

Subestaciones



José Manuel Arroyo Sánchez

Área de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Comunicaciones
Universidad de Castilla – La Mancha

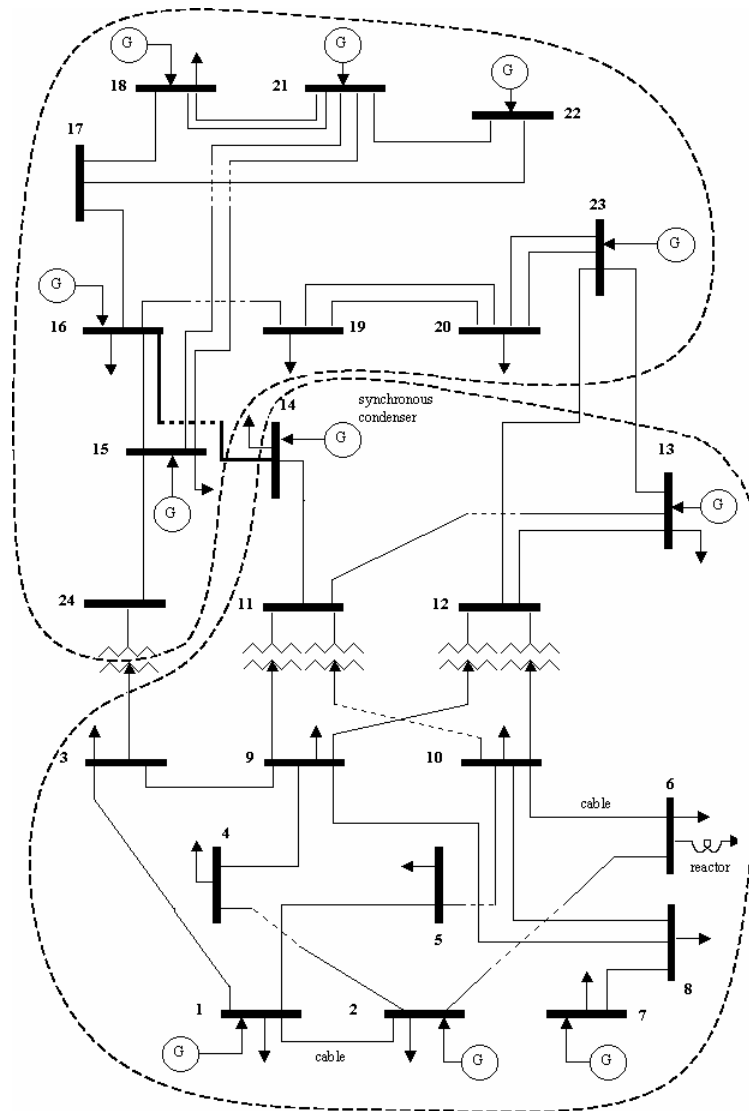
Contenidos

- 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:
 - o Primarias $\Rightarrow$ Tensión de salida: 66, 110, 132 kV
 - o 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:
 - $V > V_{\text{DISTRIBUCIÓN}} (20 \text{ kV}) \Rightarrow \text{Intemperie}$
 - $V_{\text{DISTRIBUCIÓN}} \Rightarrow \text{Edificio}$
 - $\downarrow\downarrow V \Rightarrow \text{Distancias menores}$
 - $\uparrow\uparrow$ 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 (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^2 vs. 110 m^2)
- 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)

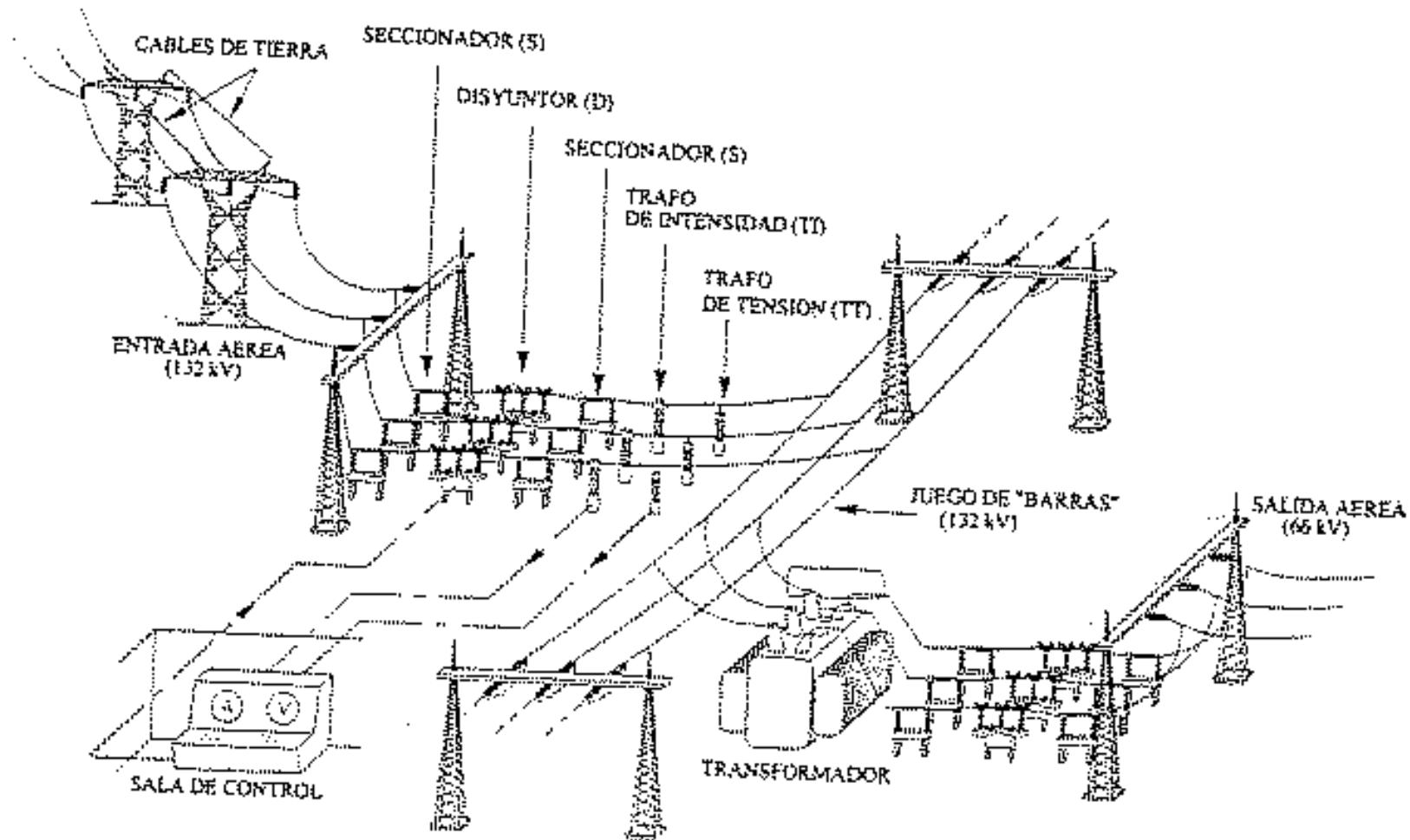
- Líneas
- Barras o embarrado
- Transformador de potencia
- Aparamenta de maniobra y corte
- Aparamenta de transformación
- Relés de protección (de línea, de transformador, de batería de condensadores)

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

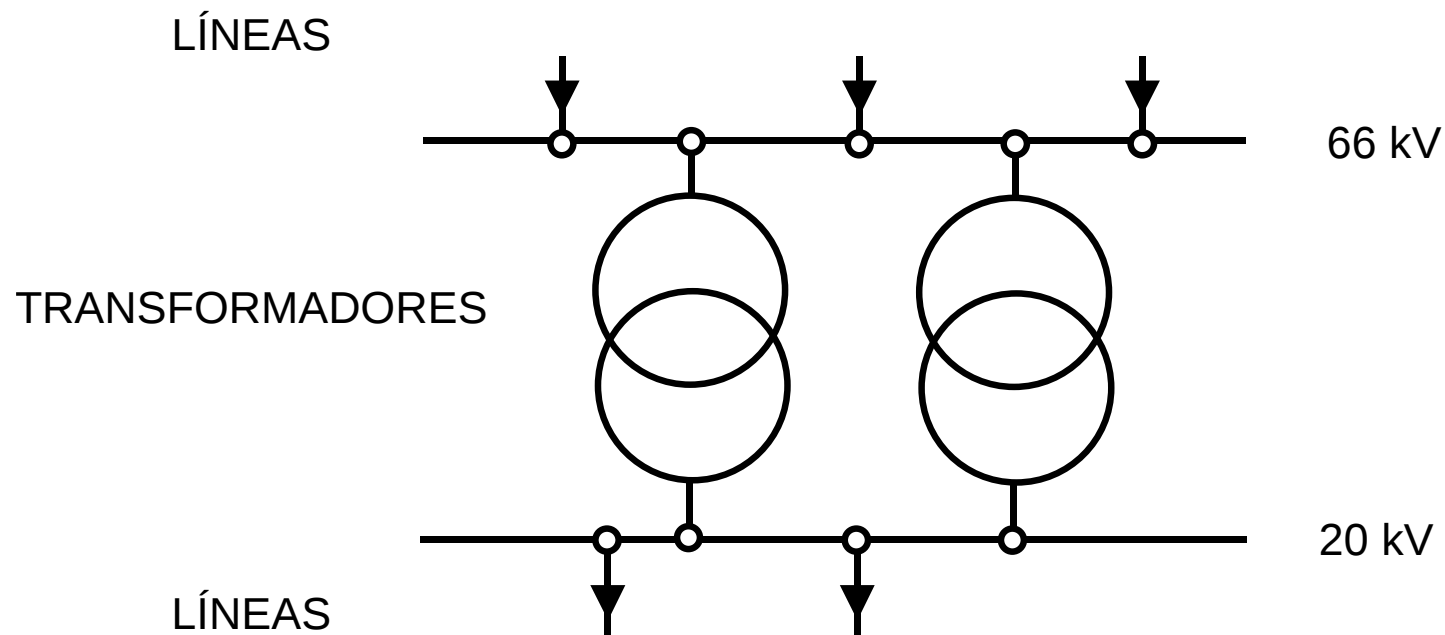
Barra o embarrado

- 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 (8×80 mm, 10×80 mm, 2 de 10×80 mm)

Elementos de una subestación

Barra o embarrado

Esquema unifilar:



