

CAPÍTULO I
RED DE DISTRIBUCIÓN
DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CAPÍTULO I. RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

ÍNDICE

1.1.	INTRODUCCIÓN	1.1
1.2.	DEFINICIONES	1.3
1.3.	APARAMENTA DE PROTECCIÓN, MANIOBRA Y CORTE	1.10
1.3.1.	SECCIONADORES E INTERRUPTORES	1.10
1.3.2.	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO O DISYUNTOR	1.11
1.3.3.	FUSIBLES.....	1.11
1.3.4.	RELÉS DE PROTECCIÓN.....	1.12
1.3.5.	EL TRANSFORMADOR	1.12
1.4.	LÍNEAS DE TRANSPORTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	1.15
1.4.1.	INTRODUCCIÓN	1.15
1.4.2.	LÍNEAS ELÉCTRICAS	1.15
1.4.3.	ESQUEMAS DE DISTRIBUCIÓN	1.17
1.4.4.	CLASIFICACIÓN DE LAS REDES	1.22
1.4.5.	TOPOLOGÍAS DE LAS REDES	1.24
1.4.6.	AISLADORES.....	1.27
1.4.7.	CONDUCTORES.....	1.28
1.4.8.	PARÁMETROS DE LA LÍNEA	1.32
1.5.	CENTROS DE TRANSFORMACIÓN	1.33
1.5.1.	INTRODUCCIÓN	1.33
1.5.2.	CONSTITUCIÓN BÁSICA.....	1.33
1.5.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS C.T.....	1.33
1.5.4.	COMPONENTES DE UN C.T. INTERIOR.....	1.35

1.5.5.	ARTERIAS	1.37
1.5.6.	INSTRUCCIONES GENERALES DE PUESTA A TIERRA	1.38
1.6.	EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL	1.41
1.6.1.	INTRODUCCIÓN	1.41
1.6.2.	AGENTES QUE INTERVIENEN	1.41
1.6.3.	REGULADORES	1.43
1.6.4.	OPERADORES	1.43
1.6.5.	ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA REGULACIÓN	1.44
1.6.6.	CONSUMIDORES	1.45



1.1. INTRODUCCIÓN

Un sistema eléctrico es el conjunto de máquinas, de aparatos, de barras y de líneas que constituyen un circuito con una determinada tensión nominal. Los sistemas eléctricos pueden clasificarse por su nivel de tensión y se utiliza la siguiente división donde los límites de la clasificación no son estrictos, dependen de criterios y de normas:

- **Baja tensión**, sistemas de hasta 1.000 V
- **Media tensión**, sistemas hasta 36 kV, algunos consideran valores más altos (72,5 kV). El límite está en la diferente tecnología entre esta clase y la superior
- **Alta tensión**, sistemas hasta 245 - 300 kV
- **Muy alta tensión**, por encima de los 300 - 360 kV

Si tratamos de hacer una descripción del sistema eléctrico desde los puntos de producción de la energía hasta los de consumo, podemos considerar los siguientes escalones:



- **Producción**

La energía se genera en los alternadores a tensiones de 3 a 36 kV en corriente alterna que están en las centrales generadoras. Entre ellas que podemos distinguir distintos tipos como hidráulicas, térmicas (carbón, combustibles líquidos, gas), nucleares u otros sistemas de producción de menor importancia como por ejemplo la energía solar, eólica, biomasa, etc

- **Estación Elevadora**

Dedicada a elevar la tensión desde el valor de generación hasta el de transporte a grandes distancias. Normalmente emplazadas en las proximidades de las centrales o en la central misma, elevan a tensiones de entre 66 y 380 kV

- **Red De Transporte**

Esta red, partiendo de las estaciones elevadoras, tiene alcance nacional, uniendo entre sí los grandes centros de interconexión del país y estos con los centros de consumo. Su misión es el transporte de potencias a grandes distancias. Las tensiones utilizadas en España son: 110 - 132 - 220 - 380 kV. Estas redes por su característica de interconexión son redes fundamentalmente malladas



➤ **Subestaciones De Transformación (S.E.T.)**

Su misión es reducir la tensión del transporte e interconexión a tensiones de reparto y se encuentran emplazadas en los grandes centros de consumo

➤ **Redes De Reparto**

Son redes que, partiendo de las subestaciones de transformación reparten la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones utilizadas son: 25 - 30 - 45 - 66 - 110 - 132 kV

➤ **Estaciones Transformadoras de Distribución (E.T.D.)**

Su misión es transformar la tensión desde el nivel de la red de reparto hasta el de la red de distribución en media tensión.

