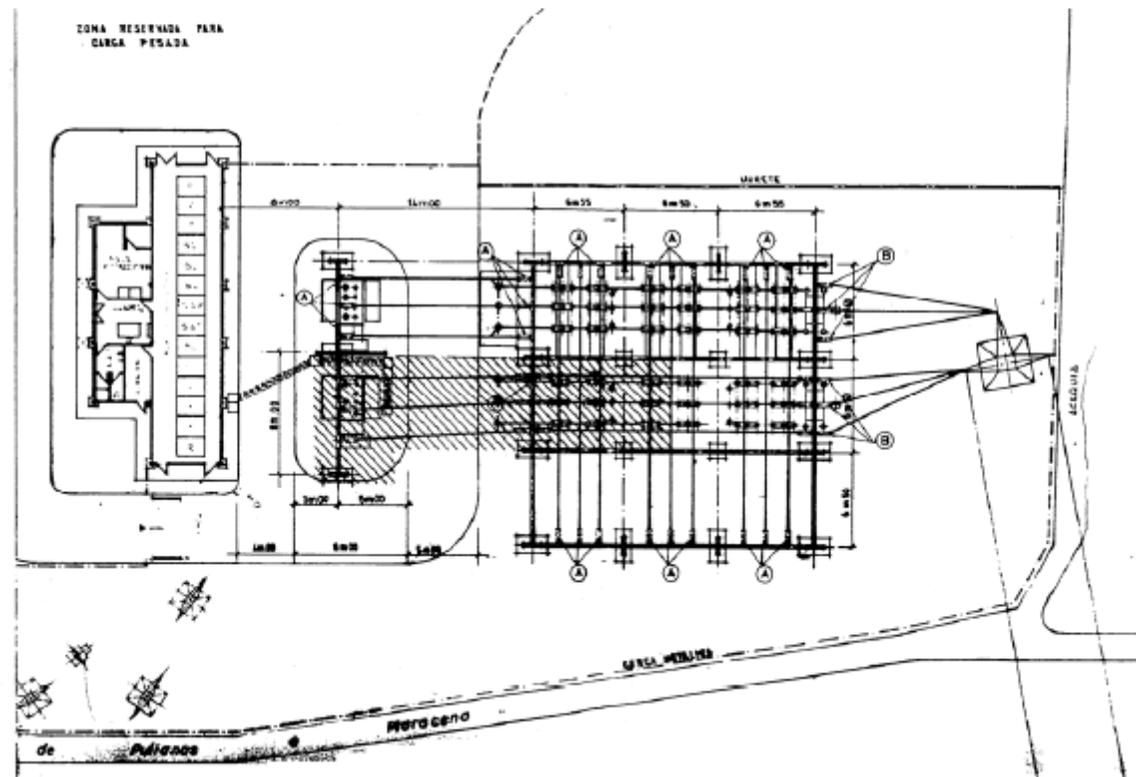
- Flexibles:
  - Mayor altura de los pórticos
  - Mayor distancia entre fases
- Rígidos:
  - Estructura más ligera
  - Menor volumen de obra civil
  - Material de conexión más simple
  - Mayor resistencia mecánica
  - Ausencia de efecto corona

# Disposición física Subestaciones de intemperie

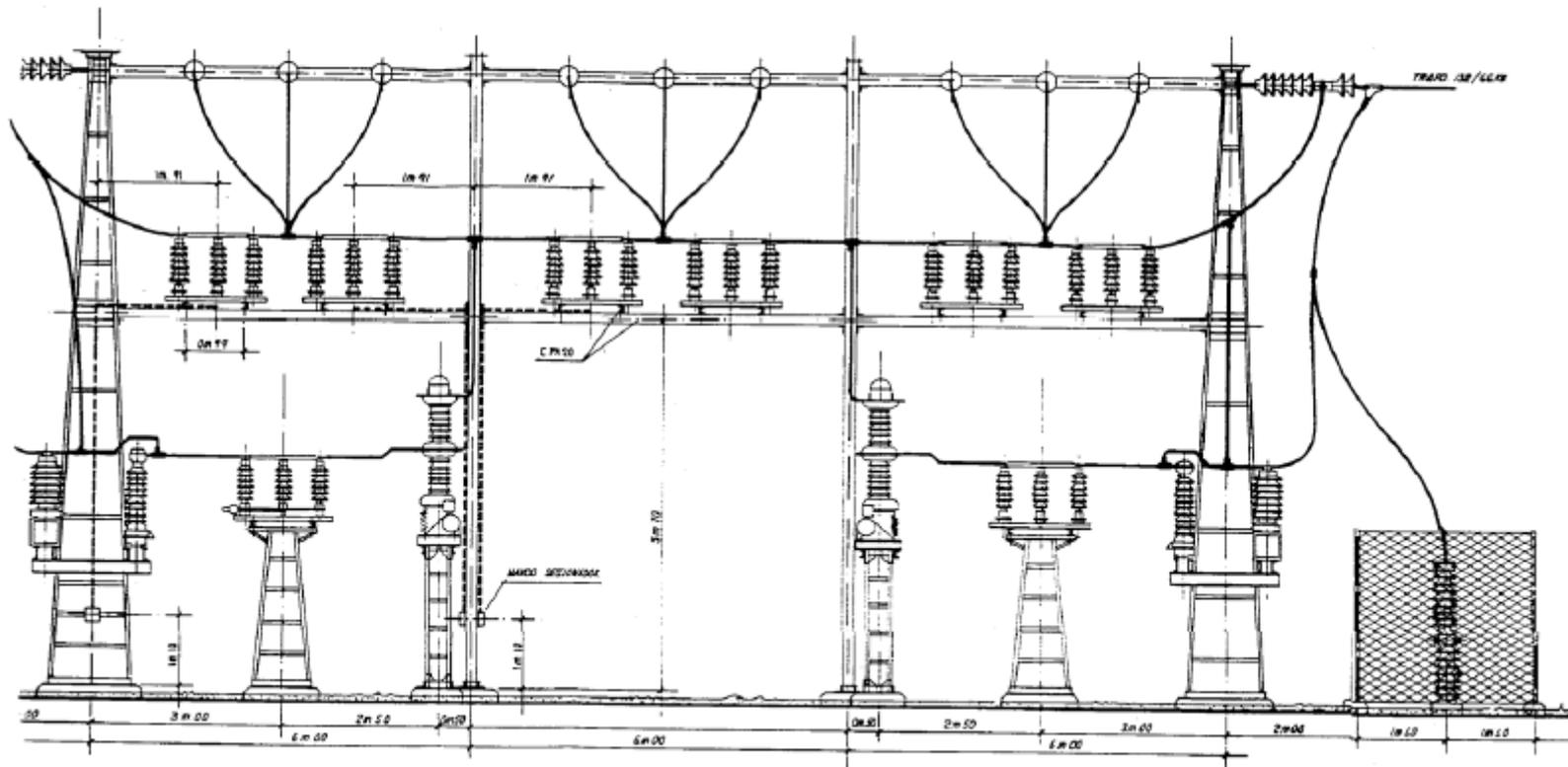


- Válida para interruptor y medio, anillo (4 salidas) o doble interruptor

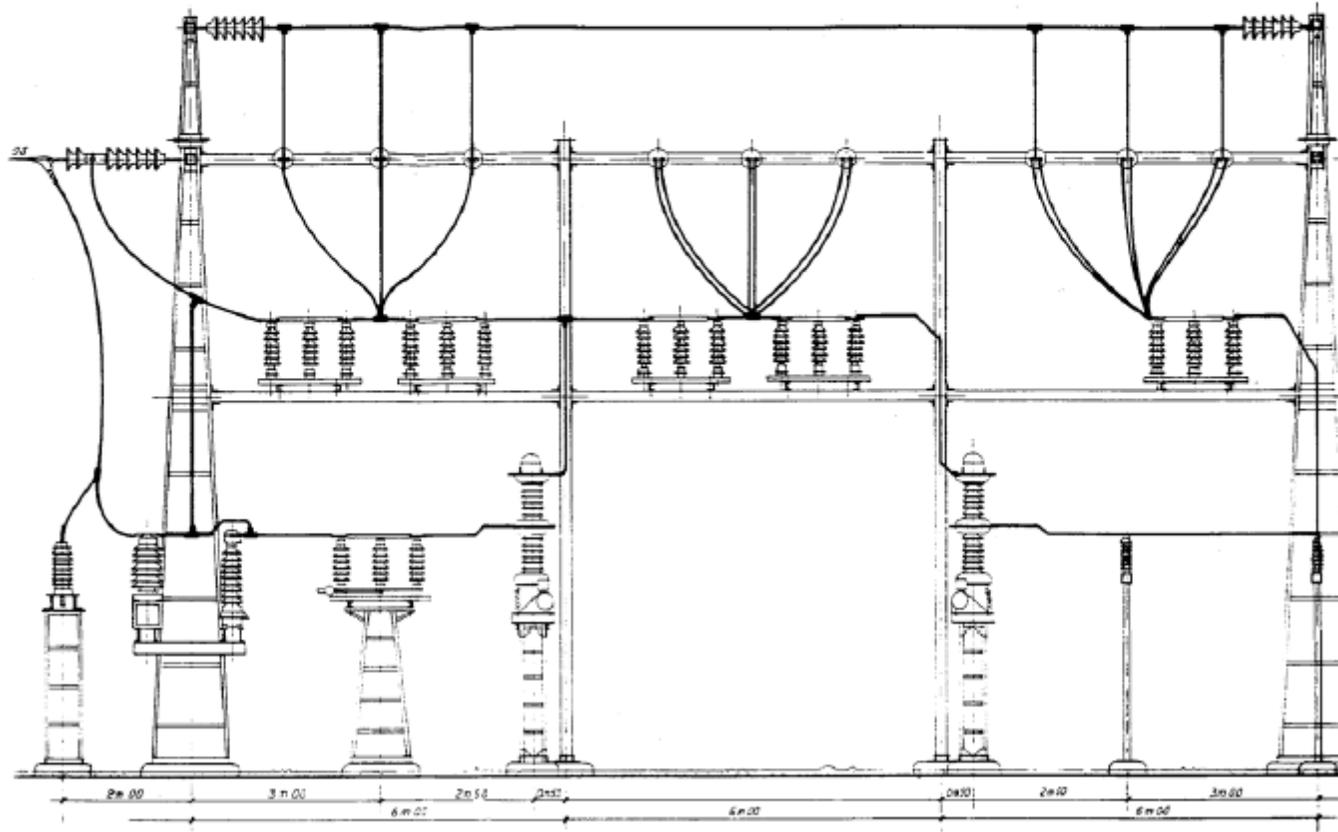
# Disposición física Subestaciones de intemperie



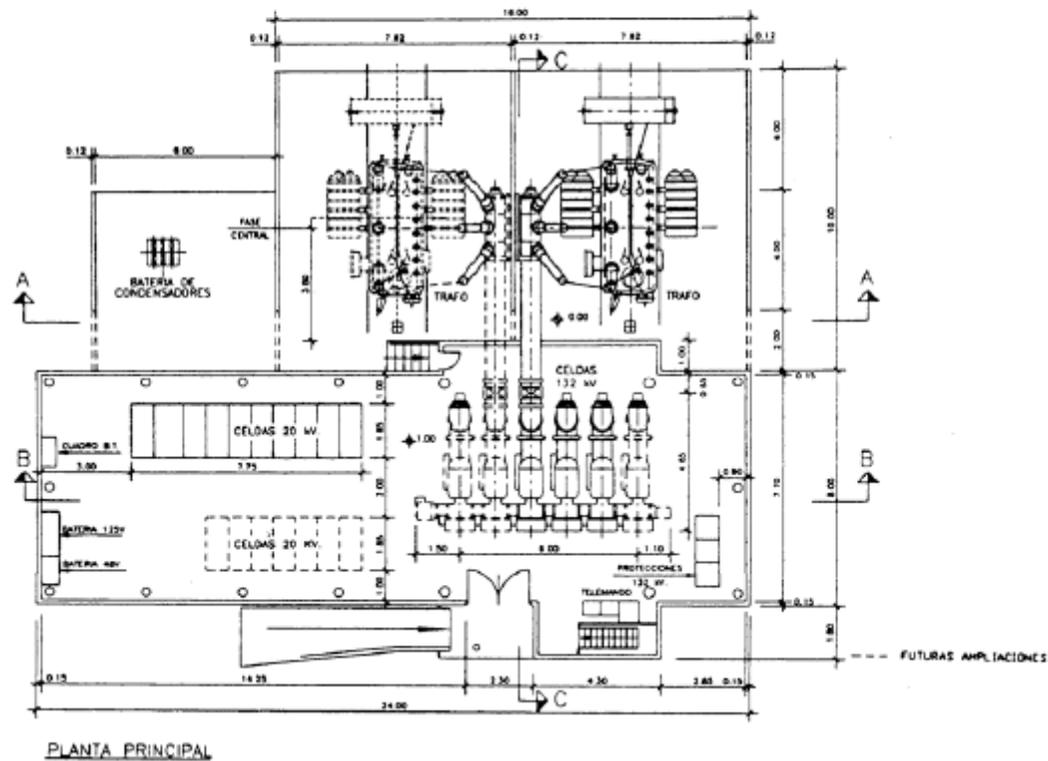
# Disposición física Subestaciones de intemperie