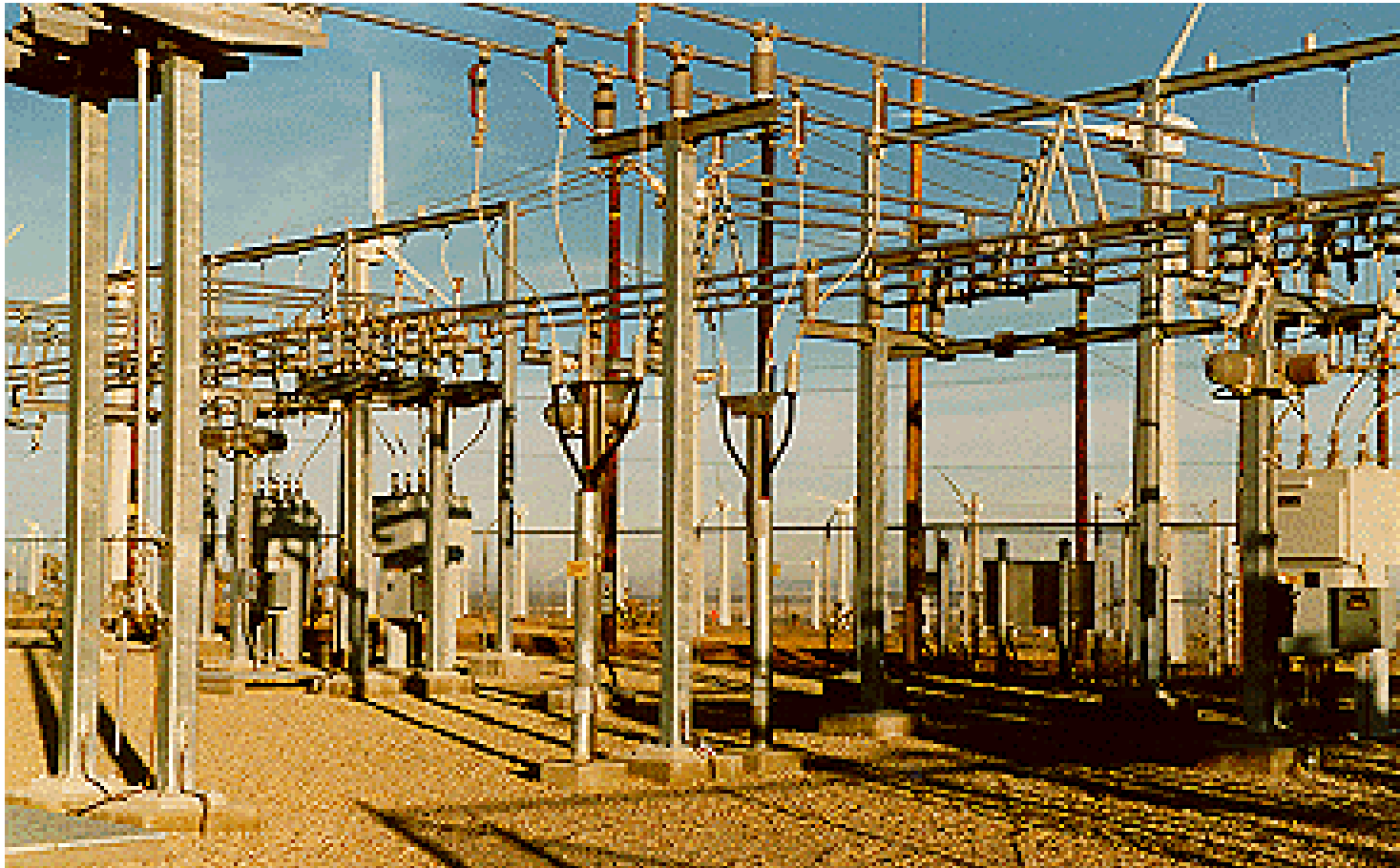
Elementos de una subestación

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)

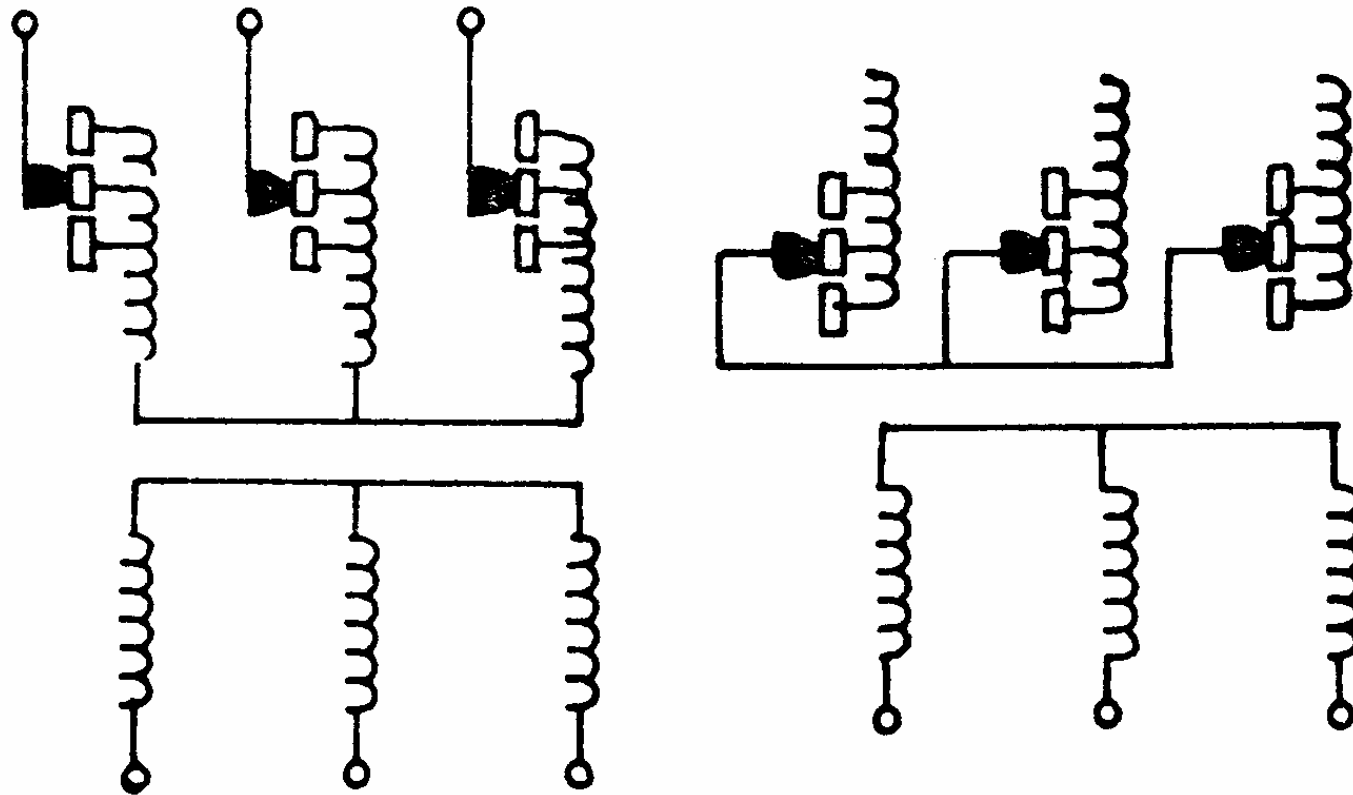
Elementos de una subestación

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 Δ 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)

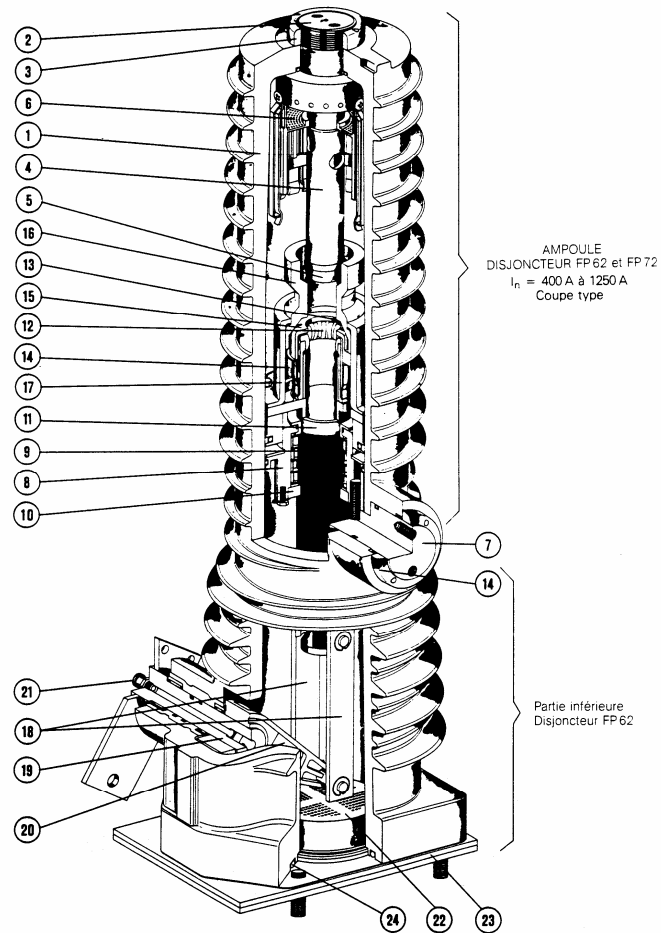
Aparamenta de maniobra y corte

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

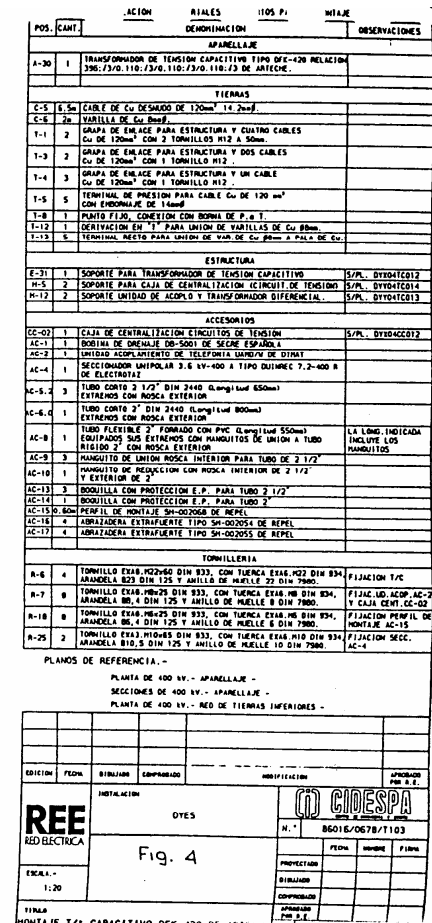
Interruptor-seccionador

- 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

- En paralelo
- Mide $V_{LÍNEA}$



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

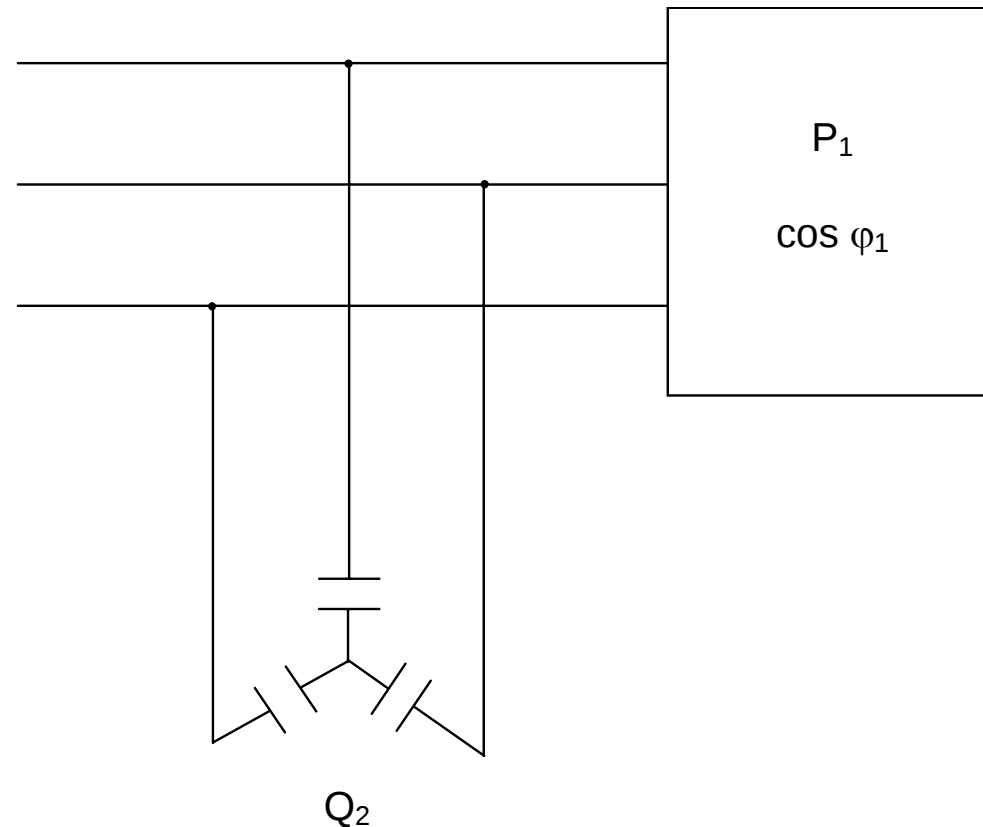
- Limita sobretensiones transitorias debidas a:
 - Descargas atmosféricas
 - Maniobras