Estas estaciones se encuentran normalmente intercaladas en los anillos formados en la red de reparto

➤ **Red de Distribución En Media Tensión**

Son redes que, con una característica muy mallada, cubren la superficie del gran centro de consumo (población, gran industria, etc.) uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación. Las tensiones empleadas son: 3 - 6 - 10 - 11 - 15 - 20 - 25 - 30 kV

➤ **Centros de Transformación (C.T.)**

Su misión es reducir la tensión de la red de distribución de media tensión al nivel de la red de distribución de baja tensión. Están emplazados en los centros de gravedad de todas las áreas de consumo

➤ **Red de Distribución de Baja Tensión**

Son redes que, partiendo de los centros de transformación citados anteriormente, alimentan directamente los distintos receptores, constituyendo pues, el último escalón en la distribución de la energía eléctrica. Las tensiones utilizadas son: 220/127 V. y 380/220 V



1.2. DEFINICIONES

Accionamientos eléctricos



Cualquier conjunto o sistema apto para transformar potencia eléctrica en potencia mecánica que, aplicada a la máquina accionada, permite a esta última efectuar el trabajo requerido.

Aisladores

Sirven para mantener un conductor fijo, separado y aislado de partes que en general no están bajo tensión (a tierra).

Los aisladores que sirven para que un conductor atraviese una pared se denominan pasamuros. Se los denomina pasatapas cuando atraviesan la cuba de un transformador o la celda metálica de una instalación blindada. Podemos denominarlos genéricamente como aisladores pasantes.

Armarios de distribución

Los aparatos de maniobra, de interrupción, de comando y de medición en tensiones medias y bajas, se encuentran reunidos y distribuidos en forma racional en armarios, con todas las conexiones de potencia (barras) y auxiliares (cableado) realizadas.

Bobina de bloqueo

El equipo consiste en un inductor principal, un dispositivo de protección, descargador, y un dispositivo de sintonización para ser instalado en serie en una línea de alta tensión. Su impedancia debe ser despreciable a la frecuencia de la red, de manera de no perturbar la transmisión de Energía, pero debe ser selectivamente elevada en cualquier banda de frecuencia utilizable para la transmisión por onda portadora.

Cabinas de transformación

Los centros donde se transforma energía de media a baja tensión, la asociación de equipos incluye tablero de media tensión, transformador y tablero de baja tensión.

En general son estaciones pequeñas de transformación con potencias nominales de hasta 630 kVA que encuentran aplicación en zonas residenciales, en edificios y en la industria.



Capacitor de acoplamiento

Tiene la función de acoplar los sistemas de telecomunicaciones en alta frecuencia a las líneas aéreas de alta tensión, que de esta manera actúan como soporte de comunicaciones.

Los transformadores de tensión capacitivos pueden cumplir las funciones de transformador de tensión y de capacitor de acoplamiento para las altas frecuencias que sostienen la comunicación.

Centros de transformación

Instalación provista de uno o varios transformadores reductores de Alta a Baja tensión con la aparamenta y obra complementaria precisas.

Corriente de corta duración

Intensidad máxima que soporta la aparamenta durante un tiempo especificado.

Corriente de defecto o de falta

Corriente que circula debido a un defecto de aislamiento.

Corriente de defecto a tierra

Es la corriente que en caso de un solo punto de defecto a tierra, se deriva por el citado punto desde el circuito averiado a tierra o a partes conectadas a tierra.

Cortocircuito

Defecto provocado por un contacto entre conductores o entre un conductor y tierra.

Defecto a tierra (o a masa)

Defecto de aislamiento entre un conductor y tierra (o masa).