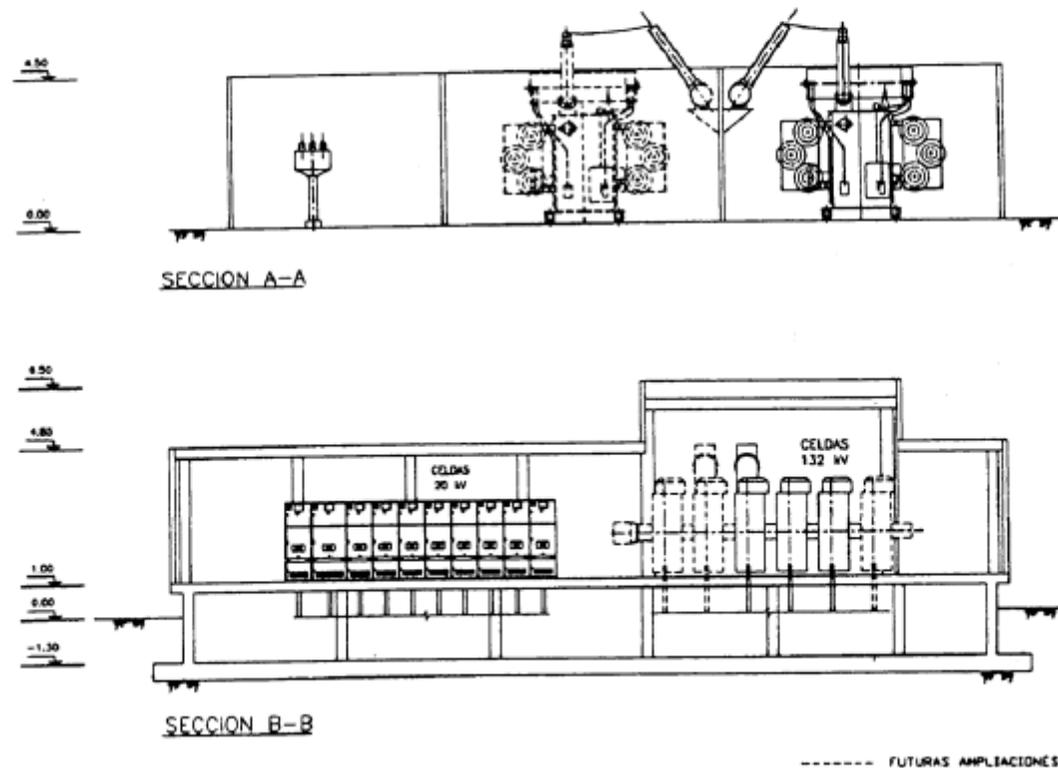
# Disposición física Subestaciones de intemperie



# Disposición física Subestaciones de interior



# Disposición física Subestaciones de interior



# Operación

- Normalmente, en régimen abandonado (sin personal de servicio)
- Posibilidad de operación local en caso de fallo (sistema de control y cableado convencionales)

# Operación

- Estructura de telecontrol (sistema de control digital, fibra óptica):
  - Transmisión de indicaciones y estados (señales digitales)
  - Medidas (señales analógicas)
  - Órdenes
  - Medidas de energía

# ANEXO

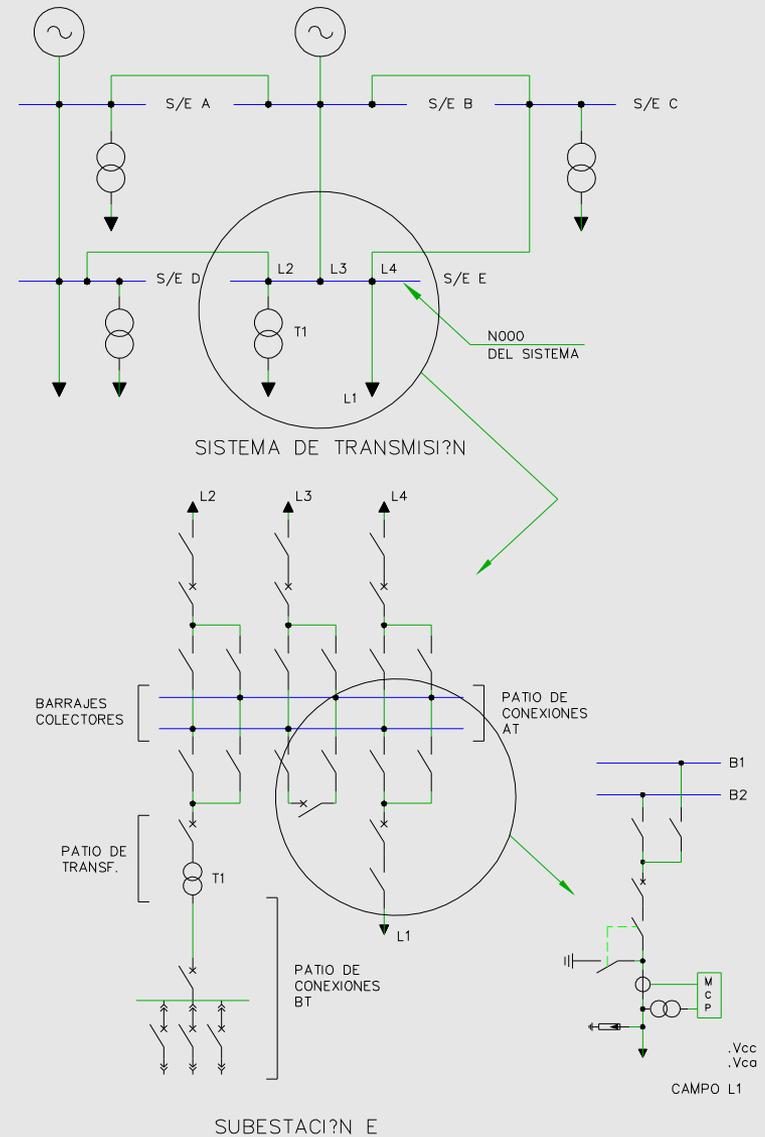
# **Subestaciones Eléctricas**

## **Definiciones, tipos y configuraciones**

# Definición

Una subestación es el desarrollo e implementación de un nodo del sistema.

Conjunto de equipos utilizados para dirigir el flujo de energía en un sistema de potencia y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de control y protección y para redistribuir el flujo de energía a través de rutas alternas.



# Equipos en una subestación

## Interruptor:

### Maniobra:

- Control de flujo
- Aisla para mantenimiento o trabajos

### Protección:

- Aisla elementos con falla (capaz de operar con  $I_{cc}$ )

## Transformadores de

instrumentación: interfaz entre la alta tensión y los equipos de medida, control y protección.

Transformadores de corriente

Transformadores de tensión

## Seccionadores:

Aislan para mantenimiento

Operan sin carga

Pararrayos: Protección contra sobretensiones

Sistema de medida, protección y control

Sistemas auxiliares

# Equipos en una subestación



# Patio de conexiones

Conjunto de equipos y barrajes de una subestación que tienen el mismo nivel de tensión y que están eléctricamente asociados.

Generalmente ubicados en la misma área de la subestación.



# Patio de transformadores

Área de la subestación en donde se ubican los transformadores de potencia. Generalmente entre patios de conexión de diferente niveles de tensión.



# Lote de una subestación

El lote de la subestación es el conformado por las áreas de los patios de conexión y transformación, vías de circulación y mantenimiento, edificaciones, etc.



El lote se debe "urbanizar" en forma óptima para obtener el mejor aprovechamiento de las áreas constitutivas sin que existan interferencias entre los patios, accesos de líneas, vías de circulación, así como durante el montaje, la operación y mantenimiento de la subestación, ampliaciones, etc.

# Otras definiciones

## **Campo (bahía o módulo) de conexión**

- Es el conjunto de equipos necesarios para conectar un circuito (generación, transformación, interconexión o distribución, equipo de compensación, etc) al sistema de barrajes colectores de un patio de conexiones.

## **Barrajes colectores**

- Elemento físico de un patio de conexiones que representa el nodo del sistema, es decir, el punto de conexión en donde se unen eléctricamente todos los circuitos que hacen parte de un determinado patio de conexiones.

## **Disposición física**

- Es el ordenamiento físico de los diferentes equipos constitutivos de un patio de conexiones para una configuración determinada.

# Tipos de subestación

## Subestación de generación

- Asociadas a centrales generadoras. Dirigen directamente el flujo de potencia al sistema.

## Subestación de transformación

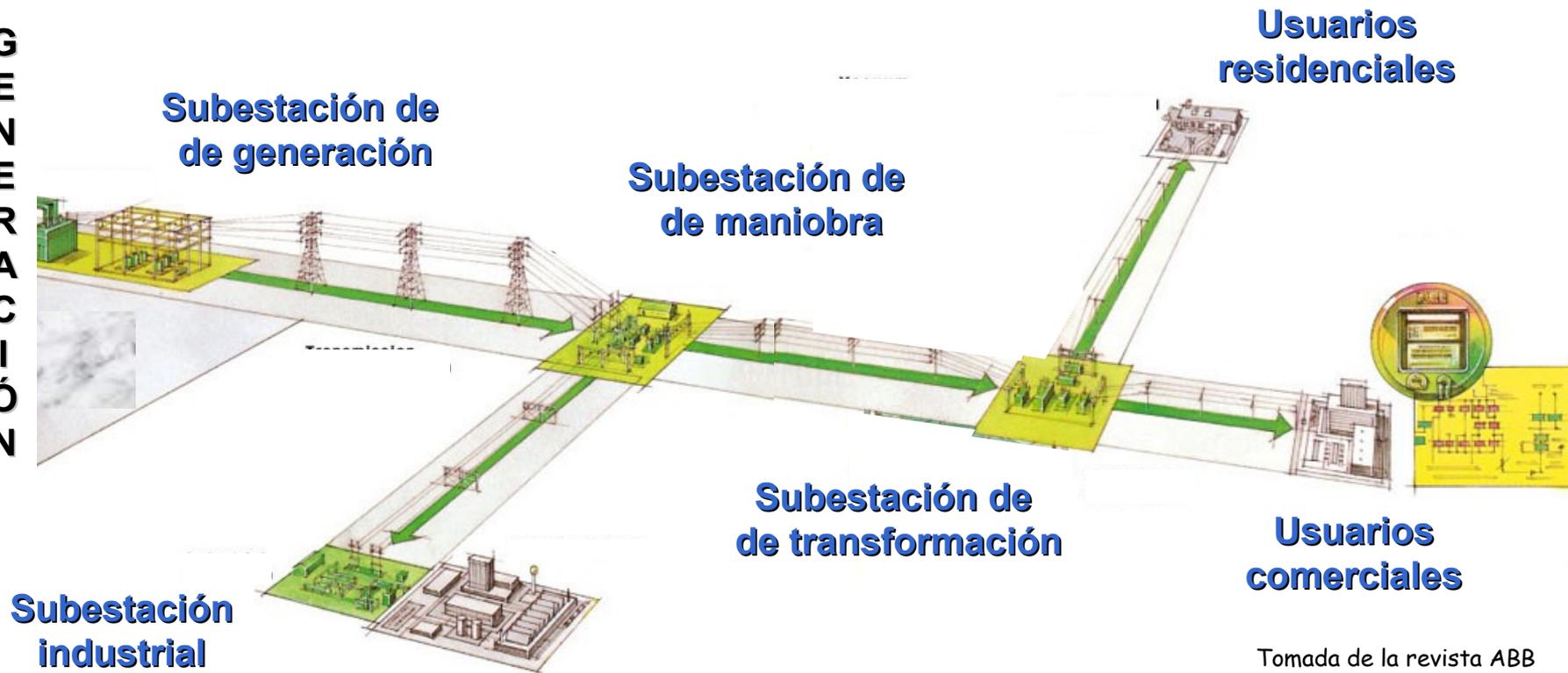
- Con transformadores elevadores o reductores (pueden ser terminales o no).

## Subestación de maniobra

- Conectan varios circuitos (o líneas) para orientar o distribuir el flujo de potencia a diferentes áreas del sistema.

# Tipos de subestación

**G  
E  
N  
E  
R  
A  
C  
I  
O  
N**



Tomada de la revista ABB

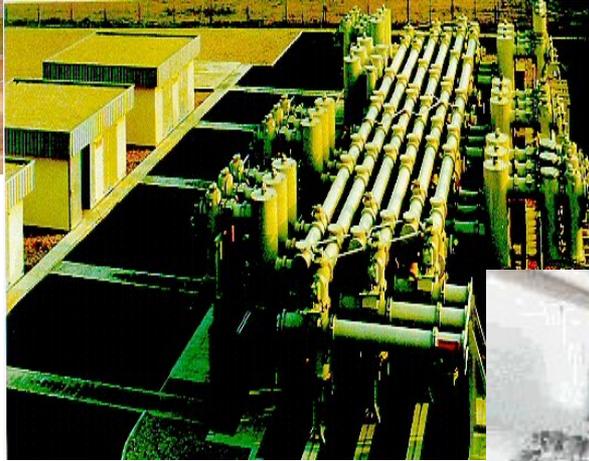
# Tipos de subestación

Las subestaciones también pueden ser:

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



Convencionales o aisladas  
al aire - AIS



Encapsuladas o aisladas  
en SF6 - GIS

Exterior



Interior

**Tipos de  
subestación**

celdas para subestaciones  
de media y baja tensión



# Configuración de una subestación

Se denomina configuración al arreglo de los equipos electromecánicos constitutivos de un patio de conexiones, o pertenecientes a un mismo nivel de tensión de una subestación, efectuado de tal forma que su operación permita dar a la subestación diferentes grados de confiabilidad, seguridad y flexibilidad de manejo, transformación y distribución de energía.

Cada punto (o nodo) en el sistema tiene diferentes requerimientos de confiabilidad, seguridad y flexibilidad y cada configuración brinda diferentes grados de estas características.

# Tipos de configuración

## Tendencia europea - Conexión de seccionadores

Son aquellas en las cuales cada circuito tiene un interruptor, con la posibilidad de conectarse a una o más barras por medio de seccionadores:

- Barra sencilla
- Barra principal y de transferencia
- Doble barra
- Doble barra más seccionador de "by pass" o paso directo
- Doble barra más seccionador de transferencia
- Doble barra más barra de transferencia

# SUBESTACIONES CON ARREGLO SENCILLO DE BARRAS.

Por su simplicidad, este arreglo es el más económico, pero carece de los dos principales defectos, que son:

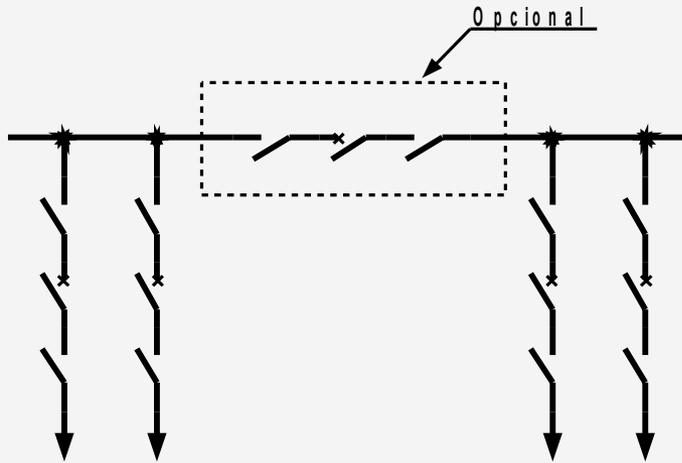
- a) No es posible realizar el mantenimiento sin la interrupción del servicio.
- b) No es posible una ampliación de subestación sin interrumpir el servicio.