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

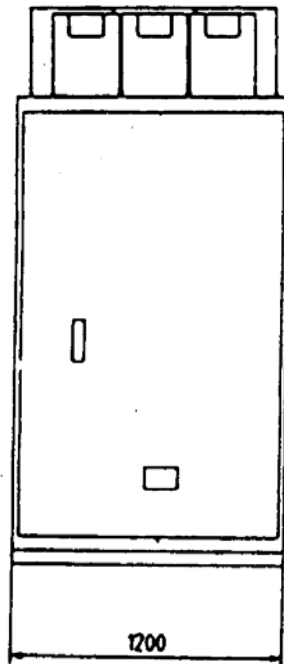
Celdas

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

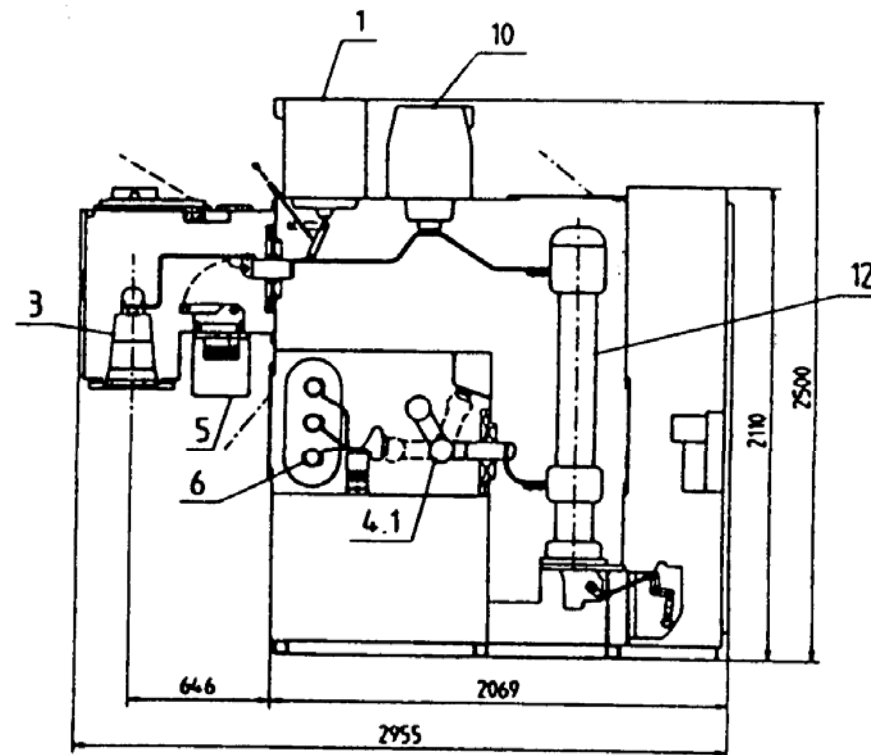
Elementos de una subestación

Celda de línea (66 kV)

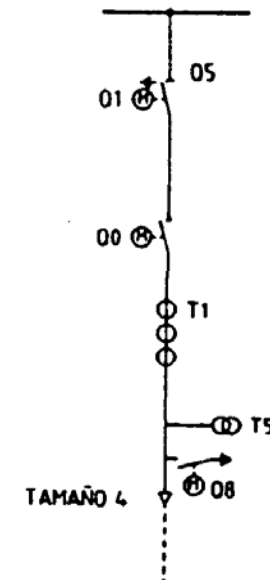
VISTA FRONTAL



SECCION

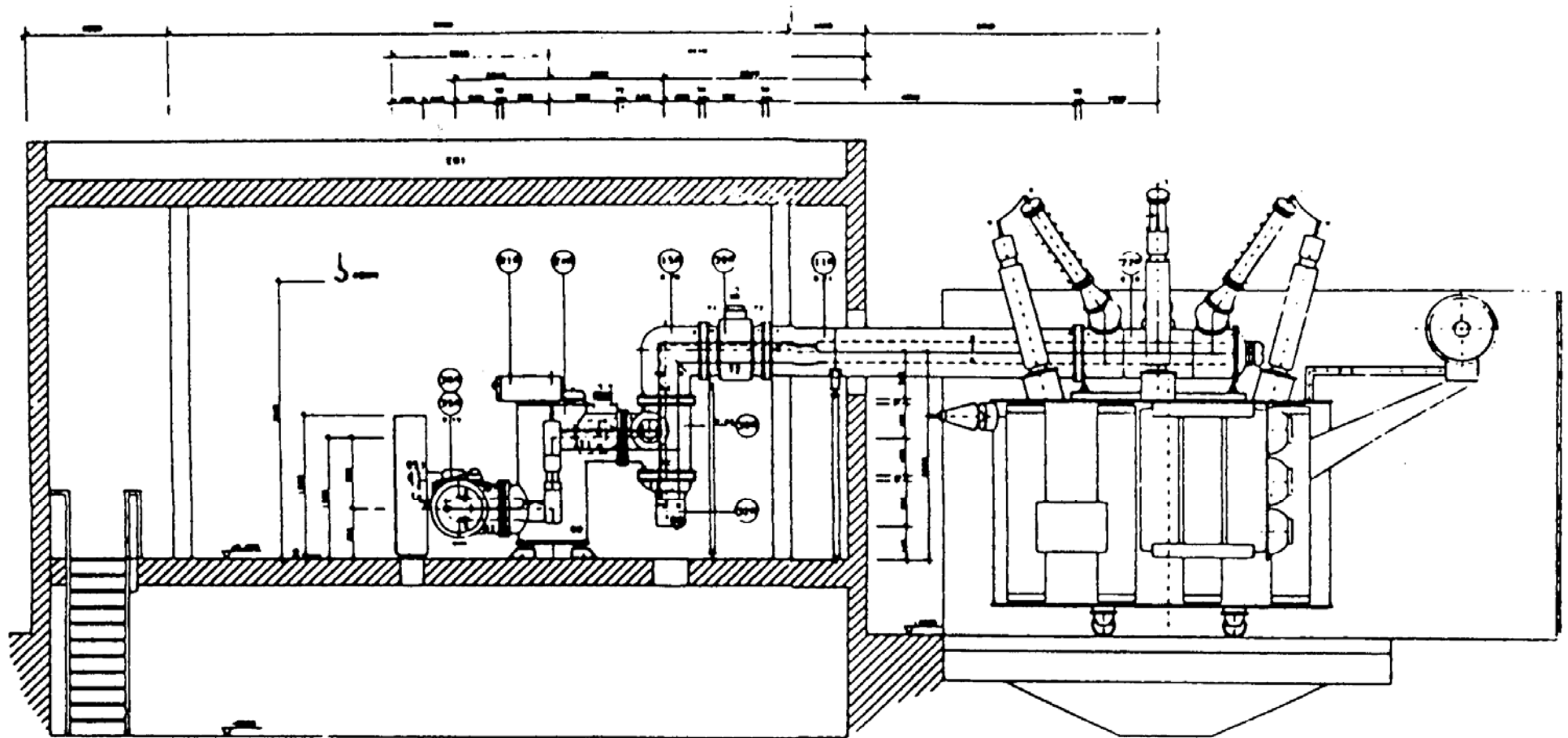


ITEM	DESEÑACION
1	TRANSFORMADOR DE TENSION T5
3	TERMINACION DESECHABLE DE CABLE TAMAÑO 4
4.1	SECCIONADOR (CON P A T 01)
5	SECCIONADOR DE P A T RAPIDO 08
6	BARRAS
10	TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD T1
12	INTERRUPTOR 08



Elementos de una subestación

Celda de transformador



Elementos de una subestación

Obra civil

- Estructuras metálicas
- Calles y pórticos
- Parque intemperie

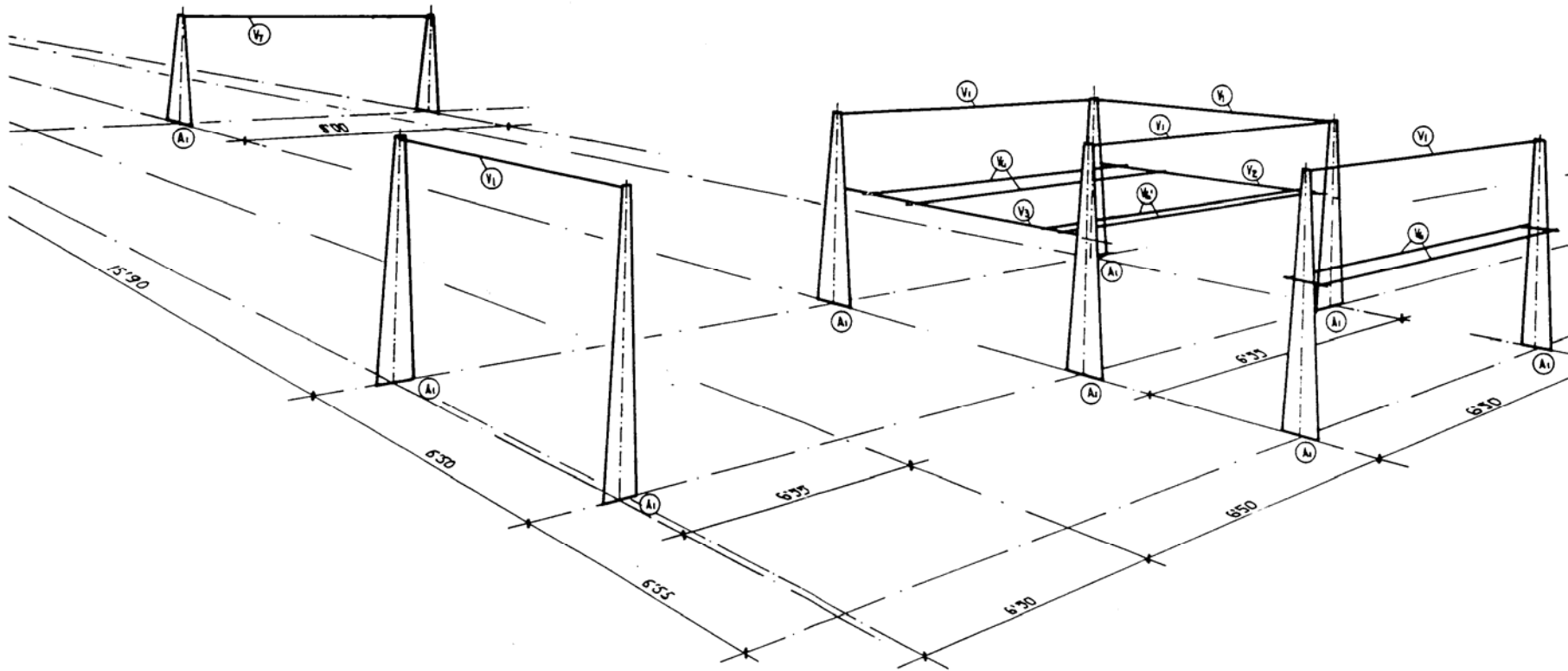
Obra civil

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

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)

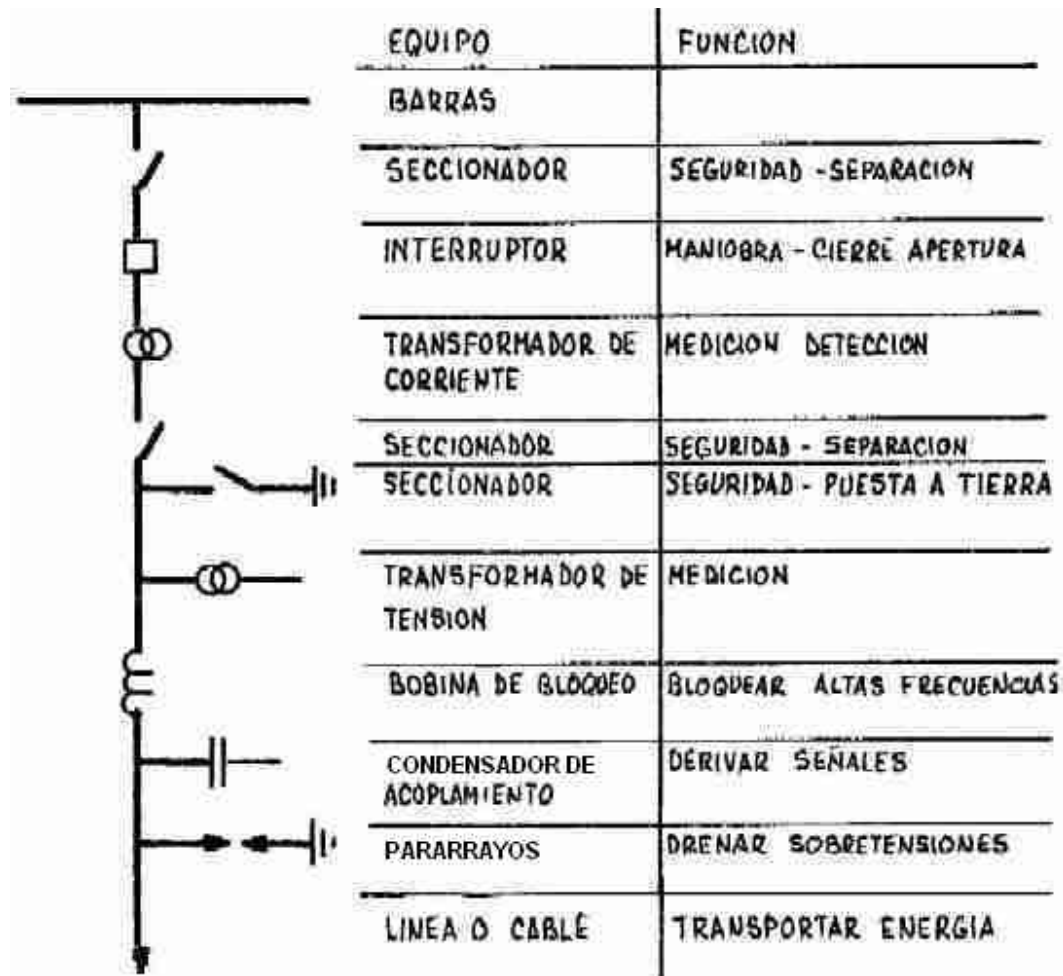
- Continuidad en el servicio (mantenimiento de interruptores)
- Flexibilidad y complejidad del mantenimiento
- Disponibilidad de espacio
- Facilidad de ampliación y reforma

