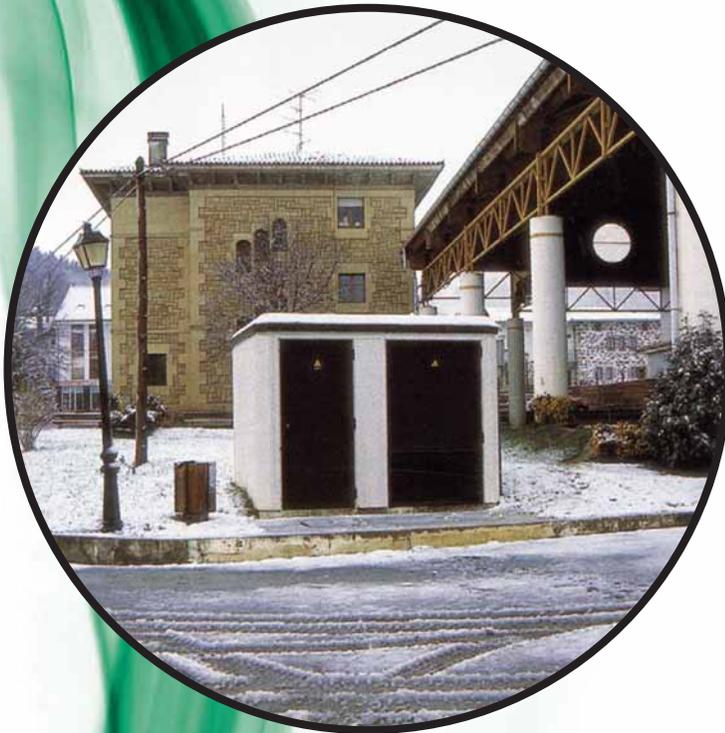


# Unidad 1

## Configuración de los centros de transformación



### En esta unidad aprenderemos a:

- Describir las partes que configuran un sistema eléctrico.
- Identificar los diferentes tipos de centros de transformación (CT).
- Reconocer las partes fundamentales de un CT.
- Asociar la función de un transformador en el CT.
- Analizar las diferentes celdas de un CT.
- Reconocer la aparamenta de un CT.

### Y estudiaremos:

- La estructura del sistema eléctrico.
- Los tipos de CT.
- El transformador de distribución.
- Los tipos de celdas y cuadros de baja tensión (BT).
- La aparamenta de un CT.

# 1. El sistema eléctrico

**Importante**

En orden secuencial, un sistema eléctrico está compuesto por:

- Centrales generadoras de energía eléctrica.
- Estaciones transformadoras elevadoras.
- Líneas de transporte.
- Estaciones de distribución.
- Estaciones transformadoras reductoras.
- Redes primarias de distribución.
- Estaciones transformadoras de distribución.
- Redes secundarias de distribución.

**Simbología**

- Centro de producción (hidráulico)
- Centro de producción (térmico)
- Estación transformadora elevadora
- Instalación a la intemperie
- Centro de distribución
- Estación transformadora reductora
- Instalación interior
- Instalación subterránea
- Instalación sobre postes

El sistema eléctrico es el conjunto formado por las centrales generadoras de energía eléctrica, las estaciones y subestaciones de transformación, así como las de distribución e interconexión, y las líneas de transporte de energía eléctrica.

En la Figura 1.1 pueden observarse los elementos que componen un sistema eléctrico englobados en tres subsistemas: el de producción, el de transporte y el de distribución.

- **Subsistema de producción (A).** Lo constituye el conjunto de todas las centrales generadoras de energía eléctrica (hidroeléctrica, térmica, nuclear, eólica) cuyo objetivo es generar la potencia eléctrica que necesita un país.

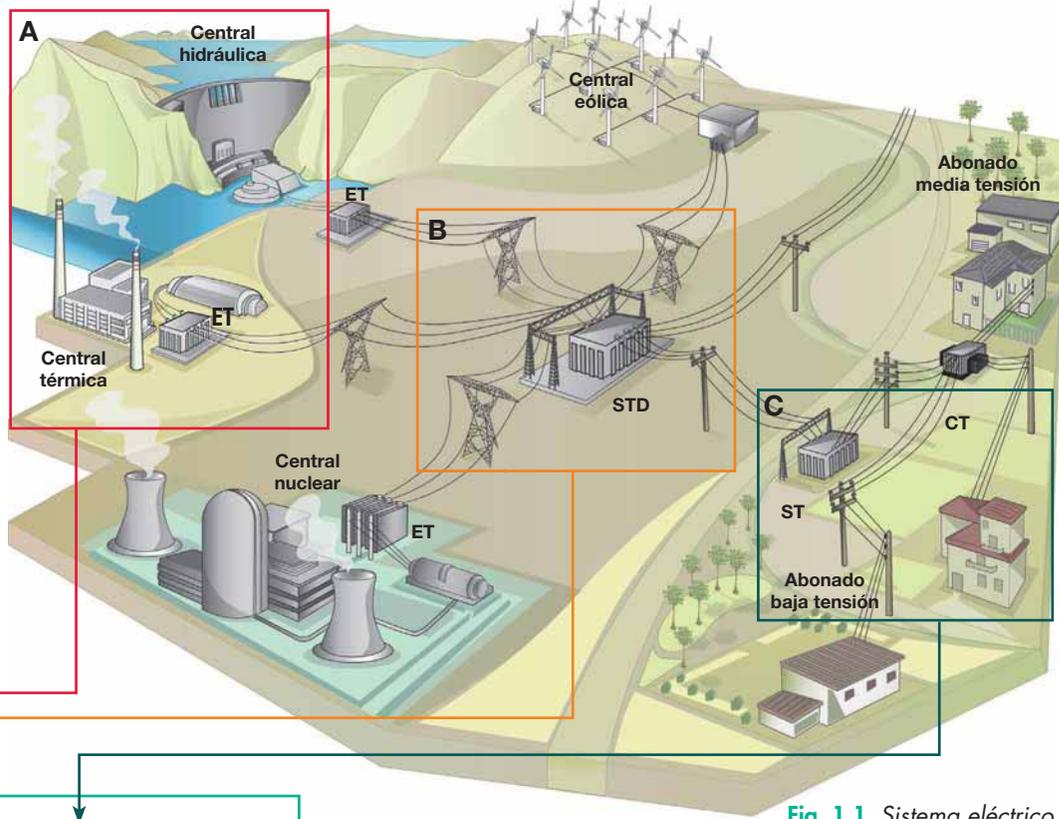


Fig. 1.1. Sistema eléctrico.

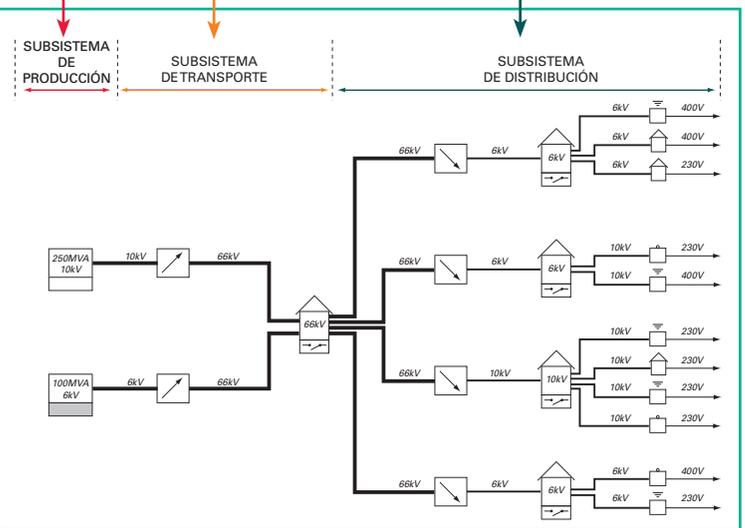


Fig. 1.2. Sistemas de producción, transporte y distribución.

ET	Estación transformadora
ST	Subestación transformadora
STD	Subestación de transformación y distribución
CT	Centro de transformación

- **Subsistema de transporte (B).** Se inicia en las estaciones transformadoras elevadoras de las centrales generadoras y, a través de las líneas de transporte de muy alta tensión (MAT), llega a las estaciones de distribución. Desde estas, la energía eléctrica se dirige a las estaciones transformadoras reductoras.
- **Subsistema de distribución (C).** Es el último eslabón del sistema eléctrico y está formado por las redes primarias de distribución, las estaciones transformadoras de distribución y las redes secundarias de distribución.

## A. Características del sistema eléctrico

Las características principales de un sistema eléctrico son el número de fases, la tensión de servicio y la frecuencia de la red.

- Respecto al **número de fases**, los sistemas más utilizados son los trifásicos, mientras que los monofásicos se emplean solo para instalaciones de baja tensión (BT).
- Las **tensiones de servicio** normalizadas, tanto para el subsistema de transporte como para el de distribución, se indican en la Tabla 1.1. Estas tensiones constituyen la característica de mayor importancia a la hora de diseñar una red de distribución.

Tipo	Tensión de servicio (V)	Uso
Baja tensión (BT)	127	Producción y distribución
	240	
	400	
Media tensión (MT)	3 000	Producción y distribución
	6 000	
	10 000	
	15 000	
	20 000	
Alta tensión (AT)	25 000	Transporte y distribución
	30 000	
	45 000	
	66 000	
Muy alta tensión (MAT)	110 000	Transporte
	132 000	
	150 000	
	220 000	
	400 000	

Tabla 1.1. Tensiones de los sistemas eléctricos.

- El valor de la **frecuencia de la red** para toda Europa y para gran parte del mundo, a excepción de América, está normalizado en 50 Hz.

## B. Líneas eléctricas

La definición que el reglamento de **líneas eléctricas aéreas de AT** establece en su artículo 2.º para este tipo de líneas es la siguiente:

Todas aquellas líneas de corriente alterna trifásica a 50 Hz de frecuencia, cuya tensión nominal eficaz entre fases sea superior a 1 kV.

El reglamento, además, establece una clasificación de las líneas eléctricas a partir de los conceptos de tensión nominal y tensión más elevada. Las tres categorías de líneas eléctricas son:

- 1.ª categoría.** Líneas de tensión nominal superior a 66 kV.
- 2.ª categoría.** Líneas cuya tensión nominal está comprendida entre 66 y 30 kV, ambas inclusive.
- 3.ª categoría.** Líneas con tensiones nominales inferiores a 30 kV o iguales o superiores a 1 kV. Constituyen la base del contenido de las instalaciones de enlace y de los centros de transformación (CT).

En la Tabla 1.2 se detallan las tres categorías con sus tensiones correspondientes. De entre todas ellas, las de mayor utilización son: **20, 66, 132, 220, 400 kV**.

### CEO

En CEO está representada la estructura en forma de malla de un sistema eléctrico. En esta figura se observa que, a medida que la energía se acerca a los centros de consumo, la red se hace más extensa como consecuencia de la densidad de carga.

### Vocabulario

**Tensión nominal.** Valor convencional de la tensión eficaz entre fases con que se designa la línea y a la cual se refieren determinadas características de funcionamiento. Se designa con la letra «U» y se expresa en kV.

**Tensión más elevada.** Mayor valor de la tensión eficaz entre fases que puede presentarse en un instante en un punto cualquiera de la línea, en condiciones normales de explotación. Se designa con la letra  $U_0$  y se expresa en kV.

Categoría de la línea	Tensión nominal de la red ( $U_n$ ) kV	Tensión más elevada de la red ( $U_0$ ) kV
3.ª	3	3,6
	6	7,2
	10	12
	15	17,5
	20*	24
2.ª	25	30
	30	36
	45	52
	66*	72,5
	110	123
1.ª	132*	145
	150	170
	220*	245
	400*	420

\*Tensiones de uso preferente en redes eléctricas de compañía.

Tabla 1.2. Categorías de líneas eléctricas.

## 1.1. Redes eléctricas

Por red eléctrica se entiende el conjunto de elementos y conductores que tienen como fin la unión y la conexión de las centrales generadoras de energía eléctrica con los abonados, a través de las estaciones transformadoras y de distribución necesarias.

Básicamente, existen dos tipos fundamentales de redes eléctricas:

<b>Redes eléctricas de transporte</b>	La misión de la red eléctrica de transporte es conectar la central generadora con las estaciones transformadoras reductoras existentes, por medio de líneas MAT y AT.
<b>Redes eléctricas de distribución</b>	Es el conjunto de instalaciones necesarias para hacer llegar la energía eléctrica desde las redes de transporte hasta los abonados.

**Tabla 1.3.** Tipos de redes eléctricas.

En toda **red de distribución** se distinguen dos grupos de instalaciones, los cuales se analizan en la siguiente tabla:

Instalaciones de la red de distribución	
Tipos	Formadas por
Red de reparto (red primaria)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Líneas aéreas o subterráneas de 45, 66 o 132 kV.</li> <li>• Subestaciones de transformación de MT a BT.</li> </ul>
Red de MT y BT (red secundaria)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Líneas aéreas o subestaciones de 15-20 kV.</li> <li>• Centros de transformación de MT/BT.</li> <li>• Líneas aéreas trenzadas y subterráneas de BT.</li> </ul>

**Tabla 1.4.** Instalaciones de la red de distribución.

La red secundaria está formada por las líneas de MT que llegan a los CT; desde estos la energía eléctrica se dirige a los usuarios a través de la red de BT (Fig. 1.2). La red secundaria es la encargada de enlazar con las acometidas de los edificios, por lo que se denomina también *red pública de distribución*.

El tipo de red viene condicionado por los siguientes factores:

- Forma de conexión a la red general.
- Superficie de la zona por donde discurre la red.
- Potencia máxima demandada.
- Tipo de edificación existente en la zona.



### Actividades

1. Define las partes que integran un sistema eléctrico y explica qué función desempeñan.
2. Averigua por qué se utiliza alta tensión en las redes eléctricas.
3. Realiza un esquema de un sistema eléctrico. Acompáñalo con fotografías de centrales, estaciones transformadoras y centros de transformación.
4. ¿A qué se denomina red pública de distribución?

### A. Conexión a la red general de la compañía suministradora existente en la zona

La red de distribución puede conectarse de cuatro maneras distintas a la red general de la compañía suministradora existente en la zona.

Conexiones a la red	Representación
<p><b>Conexión a una línea con tensión superior a la de las líneas de distribución de AT de la red de distribución prevista.</b></p> <p>En necesaria la instalación de una subestación.</p>	<p><b>Fig. 1.3.</b> Conexión a una línea con tensión superior de tipo A.</p>
<p><b>Conexión a una subestación o a un centro de reparto.</b></p> <p>Es necesaria la instalación de un centro de reparto.</p>	<p><b>Fig. 1.4.</b> Conexión a una subestación o a un centro de reparto de tipo B.</p>
<p><b>Conexión con una línea cuya tensión es igual a la de las líneas de distribución de AT de la red de distribución prevista en la zona.</b></p> <p>Es similar a la anterior, salvo el punto de conexión, que se realiza a tensiones a 30 kV.</p>	<p><b>Fig. 1.5.</b> Conexión a una línea de igual tensión de tipo C.</p>
<p><b>Conexión a un CT con potencia suficiente.</b></p> <p>El suministro se efectúa siempre en BT.</p>	<p><b>Fig. 1.6.</b> Conexión a un CT de tipo D.</p>

Tabla 1.5. Formas de conexión de la red de distribución.

#### Simbología

La simbología utilizada en la representación esquemática de las redes de distribución es la siguiente:

- Conexión a la red general
- Derivación en AT
- Subestación
- Centro de reparto
- Línea de distribución interior en AT
- CT
- Línea de distribución interior en BT

#### Vocabulario

**Subestación.** La norma NTE-IER la define como el centro de transformación mediante el cual se reduce la tensión con alimentación y salida en AT.

**Centro de reparto.** Es el centro con una fuerte alimentación, en el que una o más líneas de AT se derivan de otras con la misma tensión.