El número de circuitos que se vea afectado por cualquiera de las razones anteriores, se puede reducir seccionando la barra, e inclusive formando anillos,

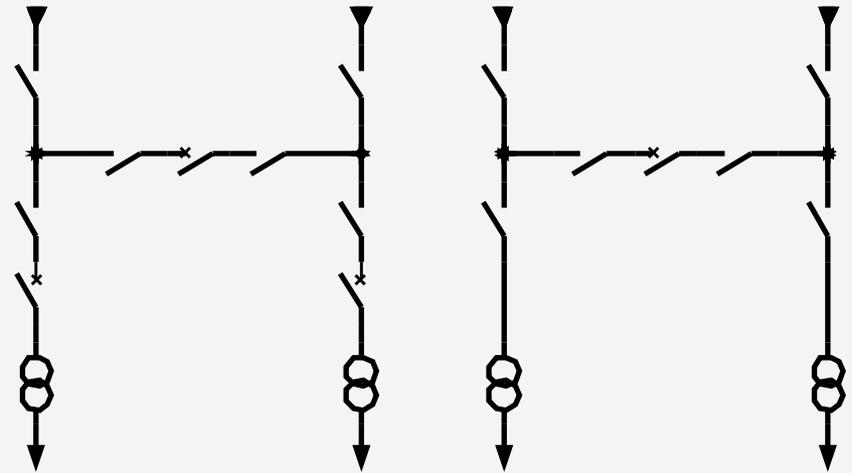
Este arreglo tiene la limitante de que toda la subestación queda fuera de servicio cuando ocurre una falla en las barras principales.

# Tipos de configuración

## Tendencia Europea



Barra sencilla



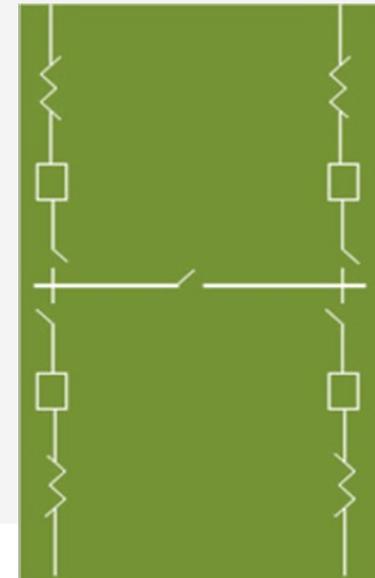
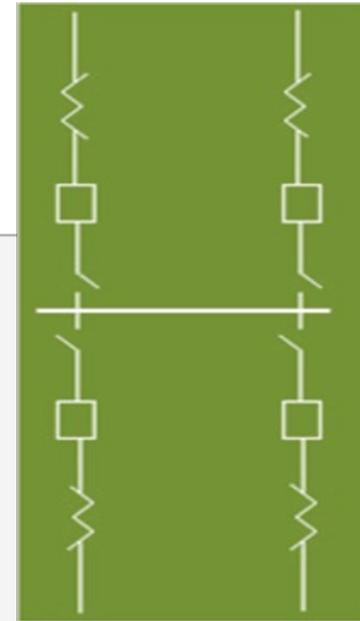
Configuración en "H"

## Barra sencilla

Es la configuración más sencilla, por tanto la más económica. En condiciones normales de operación, todas las líneas y transformadores están conectados a un solo juego de barras. Con esta configuración en caso de operar alguna protección queda desenergizada toda la subestación; para realizar el mantenimiento de algún elemento es necesario desenergizar parte de la subestación.

## Barra sencilla particionada

Tiene la ventaja de que si se presenta alguna falla, puede seguir funcionando la mitad de la subestación. Esta configuración implica un seccionador mas, pero hace más confiable el sistema.



# SUBESTACIÓN CON BARRA PRINCIPAL Y BARRA DE TRANSFERENCIA.

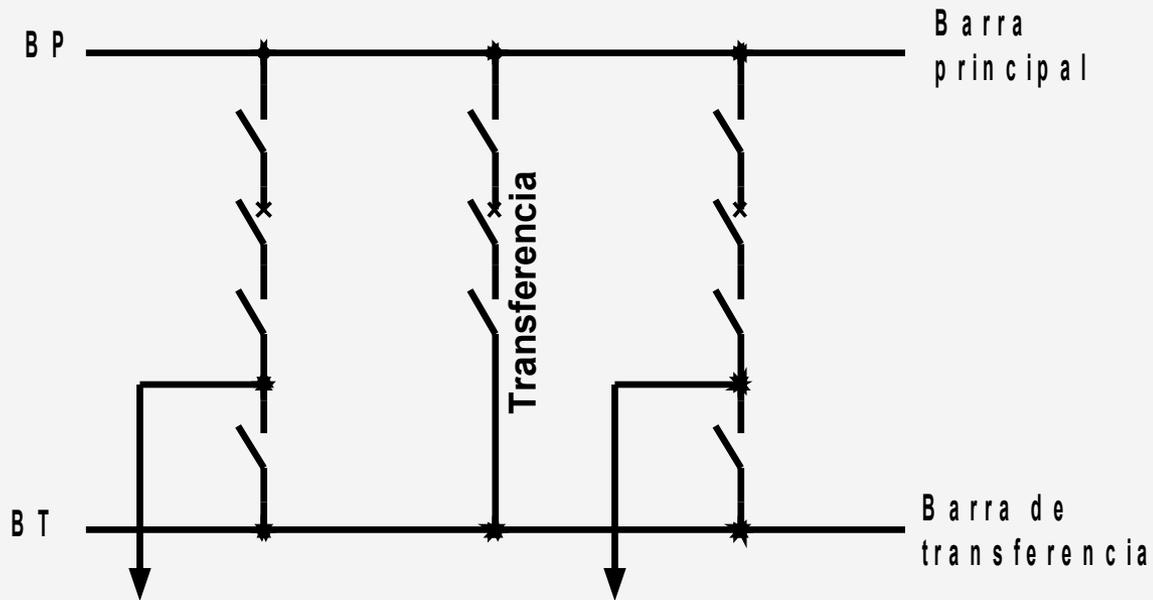
Esta es una variante del doble juego de barras; la llamada barra de transferencia, se usa únicamente como auxiliar, cuando se efectúa el mantenimiento en el interruptor de línea, de manera que el interruptor se puede desconectar en ambos extremos, mientras la línea o alimentador permanece en el servicio.

## COMPARACIONES DE CONFIABILIDAD.

Se han comparados los diversos esquemas para hacer resaltar sus ventajas y desventajas. La base de comparación que se utiliza es la justificación económica de un grado particular de confiabilidad. La determinación del grado de confiabilidad requiere de una evaluación de condiciones anticipadas de operación y la continuidad del servicio requerida por la carga a la que haya de servir.

# Tipos de configuración

## Tendencia Europea (continuación)



Barra principal y de transferencia

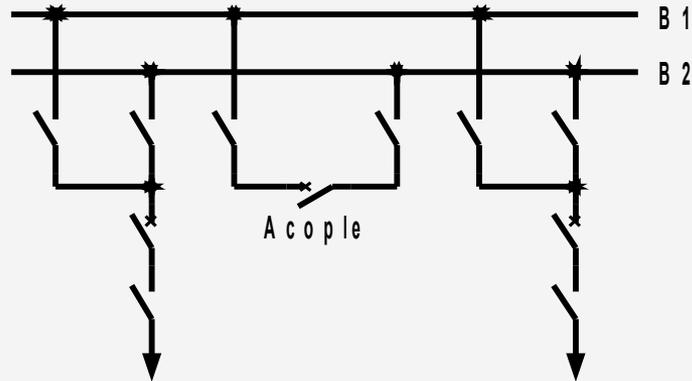
# SUBESTACIONES CON DOBLE JUEGO DE BARRAS.

Se usan dos juegos de barras idénticas, uno se puede usar como repuesto del otro, con este arreglo se puede garantizar que no existe interrupción de servicio; en el caso de que falle uno de los juegos de barras además de que:

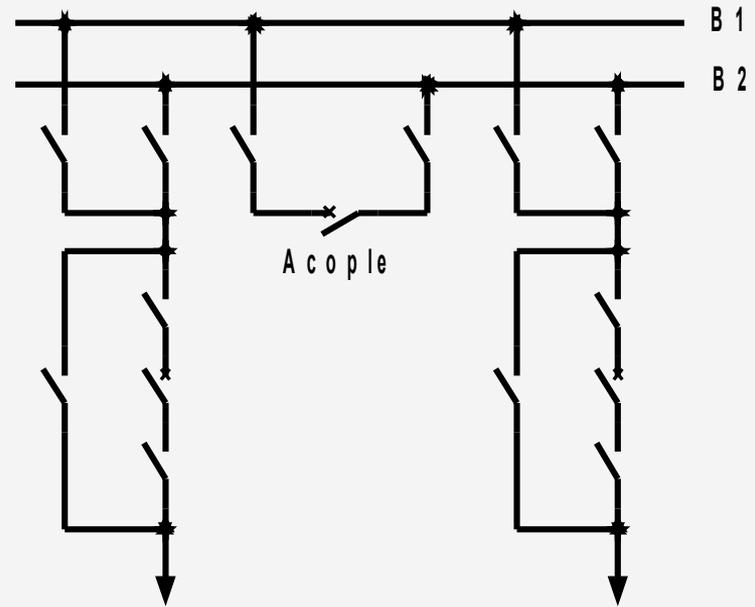
1. Se puede independizar el suministro de cargas, de manera que cada carga, se puede alimentar de cada juego de barras.
2. Cada juego de barras, se puede tomar por separado para mantenimiento y limpieza de aisladores, sin embargo, los interruptores, no están disponibles para mantenimiento sin que se desconecten la barras correspondientes.
3. La flexibilidad en operación normal, se puede considerar como buena.
4. Este arreglo se recomienda adoptarlo cuando la continuidad en el suministro de la carga, justifica costos adicionales.

# Tipos de configuración

## Tendencia Europea (continuación)



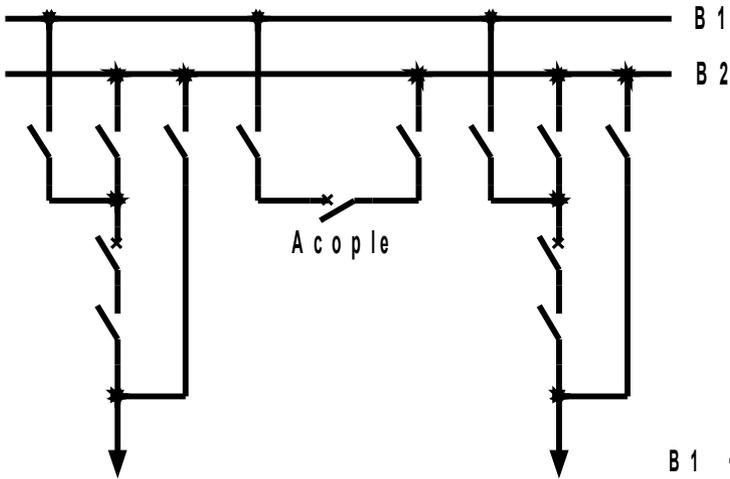
Doble barra



Doble barra más seccionador de "By-Pass" o paso directo

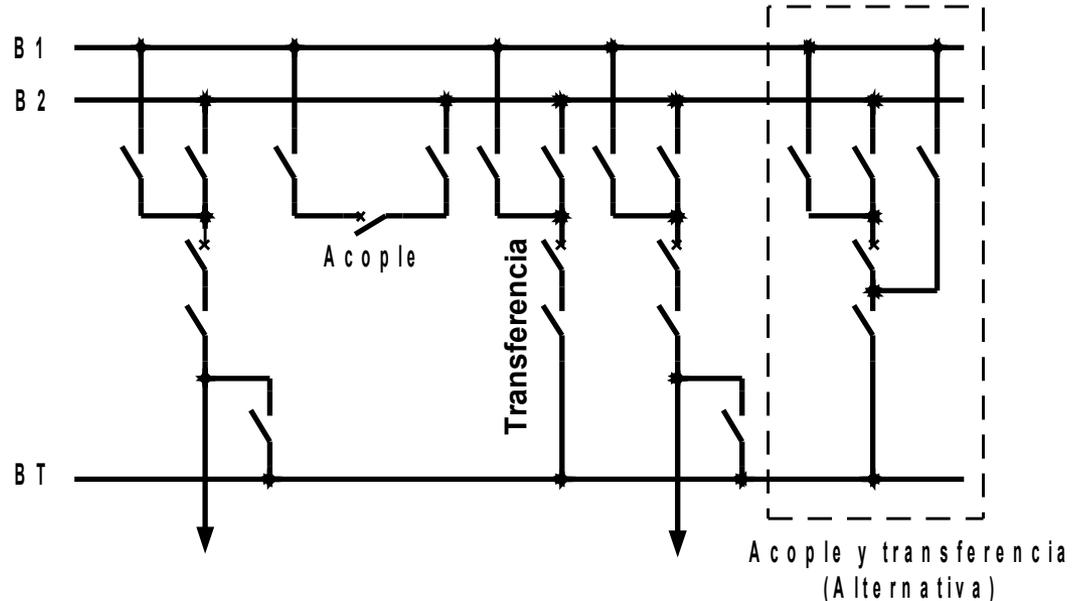
# Tipos de configuración

## Tendencia Europea (continuación)



Doble barra más seccionador de transferencia

### Doble barra más barra de transferencia



# Configuración doble barra

Está constituido por dos (2) barras principales, las cuales se acoplan entre sí mediante un disyuntor y sus seccionadores asociados.