Criterios de diseño (III)

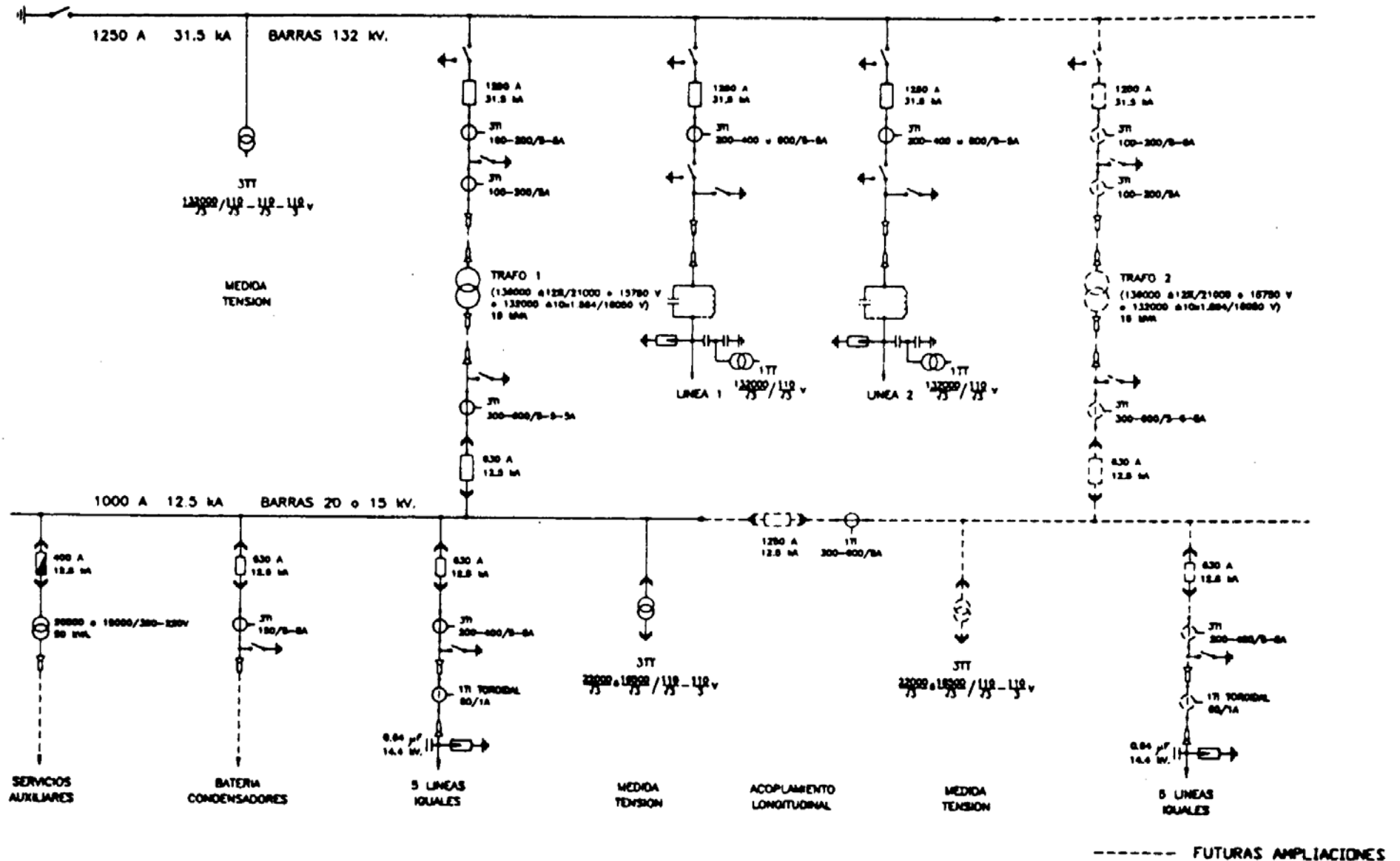
- Estandarización de parámetros eléctricos
- Reducción del impacto ambiental
- Mantenimiento reducido
- Seguridad y protección frente a agentes externos

Esquema unifilar

Simbología



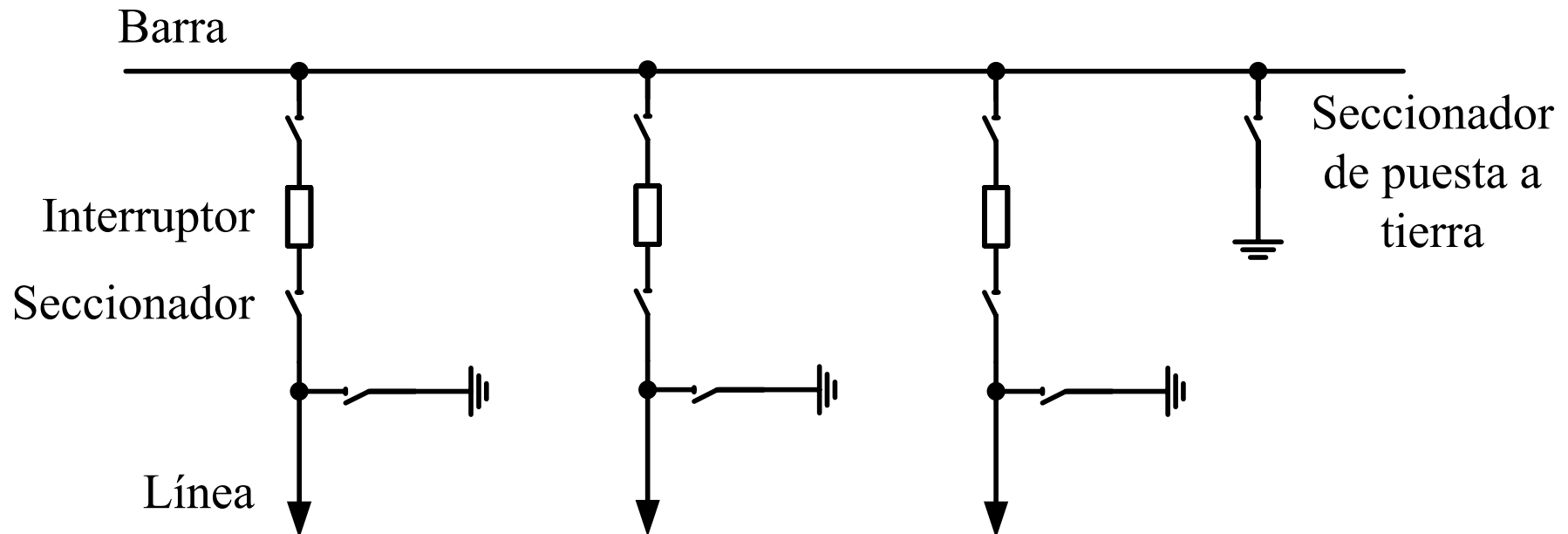
Esquema unifilar



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

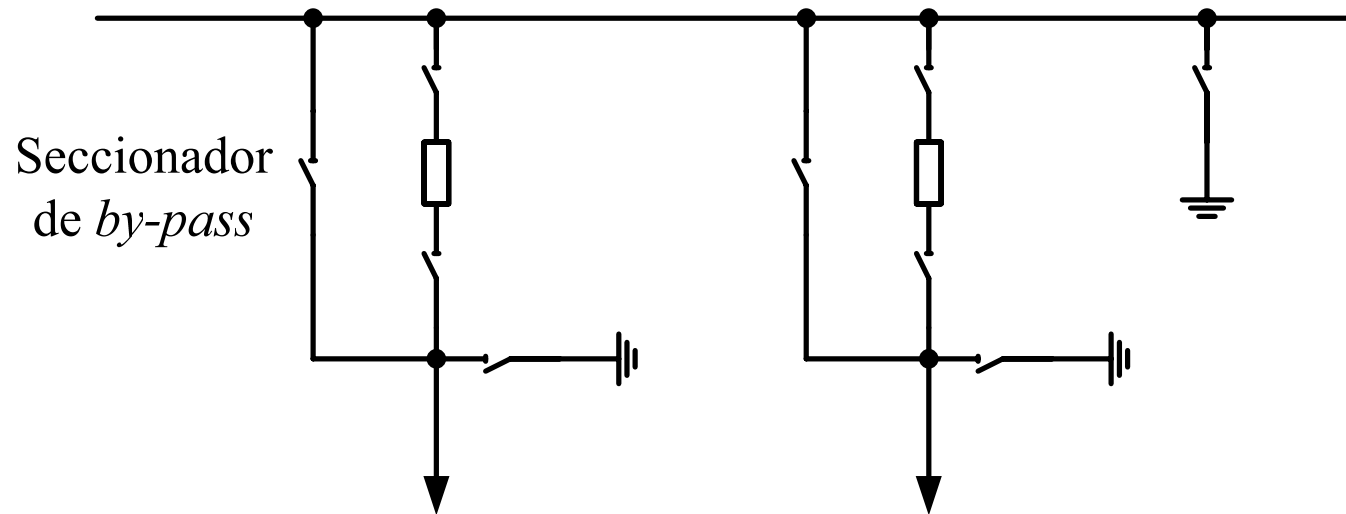


- Pocos dispositivos y poco espacio $\Rightarrow$ Configuración más sencilla y económica

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

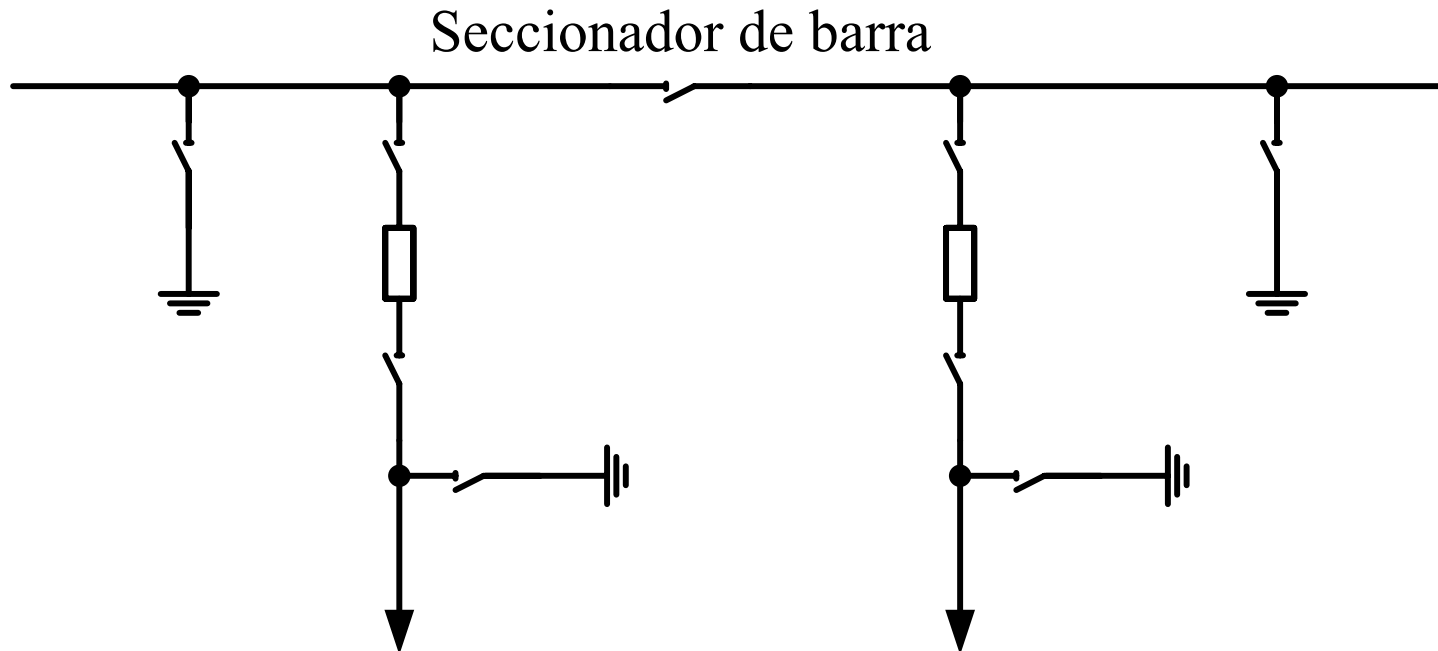


- Seccionador de by-pass $\Rightarrow$ Aísla al interruptor para su mantenimiento sin interrumpir el suministro