#### Importante

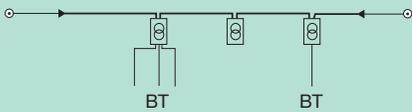
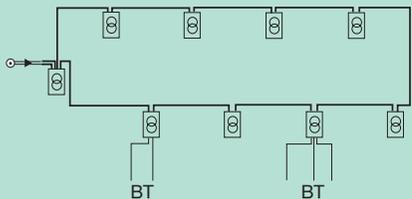
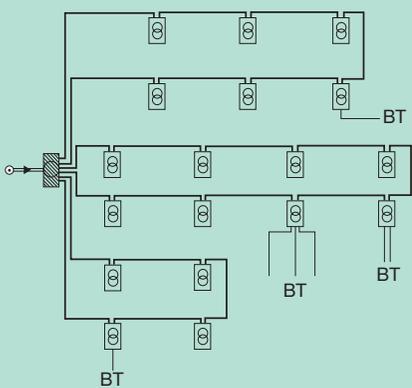
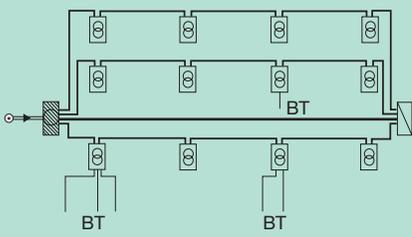
La norma NTE-IER realiza la siguiente clasificación en función de la densidad de viviendas por unidad de superficie:

Edificación	N.º de viviendas/ha
Extensiva	De 3 a 15
Semi-intensiva	De 16 a 30
Intensiva	De 31 a 75

Tabla 1.6. Clasificación edificación/n.º viviendas.

## B. Estructura de las redes eléctricas de distribución

A continuación, se indican los esquemas básicos ordenados de menor a mayor complejidad. La selección de uno u otro dependerá de la **superficie de la zona**, la **potencia máxima prevista** y el **tipo de conexión a la red** existente de la compañía suministradora.

Representación	Red de distribución	Características
 <p><b>Fig. 1.7. Red en BT.</b></p>	<p><b>Red en BT</b></p> <p>Red formada por una o varias líneas de distribución exclusivamente en BT, que parten de un CT existente en la zona.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La conexión a la red existente es del tipo D.</li> <li>• La potencia máxima demandada es igual a la que disponga el CT en que se conecte.</li> <li>• Superficie máxima de alimentación: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Edificación extensiva = 4 ha</li> <li>– Edificación semi-intensiva = 2 ha</li> <li>– Edificación intensiva = 1 ha</li> </ul> </li> </ul>
 <p><b>Fig. 1.8. Red lineal.</b></p>	<p><b>Red lineal</b></p> <p>La constituye una línea de distribución en AT con diez CT como máximo y las líneas de distribución en BT que requiera.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La conexión con la red existente puede ser de tipo B o C con alimentación doble.</li> <li>• Potencia máxima demandada = 8 000 kW</li> <li>• Superficie máxima de alimentación: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Edificación extensiva = 200 ha</li> <li>– Edificación semi-intensiva = 150 ha</li> <li>– Edificación intensiva = 80 ha</li> </ul> </li> </ul>
 <p><b>Fig. 1.9. Red en anillo.</b></p>	<p><b>Red en anillo</b></p> <p>Está formada por una línea de distribución que se cierra sobre sí misma (anillo), nueve CT y las correspondientes líneas de distribución en BT.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee las mismas características que la red lineal con la salvedad de que, al estar cerrada en anillo, permite la alimentación por dos caminos.</li> </ul>
 <p><b>Fig. 1.10. Red de anillos múltiples.</b></p>	<p><b>Red en anillos múltiples</b></p> <p>Es una variante de la anterior y está formada por varias redes en anillo conectadas a una misma subestación o centro de reparto. Cada anillo, a su vez, dispone de diez CT como máximo con las correspondientes líneas de distribución en BT.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La conexión con la red existente es del tipo A o B con alimentación única.</li> <li>• El número máximo de anillos es de cinco con conexión a una subestación o de tres si la conexión se realiza a un centro de reparto.</li> <li>• La potencia máxima demandada será de 40 000 kW con conexión a una subestación, o de 24 000 kW si la conexión es a un centro de reparto.</li> <li>• Superficie máxima de alimentación: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Edificación extensiva = 200 ha</li> <li>– Edificación semi-intensiva = 150 ha</li> <li>– Edificación intensiva = 80 ha</li> </ul> </li> </ul>
 <p><b>Fig. 1.11. Red en huso normal.</b></p>	<p><b>Red en huso normal</b></p> <p>Constituida como máximo por seis líneas de distribución en AT conectadas por un extremo a una subestación o a un centro de reparto y, por el otro, a un centro de reflexión. Cuenta con diez CT como máximo por línea de distribución de AT y de las correspondientes líneas de distribución de BT. Además, está provista de uno o dos circuitos ceros (también denominadas líneas de socorro o interconexión), los cuales unen los extremos de la red.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La conexión con la red existente es del tipo A o B con una sola alimentación.</li> <li>• La potencia máxima demandada es de 48 000 kW.</li> <li>• Superficie máxima de alimentación: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Edificación extensiva = 1 200 ha</li> <li>– Edificación semi-intensiva = 650 ha</li> <li>– Edificación intensiva = 480 ha</li> </ul> </li> </ul>

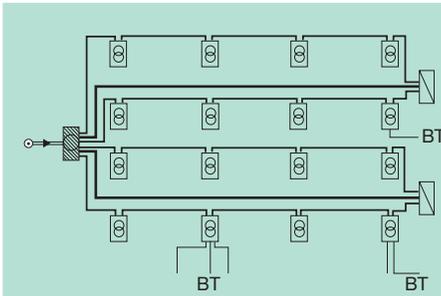


Fig. 1.12. Red en huso normal múltiple.

**Red en huso normal múltiple**

Es una variante del caso anterior, formada por dos o más husos normales conectados por un extremo a una subestación o centro de reparto y por el otro u otros a centros de reflexión.

- La conexión con la red existente es del tipo A o B con una sola alimentación.
- La potencia máxima demandada es de 48 000 kW por huso normal.
- La superficie máxima de alimentación es la misma que en el caso anterior considerándola para cada huso normal.

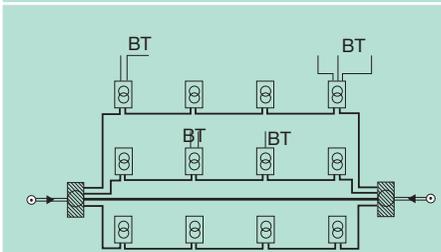


Fig. 1.13. Red en huso apoyado.

**Red en huso apoyado**

Es el caso más complejo de red de distribución y está formada por seis líneas de distribución en AT como máximo. Estas líneas se encuentran conectadas a dos subestaciones o a dos centros de reparto en ambos extremos y están unidas entre sí por un circuito cero, o línea de interconexión, diez CT por línea de distribución y las correspondientes líneas de distribución en BT.

- Esta red se utiliza cuando está prevista la ampliación de la red de distribución o se prevén conexiones con otras redes. La única diferencia con respecto a la anterior es que la conexión con la red existente puede ser de tipo A o B con alimentación doble.

Tabla 1.7. Formas de redes eléctricas de distribución.

## ● 1.2. Introducción a los centros de transformación

El reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación define a este último de la siguiente manera:

Instalación provista de uno o varios transformadores reductores de alta a baja tensión con la aparatenta y obra complementaria precisas.

En cualquier sistema eléctrico (generación, transporte y distribución de energía eléctrica), los CT tienen una función importante, que consiste en distribuir la energía eléctrica a diferentes tensiones, a la vez que permiten la conexión a líneas y redes en cualquier punto que se estime conveniente. Normalmente se hallan ubicados entre la subestación y el abonado.

Reducen las tensiones de servicio de la red de distribución en MT (11, 15, 20, 35, 45 kV), a los valores de consumo de BT (400/230 V o 230/127 V). Por este motivo constituyen el último eslabón de transformación de la energía eléctrica en su camino hacia los centros de consumo (Fig. 1.14).

El artículo 47, apartado 5, del Real Decreto 1955/2000 indica la necesidad de reservar un local en los edificios cuya potencia supere los 100 kW (incluidos los alumbrados exteriores). La situación de este recinto debe corresponder a las características de la red de suministro (aérea o subterránea) y disponer de las dimensiones adecuadas para permitir el montaje de los equipos y aparatos que se necesitan para dar el suministro de energía previsible.

Las potencias de los CT considerados en este capítulo oscilan entre 250, 400, 800 y 1 000 kW.

**Vocabulario****A**

**Centro de reflexión.** Centro que garantiza la alimentación de las líneas de AT que llegan a él procedentes de una subestación o un centro de reparto situado en la zona, mediante un circuito sin carga, denominado circuito cero.

**Actividades**

5. Realiza un resumen comparativo de las diferentes estructuras de las redes eléctricas de distribución.

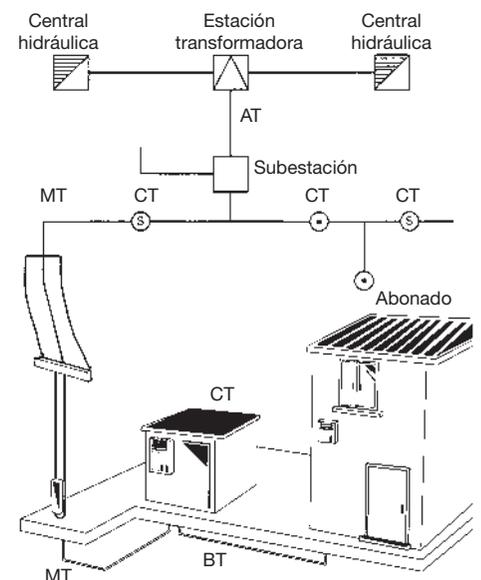


Fig. 1.14. Centro de transformación.

## 2. Los centros de transformación

Dependiendo de su misión y su situación en la red eléctrica, los CT se **clasifican** según su alimentación, propiedad, emplazamiento y acometida.

### Normativa

Los CT están sujetos a la siguiente normativa:

- Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.
- Normas del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (NTE-IE).
- Ordenanzas y normas municipales.
- Normas particulares de las compañías suministradoras.

<b>Alimentación</b>	CT en punta y CT en paso.
<b>Propiedad</b>	CT de empresa y CT de abonado.
<b>Emplazamiento</b>	CT intemperie o aéreo y CT de interior.
<b>Acometida</b>	CT con acometida aérea y CT con acometida subterránea.
<b>Obra civil</b>	CT convencional, CT compacto semienterrado, CT compacto de superficie, CT de maniobra y CT prefabricado.

Tabla 1.8. Clasificación de los CT.

### CT según su alimentación

- **CT alimentado en punta.** Únicamente dispone de una línea de alimentación y está conectado en derivación de la red principal o, por el contrario, constituye el punto final de dicha red (Fig. 1.15).

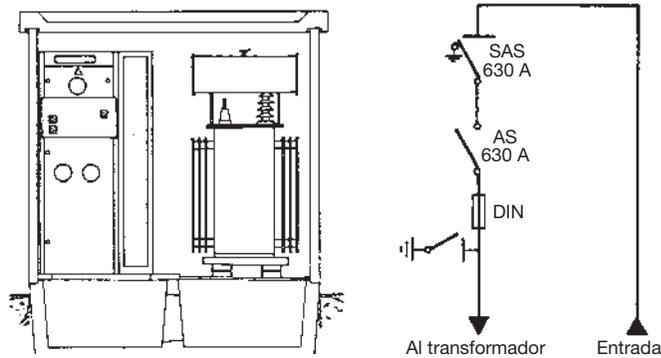


Fig. 1.15. CT alimentado en punta.

- **CT alimentado en paso.** También se conoce como CT alimentado en anillo o bucle. Dispone de una línea de entrada y una línea de salida hacia otro centro. Puede tener un punto en el que es posible seccionar la red de AT (Fig. 1.16).

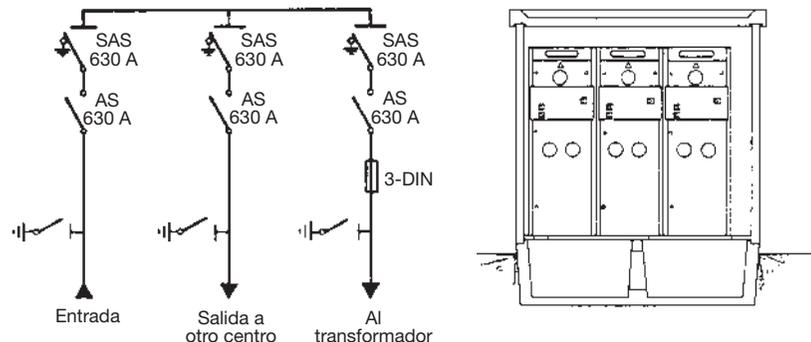


Fig. 1.16. CT alimentado en paso.

### Actividades

- Indica cuáles son las funciones de los centros de transformación.
- ¿Cuándo se debe instalar un CT en un edificio?

## ○ CT según su propiedad

- **CT de empresa.** Como su nombre indica, este centro es propiedad de la empresa suministradora, por lo que parten de él las redes de distribución en BT. Generalmente, dispone de una o varias celdas de línea (llegada y salida) y una celda de protección por cada transformador montado o disponible (Fig. 1.17).
- **CT de abonado o cliente.** Es propiedad del cliente y su tensión de alimentación está condicionada por la red de la empresa suministradora en la zona del cliente. Existen dos variantes:
  - El CT dispone de un equipo de medida en BT. Suelen ser centros de poca potencia, de intemperie sobre apoyos.
  - El CT dispone de un equipo de medida en MT. En este caso presenta mayor potencia. Una parte es propiedad de la empresa suministradora y el resto es propiedad del cliente, como se refleja en el esquema de la Figura 1.18.

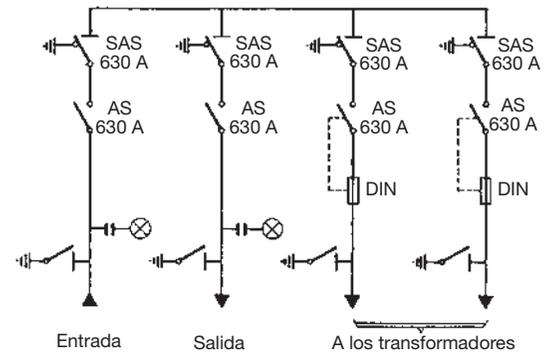


Fig. 1.17. Esquema de CT de empresa.

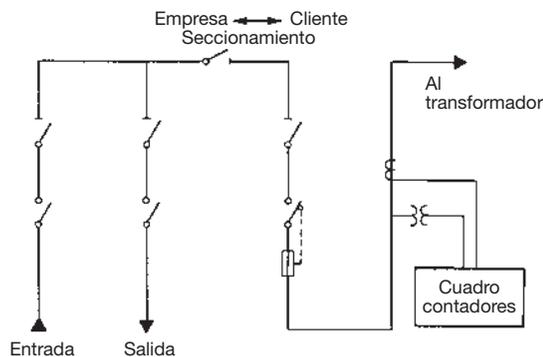


Fig. 1.18. Esquema de CT de cliente.

## ○ CT según su emplazamiento

- **CT intemperie o aéreo.** Normalmente está constituido por un transformador de potencia no superior a 160 kW, protegido por fusibles y seccionadores, y todo ello montado sobre apoyo de hormigón o metálico. Esta clase de CT no requiere la construcción de edificios específicos, por lo que se reducen los gastos de instalación. Se usan principalmente en zonas rurales, suministros provisionales y obras o clientes aislados (Fig. 1.19).