## Ventajas:

Las labores de mantenimiento pueden ser realizadas sin interrupción del servicio.

Facilita el mantenimiento de seccionadores de barra, afectando únicamente el tramo asociado.

## Desventajas:

La realización del mantenimiento en un disyuntor de un tramo, requiere la salida del tramo correspondiente.

Requiere de gran espacio físico para su construcción.

# Tipos de configuración

## Tendencia americana - Conexión de interruptores

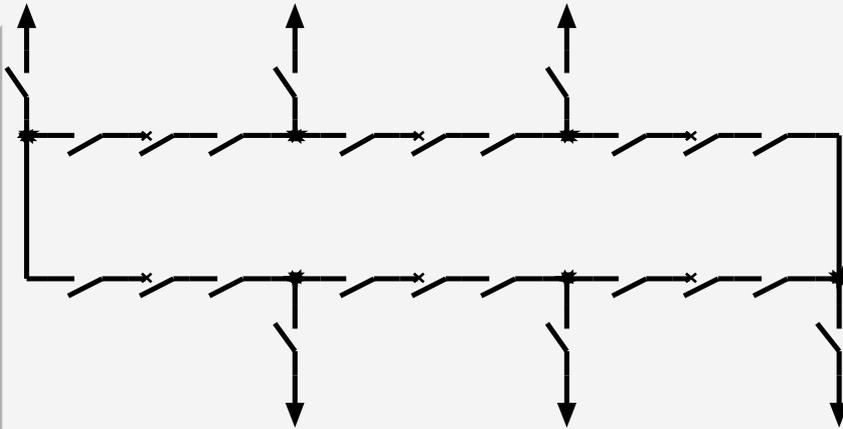
Son aquellas en las cuales los circuitos se conectan a las barras o entre ellas, por medio de interruptores:

- Anillo
- Interruptor y medio
- Doble interruptor

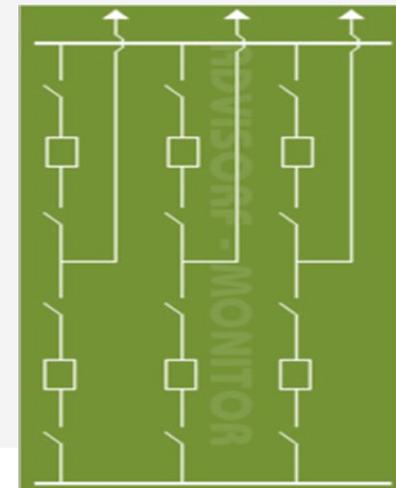
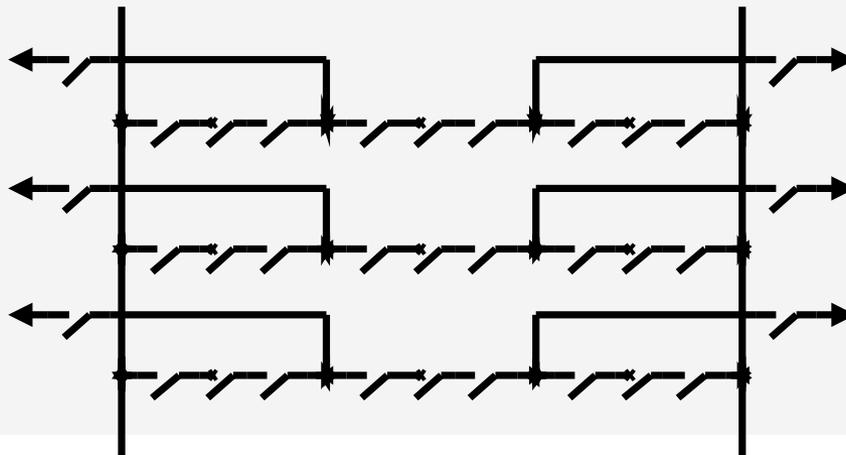
# Tipos de configuración

## Tendencia Americana

Anillo



Interruptor y medio



# Configuración interruptor y medio

Constituido por dos (2) barras principales interconectadas a través de dos (2) tramos de disyuntor y medio (1-1/2) a los cuales las salidas están conectadas.

## Ventajas:

No necesita tramo de enlace de barra.

El mantenimiento de un disyuntor se puede realizar sin sacar de servicio el tramo correspondiente.

## Desventajas:

Para la realización del mantenimiento de los seccionadores conectados directamente al tramo, es necesario dejar fuera de servicio el tramo correspondiente.

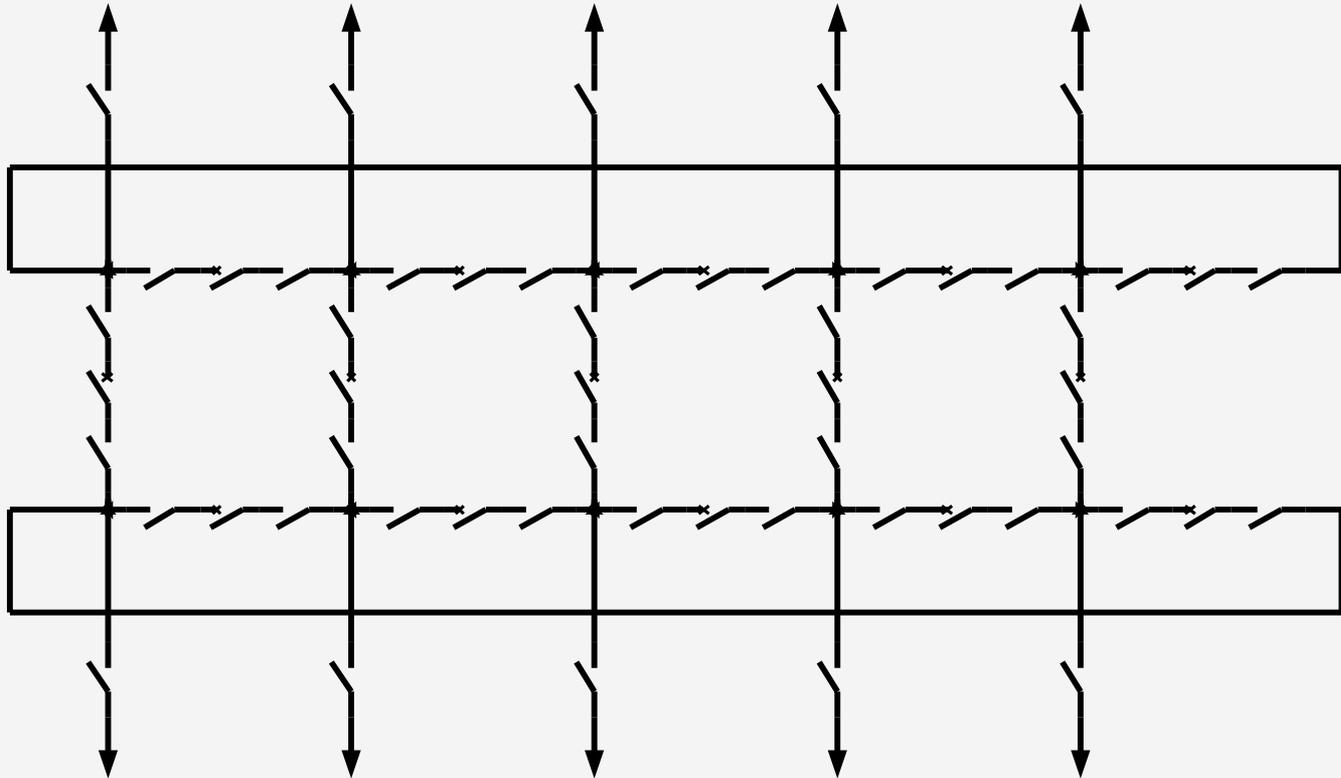
Requiere gran espacio físico para su construcción.



# Otras configuraciones

- Anillo cruzado
- Interruptor y tres cuartos
- Malla

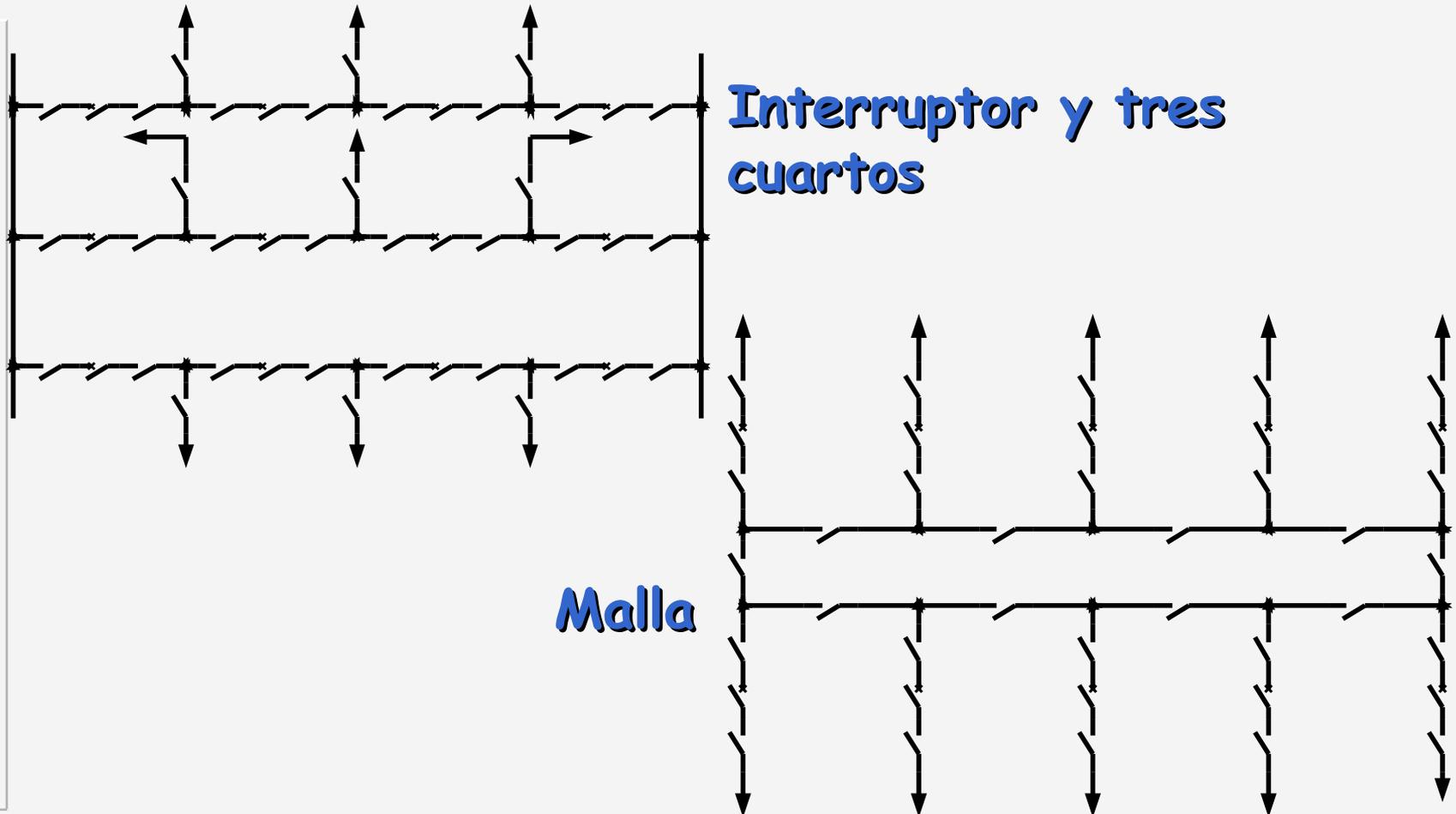
# Otras configuraciones



Anillo cruzado

# Otras configuraciones

## Continuación



# USO DE LAS PRINCIPALES CONFIGURACIONES

## Configuraciones

### Tendencia Europea

Cada circuito tiene un interruptor, con la posibilidad de conectarse a una ó más barras por medio de seccionadores.

- Barra Sencilla
- Barra Principal y Barra de Transferencia
- Doble Barra
- Doble Barra mas by Pass
- Doble Barra mas Barra de Transferencia

### Tendencia Americana

Los circuitos se conectan a las barras ó entre ellas por medio de interruptores.

- Anillo
- Interruptor y Medio
- Doble Barra con Doble Interruptor

# Consideraciones en la selección de la configuración de una subestación

Función que desempeña la subestación en el sistema interconectado para determinar su necesidad de flexibilidad, confiabilidad y seguridad.

Tipo de subestación (generación, transformación o maniobra)

Conocer las características de la configuración

Facilidades de extensión y modulación

Simplicidad en el control y protección

Facilidad en el mantenimiento

Área disponible

Costos

# Selección de la configuración

## 1. Función que desempeña la subestación en el sistema

### Flexibilidad

Es la propiedad de la instalación para acomodarse a las diferentes condiciones que se puedan presentar por cambios operativos en el sistema, y además por contingencias y/o mantenimiento del mismo.