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

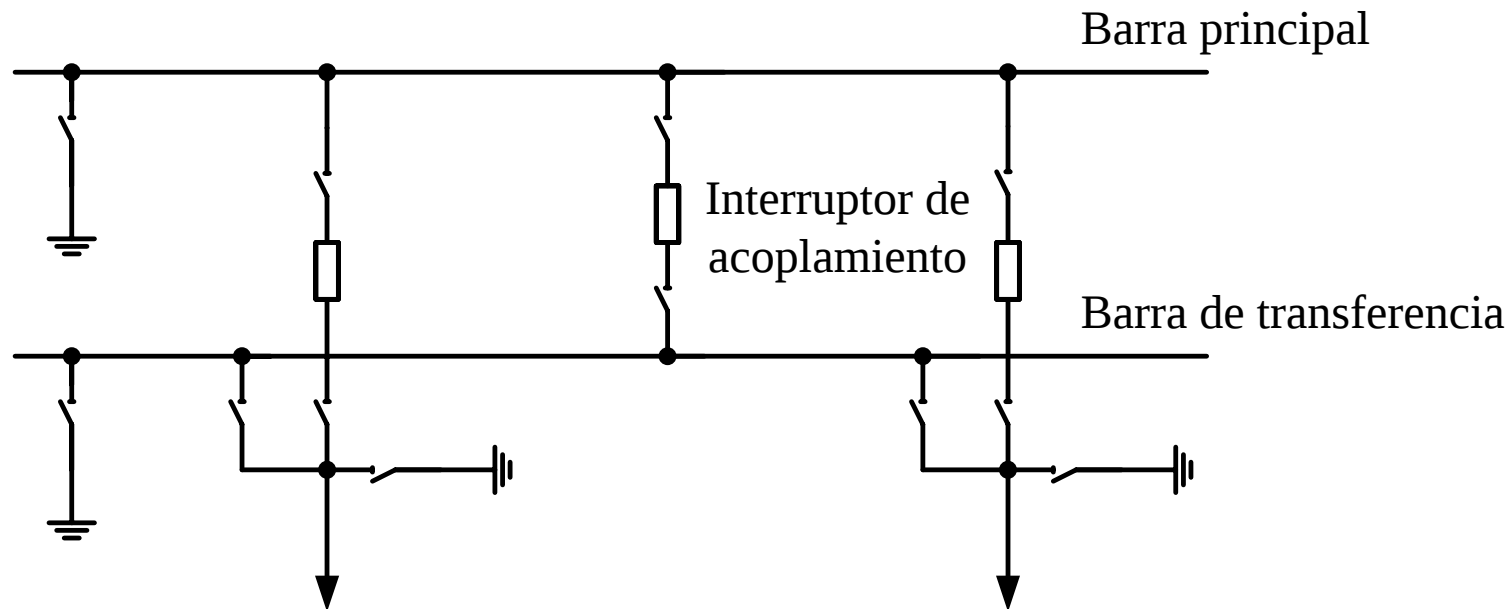


- También permite seccionador de by-pass

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

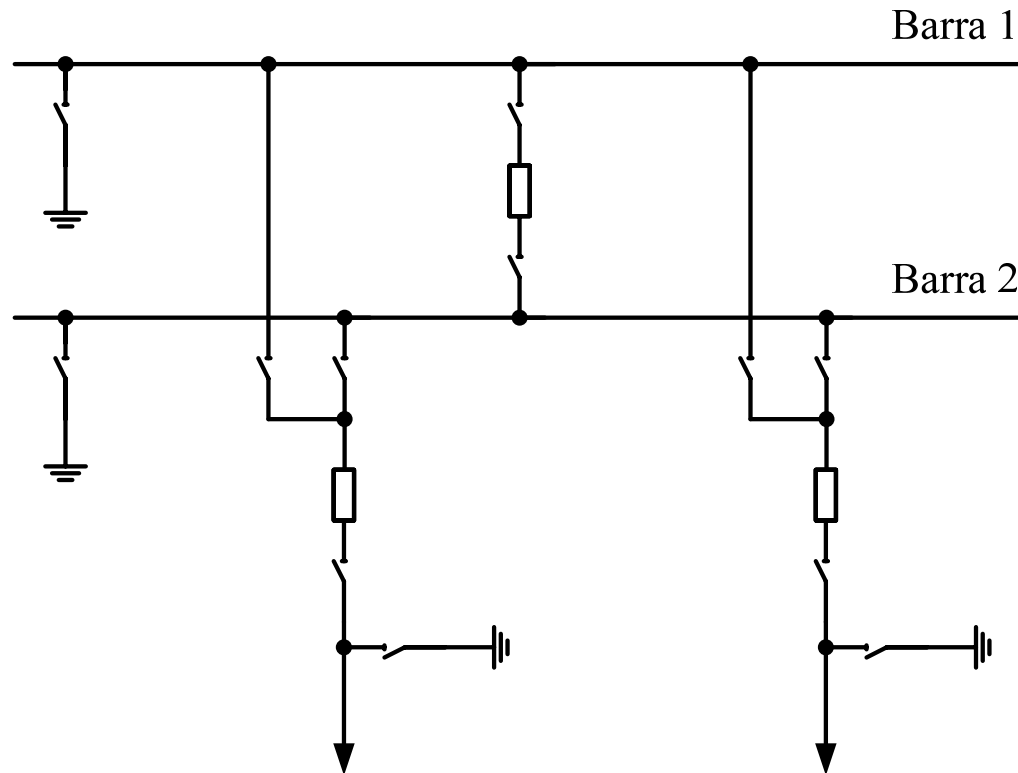
Barra principal y barra de transferencia

- 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

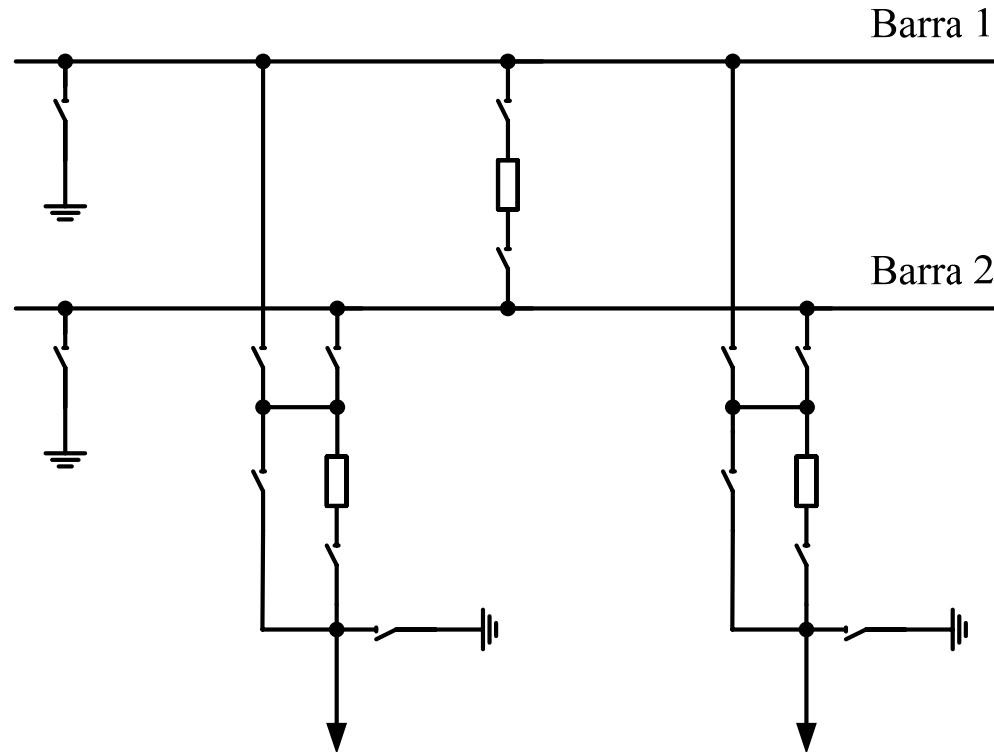


- Mismo número de dispositivos que esquema de barra principal y barra de transferencia

Barra doble

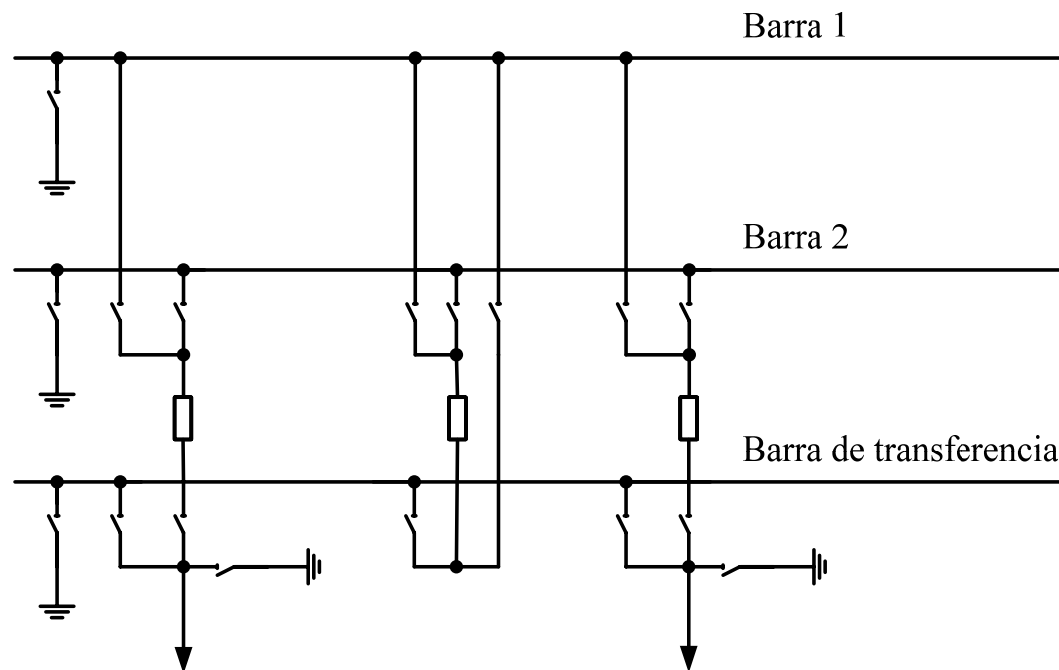
- Las líneas se pueden conectar indistintamente a cualquier barra protegidas por su propio interruptor
- Fallo o mantenimiento en una barra:
 - Disparo del interruptor de acoplamiento
 - Conexión a la otra barra (apagón momentáneo)
- Interruptor de línea en mantenimiento $\Rightarrow$ Pérdida del suministro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