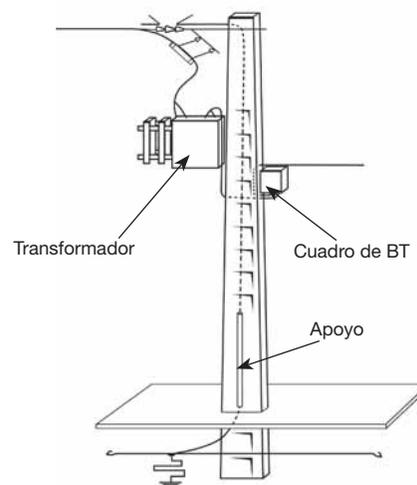


Fig. 1.19. Fotografía y esquema de un CT aéreo.

- **CT interior.** De este tipo de CT, que se ubica en recintos cerrados, existen dos variantes:
  - **De superficie.** Tiene su acceso por la calle. Puede alojarse en un local que forma parte de un edificio o bien instalarse de manera independiente, aislado de cualquier construcción.
  - **Subterráneo.** Está instalado bajo la vía pública o en el sótano de un edificio, y la entrada de personal y los aparatos están a nivel del suelo (Fig. 1.20).

La construcción en ambos casos se puede realizar de ladrillo, en metálico o prefabricado de hormigón.

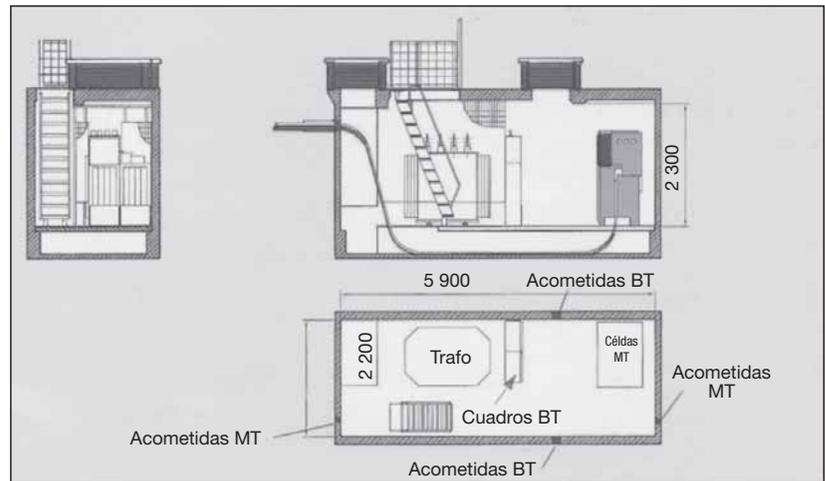


Fig. 1.20. Acceso a CT subterráneo.

### ○ CT según la acometida

- **CT con acometida aérea.** En este tipo de centro, la corriente eléctrica llega al centro a través de una línea aérea de MT (Fig. 1.21).
- **CT con acometida subterránea.** En este tipo de centro, la corriente eléctrica llega a través de una línea subterránea de MT (Fig. 1.22).

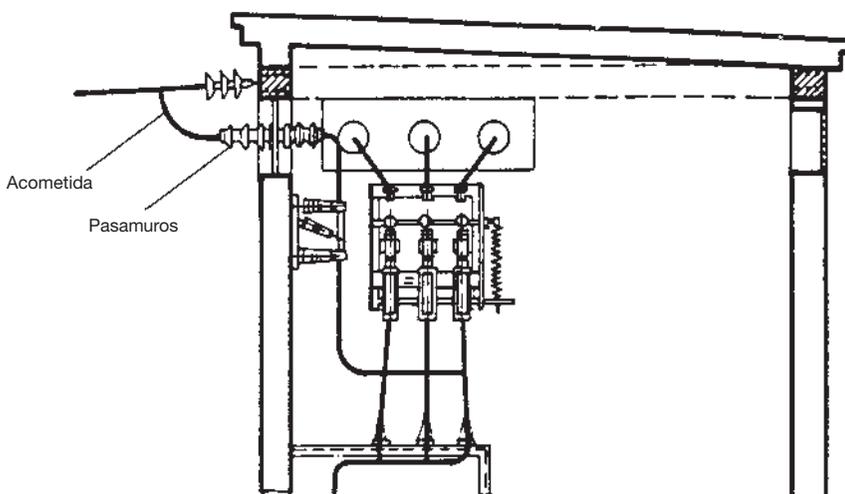


Fig. 1.21. CT con acometida aérea.

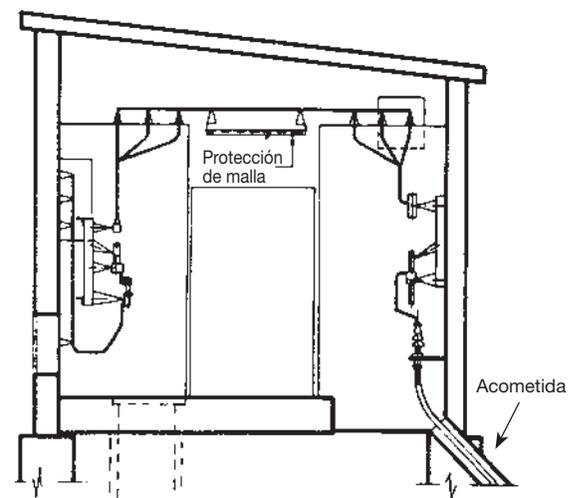


Fig. 1.22. CT con acometida subterránea.

## ○ CT según obra civil

- **CT convencional.** Generalmente está ubicado en el interior de un recinto construido de ladrillo, piedra, hormigón, etc., según un proyecto de obra civil. En la actualidad ya no se utiliza, pero es posible encontrar algunos en zonas rurales (Fig. 1.23).
- **CT compacto semienterrado.** Diseñado para su instalación semienterrado, incorpora la apartamentada de MT con aislamiento y corte en gas hexafluoruro ( $SF_6$ ), transformador, cuadro de BT y elementos de interconexión y auxiliares. El cuidado diseño exterior, sus reducidas dimensiones y su carácter semienterrado (1,5 m de altura vista) reducen su impacto visual, lo que permite su adaptación tanto a zonas industriales como a zonas residenciales (Fig. 1.24).

El carácter prefabricado de estos centros permite su equipamiento completo en fábrica, de modo que las operaciones *in situ* se limitan a la colocación del edificio en la excavación y al conexionado de las acometidas eléctricas.

La apartamentada eléctrica de MT y el cuadro de BT son accesibles desde el exterior a través de puertas independientes, lo que facilita la realización de las operaciones.

- **CT compacto de superficie.** Es un centro de estructura monobloque, diseñado para su instalación en superficie (Fig. 1.25). Puede incorporar la misma apartamentada de MT que el compacto semienterrado. Su maniobra se realiza desde el exterior, ya que, gracias a sus reducidas dimensiones, es posible utilizarlo tanto en aplicaciones permanentes como temporales. El equipamiento se realiza en fábrica, de modo que las operaciones de instalación se pueden reducir al posicionamiento del centro y al conexionado de las acometidas eléctricas.

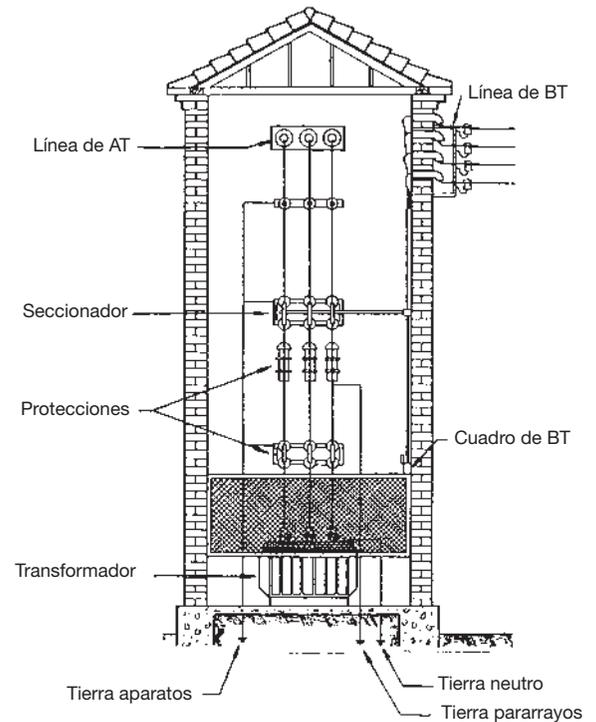


Fig. 1.23. CT convencional.



Fig. 1.24. CT compacto semienterrado.

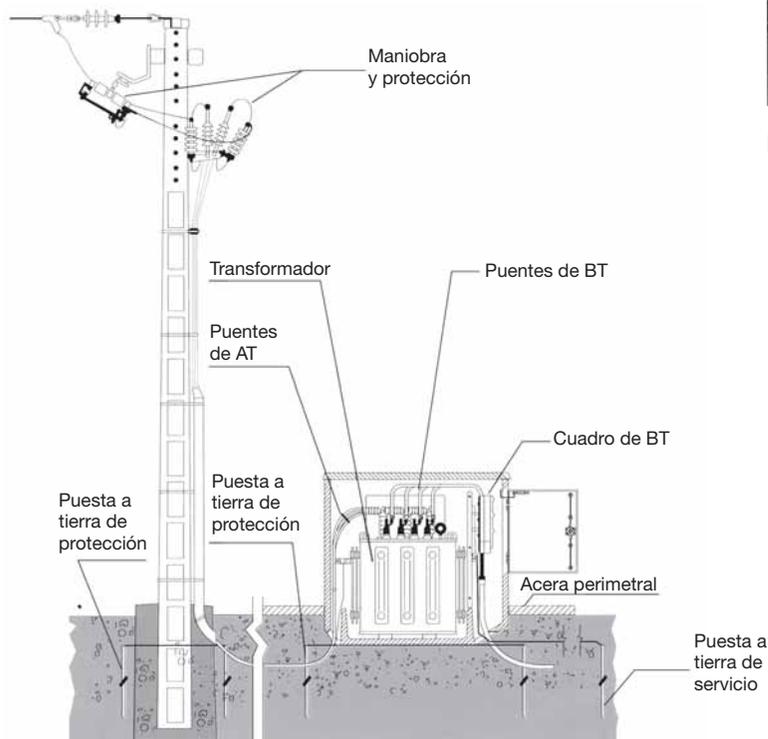


Fig. 1.25. Esquema de un CT compacto con bajada de línea aérea a subterránea.



Fig. 1.26. CT prefabricado.

- **CT de maniobra.** Se emplea en redes de MT. Su estructura es monobloque y está diseñado para su instalación en superficie. Incorpora tres celdas de interruptor en carga de 24 kV, con aislamiento y corte en SF<sub>6</sub>, que se maniobran desde el exterior. Para la realización de las maniobras y operaciones de mantenimiento se usa una puerta de dos hojas que permite el acceso directo a la apartamenta.
- **CT prefabricado.** En la actualidad, y debido en parte a la falta de locales que puedan alojar el CT, es muy frecuente recurrir al empleo de este modelo (Fig. 1.26).

Estos centros responden a exigencias de planificación, así como a la necesidad de obtener tamaños reducidos, facilidad de transporte e instalación y máxima resistencia a los agentes atmosféricos. Pueden ser de superficie o subterráneos.

– **CT prefabricado de superficie.** Constan de una capa envolvente de hormigón, de estructura monobloque, en cuyo interior se incorporan todos los componentes eléctricos, desde la apartamenta de MT (bien de corte al aire o con aislamiento y corte en SF<sub>6</sub>), hasta los cuadros de BT (incluyen transformadores, dispositivos de control e interconexiones entre los diversos elementos).

Permiten la realización de los esquemas habituales de suministro eléctrico que incorporen hasta dos transformadores, con una potencia unitaria máxima de 1 000 kW.

Su principal ventaja es que tanto la construcción como el montaje y el equipamiento interior pueden realizarse íntegramente en fábrica. Con ello, se garantiza una calidad uniforme y se reducen de manera considerable los trabajos de obra civil y montaje en el punto de instalación.

La instalación de este tipo de centros es muy sencilla, ya que las operaciones *in situ* pueden reducirse a su posicionamiento en la excavación y al conexionado de los cables de acometida (Fig. 1.27 y Tabla 1.9).

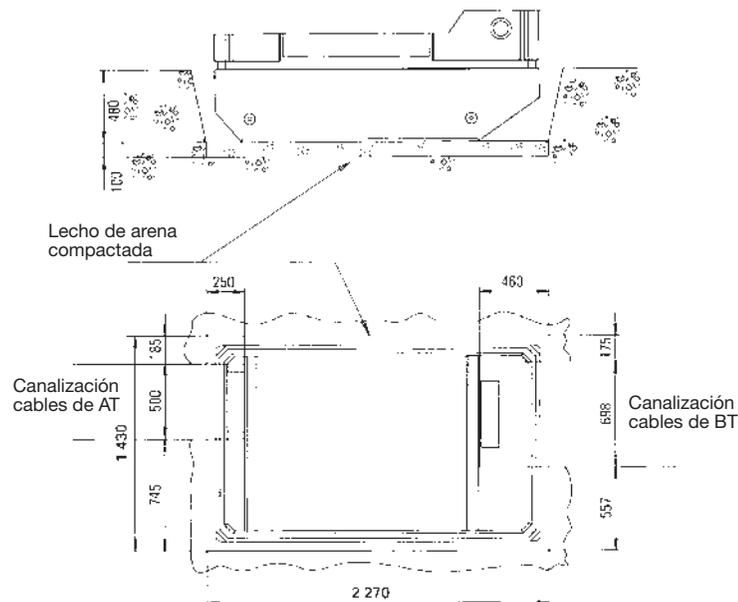


Fig. 1.27. Excavación y dimensiones de un CT prefabricado.

La entrada al CT se realiza a través de una puerta que da acceso a la zona de apartamenta, en la que se encuentran las celdas de MT, los cuadros de BT y los elementos de control del centro. Cada transformador cuenta con una puerta para permitir su extracción o acceso para mantenimiento.

La envolvente de estos centros es de hormigón armado vibrado, y se compone de dos partes: una que aglutina el fondo y las paredes (que incorpora las puertas y las rejillas de ventilación natural) y otra que constituye el techo.

Todas las armaduras del hormigón están unidas entre sí al colector de tierra, y las puertas y rejillas presentan una resistencia de 10 kΩ respecto a la tierra de la envolvente.

#### Trabajos a realizar previos a la instalación del CT

- Preparación del terreno.
- Excavación para el CT.
- Excavación de las canalizaciones de los cables.
- Instalación de los electrodos de puesta a tierra de protección y de servicio.
- Acceso para la grúa y camiones.

#### Trabajos a realizar posteriores a la instalación del CT

- Conectar las instalaciones de puesta a tierra de protección y servicio a los terminales colocados en el centro.
- Realizar los puentes de AT y BT.
- Rellenar la excavación.
- Construir la acera perimetral, en caso de que sea necesaria.

Tabla 1.9. Trabajos a realizar para la instalación de un CT.

– **CT prefabricado subterráneo.** Pueden incorporar en su interior diferentes esquemas de distribución eléctrica, lo que permite su uso tanto para centros de distribución pública como para instalaciones privadas. El carácter subterráneo y la facilidad de adaptación de su superficie reducen al mínimo su impacto en el entorno.

Los CT subterráneos pueden ser utilizados en distribución eléctrica hasta 36 kV e incorporan un transformador con una potencia máxima de 1 000 kW.

La instalación se reduce a la introducción del CT en la excavación (Fig.1.28). Primero se posiciona sobre una capa de arena compactada y una de hormigón, y después se conectan los cables de acometida y tierra, ya que la instalación de la aparatenta eléctrica puede realizarse en fábrica.