Descargadores

El descargador es un aparato destinado a proteger el material eléctrico contra sobretensiones transitorias elevadas y a limitar la duración y frecuentemente la amplitud de la corriente subsiguiente.



Intensidad nominal

Intensidad para la que está diseñada la aparata sin que existan fallos. Si se rebasa, pueden aparecer problemas de calentamiento excesivo y producirse esfuerzos mecánicos.

Intensidades límite térmica y dinámica

Intensidades máxima soportable donde los esfuerzos térmicos y dinámicos respectivamente son admisibles.

Interruptor

El interruptor es un aparato de maniobra mecánico, capaz de establecer, conducir e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito; y también de establecer, conducir por un tiempo determinado, e interrumpir corrientes en determinadas condiciones anormales como las de cortocircuito.

Línea aérea

Es el elemento de transporte o distribución formado por conductores desnudos apoyados sobre elementos aislantes que, a su vez, son mantenidos a una determinada altura sobre el suelo y en una determinada posición por medio de apoyos repartidos a lo largo de su recorrido.

Línea de enlace con el electrodo de tierra

Cuando existiera punto de puesta de tierra, se denomina línea de enlace con el electrodo de tierra, a la parte de la línea de tierra comprendida entre el punto de puesta a tierra y el electrodo, siempre que el conductor este fuera del terreno o colocado aislado del mismo.

Línea de tierra

Es el conductor o conjunto de conductores que une el electrodo de tierra con una parte de la instalación que se haya de poner a tierra, siempre y cuando los conductores estén fuera del terreno o colocados en el pero aislados del mismo.

Masa de un aparato

Conjunto de las partes metálicas de un aparato que en condiciones normales están aisladas de las partes activas.



Nivel de aislamiento

La aparataje debe soportar sobretensiones mayores de la tensión nominal de frecuencia industrial, por rayo y de maniobra.

Poder de ruptura

Corriente máxima que es capaz de abrir el interruptor sin deterioro.

Poder de conexión

Corriente máxima que es capaz de establecer el interruptor sin deterioro.

Poner o conectar a masa

Unir eléctricamente un conductor al armazón de una maquina o a una masa metálica.

Poner o conectar a tierra

Unir eléctricamente con la tierra una parte del circuito eléctrico o una parte conductora no perteneciente al mismo por medio de la instalación de tierra.

Puesta a tierra de protección

Es la conexión directa a tierra de las partes conductoras de los elementos de una instalación no sometidos normalmente a tensión eléctrica, pero que pudieran ser puestos en tensión por averías o contactos accidentales, a fin de proteger a las personas contra contactos con tensiones peligrosas.

Puesta a tierra de servicio

Es la conexión que tiene por objeto unir a tierra temporalmente parte de las instalaciones que están normalmente bajo tensión o permanentemente ciertos puntos de los circuitos eléctricos de servicio.

Estas puestas a tierra pueden ser:

- **Directas**: cuando no contiene otra resistencia que la propia de paso a tierra
- **Indirectas**: cuando se realizan a través de resistencias o impedancias adicionales



Punto a potencial cero

Punto del terreno a una distancia tal de la instalación de toma de tierra, que el gradiente de tensión en dicho punto resulta despreciable, cuando pasa por dicha instalación una corriente de defecto.

Punto de puesta a tierra

Es un punto situado generalmente fuera del terreno, que sirve de unión de las líneas de tierra con el electrodo, directamente o a través de líneas enlace con él.

Punto neutro

Es el punto de un sistema polifásico que en las condiciones de funcionamiento previstas, presenta la misma diferencia de potencial con relación a cada uno de los polos o fases del sistema.

Resistencia global o total a tierra

Es la resistencia de tierra considerando la acción conjunta de la totalidad de las puestas a tierra.

Resistencia de tierra

Es la resistencia entre un conductor puesto a tierra y un punto de potencial cero.