Control de potencia reactiva para optimizar cargas en generadores

- Limitar niveles de corto
- Estabilidad en el sistema
- Independizar o limitar influencia de cargas
- Varias compañías en una misma subestación

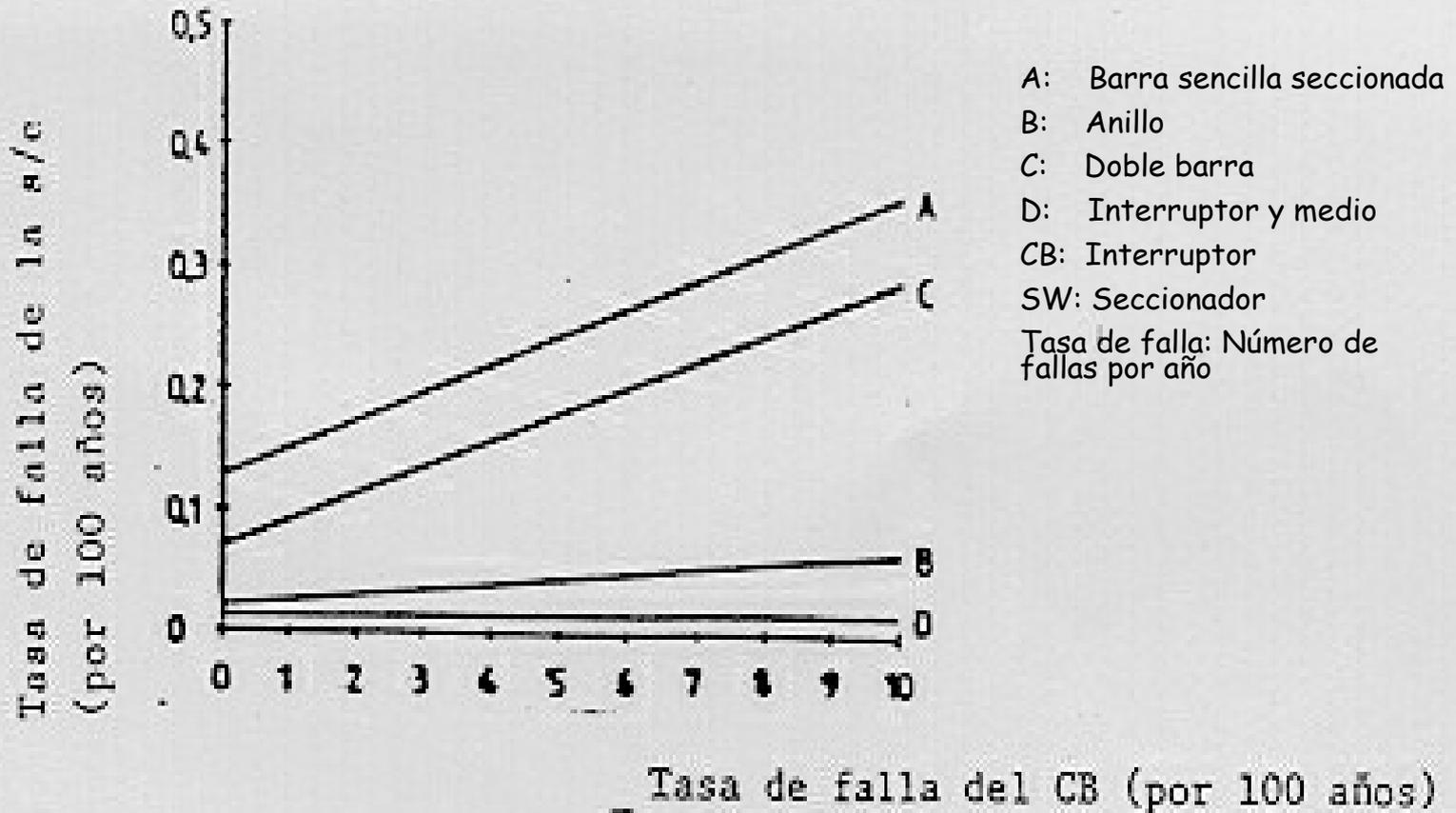
# Función que desempeña la subestación en el sistema

## Confiabilidad

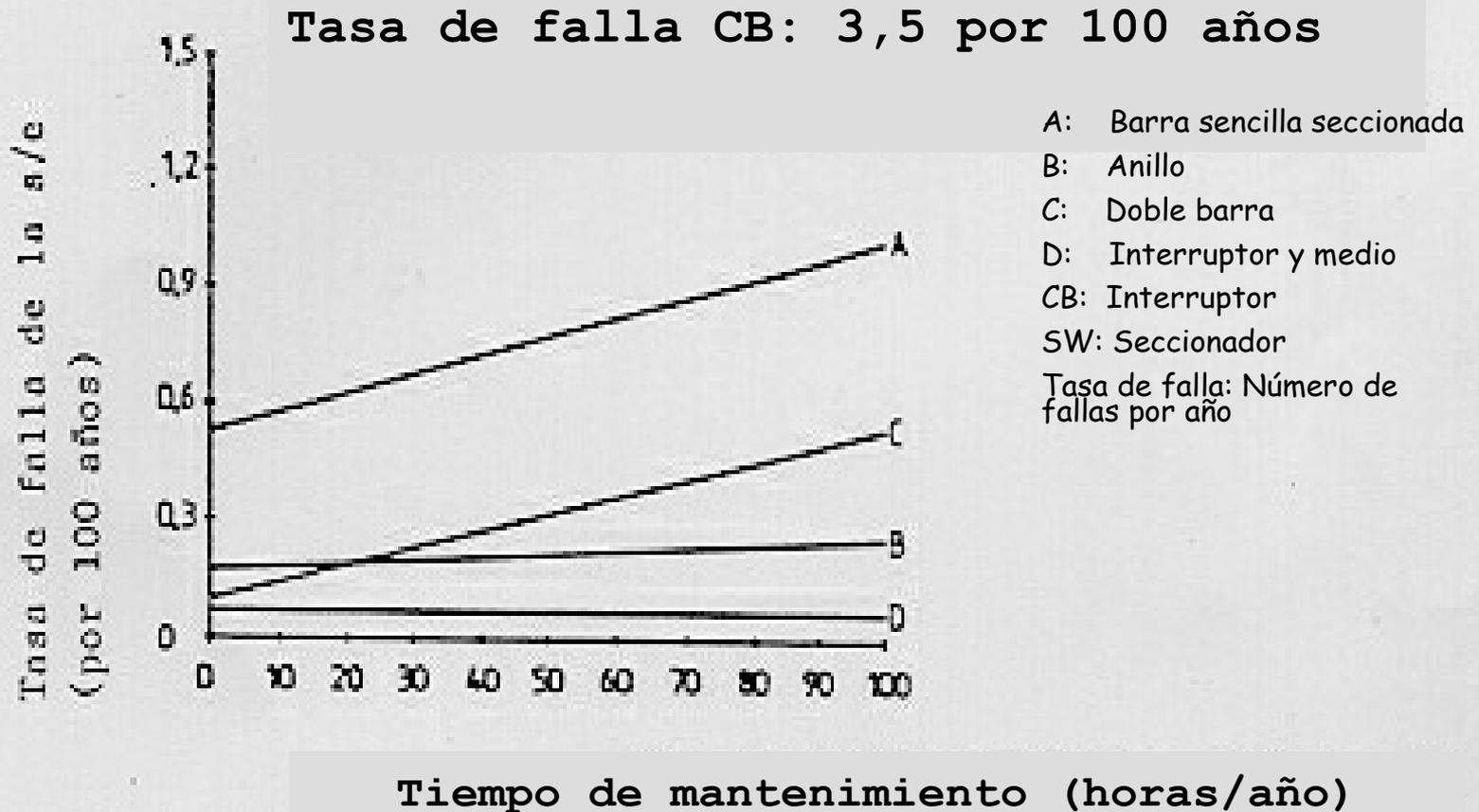
Es la probabilidad de que una subestación pueda suministrar energía durante un periodo de tiempo dado, bajo la condición de que al menos un componente de la subestación no pueda repararse durante la operación.

- Diferentes artículos y revistas incluyen cifras o gráficas que permiten hacer comparaciones, como gráficas del CIGRE en revista ELECTRA No. 65
- Programas de computador para definir la confiabilidad con tasas de frecuencia y duración de fallas.

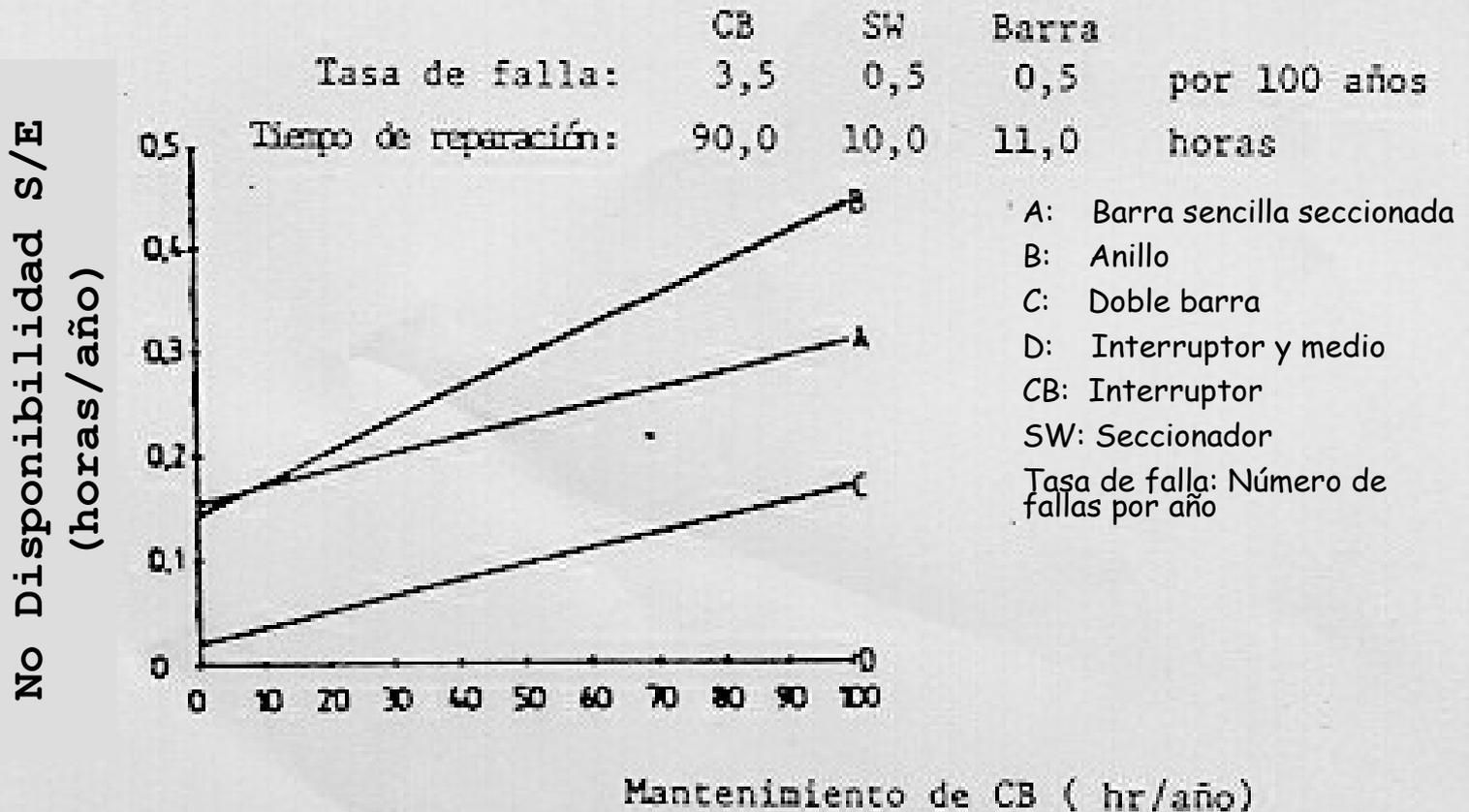
# Tasa de falla de una subestación de distribución en función de la tasa de falla de los interruptores



# Tasa de falla de una subestación de distribución teniendo en cuenta el tiempo de mantenimiento de los interruptores



# No disponibilidad de una subestación de transmisión en función del tiempo de mantenimiento de los interruptores



# Función que desempeña la subestación en el sistema

## Seguridad

Es la propiedad de una instalación para dar continuidad de servicio sin interrupción alguna durante fallas en los equipos de potencia, especialmente interruptores y barras.

# Selección de la configuración

## 2. Tipos de subestación

### Generación

Requiere principalmente confiabilidad

La seguridad y la flexibilidad pueden ser requerimiento adicional, dependiendo de la importancia y ubicación de la subestación en el sistema.

### Maniobra

Requiere principalmente flexibilidad

### Transformación

Requiere principalmente confiabilidad

La seguridad puede ser de importancia

# Selección de la configuración

## 3. Características de las configuraciones

Las subestaciones con barra de transferencia brindan confiabilidad por falla en interruptores.

Las subestaciones con doble barra brindan flexibilidad para la operación del sistema y confiabilidad por falla en barras.

Las subestaciones con doble barra, en donde una de ellas también sirve como barra de reserva no brindan simultáneamente flexibilidad y confiabilidad.

# Selección de la configuración

El seccionamiento de barras brinda parcialmente confiabilidad por falla en barras.

Las subestaciones con conexión de interruptores brindan buena confiabilidad y seguridad.

La configuración en anillo siempre se debe diseñar en forma modular, tal que se pueda convertir en interruptor y medio.

# Selección de la configuración

La barra sencilla es una configuración sin confiabilidad, seguridad o flexibilidad, que se debe utilizar solo para las subestaciones pequeñas o de menor importancia en el sistema.

La doble barra más seccionador de "by pass" o paso directo es una configuración que brinda, pero no simultáneamente, flexibilidad y confiabilidad, complicada en su operación y control, que puede ser utilizada en subestaciones de maniobra con generación o transformación.