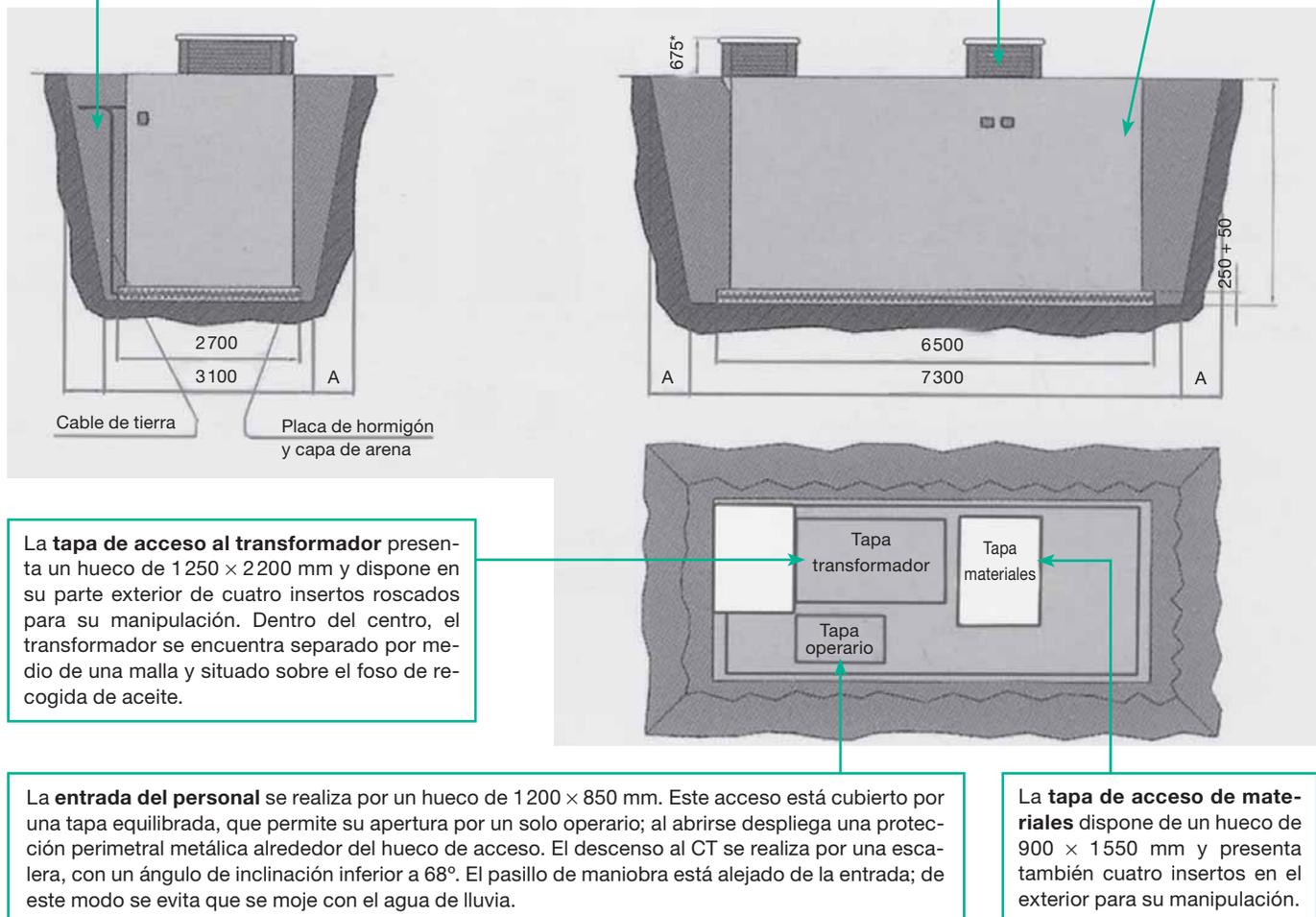
En la Figura 1.29 se presentan las características principales de un CT prefabricado subterráneo.



Fig. 1.28. Instalación de un CT prefabricado.

Su **estructura monobloque**, de gran resistencia mecánica, está compuesta por hormigón vibrado y armaduras electrosoldadas unidas al colector de tierra del CT.

La **impermeabilización de la superficie** de hormigón, que es resistente a la presencia de sulfatos en el terreno, y la existencia de **juntas estancas** en los accesos laterales de cables y en las tapas superiores, permiten su instalación en terrenos con nivel freático alto e incluso en aquellos con riesgo de inundación.



La **tapa de acceso al transformador** presenta un hueco de 1 250 × 2 200 mm y dispone en su parte exterior de cuatro insertos roscados para su manipulación. Dentro del centro, el transformador se encuentra separado por medio de una malla y situado sobre el foso de recogida de aceite.

La **entrada del personal** se realiza por un hueco de 1 200 × 850 mm. Este acceso está cubierto por una tapa equilibrada, que permite su apertura por un solo operario; al abrirse despliega una protección perimetral metálica alrededor del hueco de acceso. El descenso al CT se realiza por una escalera, con un ángulo de inclinación inferior a 68°. El pasillo de maniobra está alejado de la entrada; de este modo se evita que se moje con el agua de lluvia.

La **tapa de acceso de materiales** dispone de un hueco de 900 × 1 550 mm y presenta también cuatro insertos en el exterior para su manipulación.

Fig. 1.29. Características de un CT prefabricado subterráneo.

### Actividades

- Desarrolla un trabajo de campo: observa los diferentes tipos de CT que existen en la zona en la que vives y explica las características de cada uno. A continuación, deduce la relación entre cada tipología y su ubicación.

## 2.1. Constitución básica de un centro de transformación

La norma tecnológica de edificación (NTE-IET) establece dos tipologías de CT en función del número de transformadores que se alojen en su interior:

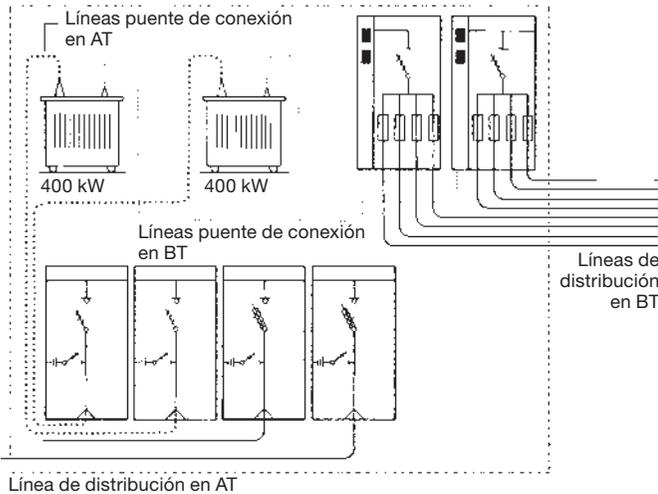


Fig. 1.30. CT con equipo transformador doble.

- **CT con equipo transformador sencillo.** Se compone de celdas de línea, celdas de protección, transformador y cuadro de BT.
- **CT con equipo transformador doble.** En la Figura 1.30 está representado el esquema de un CT de este tipo. Como puede apreciarse en este caso, los elementos que lo componen son las celdas de línea, dos celdas de protección, dos transformadores y dos cuadros de BT. Cuando se duplica el número de transformadores, también deben duplicarse las celdas de protección y el cuadro de BT.

Otro aspecto importante en la construcción de un CT es el local destinado a albergarlo. Este recinto debe presentar ciertas características constructivas y cumplir la norma básica de la edificación NBE-CPI-82 sobre las condiciones de protección contra incendios en los edificios (Tabla 1.10).

Características de los locales	Normativa contra incendios
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No puede ubicarse en su interior ninguna instalación ajena a su función.</li> <li>• Las condiciones de estanqueidad al agua de paredes, techos, cubierta y suelo serán análogas a las de un edificio destinado a vivienda.</li> <li>• Se dispondrá de un acceso libre e inmediato al centro desde el exterior para el personal de la empresa suministradora, que permita el paso de vehículos para carga y descarga de materiales.</li> <li>• El piso (forjado o solera) estará calculado para una sobrecarga de 3 500 kg/m<sup>2</sup> repartida de manera uniforme.</li> <li>• Debajo de cada transformador se construirá un pozo de dimensiones en planta de 140 × 90 cm y profundidad no inferior a 50 cm, para recogida de eventuales pérdidas de líquido refrigerante. Este pozo se conectará a otro de recogida, que en ningún caso debe estar conectado al alcantarillado.</li> <li>• El local estará defendido contra la entrada de agua del exterior, sobreelevándose al menos 30 cm sobre el nivel freático en los locales de superficie o protegiéndose mediante drenajes e impermeabilización en los cerramientos. En cualquier caso, junto a la entrada se dispondrá una arqueta sumidero conectada al saneamiento.</li> <li>• El local tendrá un nivel de iluminación mínimo de 150 lux, conseguidos al menos con dos puntos de luz, con interruptor, junto a la entrada, y una base de enchufe.</li> <li>• Las dimensiones interiores mínimas de los locales destinados a CT, sin incluir los espacios de acceso, dependerán del tipo de equipo y de la tensión nominal de la línea de distribución en AT que alimente al CT. Los locales para centros interiores y exteriores de superficie tendrán una puerta de acceso que abrirá hacia el exterior, de 2,30 m de altura y 1,40 m de anchura, como mínimo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Será sector de incendio cualquiera que sea el uso del edificio, con excepción de viviendas unifamiliares.</li> <li>• Los materiales de revestimiento serán siempre resistentes al fuego.</li> <li>• Tendrá acceso directo desde el exterior en edificios de uso sanitario en el Grupo II (altura comprendida entre 28 y 50 m), y en el Grupo III (altura superior a 50 m) constituirá edificio exento.</li> <li>• Sus cerramientos tendrán una resistencia al fuego en función del uso del edificio y del grupo de que se trate.</li> <li>• En los centros interiores con equipo sencillo y en los exteriores exentos, el local estará protegido contra incendios mediante un extintor de eficacia 21B. Dicho elemento se instalará en el exterior y junto a la puerta de acceso.</li> <li>• En los demás casos, el CT deberá protegerse mediante una instalación automática de inundación total, realizada con dióxido de carbono o hidrocarburos halogenados. La reserva de gas para la extinción será como mínimo de: dióxido de carbono (1,5 kg/m<sup>3</sup> de local) e hidrocarburos halogenados (5% del volumen total del local).</li> </ul>

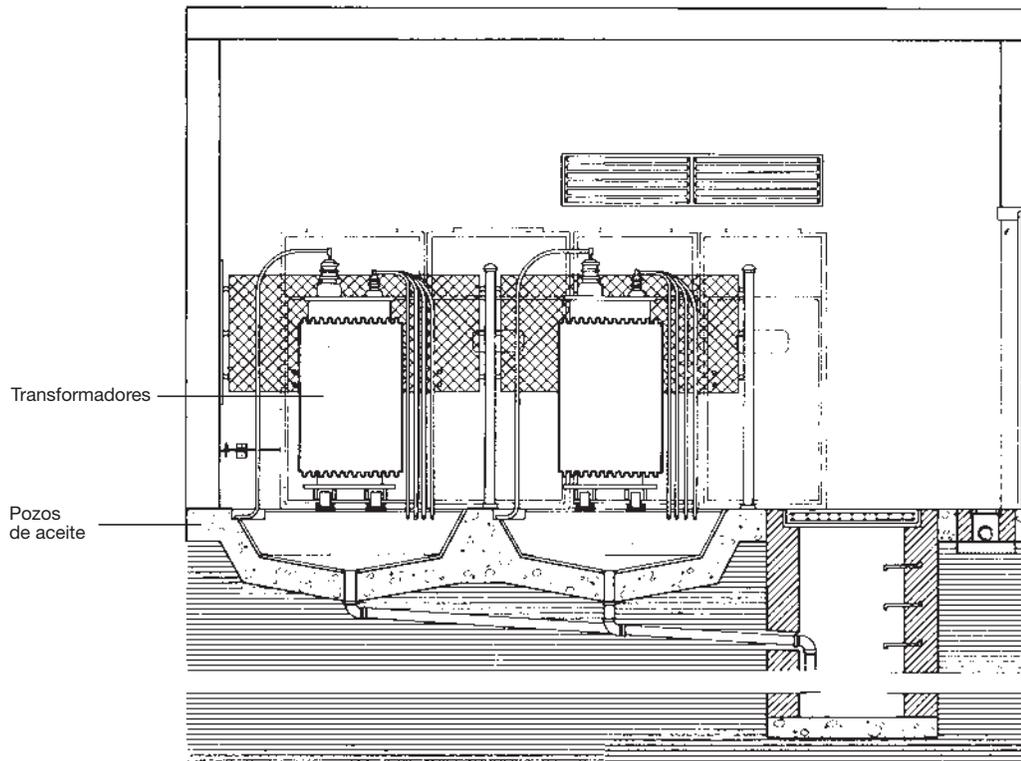
Tabla 1.10. Características de los locales para CT.

## ○ A. Esquemas generales de un CT convencional

En la Figura 1.31 se representa la planta y el alzado de un CT con equipo doble. Se puede apreciar toda la aparatada que compone estos centros, según lo indicado en la norma (NTE-IET).

CEO 

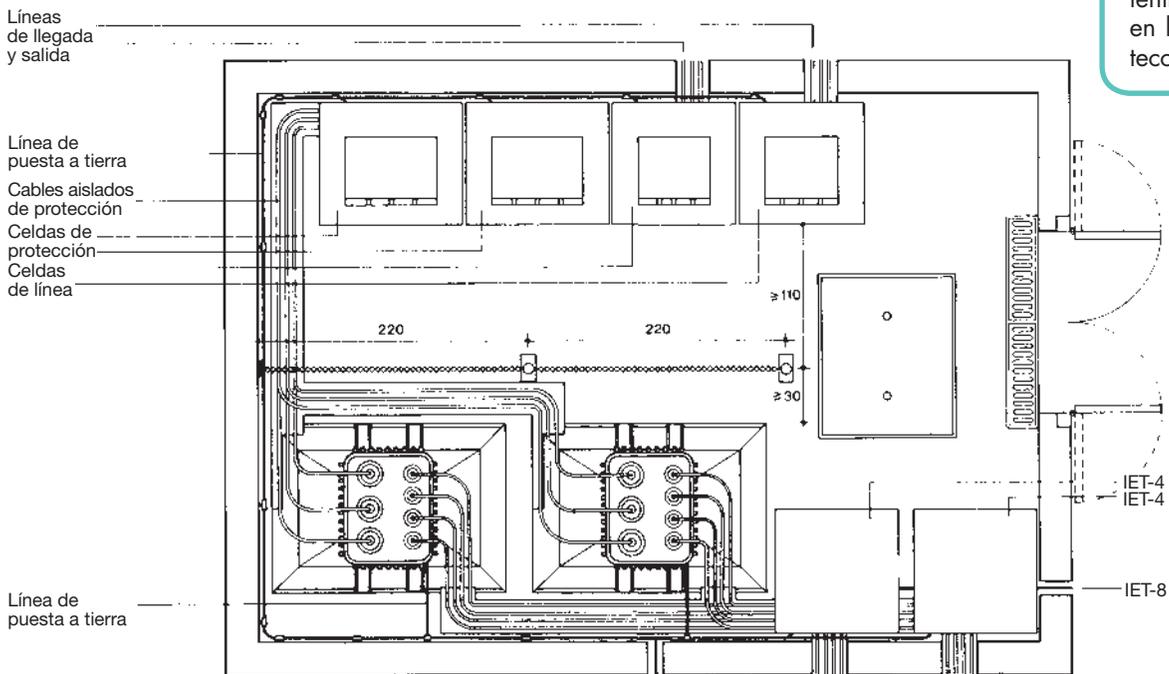
En CEO dispones de más información sobre las condiciones y la normativa que deben cumplir los locales que albergan centros de transformación.



Sección

Más datos 

En la Unidad 5 de este libro se describen las maniobras de mantenimiento que deben efectuarse en las celdas de línea y de protección del transformador.