Seccionador

El seccionador es un aparato mecánico de conexión que asegura, en posición abierta, una distancia de seccionamiento que satisface condiciones especificadas. Un seccionador es capaz de abrir y de cerrar un circuito cuando se establece o interrumpe una corriente de valor despreciable, o bien no se produce ningún cambio importante de la tensión entre los bornes de cada uno de los polos del seccionador.

Es también capaz de conducir corrientes en las condiciones normales del circuito, y de soportar corrientes por un tiempo especificado en condiciones anormales como las de cortocircuito.



Subestación

Conjunto situado en un mismo lugar, de la aparamenta eléctrica y de los edificios necesarios para realizar alguna de la funciones siguientes: transformación de la tensión, de la frecuencia, del numero de fases, rectificación, compensación del factor de potencia y conexión de dos o más circuitos.

Quedan excluidos de esta definición los centros de transformación.

Tensión a tierra o con relación a tierra

Es la tensión que aparece entre un elemento conductor y la tierra. En instalaciones trifásicas con neutro no unido directamente a tierra, se considerara como tensión a tierra la tensión entre fases. En instalaciones trifásicas con neutro unido directamente a tierra es la tensión entre fase y neutro.

Tensión a tierra transferida

Es la tensión de paso o de contacto que puede aparecer en un lugar cualquiera transmitida por un elemento metálico desde una instalación de tierra lejana.

Tensión de puesta a tierra

Tensión que aparece a causa de un defecto de aislamiento, entre una masa y tierra.

Tensión máxima de un sistema

Es la tensión más elevada, expresada en valor eficaz para los sistemas en corriente alterna, que puede presentarse en cualquier momento y en cualquier punto del sistema en condiciones regulares de servicio.

Tensión nominal

Tensión a la que debe funcionar la aparamenta sin que existan fallos de funcionamiento. La tensión nominal más elevada del material es un 20 % mayor que la tensión nominal. En los sistemas trifásicos se considera como tensión nominal la compuesta o de línea.



Tierra

Es la masa conductora de la tierra, o todo conductor unido a ella por una impedancia despreciable.

Transformador de corriente

Los transformadores de corriente presentan una corriente secundaria cuyo módulo es prácticamente proporcional a la corriente primaria y que difiere en fase en un ángulo próximo a cero.

Los hay de medición, destinados a alimentar instrumentos de medida, indicadores, registradores, integradores, relés de protección, o aparatos análogos y de distribución. Según la magnitud en juego se clasifican en Transformadores de Tensión y de Corriente.



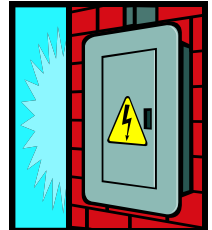
1.3. APARAMENTA DE PROTECCIÓN, MANIOBRA Y CORTE

1.3.1. SECCIONADORES E INTERRUPTORES

Son aparatos que realizan cortes y conexiones de la intensidad que pasa por el circuito. La diferencia entre ellos es que el seccionador lo realiza de forma manual, es decir, no tiene ningún tipo de automatismo que haga que se corte la tensión, mientras que el interruptor realiza el corte de la intensidad cuando detecta que ésta ha sobrepasado la nominal. Por tanto realiza una labor de protección de los elementos que se sitúen por debajo, impidiendo que una subida de intensidad pueda dañarlos.

1.3.1.1. Características principales

- **Poder de ruptura y el de conexión**, que indican la intensidad máxima que pueden abrir o cerrar sin deteriorarse
- **Corriente de corta duración**, que es la intensidad máxima que soporta durante un tiempo especificado
- **Intensidades límite térmica y dinámica**, que indican las intensidades máximas donde los esfuerzos térmicos y dinámicos respectivamente son admisibles