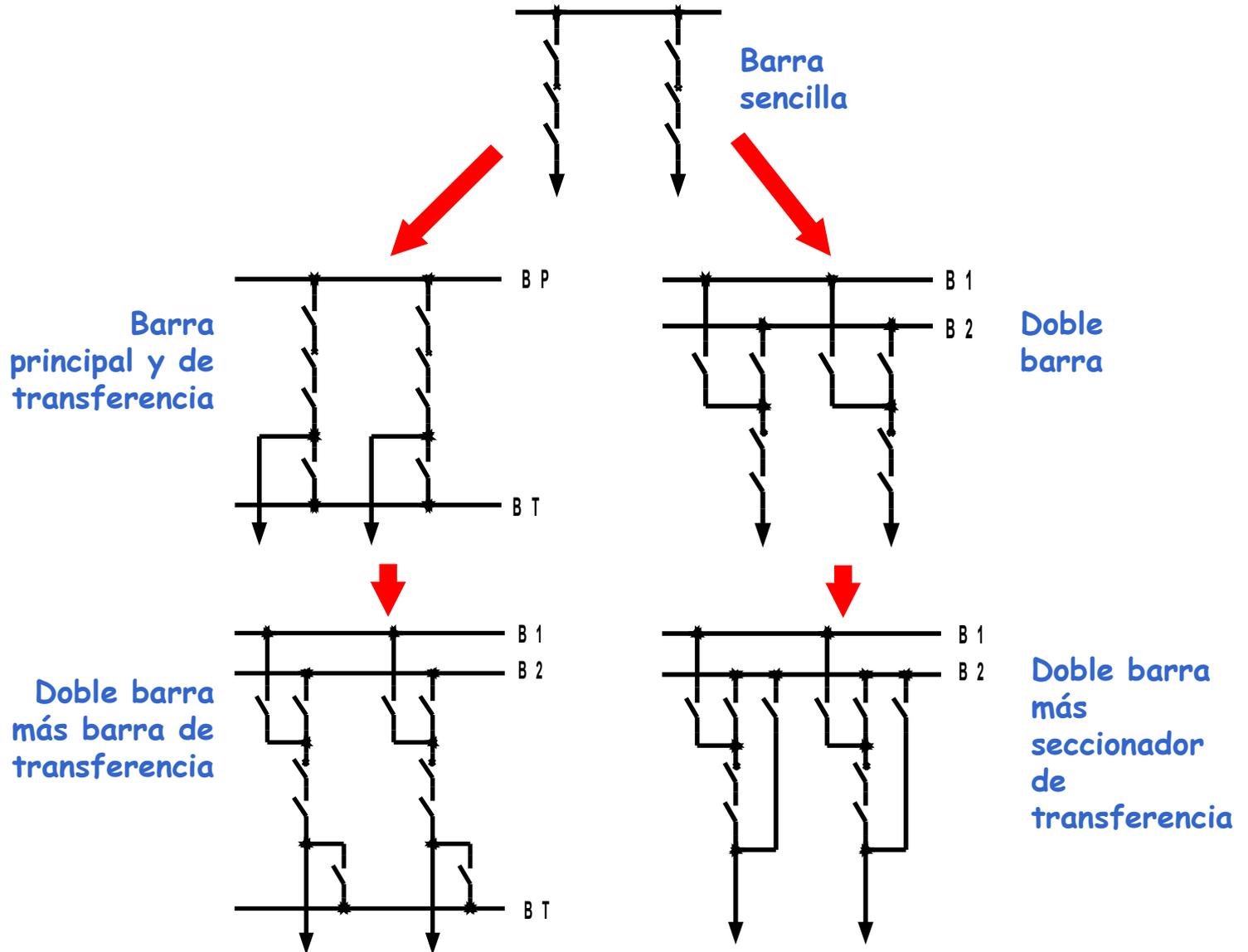
# Selección de la configuración

La doble barra más seccionador de transferencia es una configuración similar a la anterior pero un poco más simple en su operación y control.

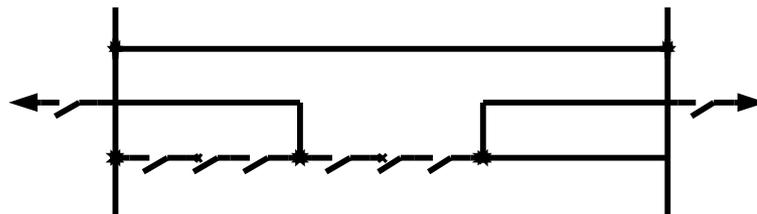
El anillo cruzado es una configuración un poco más segura y confiable que el interruptor y medio pero más complicada en su control y operación

Las configuraciones más utilizadas para subestaciones encapsuladas en SF<sub>6</sub> son: para alta tensión barra sencilla, doble barra, anillo e interruptor y medio; para extra alta tensión son anillo, interruptor y medio y doble interruptor.

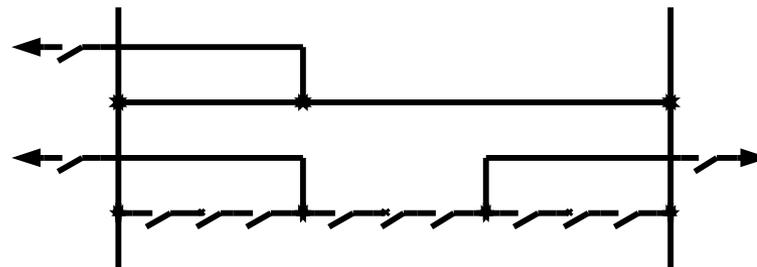
# Desarrollo de conexión de barras



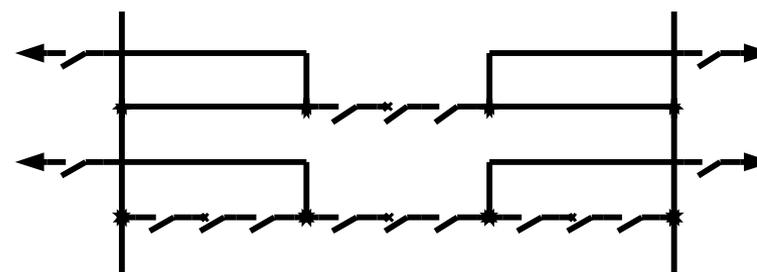
# Desarrollo de conexión de interruptores



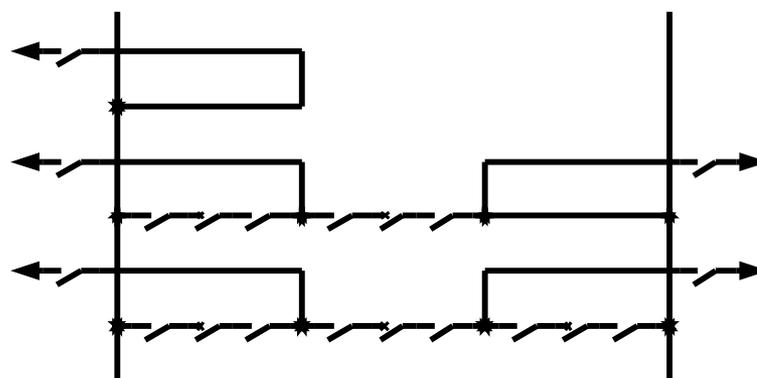
2 Circuitos (Anillo)



3 Circuitos (Anillo)

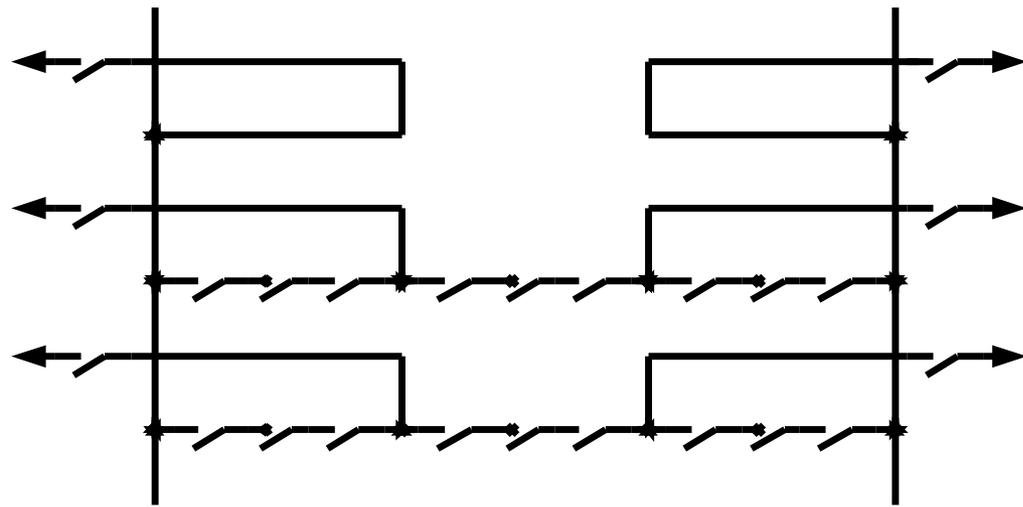


4 Circuitos (Anillo)

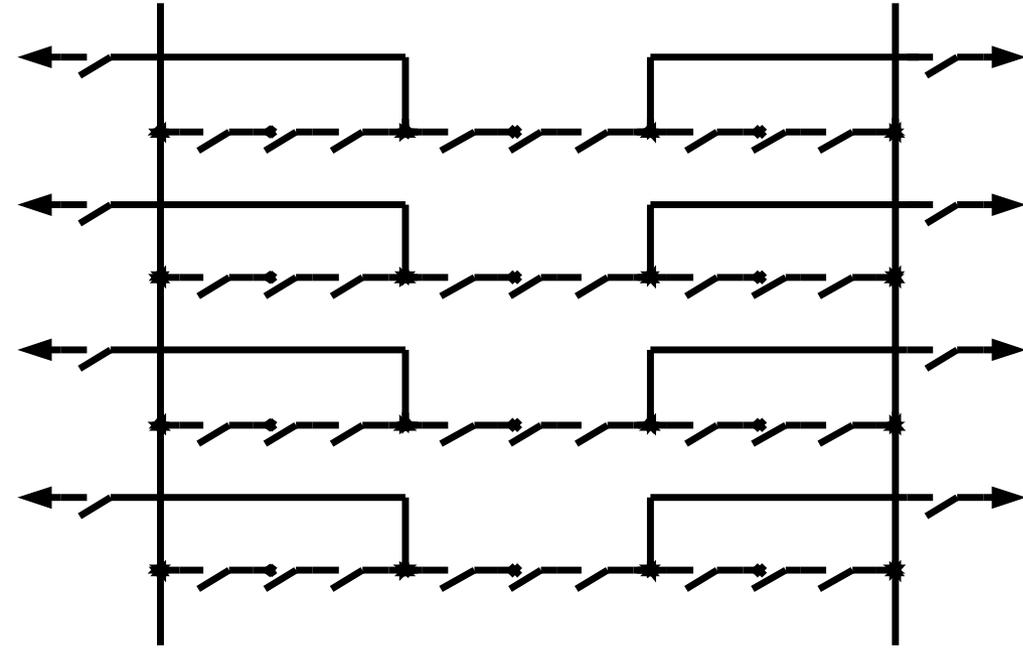


5 Circuitos (Anillo)

# Desarrollo de conexión de interruptores



6 Circuitos  
(Anillo)



>6 Circuitos  
(Interruptor  
y medio)

# Selección de la configuración

## 5. Simplicidad en el esquema de control y protecciones

+ Interruptores + complicada la subestación

Se debe reducir el número de interruptores y seccionadores cuando se quiere simplicidad.

Configuraciones del tipo conexión de seccionadores son complejas en su sistema de enclavamientos.

Configuraciones del tipo conexión de interruptores son complejas en su sistema de protección (recierre, sincronismo, falla interruptor, etc).

# Selección de la configuración

## 6. Facilidad de mantenimiento

Cada configuración brinda ventajas y desventajas durante mantenimiento.

Cuadro comparativo del CIGRE - revista ELECTRA No. 10

# Facilidades de mantenimiento de cada configuración

CONFIGURACIÓN	EFECTO DE MANTENIMIENTO EN INTERRUPTOR		
	Normal	Falla en circuito	Falla en barra
<b>Barra sencilla</b>	Pérdida de circuito		Pérdida de todos los circuitos
<b>Barra sencilla seccionada</b>	Pérdida de circuito		Pérdida de la mitad de los circuitos
<b>Barra principal y de transferencia</b>	Nada si el interruptor de transferencia está disponible	Pérdida de circuito La barra de transferencia si la falla es en el circuito en transferencia	En la de transferencia pérdida del circuito. En la principal si no está seccionada se pierden todos los circuitos
<b>Doble barra</b>	Pérdida de circuito		Se pierden todos los circuitos conectados a la barra con falla mientras se conmutan a la barra sana
<b>Doble barra más barra de transferencia</b>	Nada si el interruptor de transferencia está disponible	Pérdida de circuito y de barra de transferencia si la falla es en el circuito en transferencia.	En la de transferencia pérdida de circuito En una principal se pierden todos los circuitos conectados a ésta mientras se conmutan a la barra sana

# Facilidades de mantenimiento de cada configuración

CONFIGURACIÓN	EFECTO DE MANTENIMIENTO EN BARRAS		
	Normal	Falla en circuito	Falla en barra
<b>Barra sencilla</b>	Pérdida de todos los circuitos		
<b>Barra sencilla seccionada</b>	Pérdida de la mitad de los circuitos	Pérdida de circuito	Pérdida de todos los circuitos
<b>Barra principal y de transferencia</b>	Se pierden todos los circuitos si la barra principal no está seccionada	Pérdida de circuito y barra de transferencia si la barra principal está seccionada	Pérdida de todos los circuitos
<b>Doble barra</b>	Nada, siempre y cuando no se sobrepase el nivel máximo de corto circuito	Pérdida de circuito	Pérdida de todos los circuitos
<b>Doble barra más barra de transferencia</b>	Nada, siempre y cuando no se sobrepase el nivel máximo de corto circuito	Pérdida de circuito	Pérdida de todos los circuitos

# Facilidades de mantenimiento de cada configuración

CONFIGURACIÓN	EFECTO DE MANTENIMIENTO EN INTERRUPTOR		
	Normal	Falla en circuito	Falla en barra
<b>Doble barra más "by pass"</b>	Nada si el interruptor de acople está disponible	Pérdida de circuito. Si la falla es en el circuito con el interruptor en mantenimiento se pierde ese circuito con el acople y una de las barras	Si no es la barra que está siendo utilizada como transferencia se pierden todos los circuitos, mientras se conmuta a la barra sana la cual no puede ser utilizada más como barra de transferencia
<b>Anillo</b>	Ningún circuito se pierde, pero se rompe el anillo	Pérdida de circuito Segundo circuito puede quedar aislado dependiendo del lugar de la falla	
<b>Interruptor y medio</b>	Nada	Pérdida de circuito	Se aísla un circuito si el interruptor central está en mantenimiento. Si la falla es en la barra opuesta el interruptor en mantenimiento quedan aislados dos circuitos
<b>Doble interruptor</b>	Nada	Pérdida de circuito	Pérdida de un circuito si el interruptor en mantenimiento está adyacente a la barra con la falla

# Facilidades de mantenimiento de cada configuración

CONFIGURACIÓN	EFECTO DE MANTENIMIENTO EN BARRAS		
	Normal	Falla en circuito	Falla en barra
Doble barra más "by pass"	Nada, siempre y cuando no se sobrepase el nivel máximo de cortocircuito	Pérdida de circuito	Pérdida de todos los circuitos
Anillo			
Interruptor y medio	Nada	Pérdida de uno o dos circuitos	La subestación puede dividirse en grupos de dos circuitos
Doble interruptor	Nada	Pérdida de circuito	Pérdida de todos los circuitos

# Selección de la configuración

## 7. Área

El área de una configuración determinada depende de la disposición física que se utilice.