Planta

Cotas en cm

Fig. 1.31. Planta y alzado de un CT convencional con equipo doble.

## @ Web

En Internet existen páginas de fabricantes de CT en las que podrás encontrar información sobre su aparatada, tales como:

[www.ormazabal.es](http://www.ormazabal.es)  
[www.schneiderelectric.es](http://www.schneiderelectric.es)

## B. Aparatada de un CT convencional

A grandes rasgos, los elementos que forman un CT son los siguientes: celdas de línea (entrada o salida), celda de protección, celda de transformador, embarrados de MT y cuadro de BT.

Las celdas, a su vez, se dividen en dos tipos:

- Convencionales.** Se construyen de obra civil dentro del local destinado al CT. En la actualidad ya no se realizan, excepto por cuestiones de diseño específico.
- Envoltentes metálicas o prefabricadas.** Están formadas por una chapa de acero de 3 mm de espesor en sus partes más resistentes y de 2 mm en las partes de cierre; un acabado de pintura garantiza su resistencia a la corrosión.

A continuación, se analiza cada uno de los componentes de un CT convencional.

Representación	Componentes
<p>Alzado                      Sección</p>	<p><b>Celda de línea</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aisladores de apoyo.</li> <li>• Tres botellas unipolares o una tripolar para conexión de la línea de llegada.</li> <li>• Seccionador interruptor de tensión <math>U</math>, intensidad 400 A, intensidad térmica admisible de corta duración (1 s) no inferior a 10 kA, valor de cresta no inferior a 25 kA.</li> <li>• Intensidad de cierre sobre cortocircuito no inferior a 20 kA.</li> <li>• Conducto superior para embarrado general y de derivación.</li> <li>• Embarrado general de sección adecuada a las características anteriores.</li> <li>• Conductor de puesta a tierra de cobre de 50 mm<sup>2</sup> de sección.</li> <li>• Seccionador de puesta a tierra con poder de cierre brusco no inferior a 25 kA e intensidad nominal de 200 A.</li> <li>• Palanca de accionamiento.</li> <li>• Dispositivo de seguridad que garantiza la separación del embarrado superior del resto de la celda.</li> <li>• Punto de luz para alumbrado de la celda.</li> </ul>
<p>Alzado                      Sección</p>	<p><b>Celda de protección</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aisladores de apoyo.</li> <li>• Tres botellas unipolares o una tripolar para conexión de la línea puente en AT.</li> <li>• Interruptor seccionador con fusibles de alto poder para protección contra cortocircuito y bobina de disparo para protección de sobrecarga.</li> <li>• Conducto superior para embarrado general y de derivación.</li> <li>• Embarrado general de sección adecuada a las características anteriores.</li> <li>• Conductor de puesta a tierra de cobre de 50 mm<sup>2</sup> de sección.</li> <li>• Seccionador de puesta a tierra con poder de cierre brusco de 40 kA e intensidad nominal de 200 A.</li> <li>• Palancas y dispositivo de accionamiento.</li> <li>• Dispositivo de seguridad que garantiza la separación del embarrado superior del resto de la celda.</li> <li>• Punto de luz para alumbrado de la celda.</li> </ul>

Fig. 1.32. Celda de línea de un CT convencional.

Fig. 1.33. Celda de protección del transformador de un CT convencional.

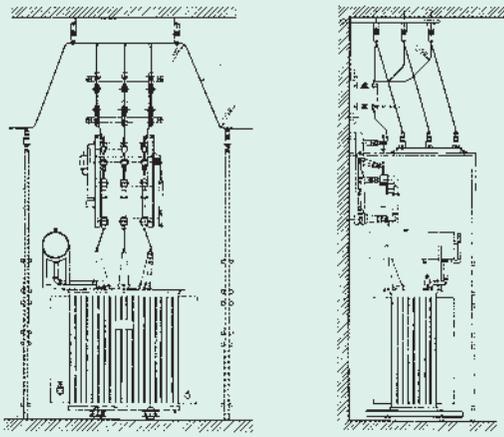
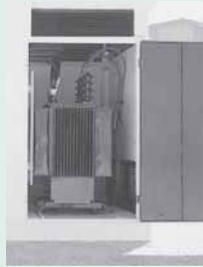


Fig. 1.34. Celda de transformador de un CT convencional.



### Celda de transformador

- Caja y chasis.
- Núcleo y bobinas.
- Elementos de refrigeración.
- Sistema adecuado para absorción de las dilataciones del líquido refrigerante.
- Sonda termométrica.
- Bornes de conexión y pasatapas de AT y BT.
- Borne de conexión de puesta a tierra.
- Grifo de vaciado con tapón.
- Cáncamos para elevación y transporte.
- Ruedas bipoles.
- Potencia (P): 250 kW; 400 kW.
- Se adaptará a lo especificado en la norma UNE 20138-76.

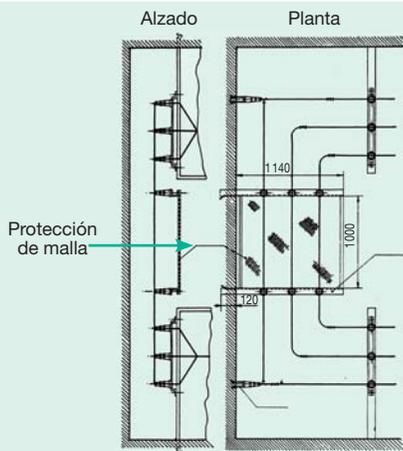


Fig. 1.35. Embarrados de MT de un CT convencional.

### Embarrados de MT

Los embarrados son las líneas de unión entre las diferentes celdas que forman el CT, que a su vez están montadas sobre aisladores de apoyo.

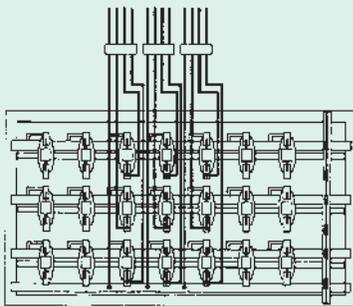


Fig. 1.36. Cuadro de BT de un CT convencional.

### Cuadro de BT

De él parten las líneas de BT, y está formado por los siguientes elementos.

- Chasis para soporte de embarrado de fases, neutro, tierra y portafusibles.
- Dispositivo de seccionamiento general.
- $N$  ternas de fusibles, según el número de líneas que protege el cuadro de distribución.
- $N$  dispositivos de seccionamiento del neutro.
- Equipo de medida.

Tabla 1.11. Componentes de un CT convencional.

### Actividades

- Indica qué funciones desempeñan en un CT los embarrados de MT y el cuadro de BT.

### 3. Centro de transformación prefabricado con celdas modulares

En la actualidad, la mayoría de los fabricantes instalan CT prefabricados. En la Figura 1.37 se puede observar la constitución de este tipo de centro con el llamado *sistema de celdas modulares*, las cuales sustituyen a las anteriores convencionales y representan un ahorro de espacio y una mayor seguridad de maniobra.

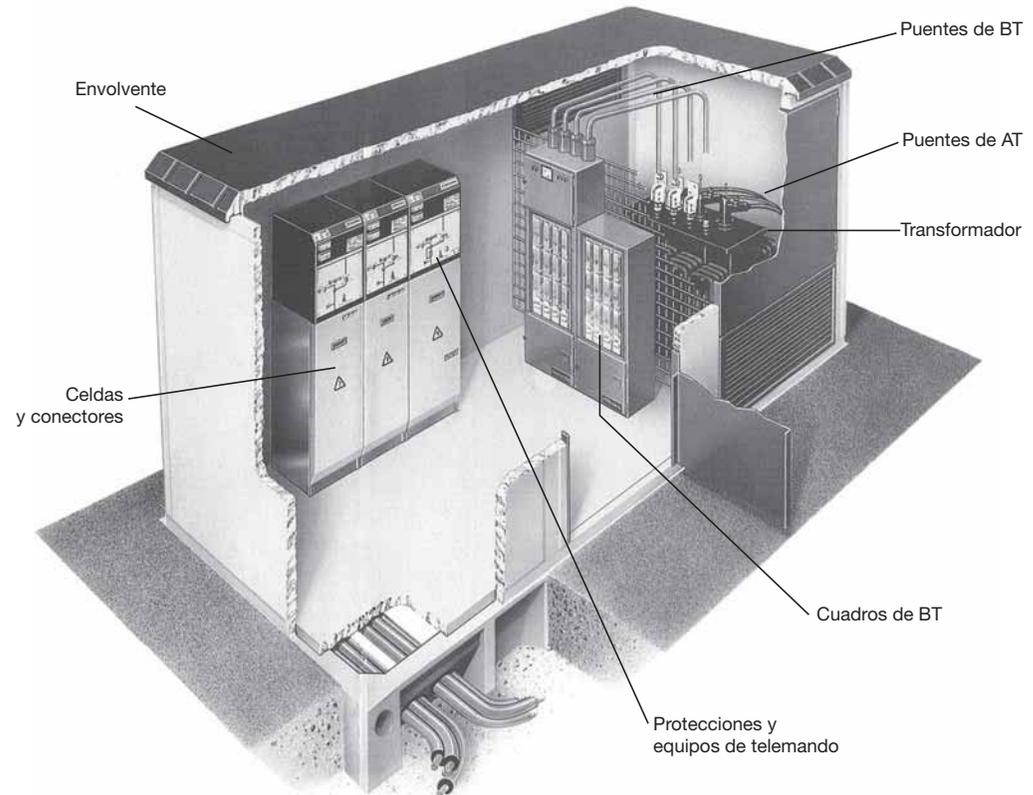


Fig. 1.37. CT prefabricado.

La prefabricación de los elementos que constituyen este tipo de CT y los ensayos realizados en cada celda garantizan su funcionamiento en diversas condiciones de temperatura y presión. Su aislamiento integral en SF<sub>6</sub> les permite resistir los efectos de la contaminación e incluso una eventual inundación, además de reducir las tareas de mantenimiento.

El conexionado entre los diversos módulos, realizado mediante un sistema patentado, es simple y fiable, y permite configurar diferentes esquemas para los CT con uno o varios transformadores, seccionamiento, medida, etc. La conexión de los cables de acometida y del transformador es igualmente rápida y segura.

Los diferentes tipos de celdas modulares que pueden instalarse en un CT para trabajar en redes de MT deben cumplir unas tensiones nominales concretas, las cuales se indican en la Tabla 1.12.

Tensión nominal (kV)	Intensidad nominal (A)	Intensidad de corta duración (kA)
12	400 y 630	16 y 20
24	400 y 630	16 y 20
36	400	16 y 20

Tabla 1.12. Tensiones nominales para celdas modulares.

### 3.1. Funciones y componentes de las celdas modulares

Las celdas modulares forman un sistema de equipos de reducidas dimensiones para MT. Cada módulo o celda tiene una **función** específica y dispone de su propia capa envolvente metálica que alberga una cuba llena de SF<sub>6</sub>, en la cual se encuentran los aparatos de maniobra y el embarrado.

Las funciones de estas celdas modulares se detallan en la Tabla 1.13.

Esquema	Denominación	Funciones
	<b>Celda de remonte</b> (CMR)	Posee una envolvente metálica que protege el remolque de cables hacia el embarrado.
	<b>Celda de línea</b> (CML)	Dotada con un interruptor-seccionador de tres posiciones (en lo sucesivo, interruptor), permite comunicar el embarrado del conjunto de celdas con los cables, cortar la corriente nominal, seccionar esta unión o poner a tierra simultáneamente los tres bornes de los cables de MT.
	<b>Celda de protección con fusibles</b> (CMP-F)	Su función es proteger el transformador. Además de un interruptor igual al de la celda de línea, incluye la protección con fusibles, lo que permite su asociación o combinación con el interruptor (funciones de protección).
	<b>Celda de interruptor automático</b> (CMP-A)	Incluye un interruptor automático y un seccionador de tres posiciones. Está dotada con un sistema autónomo de protección que permite la realización de protecciones generales o del transformador.
	<b>Celda de interruptor pasante</b> (CMIP)	Dispone de un interruptor en el embarrado de la celda, con objeto de permitir la interrupción en carga (separación en dos partes) del embarrado principal del CT.
	<b>Celda de medida</b> (CMM)	De reducidas dimensiones, permite incluir en un bloque homogéneo con las otras funciones del sistema los transformadores de medida de tensión e intensidad.

**Tabla 1.13.** Tipos de celdas modulares.

Los **elementos** que componen una celda modular son: base y frente, cuba, interruptor/seccionador/seccionador de puesta a tierra, interruptor automático, mando, fusibles.

- **Base y frente.** La base soporta todos los elementos que integran la celda. La rigidez mecánica de la chapa galvanizada garantiza su indeformabilidad y su resistencia a la corrosión. Su altura y diseño permiten el paso de cables entre celdas sin necesidad de foso.

El frente está pintado e incluye, en su parte superior, la placa de características eléctricas, la mirilla para el manómetro, el esquema eléctrico de la misma y los accesos a los accionamientos del mando.

En la parte inferior se encuentran las tomas para las lámparas de señalización de tensión y el panel de acceso a los cables y fusibles. En su interior hay una pletina de cobre que permite su conexión con el sistema de tierras y las pantallas de los cables.

#### Más datos



A efectos de esta obra, entenderemos por **corrosión** el conjunto de procesos de deterioro que sufre un metal bajo el efecto de las acciones físicas, químicas o electroquímicas del medio que lo rodea.

### Ten cuidado

En las siguientes figuras se indica la posición en la que están los elementos que componen las celdas modulares, aunque puede variar según el fabricante.

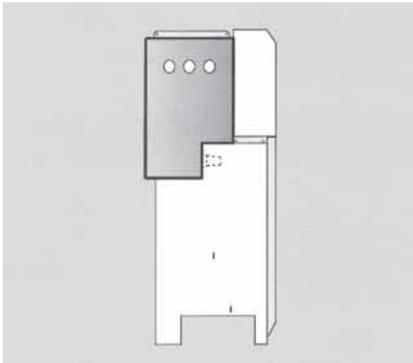


Fig. 1.38. Cuba de una celda modular (zona sombreada).

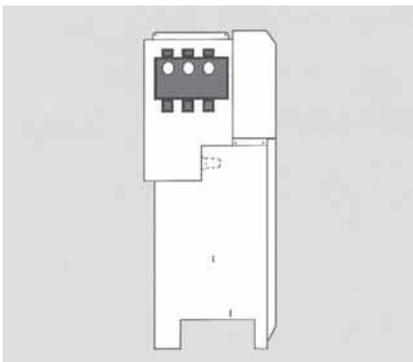


Fig. 1.39. Interruptor/seccionador/seccionador de puesta a tierra de una celda modular (zona sombreada).

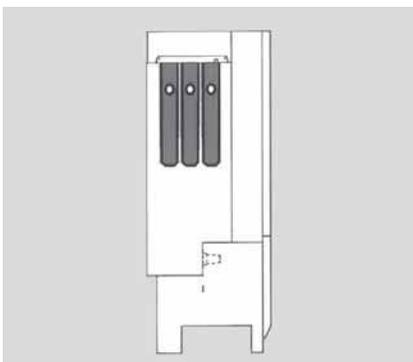


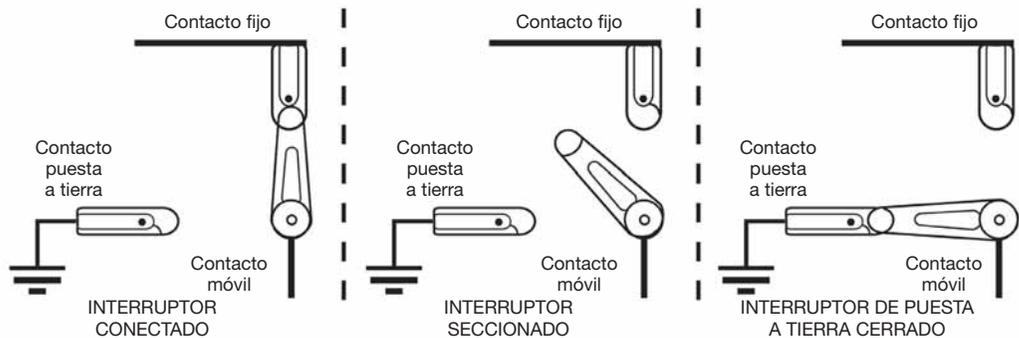
Fig. 1.41. Interruptor automático del sistema de celdas modulares (zona sombreada).