Barra doble con by-pass



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

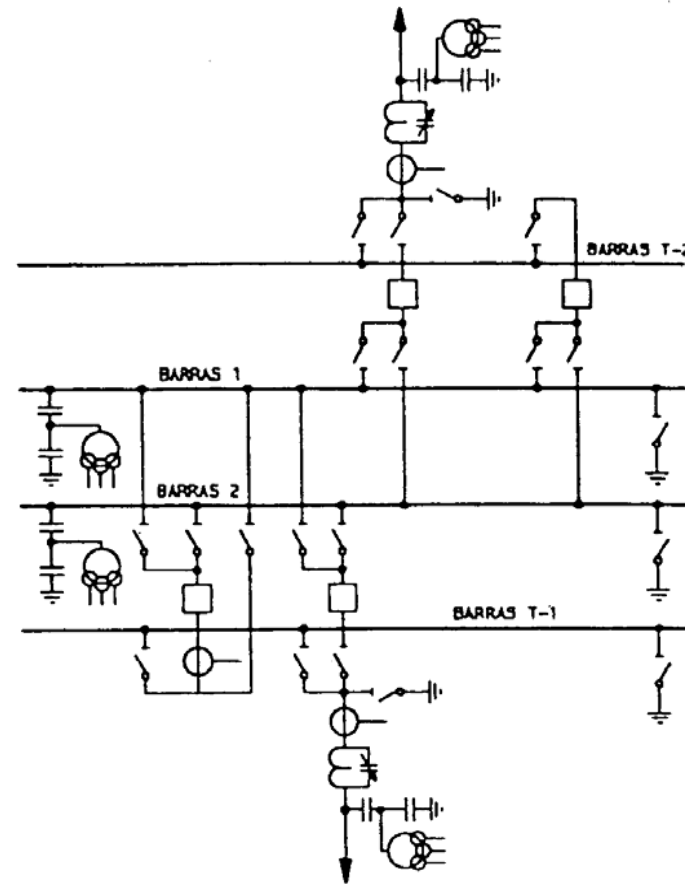
Barra doble y barra de transferencia



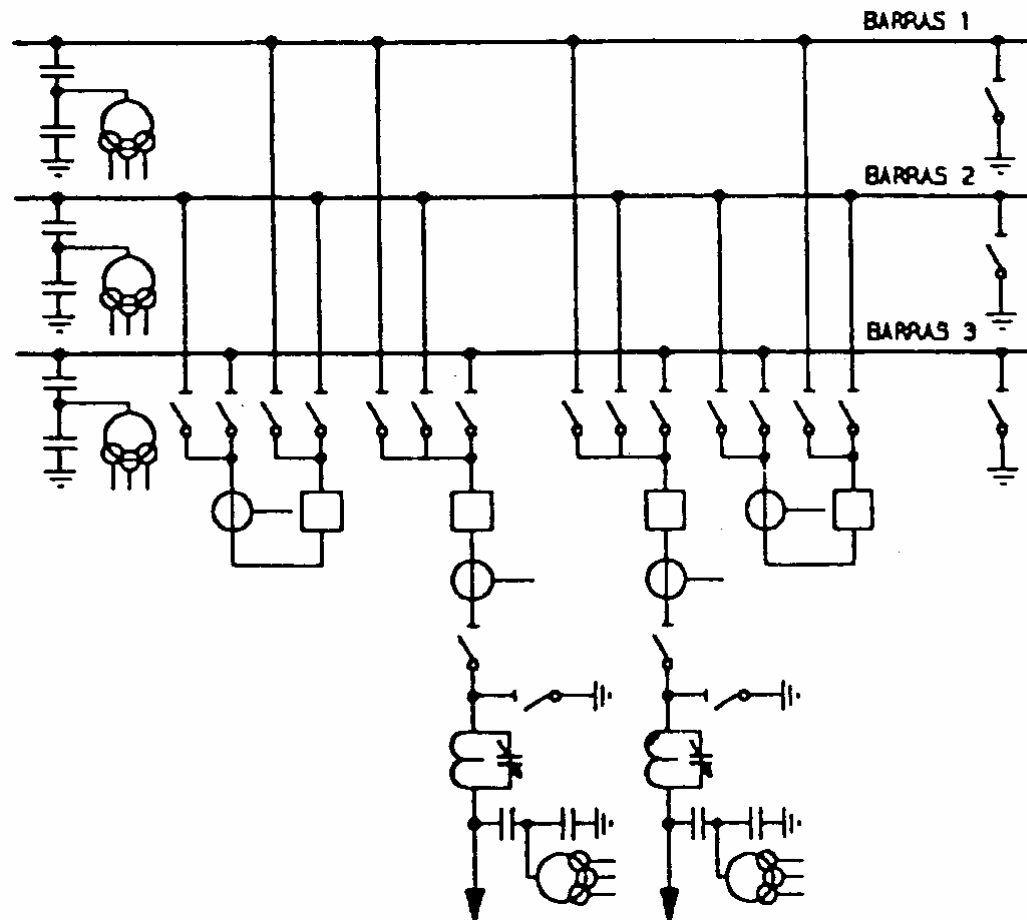
- Fallo de barra $\Rightarrow$ Barra simple con barra de transferencia tras operación del interruptor de acoplamiento

Doble barra con dos barras de transferencia

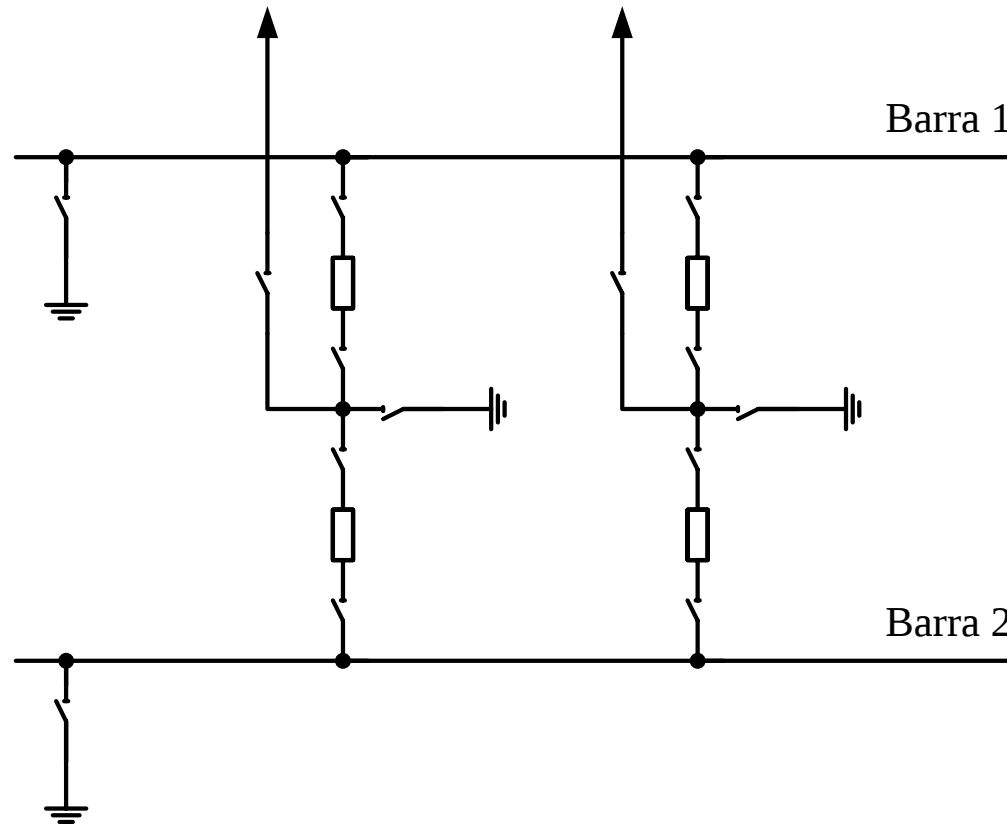
- 2 interruptores de acoplamiento
- Reparto de líneas en barras de transferencia



Triple barra



Barra doble y doble interruptor

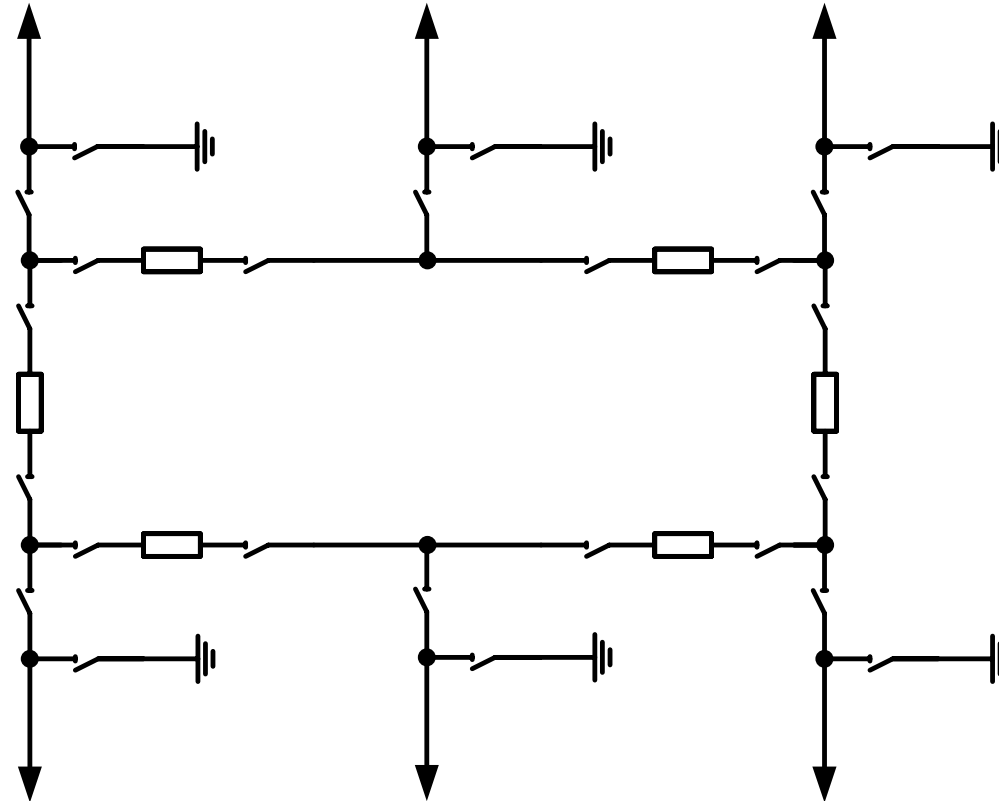


- El interruptor de acoplamiento se reemplaza por un interruptor por línea

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

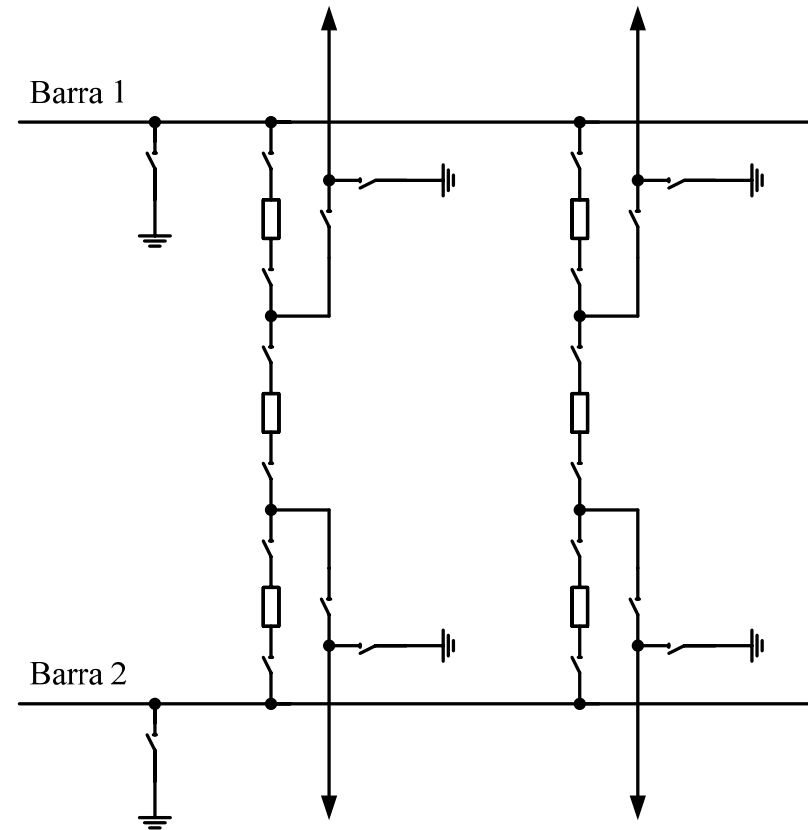
- Trayectorias alternativas alrededor del anillo
⇒ ↑ seguridad que barra simple:
 - Fallo o mantenimiento en barra ⇒ Se aísla la parte afectada abriendo dos interruptores (pérdida de una línea)
 - Mantenimiento de un interruptor ⇒ Protección garantizada mediante los interruptores restantes