En general las configuraciones de conexión de seccionadores ocupan una mayor área que las subestaciones con conexión de interruptores.

Áreas muy limitadas pueden exigir ejecuciones con una disposición física con muchos niveles de conexión o inclusive del tipo encapsulada (GIS).

# Selección de la configuración

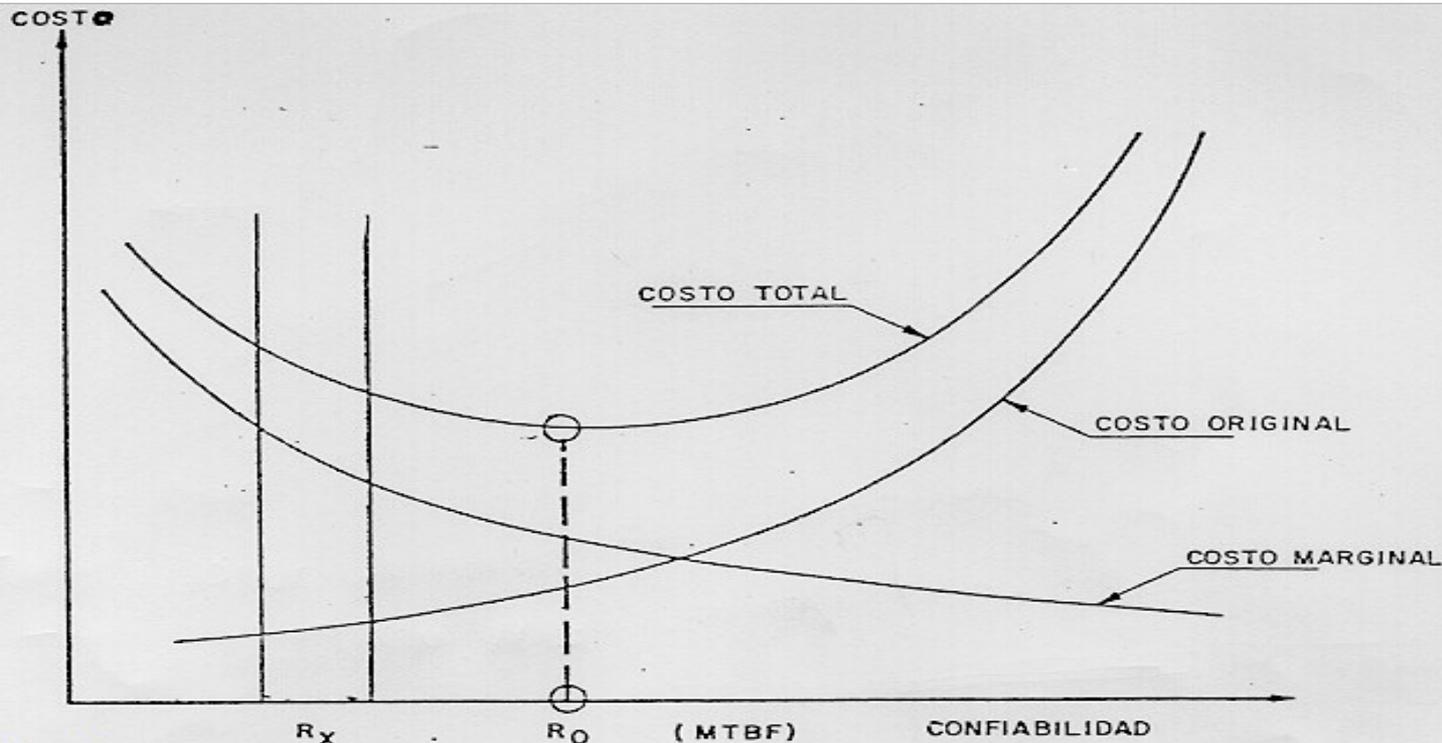
## 8. Costo

El costo de una subestación aumenta a medida que se hace más compleja la configuración.

Las configuraciones interruptor y medio y doble interruptor, son más costosas que las de conexión de seccionadores.

Las configuraciones de conexión de seccionadores deben contar con la inversión inicial del campo de acople y/o transferencia.

# Costo vs Confiabilidad



Donde:

- ✓  $R_0$ : Punto de costo más económico para confiabilidad del sistema.
- ✓  $R_x$ : Franja del costo usualmente causado por la tendencia de minimalizar costo.
- ✓ MTBF: Tiempo medio entre fallas, el cual es función en cierto modo del tipo de configuración. "MEAN TIME BETWEEN FAILURES".

# Selección de la configuración

El costo se debe tomar como un todo para poder efectuar comparaciones: ingeniería + equipos + obras civiles + lote + montaje + operación y mantenimiento + indisponibilidad + otros costos.

Las subestaciones encapsuladas (GIS), en lo que respecta al equipo, son más costosas que las convencionales (AIS), por lo que su utilización debe ser bien justificada.

# Comparación de costos en subestaciones encapsuladas y convencionales a 145 kV

Mantenimiento durante 30 años

Construcción

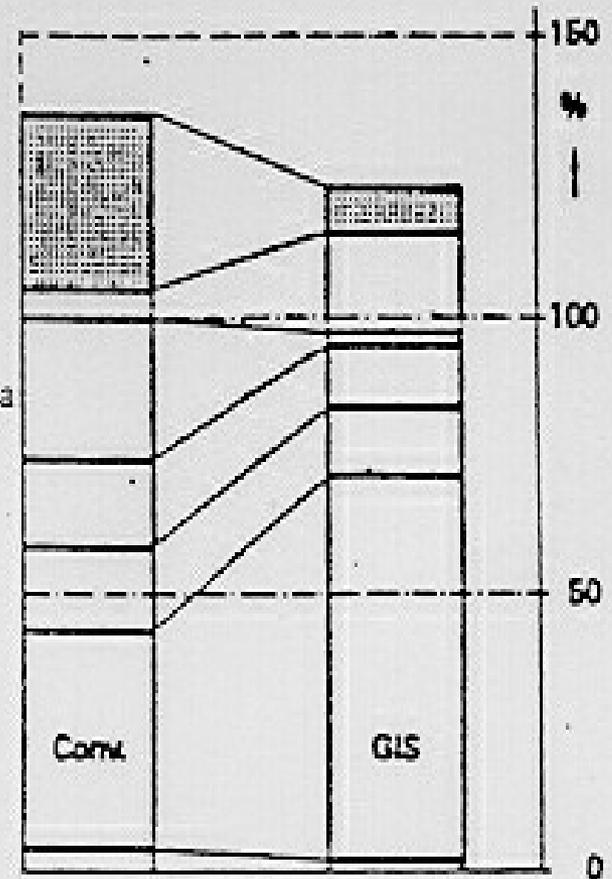
Acero, puentegrúa, fundaciones, malla, conexión a tierra

Ingeniería, montaje, transporte

Protección, control, auxiliares, cables

Equipo de alta tensión

Planeación del cliente



# Comparación de costos en subestaciones encapsuladas y convencionales a 525 kV

Mantenimiento durante 30 años

Construcción

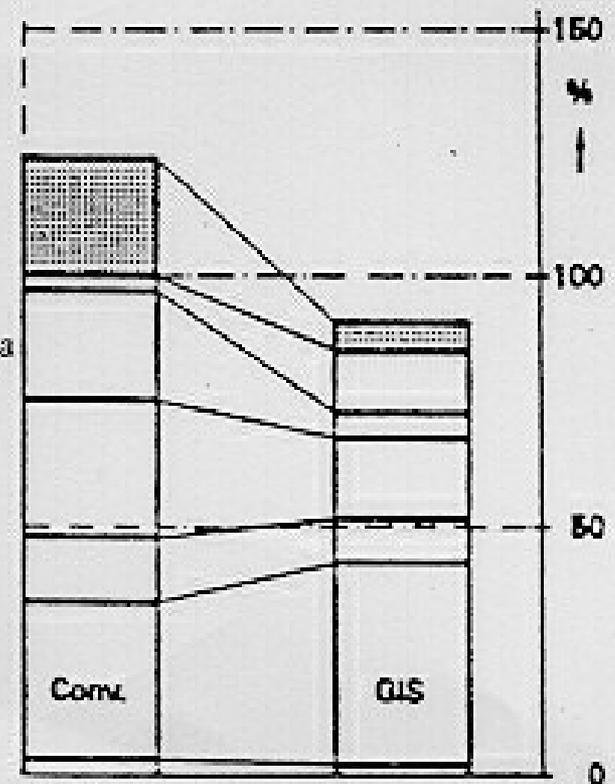
Acero, puentegrúa, fundaciones, malla, conexión a tierra

Ingeniería, montaje, transporte

Protección, control, auxiliares, cables

Equipo de alta tensión

Planeación del cliente



# Método simplificado para comparar costos de diferentes configuraciones

Precios relativos:

EQUIPO	NIVEL DE TENSIÓN		
	500 kV	230 kV	115 kV
INTERRUPTOR	1,0	1,0	1,0
SECCIONADOR	0,2	0,25	0,3

# Método simplificado para comparar costos de diferentes configuraciones

Ejemplo para 230 kV:

## Subestación en doble barra (DB) de ocho campos

- Interruptores = 8 (campos) + 1 (acople) = 9
- Seccionadores = 24 + 2 = 26
- Valor comparativo = 9 + 26 × (0,25) = 15,5

## Subestación en interruptor y medio (CB 1/2) de ocho circuitos

- Interruptores = 8 × 1,5 = 12
- Seccionadores = 8 × 4 = 32
- Valor comparativo = 12 + 32 × (0,25) = 20,0

En donde:

- CB 1/2 = 1,29 DB (8 campos)
- 29% + costo

# Selección de la configuración

## 9. Otros aspectos

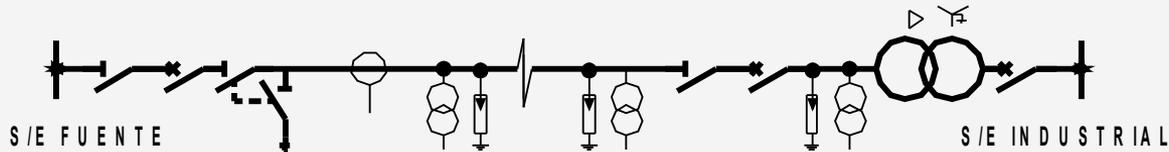
Influencia ambiental

Historia y tradición

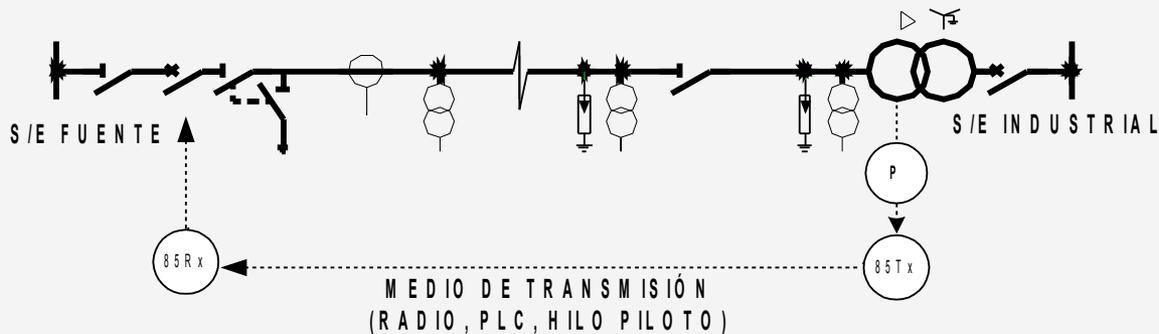
# Sistema de media y baja tensión

## Esquemas y configuraciones básicas

### 1. Subestación terminal con interruptor (radial)



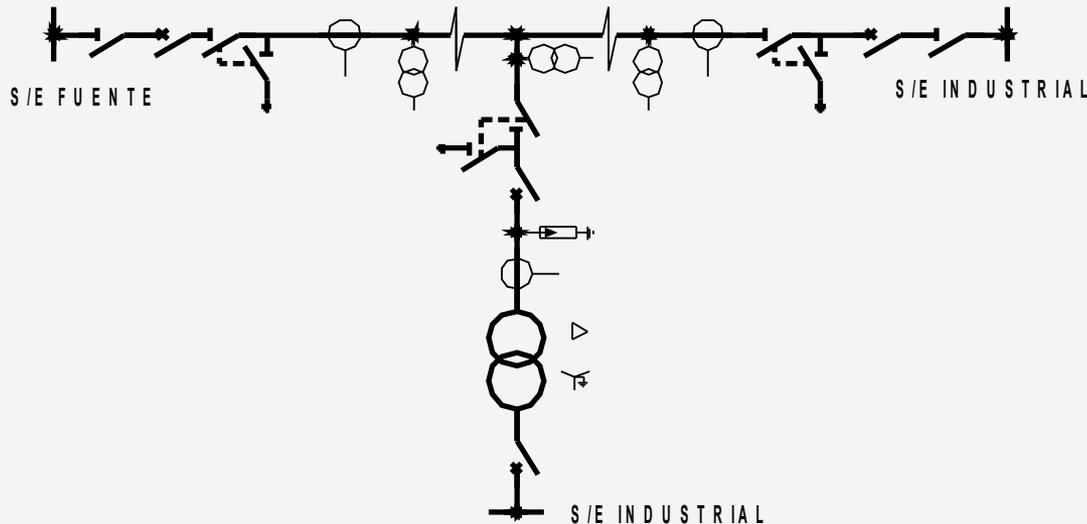
### 2. Subestación terminal sin medio de interrupción local ( $\geq 115$ kV sistema radial)