- **Cuba.** Este elemento contiene el interruptor, el embarrado y los portafusibles (Fig. 1.38). El embarrado está dimensionado para soportar, además de la intensidad nominal, las intensidades térmica y dinámica asignadas.

El gas  $SF_6$  que hay en su interior tiene una presión absoluta de 1,3 bar. El sellado de la cuba permite el mantenimiento de los requisitos de operación segura durante más de treinta años, sin necesidad de reposición del gas. Para la comprobación de la presión interior, se puede incluir un manómetro visible desde el exterior de la celda.

La cuba cuenta con un dispositivo de evacuación de gases, que, en caso de arco interno, permite su salida hacia la parte trasera de la celda, evitando así su incidencia sobre las personas, los cables o la aparamenta del CT.

- **Interruptor/seccionador/seccionador de puesta a tierra.** El interruptor del sistema tiene tres posiciones: conectado, seccionado y puesta a tierra (Figs. 1.39 y 1.40).



La actuación de este interruptor se realiza mediante palanca de accionamiento sobre dos ejes distintos: uno para el interruptor (conmutación entre las posiciones de interruptor conectado e interruptor seccionado) y otro para el seccionador de puesta a tierra de los cables de acometida (que conmuta entre las posiciones de seccionado y puesta a tierra).

Fig. 1.40. Funcionamiento del interruptor.

Estos elementos son de maniobra independiente, es decir, su velocidad de actuación no depende de la velocidad de accionamiento del operario.

El corte de la corriente puede realizarse en el paso del interruptor de conectado a seccionado, y para ello se emplea la velocidad de las cuchillas y el soplado de  $SF_6$ .

El interruptor de la celda de interruptor pasante solo tiene posiciones de conectado y seccionado.

- **Interruptor automático.** Consta de tres polos o ampollas (Fig. 1.41) que contienen  $SF_6$  a una presión absoluta cercana a 3 bar. En cada polo hay dos contactos: el inferior, que es fijo, y el superior, que es móvil y se acciona por el mando del interruptor automático (Fig. 1.42).

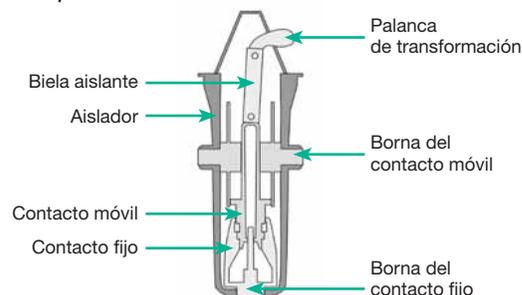


Fig. 1.42. Funcionamiento del interruptor automático.

El corte de la corriente se produce por la suma de dos efectos:

- Autocompresión de  $SF_6$  por desplazamiento del contacto móvil, que produce un doble soplado axial sobre el arco en ambos contactos.
- Velocidad de separación de los contactos.

- **Mando.** Existen diferentes tipos de mandos. Todos ellos se pueden clasificar en dos grupos: mandos del interruptor automático y mandos del interruptor de tres posiciones.

Tipología de mandos	Clasificación	Características
Del interruptor automático	Manual	En este mando, la operación de carga de los resortes se realiza simultáneamente y mediante una palanca para la doble maniobra de cierre y apertura.
	Motorizado	Es análogo al mando manual, pero en este las operaciones de carga de muelles las realiza un motor.
Del interruptor de tres posiciones	Manual	Cada maniobra la debe realizar directamente el operario mediante una palanca de accionamiento.
	Manual con retención	Es similar al mando manual, pero en este, tras el cierre del interruptor, hay que cargar el resorte de apertura. Esta se puede ejecutar mediante pulsador, por medio de la bobina de apertura, por acción de los fusibles o mediante el disparador del relé de protección.
	Motorizado	Además de las funciones del mando manual, se pueden realizar todas las operaciones con un motor, el cual permite accionar el telemando del interruptor.
	Conmutación motorizada	Facilita la realización de conmutaciones de líneas instantáneamente por medio de un accionamiento motorizado.

Tabla 1.14. Tipos de mandos.

- **Fusibles.** En las celdas CMP-F los fusibles se montan sobre unos carros que se introducen en tres tubos portafusibles de resina aislante.

Los tubos, inmersos en  $SF_6$ , son perfectamente estancos respecto del gas y, cuando están cerrados, lo son también respecto del exterior; de este modo se garantiza la insensibilidad a la polución externa y a las inundaciones.

La estanqueidad se consigue mediante un sistema de cierre rápido con membrana, que cumple también otra misión: el accionamiento del interruptor para su apertura (Fig. 1.43). Este puede tener origen en: a) la acción del percutor de un fusible cuando este se funde; b) la sobreimpresión interna del portafusibles por calentamiento excesivo del fusible.

### 3.2. Conexiones entre celdas

El **conjunto de unión** es el elemento empleado para realizar la conexión eléctrica y mecánica entre celdas. Permite la unión del embarrado de las celdas del sistema modular fácilmente y sin necesidad de reponer gas hexafluoruro.

El conjunto de unión está formado por tres **adaptadores** enchufables montados entre las tulipas (salidas de los embarrados) existentes en los laterales de las celdas (Fig. 1.44). Los adaptadores dan continuidad al embarrado y sellan la unión, a la vez que controlan el campo eléctrico por medio de las correspondientes capas semiconductoras.

El diseño y la composición del conjunto de unión, además de imposibilitar las descargas parciales, permite mantener los valores característicos de aislamiento, y las intensidades nominales y de cortocircuito que las celdas tienen por separado.

Tras disponer los adaptadores de las tres fases del embarrado, únicamente es necesario dar continuidad a la tierra y afianzar la unión mecánica entre celdas mediante unos tornillos. Si la conexión se realiza por medio de cables o a través de la unión con celdas no modulares, se utilizan pasatapas.

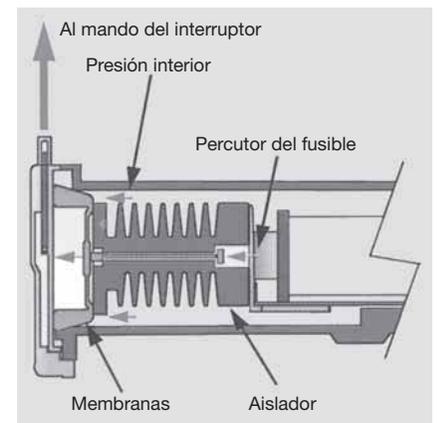


Fig. 1.43. Funcionamiento del portafusibles.



Fig. 1.44. Salida de embarrados (con un adaptador enchufable).

### 3.3. Operaciones de maniobra en celdas

#### Más datos

Los CT deben instalarse con puesta a tierra. Las fases y el desarrollo de este proceso se explican en la Unidad 4 de este libro.

#### Importante

La **seguridad** en la operación de este tipo de celdas corresponde a un grado de protección IP 33 (excepto en la parte correspondiente al paso de conductores).

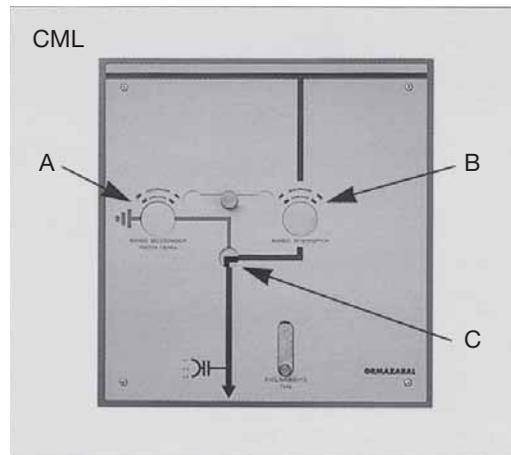
El **sistema de enclavamiento** se ha diseñado para permitir el acceso a los cables solo cuando están puestos a tierra, y evitar la realización de maniobras incorrectas por parte del operario.

#### Actividades

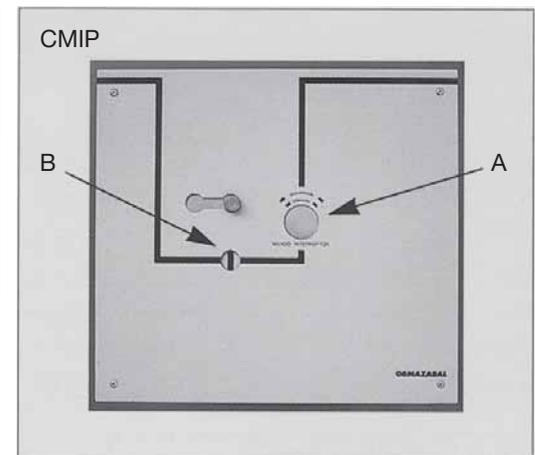
10. ¿Qué protegen los fusibles de la celda CMP-F?
11. ¿En qué se basa la elección de los fusibles de la celda CMP-F?

En la parte frontal superior de cada celda existe un esquema sinóptico del circuito principal, el cual contiene los ejes de accionamiento del interruptor, el seccionador de puesta a tierra y la señalización de posición del interruptor (ligada directamente al eje del mismo sin mecanismos intermedios, lo que asegura la máxima fiabilidad).

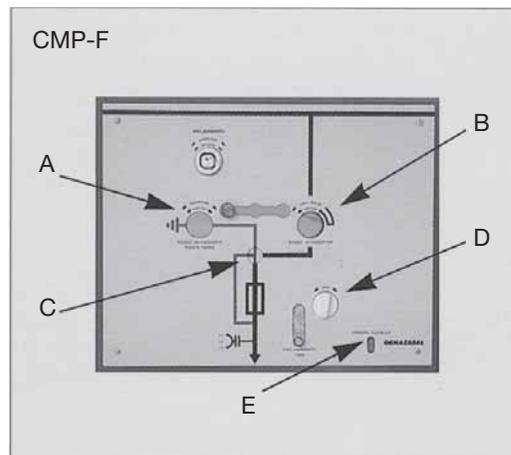
La Figura 1.45 representa las **operaciones de maniobra** en la celda de línea (CML), celda de interruptor pasante (CMIP), celda de protección con fusibles (CMP-F) y la celda de interruptor automático (CMP-A).



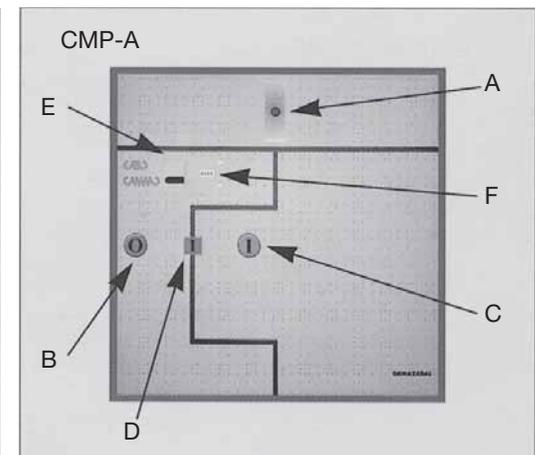
- A Cierre/apertura del seccionador de puesta a tierra.
- B Cierre/apertura del interruptor (mandos B o BM).
- C Señalización de posición del interruptor.



- A Apertura/cierre del interruptor.
- B Señalización de posición del interruptor.



- A Cierre/apertura del seccionador de puesta a tierra.
- B Cierre del interruptor/carga de muelles (mando BR).
- C Señalización de posición del interruptor.
- D Liberación de muelles → apertura del interruptor.
- E Señalización de la fusión de fusibles.



- A Carga de resortes.
- B Apertura del interruptor automático.
- C Cierre del interruptor automático.
- D Señalización de posición del interruptor automático.
- E Indicación de tensado de resortes.
- F Contador de maniobras (opcional).

Fig. 1.45. Operaciones de maniobra en celdas modulares.

### 3.4. Funciones de protección

La utilización de fusibles en la celda de protección responde a dos aspectos:

- Fusibles asociados.** En caso de fusión de uno de los fusibles no se abre el interruptor de la celda, por lo que las otras dos fases siguen alimentando al transformador (Fig. 1.46a).
- Fusibles combinados.** Cuando cualquiera de los fusibles se funde, el interruptor corta totalmente la alimentación del transformador (Fig.1.46b).

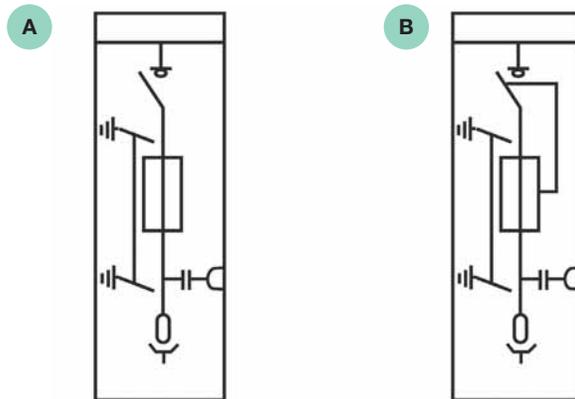


Fig. 1.46. a) Fusibles asociados; b) Fusibles combinados.

En la Tabla 1.15 se muestran las intensidades nominales para fusibles utilizados en las celdas de protección.

U <sub>n</sub> red (kV)	U <sub>n</sub> celda (kV)	Potencia del transformador (kW)													
		50	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
10	12	6	16	25	40	40	40	63	63	100	100	125	160	–	–
13,8	24	6	10	16	25	25	40	40	63	63	100	100	1250	160	–
15	24	6	10	16	25	25	40	40	40	63	63	100	100	125	160
20	24	6	10	16	25	25	25	40	40	63	63	63	100	100	125
25	36	4	10	16	25	25	25	40	40	40	40	40	63	80	80
30	36	4	10	16	16	25	25	40	40	40	40	40	63	80	80

Condiciones generales: sobrecarga < 20 % y temperatura < 40 °C.

Casos sombreados: sobrecarga < 30 % y temperatura < 50 °C.

Pérdidas máximas del fusible: 75 W (55 W para U<sub>n</sub> = 10 kV).

Tabla 1.15. Selección de fusibles para celdas de protección.

Para la protección contra sobrecargas o fugas a tierra se puede disponer de un sistema autónomo mediante relé de protección. Igualmente, para la protección del transformador se puede utilizar tanto la celda de fusibles como la celda de interruptor automático. Incluso es posible realizar la protección general de un CT de cliente o abonado.

#### Actividades

- Explica cómo reacciona el interruptor de una celda de protección en caso de fusión de uno de sus fusibles.

#### Actividades

- Indica la intensidad nominal para los fusibles de la celda de protección de un CT con un transformador de 400 kV conectado a una red de 20 kV. Señala si los fusibles están preparados para una sobrecarga mayor.

### 3.5. Transformador de distribución

MT	BT
20 kV	B1 (231/133 V)
15 kV	
13,2 kV	B2 (420/242 V)
11 kV	

Tabla 1.16. Transformación de MT a BT.

El transformador constituye el elemento principal del CT. Su cometido es disminuir el nivel de tensión de la red de MT a los valores de utilización de la red de BT.

En función de estos valores se construyen todos los receptores eléctricos. En la Tabla 1.16 se pueden observar los valores de MT y BT normalizados y actualizados.