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

Interruptor 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	$1 + \# \text{ Líneas}$	$4 + 4 \times \# \text{ Líneas}$

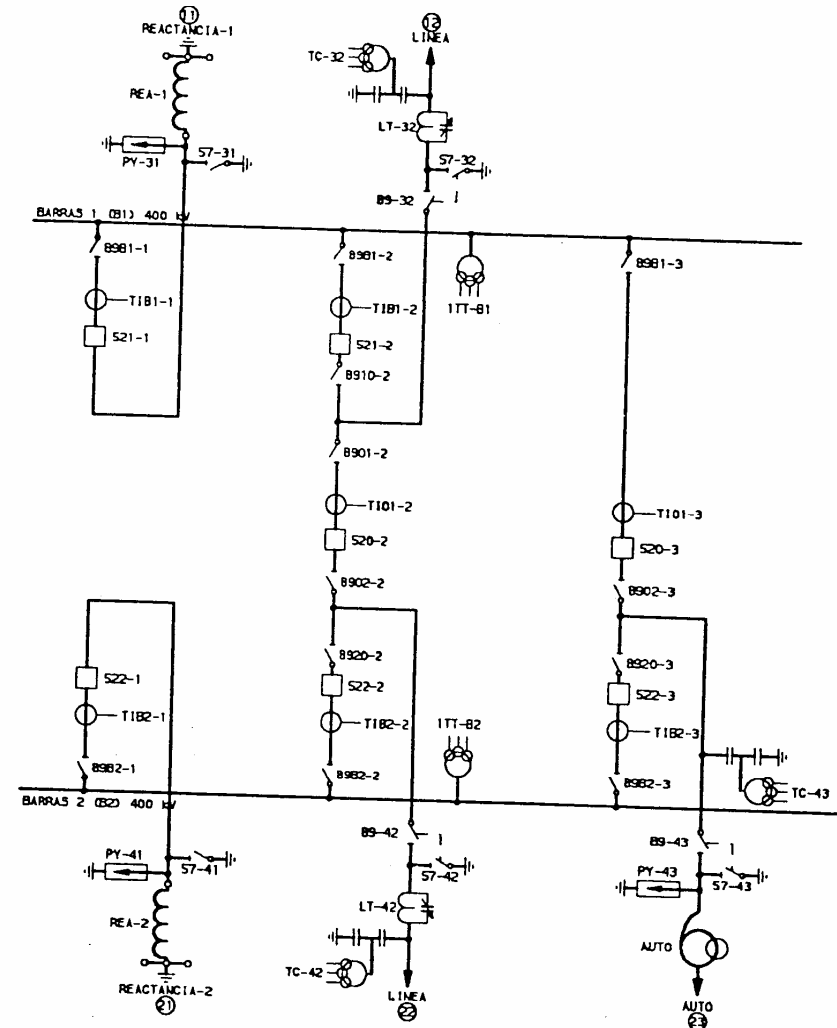
Configuraciones del esquema unifilar

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

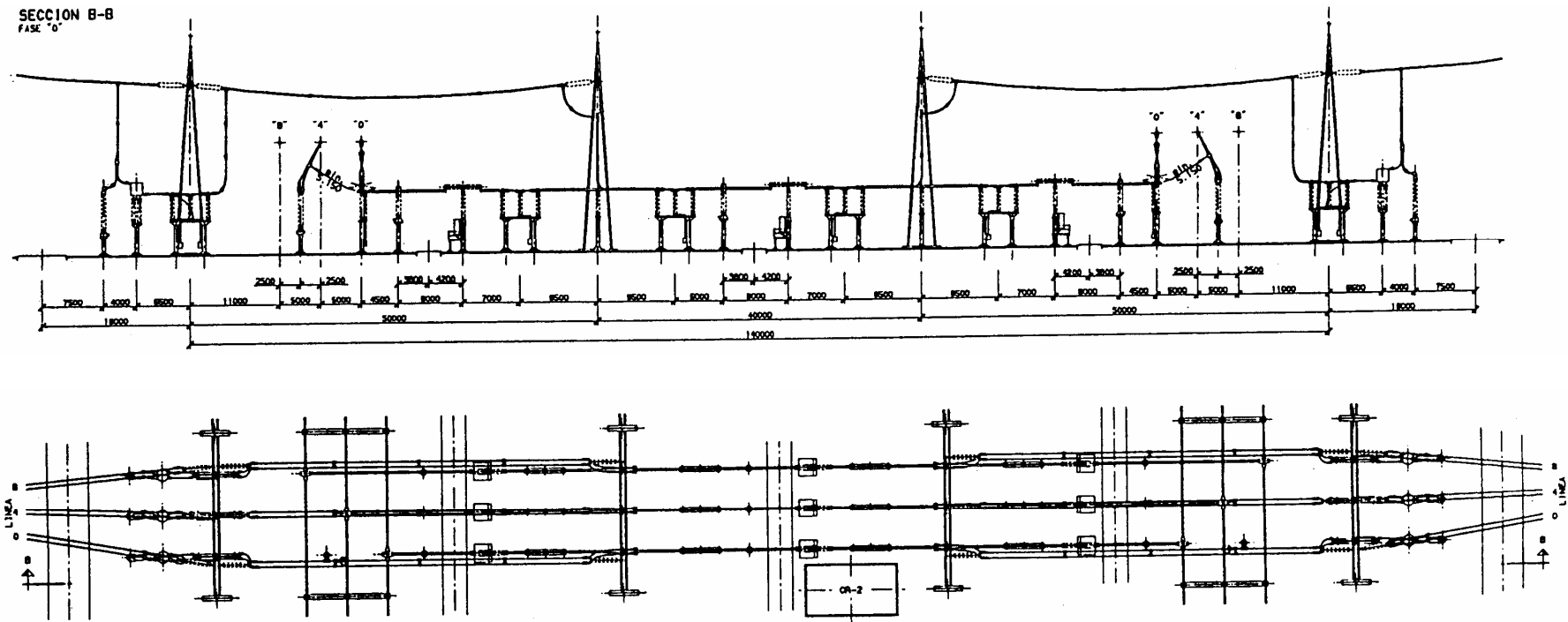
Distancias de seguridad

- Mantenimiento en una posición no debe afectar a las contiguas
- Circulación libre de personas por toda la superficie de la instalación $\Rightarrow$
 - 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

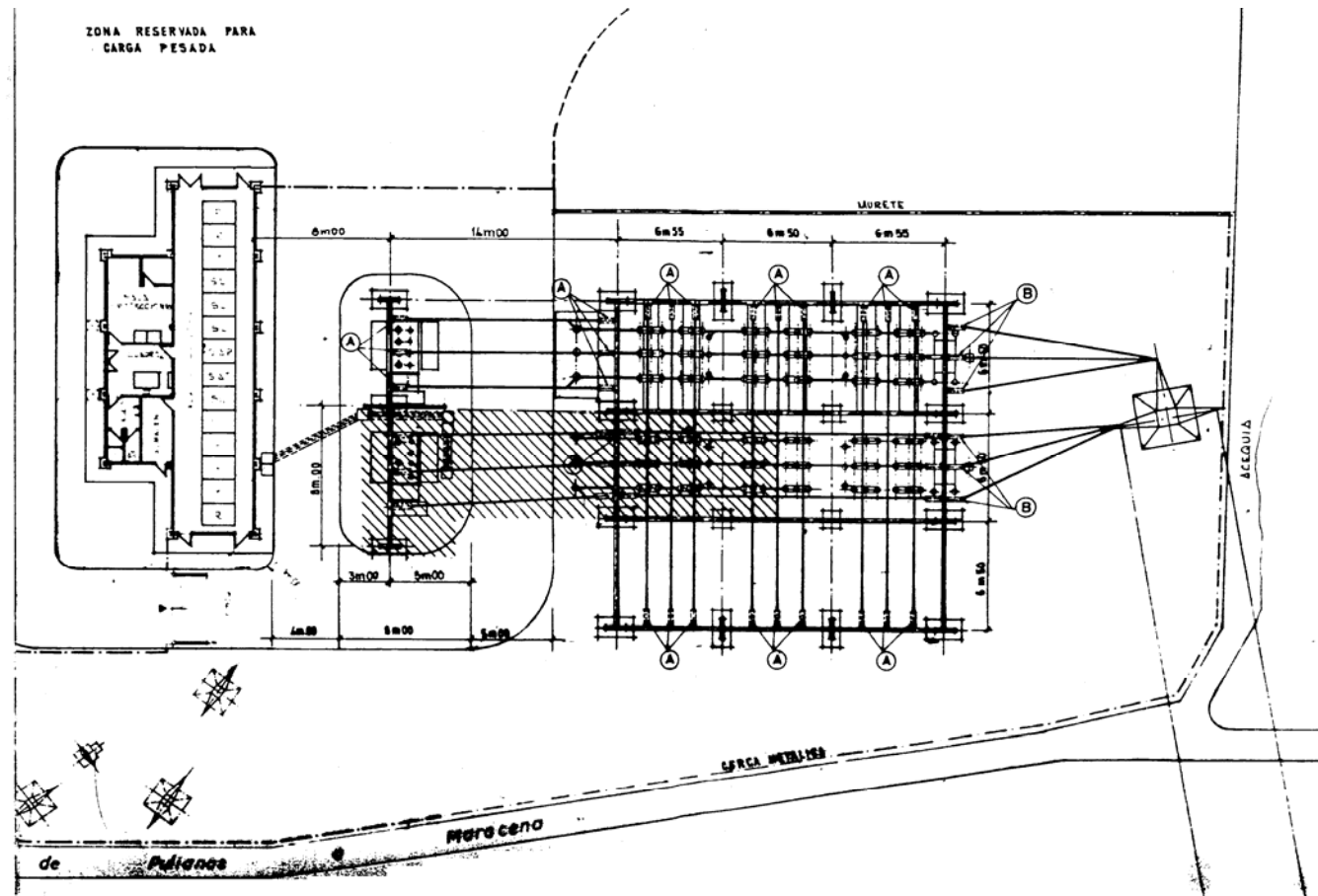
Disposición física Subestaciones de intermedia