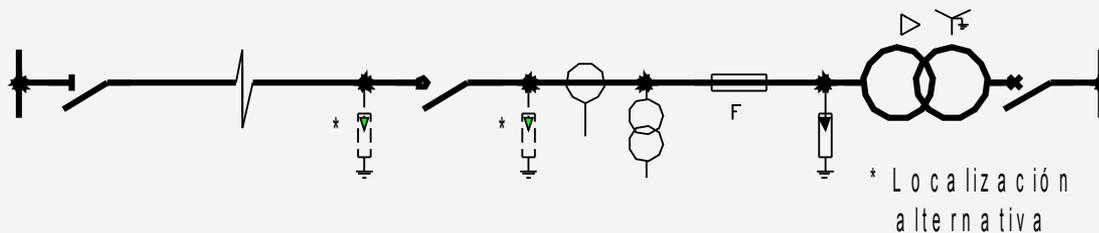
# Sistema de media y baja tensión

## Esquemas y configuraciones básicas

### 4. Derivación de sistema enmallado



### 5. Subestación terminal con fusible (sistema radial derivado)

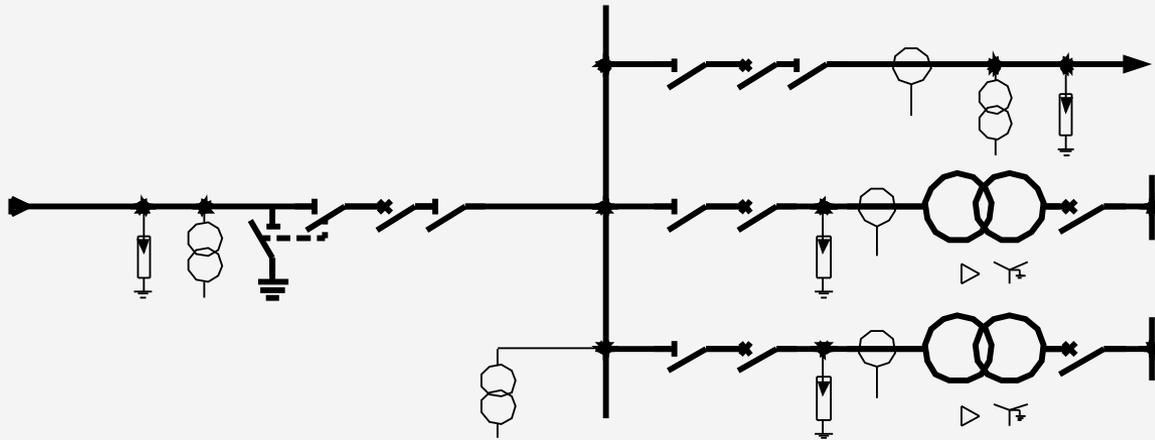


# Sistema de media y baja tensión

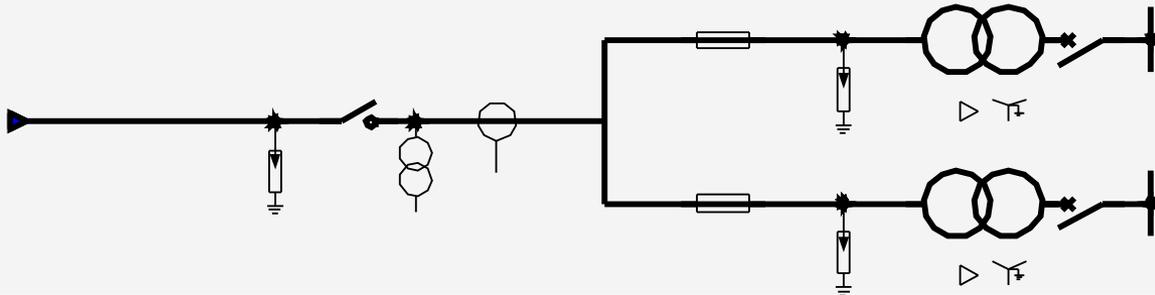
## Esquemas y configuraciones básicas

### 5. Barra sencilla terminal (sistema radial derivado)

#### a. Con interruptores



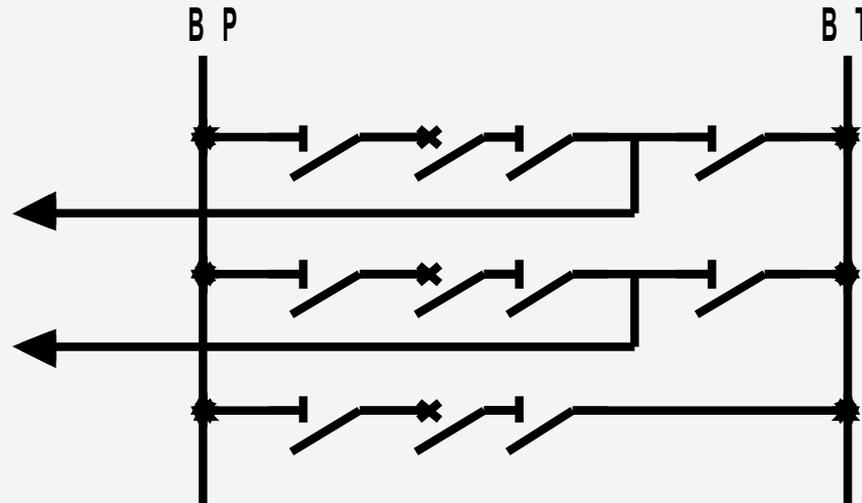
#### b. Con fusibles



# Sistema de media y baja tensión

## Esquemas y configuraciones básicas

### 6. Barra principal más transferencia



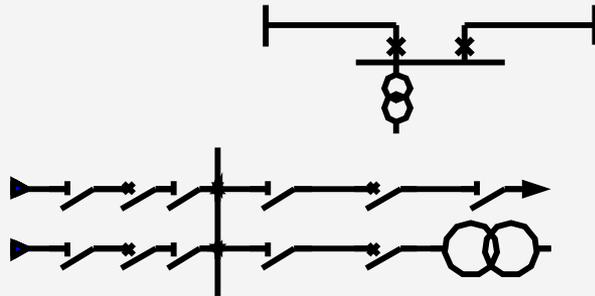
# Sistema de media y baja tensión

## Esquemas y configuraciones básicas

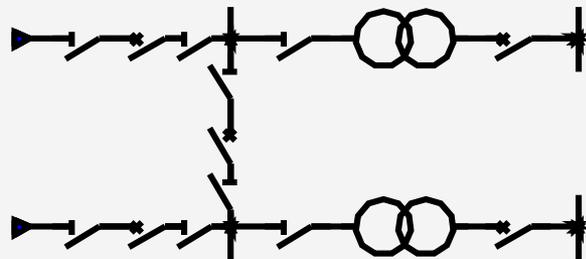
### 7. "H" o "T" (esquemas simplificados)

Ideal para conexión a sistemas enmallados abriendo al línea

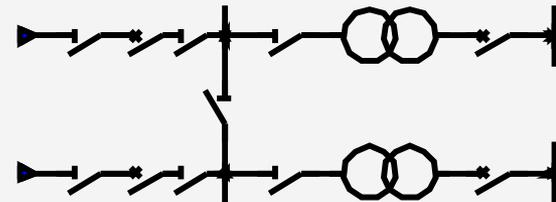
#### a. Cuatro interruptores



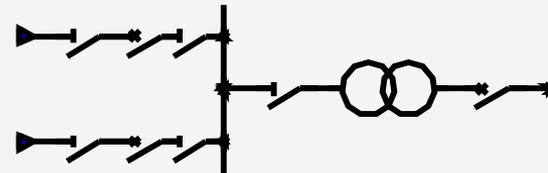
#### b. Tres interruptores



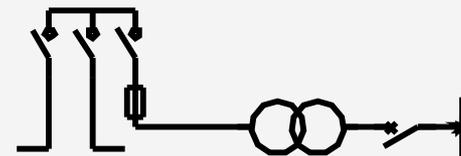
#### c. Dos interruptores-dos transformadores



#### d. Dos interruptores-un transformadores



#### e. Subestaciones unitarias

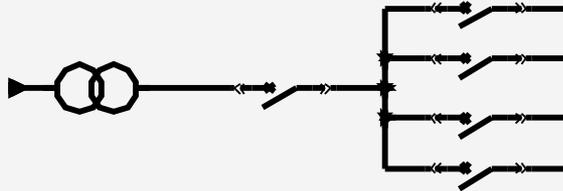


# Sistema de media y baja tensión

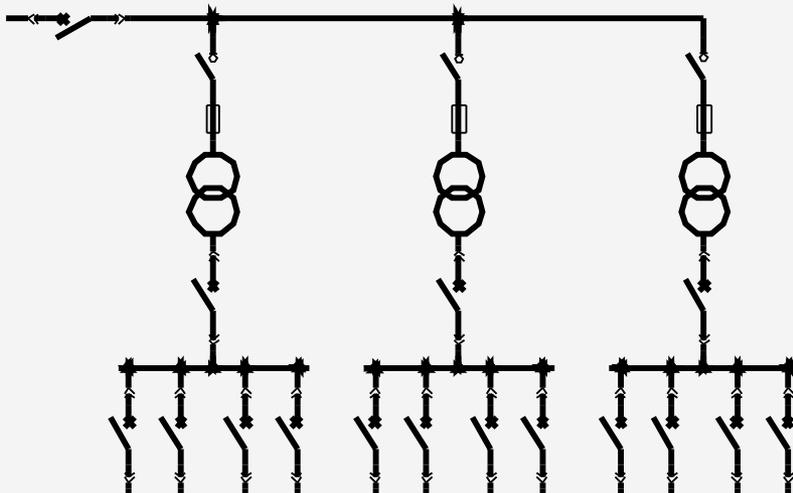
## Esquemas y configuraciones básicas

### 8. Sistema de distribución de media o baja tensión

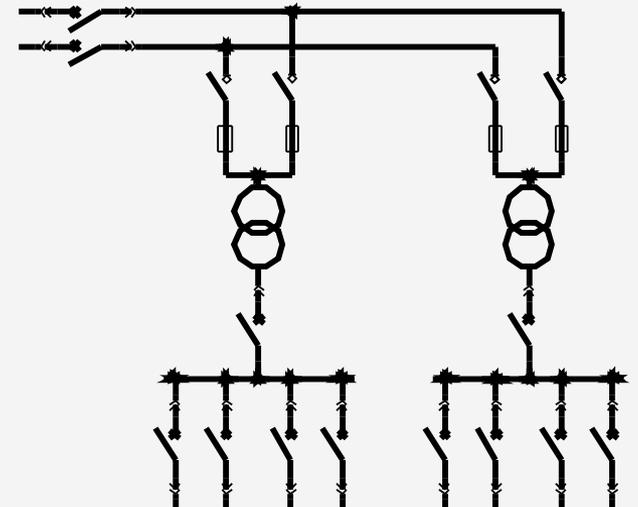
#### a. Sistema radial simple



#### b. Sistema radial expandido



#### c. Sistema primario selectivo

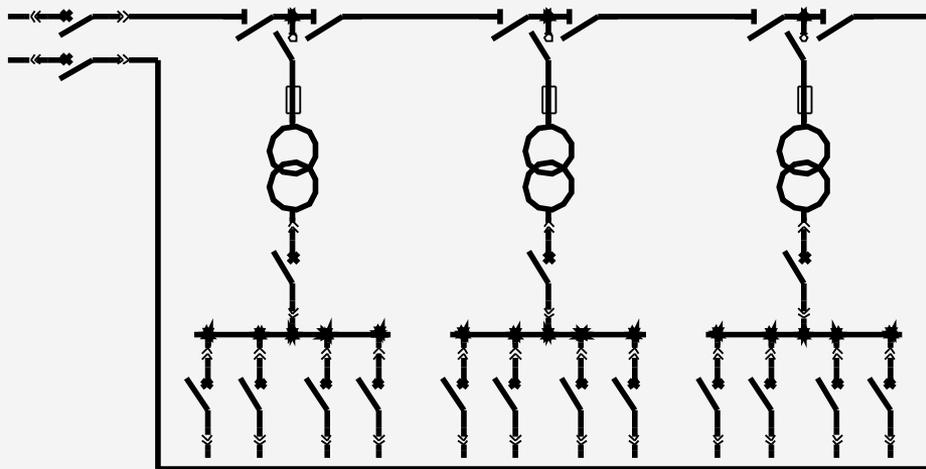


# Sistema de media y baja tensión

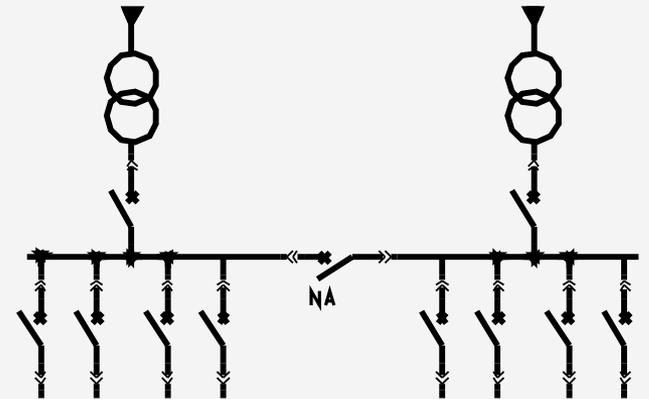
## Esquemas y configuraciones básicas

### 8. Sistema de distribución de media o baja tensión (cont.)

d. Sistema de lazo primario



e. Sistema secundario selectivo



f. Doble alimentación secundaria