En el lado de BT se representa B1 y B2, lo que indica que el transformador es bitensión, de modo que en el lado de MT tiene 20 kV y en el lado de BT podemos obtener 231 V o 133 V.

En la Figura 1.47 se representan distintos tipos de transformadores de distribución en aceite o silicona, así como un transformador seco. Este último se usa con frecuencia por su bajo o casi nulo mantenimiento.



Fig. 1.47. Transformadores de distribución.

#### A. Constitución externa del transformador de distribución

En la siguiente figura se presentan las diferentes partes de un transformador de distribución.

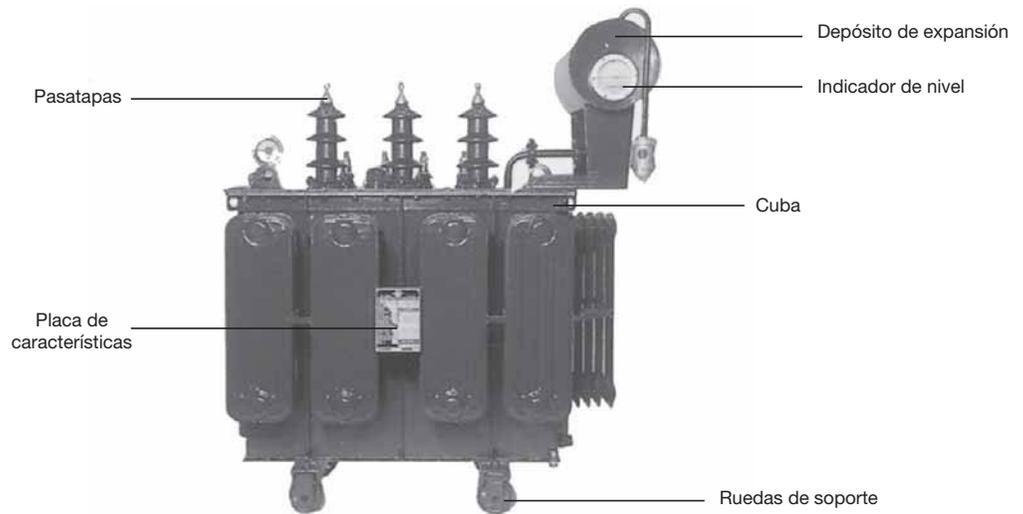


Fig. 1.48. Partes de un transformador de distribución.

- **Pasatapas de MT.** Su función consiste en conectar las bobinas del transformador de distribución con la red de llegada de MT, para lo cual tienen que atravesar la tapa de la cuba del transformador (Fig. 1.50).

#### Importante

Las características generales de los transformadores son:

- Potencia asignada: de 25 a 2500 kW.
- Frecuencia: 50 Hz.
- Tensión primaria: de 1 a 36 kV.
- Tensión secundaria: 420, 400, 231 V entre fases y 242, 231, 133 V entre fases y neutro.
- Acoplamientos: Yzn11, Dyn11.

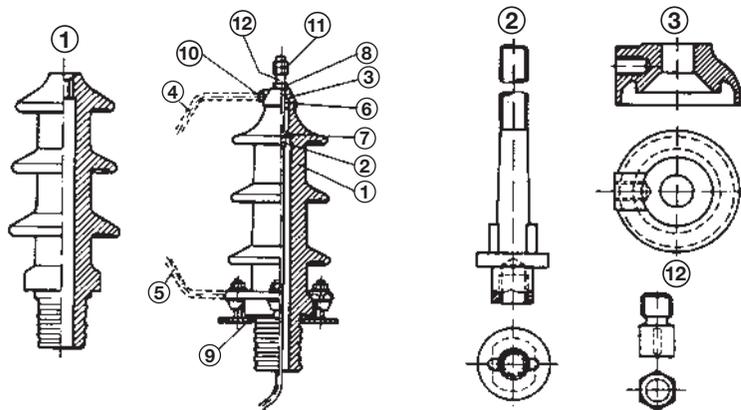


Fig. 1.49. Pasatapas de MT.

1. Aislador de porcelana.
2. Perno de unión.
3. Caperuza.
4. Descargador superior.
5. Descargador inferior.
6. Junta anular.
7. Arandela de junta.
8. Tuerca.
9. Junta anular.
10. Junta hexagonal protegida contra corrosión.
11. Tuerca hexagonal.
12. Tornillo de conexión.

- **Pasatapas de BT.** Estos elementos se encargan de conectar las bobinas del transformador con la red de salida de BT, y por ello atraviesan también la tapa de la cuba del transformador (Fig. 1.50).

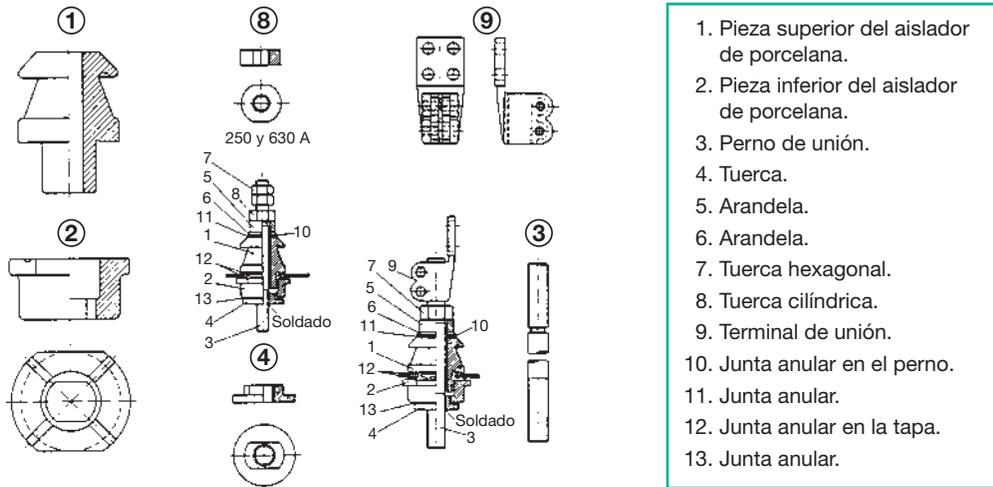


Fig. 1.50. Pasatapas de BT.

- **Cuba.** Es un depósito que contiene el líquido refrigerante (normalmente aceite), en el que van inmersos el núcleo y las bobinas del transformador. Se cierra por la parte superior con la tapa atornillada perimetralmente a la cuba, que sirve de soporte a la parte activa del transformador. Adosados en su lateral, se encuentran los radiadores por donde circula el aceite por convección, lográndose con ello refrigerar el transformador. Cuando el transformador es de pequeña potencia no dispone de radiadores de refrigeración. La cuba descansa generalmente sobre un carro con cuatro ruedas (Fig. 1.48).
- **Depósito de expansión.** Se sitúa en la parte superior de la cuba, comunicando con ella, de tal forma que permite asegurar su inundación completa. A la vez sirve de cámara de expansión del aceite ante las variaciones de temperatura que este sufre como consecuencia de su funcionamiento (Fig. 1.48).
- **Indicador del nivel de aceite.** Esta ventanilla circular permite observar el nivel de aceite del transformador a todas las temperaturas comprendidas entre 0 y 100 °C. Dispone de una marca de nivel a los 20 °C. Se coloca a ambos lados del depósito de expansión (Fig. 1.48).
- **Desecador.** Este elemento se sitúa en línea de comunicación con la atmósfera y tiene por misión secar el aire que entra al transformador como consecuencia de la disminución del nivel de aceite (la cual puede producirse bien por la bajada de temperatura o por una fuga de aceite). Está formado por un recipiente que contiene gravilla de gel de sílice y se instala en algunos transformadores con depósito de expansión y, principalmente, en los de piraleno (Fig. 1.51).
- **Termostatos.** Pueden ser de columna o de esfera. Los primeros indican solamente la temperatura del aceite del transformador; los de esfera, además, disponen de contactos ajustables a cualquier valor deseado, para provocar alarmas o disparos del transformador (Fig 1.52).
- **Placa de características.** Esta placa se sitúa en un lateral del transformador, a la vista. En ella se resumen las características más importantes de este, como: designación, tensiones nominales (primaria y secundaria), potencia nominal, intensidades nominales (primaria y secundaria), tensión de cortocircuito, grupo de conexión e índice horario, niveles de aislamiento, pesos (total y del aceite) y calentamientos (del cobre, del aceite, temperatura ambiente) (Fig. 1.48).
- **Designación de bornes.** La designación de bornes de los lados de AT y BT se realiza en la tapa de la cuba del transformador, tanto para transformadores generales como para transformadores bitensión (Fig. 1.53).



Fig. 1.51. Desecador.

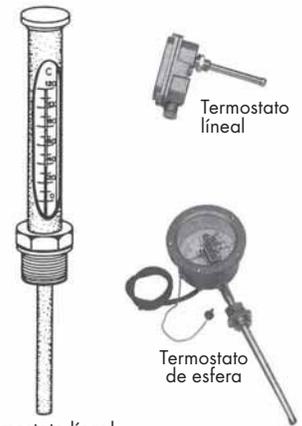
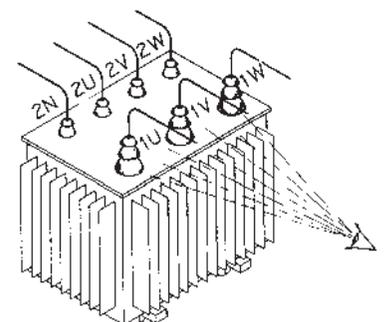
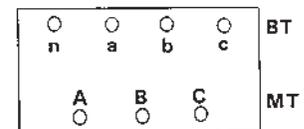


Fig. 1.52. Termostatos.

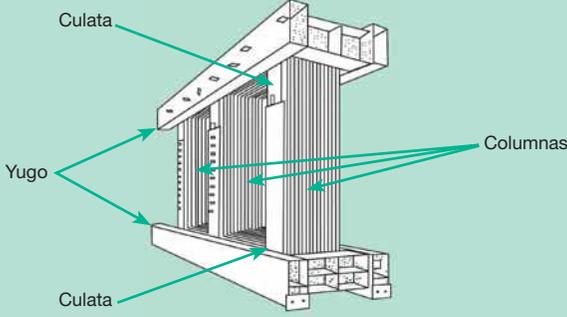
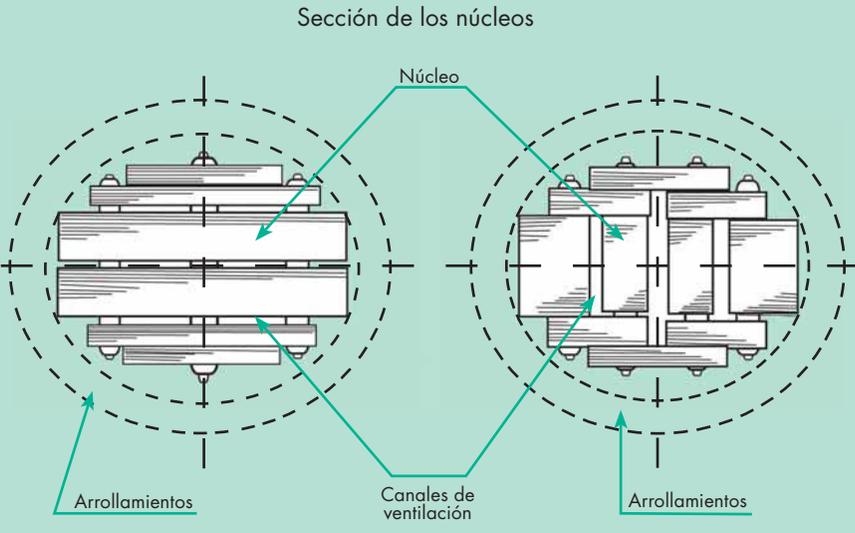


TRAFOS B1B2						
N	2U	2V	2W	3U	3V	3W
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
	∅	∅	∅			
	1U	1V	1W			

Fig. 1.53. Designación de bornes.

## B. Constitución interna de un transformador

Básicamente, todos los transformadores están formados internamente por un circuito magnético (**núcleo**) (Fig. 1.54) y dos circuitos eléctricos (**arrollamientos** o **bobinas**) (Fig. 1.55).

Elementos	Características	Representación
<b>Núcleo magnético</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Constituye el camino por el cual se establece el flujo magnético. Está formado por columnas, culatas y yugos.</li> <li>• Lo componen chapas ferromagnéticas de acero aleado de 0,35 mm de espesor, realizadas con silicio entre el 3 y el 5 % y aisladas eléctricamente entre sí.</li> <li>• Se distinguen dos tipos de chapas ferromagnéticas: a) normales, laminadas en caliente, y b) de grano orientado, laminadas en frío.</li> </ul>	 <p><b>Fig. 1.54. Núcleo magnético.</b></p>
<b>Arrollamientos o bobinas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Están constituidos por bobinas de hilo de cobre o de aluminio de sección rectangular o circular.</li> <li>• Las disposiciones más usuales de realizar los arrollamientos del lado de AT y de BT son: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) <b>Arrollamiento alternado:</b> consiste en disponer un número determinado de vueltas del arrollamiento de BT; a continuación, una capa de aislante seguida de un número de vueltas correspondiente al arrollamiento de AT, y así sucesivamente, hasta cubrir toda la altura de la columna del núcleo.</li> <li>b) <b>Arrollamiento concéntrico:</b> se realiza primero el arrollado correspondiente a BT y, seguidamente, después de la capa de aislante, el arrollamiento de AT, ambos a lo largo de toda la columna del núcleo.</li> </ul> </li> </ul>	 <p><b>Fig. 1.55. Arrollamientos.</b></p>

**Tabla 1.17.** Esquema de la constitución interna de un transformador.

## C. Características generales de los transformadores de distribución

El diseño de los transformadores de distribución y su posterior utilización en los CT requieren unas características determinadas, que se basan en los siguientes factores:

- Tensión primaria.
- Tensión máxima de servicio.
- Tensión nominal secundaria.
- Potencia nominal.
- Calentamientos.
- Potencias nominales normalizadas.
- Intensidad nominal primaria.
- Tensión de cortocircuito.
- Disposición interna del transformador monofásico.
- Transformador trifásico.
- Intensidad nominal secundaria.
- Grupo de conexión.
- Índice horario.
- Regulación de tensión.
- Distintivos de los transformadores con cuba metálica según el líquido refrigerante.
- Conexiones de los transformadores trifásicos.

### Actividades

14. ¿Qué función desempeña el transformador en un CT? ¿Cuál es su constitución interna básica?
15. Investiga qué función tiene el relé Buchholz en un transformador de distribución en relación con la protección del mismo. ¿Dónde va situado?

- **Tensión primaria.** Existen transformadores con dos tensiones nominales primarias. En este caso, la tensión de funcionamiento se selecciona a través de conexiones adecuadas en su devanado interno (Tabla 1.18).
- **Tensión máxima de servicio.** En la Tabla 1.18 se indican los valores de las tensiones nominales primarias y las tensiones máximas de servicio en kV.

Tensión nominal primaria (kV)	Tensión máxima de servicio (kV)
13,2	17,5
20	24
20-11	24
20-13,2	24
20-15	24
30	36

Tabla 1.18. Relación de tensiones nominales y de servicio.

- **Tensión nominal secundaria.** Es la tensión que se obtiene en los bornes del circuito secundario cuando se alimenta el primario con la tensión nominal, la cual corresponde a la tensión de utilización de los receptores eléctricos (incrementada en un 5% para compensar las caídas de tensión).

La Tabla 1.19 relaciona la tensión nominal secundaria con la tensión de red y el tipo de transformador, bien sea monotensión o bitensión.

Clase	Tensión nominal secundaria	Nivel de tensión de la red
B1	230/133 V	220/127 V
B2	398/230 V	380/220 V
	400/231 V	380/220 V
	420/252 V	400/231 V

Tabla 1.19. Tensión nominal secundaria-tensión de red.