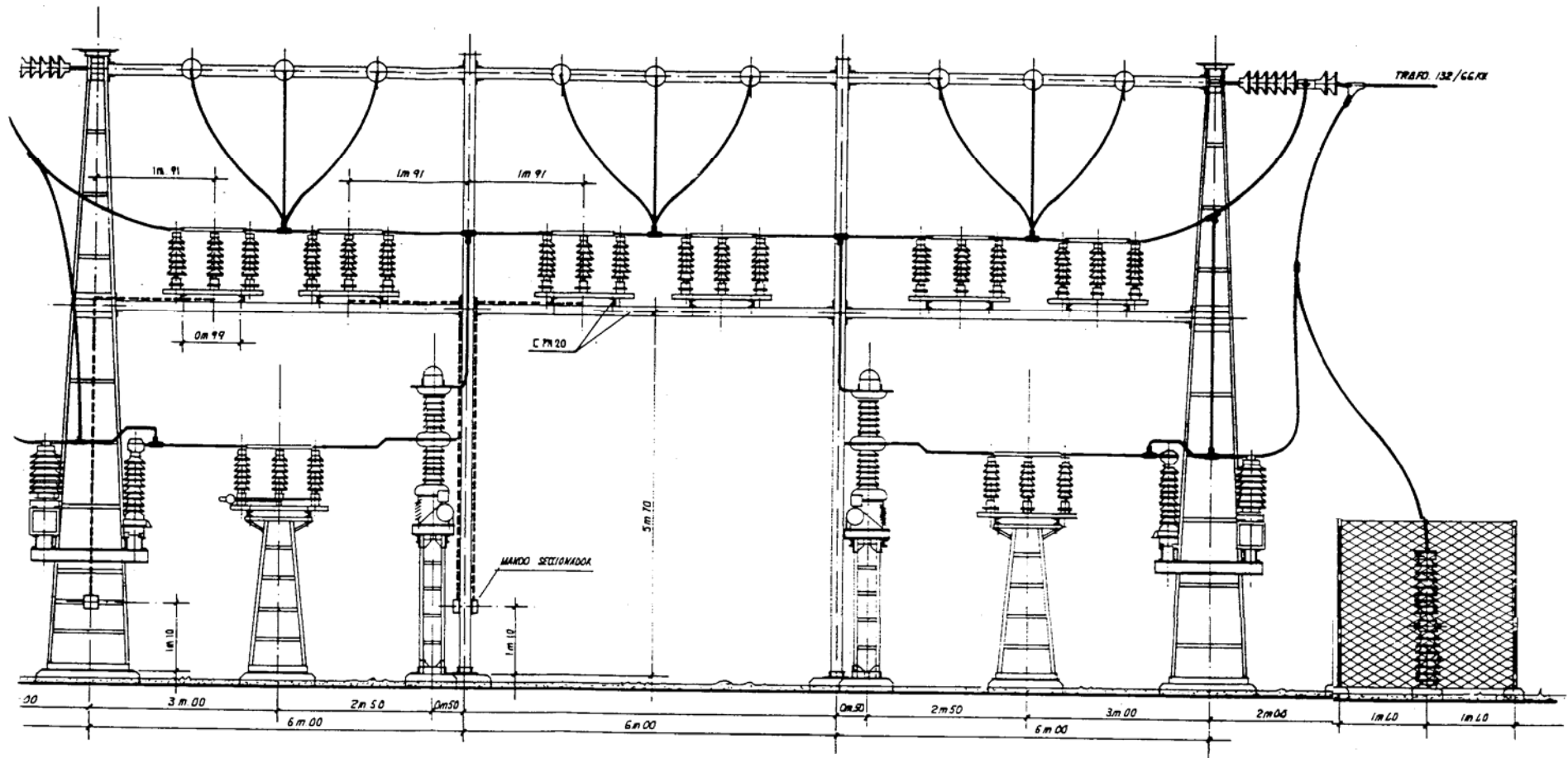
- Válida para interruptor y medio, anillo (4 salidas) o doble interruptor

Disposición física

Subestaciones de intemperie

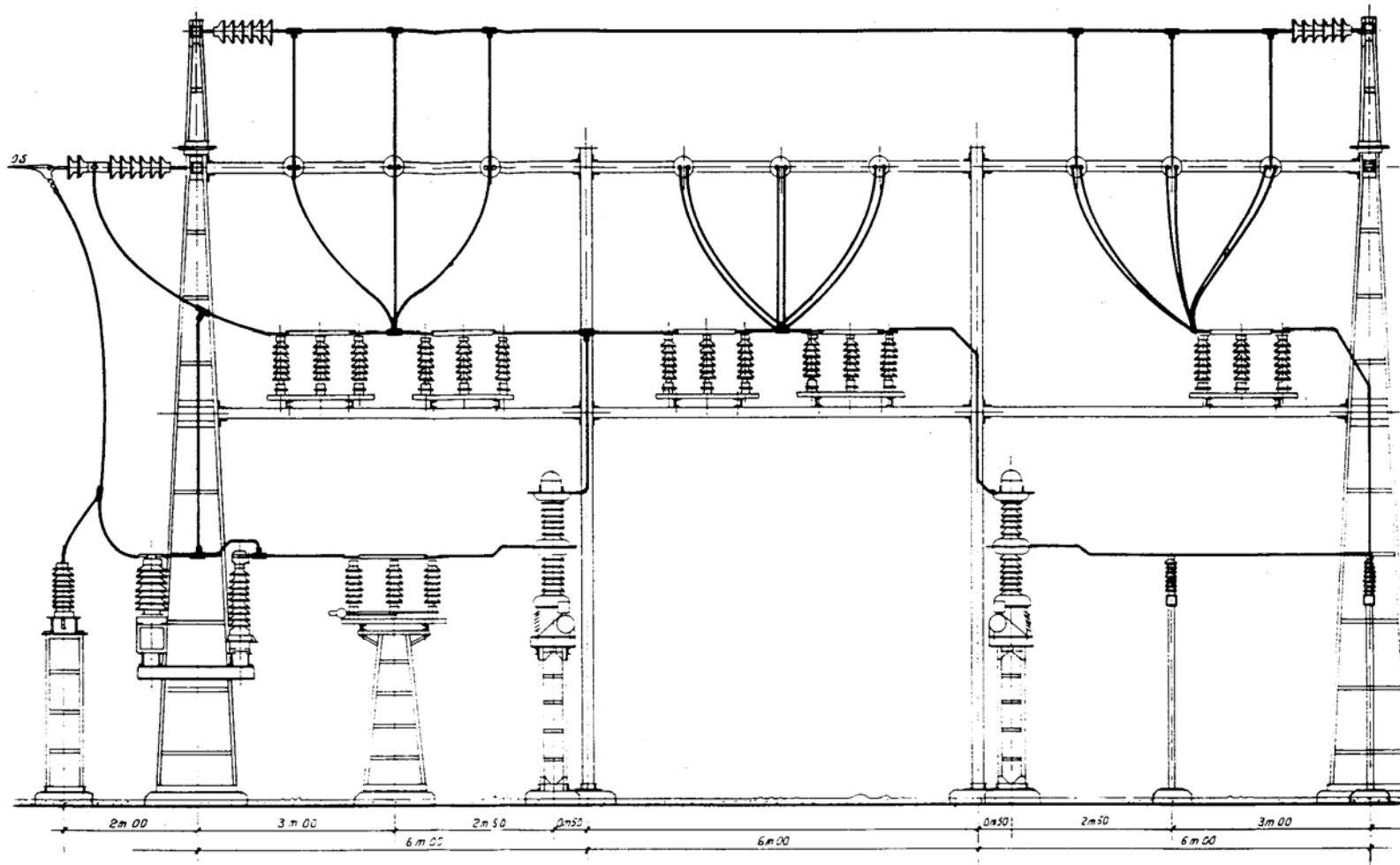


Disposición física Subestaciones de intermedia

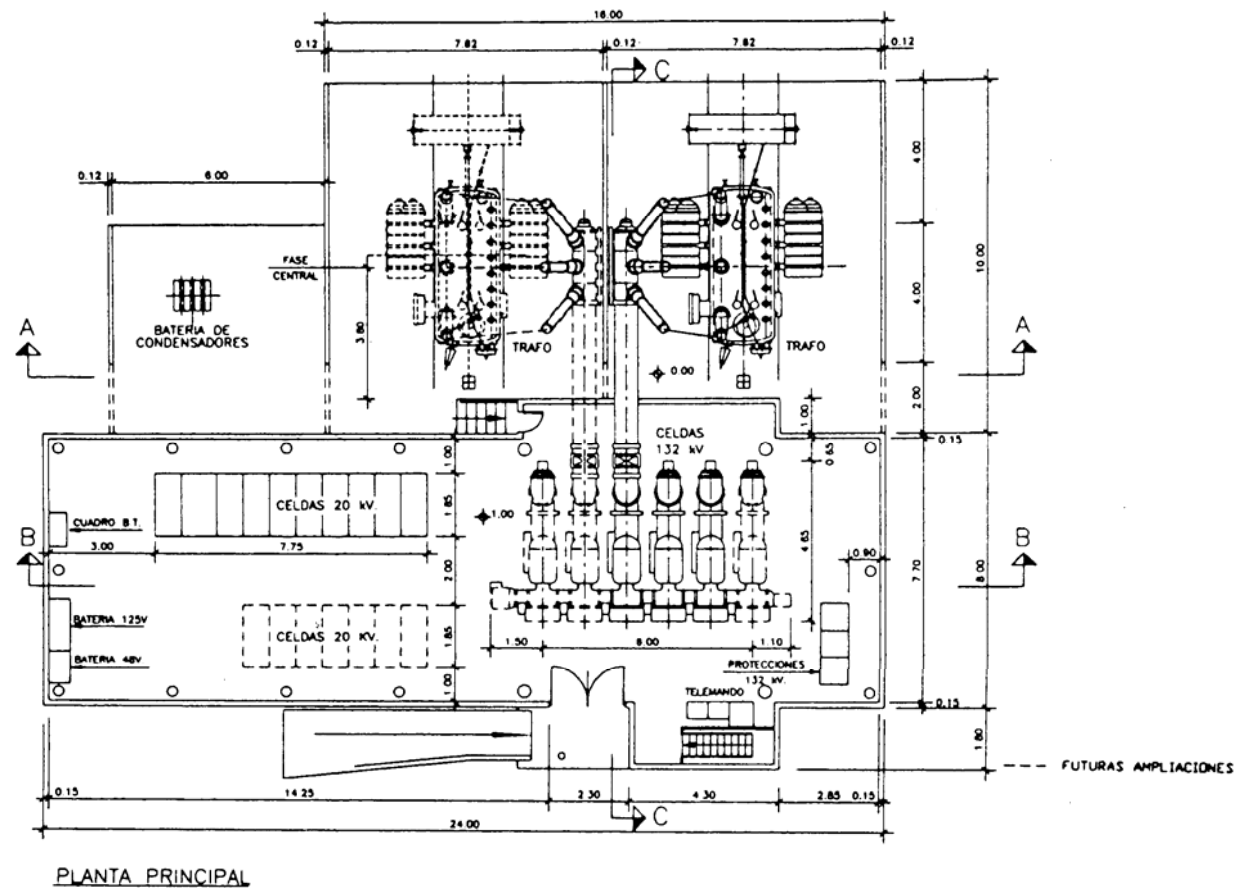


Disposición física

Subestaciones de intermedia

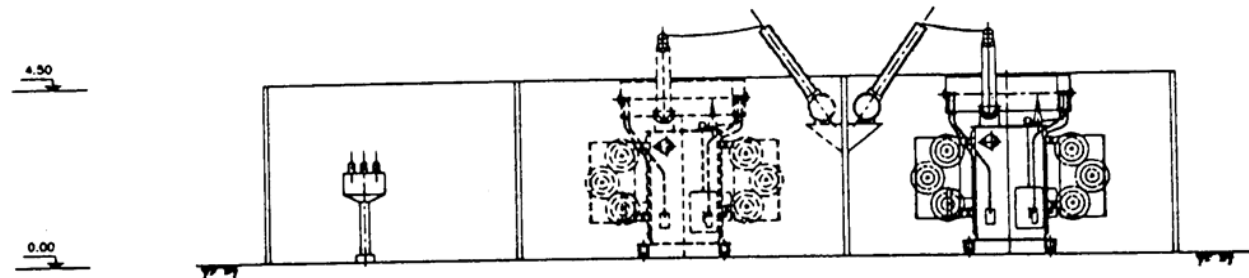


Disposición física Subestaciones de interior

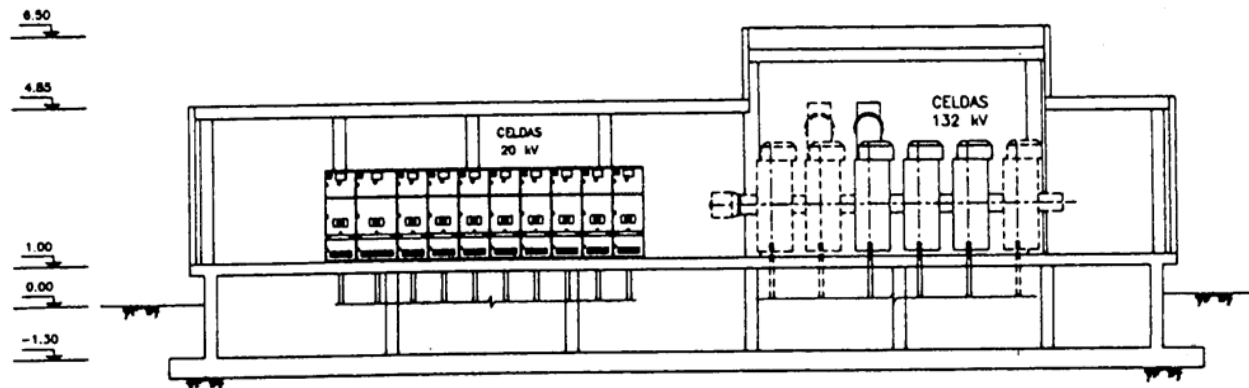


Disposición física

Subestaciones de interior



SECCION A-A



SECCION B-B

----- FUTURAS AMPLIACIONES

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