- **Potencia nominal.** Potencia aparente máxima que puede suministrar el circuito secundario de un transformador, referida a la tensión nominal en condiciones de temperatura preestablecidas. Su expresión es:

$$S = \frac{\sqrt{3}UI}{1000}$$

$S$  es la potencia nominal en kW;  $U$  es la tensión nominal en V;  
 $I$  es la intensidad nominal en A

- **Calentamientos.** Las temperaturas máximas permitidas en los transformadores de distribución son las siguientes: temperatura máxima del cobre, 65 °C; temperatura máxima del aceite, 60 °C; temperatura máxima ambiente, 40 °C.
- **Potencias nominales normalizadas.** Dependiendo de si el transformador está situado sobre un poste a la intemperie o en el interior de una caseta prefabricada, las potencias nominales normalizadas son las que se indican en la Tabla 1.20.

Sobre poste	En caseta
25 kW	250 kW
50 kW	400 kW
100 kW	630 kW

Tabla 1.20. Potencias nominales normalizadas.

### Vocabulario

A

**Tensión primaria.** Tensión de alimentación del transformador.

**Tensión máxima de servicio.** Nivel de tensión mayor para el que está fabricado el transformador funcionando en régimen permanente.

### Actividades

✍

16. Calcula la potencia nominal a partir de los siguientes valores:

Tensión nominal = 400 V

Intensidad nominal = 120 A

### A Vocabulario

**Intensidad nominal primaria.** Intensidad que recorre la bobina primaria del transformador cuando este suministra la potencia nominal.

**Tensión de cortocircuito.** Tensión que hay que aplicar al circuito primario del transformador para que, estando en cortocircuito el secundario, circule por él su intensidad nominal.

- **Intensidad nominal primaria.** Para la protección del transformador se suelen utilizar fusibles o relés cuya elección se realiza según su intensidad nominal primaria. Su expresión es:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U}$$

$I$  en A;  $S$  en kW;  $U$  en kV

- En la Tabla 1.21 se relacionan las intensidades primarias en kV con la potencia del transformador en kW.

Potencia (kW)	Intensidades (A)				
	En 11 kV	En 13,2 kV	En 15 kV	En 20 kV	En 30 kV
25	1,3	1,1	1	0,7	0,5
50	2,6	2,2	1,9	1,4	1
100	5,2	4,4	3,8	2,9	1,9
160	8,4	7	6,2	4,6	3,1
250	13,1	11	9,6	7,2	4,8
315	16,5	13,8	12,1	9,1	6,1
400	21	18,5	15,4	11,5	7,7
630	33,1	27,6	24,2	18,2	12,1
800	42	35	31	23	15,4
1 000	52,5	44	38,5	28,9	19,2

Tabla 1.21. Intensidades nominales primarias.

- **Tensión de cortocircuito.** Se suele expresar en tanto por ciento sobre el valor de la tensión nominal primaria. Este parámetro es decisivo cuando se precisa acoplar transformadores para trabajar en paralelo (Fig. 1.56).

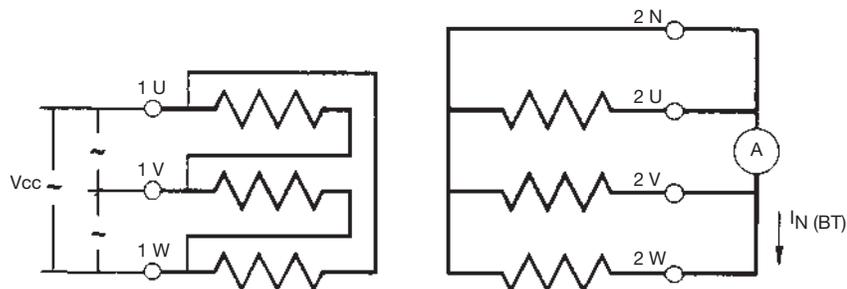
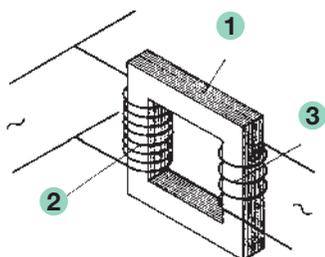


Fig. 1.56. Tensión de cortocircuito.



- 1 Núcleo magnético
- 2 Arrollamiento primario (conectado a fuente alterna)
- 3 Arrollamiento secundario

Fig. 1.57. Transformador monofásico.

- **Disposición interna del transformador monofásico.** En la Figura 1.57 se representa el esquema de la constitución interna de un transformador monofásico con sus dos arrollamientos (primario y secundario). La relación de transformación viene dada por el cociente entre la tensión primaria  $U_1$  y la tensión secundaria  $U_2$ , o bien entre el número de espiras del arrollamiento primario  $N_1$  y el del secundario  $N_2$ .

$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

- **Transformador trifásico.** Está formado por tres transformadores monofásicos conectados entre sí. En la Tabla 1.22 constan los tipos de conexiones, esquemas y símbolos de las conexiones que pueden realizarse entre los transformadores.

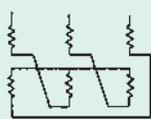
Denominación	Esquema	Símbolo
Estrella		
Triángulo		
Zig-zag		

Tabla 1.22. Conexiones de los transformadores trifásicos.

### Vocabulario

**Intensidad nominal secundaria.** Intensidad que recorre la bobina secundaria del transformador cuando este suministra la potencia nominal.

- **Intensidad nominal secundaria.** Si se conoce el valor de la intensidad que circula en la bobina secundaria, se puede obtener la potencia que suministra el transformador de distribución. La Tabla 1.23 relaciona la potencia del transformador en kW con las intensidades nominales secundarias en V.

Potencia (kW)	Intensidades (A)	
	En B1 (230/133 V)	En B2 (398/230 V)
25	63	36
50	125	72
100	251	145
160	401	232
250	627	362
315	791	456
400	1 004	580
630	1 581	913
800	2 008	1 160
1 000	–	1 449

Tabla 1.23. Intensidades nominales secundarias.

Su expresión es:

$$I = \frac{S \cdot 1\,000}{\sqrt{3}U}$$

$I$  en A;  $S$  en kW;  $U$  en V

### Actividades

- Calcula la intensidad que pasará por los arrollamientos del primario de un transformador de 400 kW de potencia nominal, conectado a una red de distribución de 20 kV de tensión nominal. Haz lo mismo para el secundario si su tensión nominal es de 400 V.
- Comprueba si los valores obtenidos en la actividad anterior se corresponden con los indicados en las Tablas 1.21 y 1.23 respectivamente.
- Si un transformador tiene una tensión en el circuito primario de 230 V y en el circuito secundario de 24 V, ¿cuál es su relación de transformación en vacío?
- Si la potencia de un transformador es de 100 kW y su tensión es de 230 V, ¿cuál será el valor de la intensidad nominal secundaria?

## ○ D. Transformadores especiales y designación

Entre todos los transformadores, aquellos que merecen mayor atención son los **bitensión**. Distinguimos tres tipos:

<b>Transformador bitensión en el primario</b>	Permiten su conexión a cualquiera de las dos tensiones que se indican, pero no simultáneamente: 11-20 kV; 13,2-20 kV; 15-20 kV.
<b>Transformador bitensión en el secundario</b>	Pueden suministrar dos tensiones secundarias distintas simultánea (B1-B2) o alternativamente (B12).
<b>Transformador bitensión en el primario y en el secundario</b>	Se pueden conectar a cualquiera de las dos tensiones primarias, pero no al mismo tiempo. Pueden suministrar dos tensiones secundarias simultáneamente, tales como: 11-20 kV/B1-B2; 15-20 kV/B1-B2

Tabla 1.24. Transformadores bitensión.

Para designar un transformador de distribución se requieren las siguientes características:

Características de designación	Ejemplo
<p>a) Un número que indique la potencia asignada.</p> <p>b) Un número que indique la tensión máxima de servicio.</p> <p>c) Un número que indique la o las tensiones nominales del primario.</p> <p>d) La nomenclatura correspondiente a la clase del transformador.</p> <p>e) La letra «O» indicativa de aceite mineral.</p> <p>f) Una sílaba que indica el tipo de pasatapas: PA para las de tipo abierto y PE para las que se pueden enchufar.</p> <p>g) La denominación de la recomendación UNESA.</p>	<p>Ejemplo de designación de un transformador:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>250/24/20B2 O-PE UNESA 5201 D</b></p> <p>a   b   c   d   e   f   g</p> </div>

Tabla 1.25. Designación de un transformador de distribución.

## ○ E. Acoplamiento de transformadores en paralelo

Las condiciones que se deben cumplir para acoplar dos o más transformadores trifásicos en paralelo son las siguientes:

- Que tengan la misma relación de transformación.
- Que tengan la misma tensión de cortocircuito.
- Que tengan la misma potencia.
- Que tengan el mismo índice horario.

Para garantizar que la instalación funcione correctamente es necesario que se cumplan las tres primeras condiciones. Ahora bien, pueden admitirse las tolerancias que refleja la Tabla 1.26.

Por el contrario, las posibilidades de acoplamiento de transformadores según su índice horario se indican en la Tabla 1.27.

Condición	Tolerancia
1	1/200 del valor especificado en la toma principal.
2	1/10 de la tensión de cortocircuito para la toma principal.
3	La relación máxima entre las potencias será de 2.

Tabla 1.26. Tolerancias de acoplamiento.

### Actividades

21. Identifica las características de este transformador:  
230/20/15B1 O-PA  
UNESA

		Índice del transformador I			
		0	5	6	11
Índice del transformador II	0	SÍ			
	5	NO	SÍ		
	6	□	NO	SÍ	
	11	NO	•	NO	SÍ

□ Se puede acoplar cambiando conexiones internas en uno de ellos.  
• Se puede acoplar cambiando conexiones externas en uno de ellos.

Tabla 1.27. Acoplamiento según índices horarios.

## Comprueba tu aprendizaje

### Describir las partes que configuran un sistema eléctrico.

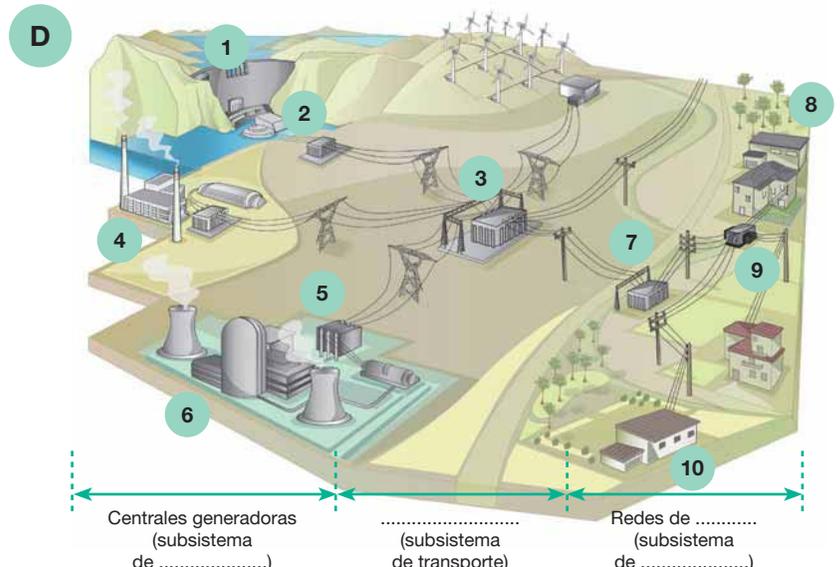
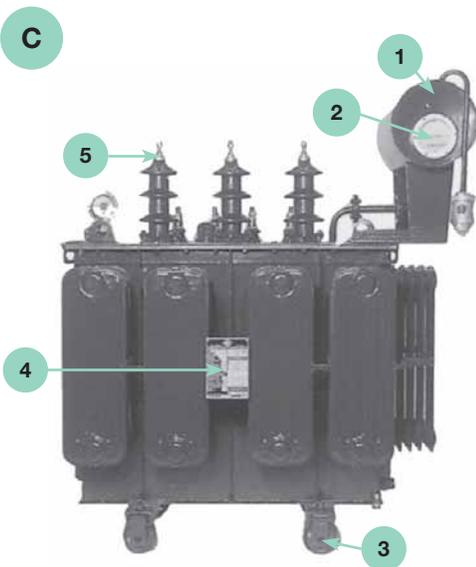
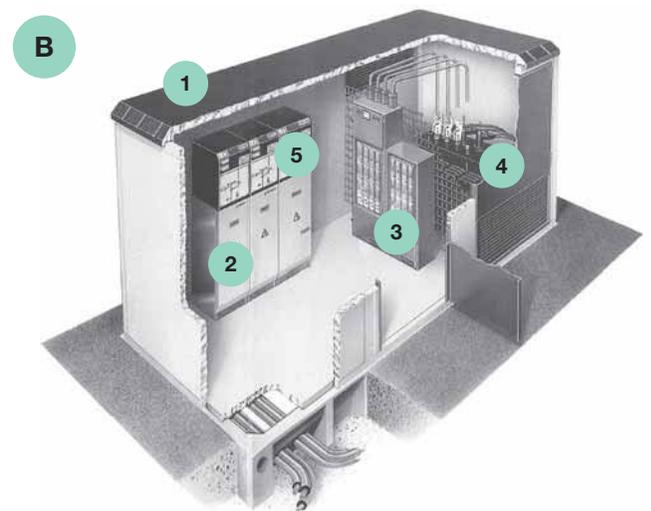
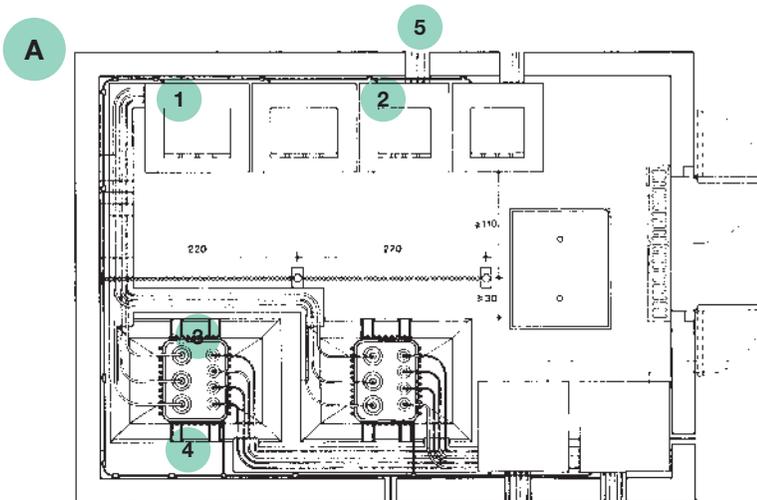
1. Explica entre qué valores de tensión se clasifican las líneas de 1.ª, 2.ª y 3.ª categorías.
2. Las líneas eléctricas de distribución, ¿a qué categoría pertenecen?
3. ¿Qué factores son los que condicionan el tipo de red?
4. ¿Cómo se define la arquitectura en huso de una red?

### Identificar los diferentes tipos y partes de un CT.

5. Establece una clasificación de los CT por su obra civil.
6. ¿Qué es un CT alimentado en punta?
7. ¿Cuál es la constitución básica de un CT?
8. ¿Qué función realiza una celda de línea?

### Asociar la función de un transformador en el CT.

9. ¿Cuál es la constitución de un transformador de distribución?
10. ¿Qué se entiende por potencia nominal de un transformador de distribución?
11. Enumera los tipos de defectos de aislamiento en un transformador.
12. Un transformador presenta en el circuito primario  $N_1 = 1000$  espiras y en el circuito secundario  $N_2 = 2100$  espiras. Calcula la relación de transformación en vacío e indica si el transformador es elevador o reductor.
13. Identifica cada figura y sus elementos.



## Síntesis