1.3.1.2. Configuraciones de interruptores y seccionadores

- **Distribución radial**: Son varias líneas en paralelo independientes unas de otras. Si una salta, el resto sigue teniendo corriente pero la parte que ha saltado no recupera la corriente hasta que se repara la avería. Eso no se puede permitir en muchos casos
- **Red mallada**: Se colocan los interruptores en una red. Cuando se produce el cortocircuito se abren los dos interruptores adyacentes dejando que el suministro llegue al resto de los puntos
- **Interruptor sencillo barra simple**: Permite detectar si un interruptor ha fallado, es decir, si no ha abierto el circuito a pesar de que la intensidad es mayor de la nominal. Esto se hace con interruptores de medida. Al detectarse el fallo se abren los demás interruptores para evitar un fallo generalizado
- **Interruptor sencillo barra simple con enlace**: Igual que el caso anterior pero tiene unos dispositivos de enlace que hacen de barrera entre las distintas partes del circuito, con lo cual si uno de los interruptores falla, sólo se abrirían los interruptores cercanos, permitiendo que el resto funcione con normalidad



- **Interruptor sencillo, barras principales y de transferencia:** Permite detectar el fallo en el interruptor y abrir sólo el interruptor que ha fallado, permitiendo que el resto funcione con normalidad
- **Interruptor doble barra doble:** Más completo ya que hay un interruptor por cada barra

1.3.2. INTERRUPTOR AUTOMÁTICO O DISYUNTOR

Es un elemento de maniobra y corte que opera con intensidades distintas de cero, ya sea nominal, sobrecargas de sobrecarga (1,5 ó 2 veces la nominal) y de cortocircuito.

Cuando el disyuntor está cerrado el contacto que se produce es muy bueno debido a que las partes fija y móvil están muy presionadas. Cuando se abre, en un tiempo muy pequeño las superficies están menos presionadas, por lo que al disminuir la superficie de contacto aumenta la densidad de corriente, es decir, mientras se van separando pasa la misma intensidad que antes pero por una superficie menor por lo que el aire se ioniza y se produce la chispa.

Si la intensidad que pasa no es muy elevada, el disyuntor es capaz de soportarlo pero cuando la intensidad es muy alta, la temperatura sube mucho con lo que el desgaste de los contactos es muy importante. Se deben usar métodos para evitar el arco eléctrico.

1.3.3. FUSIBLES

Son dispositivos que permiten el paso de la corriente mientras sea menos que una determinada, pero que cuando ésta aumenta demasiado y aumenta la temperatura, se funden y se corta la corriente.



Las características que los determinan son por tanto la intensidad nominal, que indica la intensidad a la que se funde, y el tiempo que tardan en cortar la corriente.

A este tiempo se le llama tiempo de despeje de la falta, es decir, el tiempo que tarda el fusible en eliminar todo el material conductor que había entre sus bornes. Este tiempo es la suma del tiempo de fusión del material y el tiempo de arqueo, que es el tiempo que tarda en extinguir el arco una vez fundido el material.

Hay fusibles de alto poder de ruptura que disminuyen el tiempo total de despeje considerablemente, con lo cual impiden que la intensidad siga aumentando y realizan el corte a una intensidad menor.



1.3.4. RELÉS DE PROTECCIÓN

Es un dispositivo que se utiliza para tomar una medida de campo y compararla con un patrón de referencia. Cuando el valor medido es superior a la del patrón, genera una señal para que el interruptor automático abra el circuito. El patrón de referencia usado puede ser de distinto tipo, por lo que el uso del relé es muy variado.

El relé de sobretensión detecta una corriente superior a la permitida para dar la señal, por lo que se utiliza entre otras cosas, para limitar la intensidad nominal de un interruptor determinado. Si se coloca después de un transformador diferencial, lo que se limita es la corriente diferencial de un circuito, por lo que se le añade una protección diferencial al automático.

Otra función puede ser de protección de retorno de corriente. Si nota que la corriente cambia de dirección, emite una señal para cortarla. Es peligroso que el generador reciba corriente ya que comenzaría a funcionar como un motor.

1.3.5. EL TRANSFORMADOR

El transformador es un aparato estático, de inducción electromagnética, destinado a transformar un sistema de corrientes alternas en uno o más sistemas de corrientes alternas de igual frecuencia y de intensidad y tensión generalmente diferentes.

Un transformador en servicio en un sistema eléctrico, tiene ciertas características nominales que son objeto de garantías y se comprueban en ensayos.

1.3.5.1. Condiciones normales de servicio

Las normas fijan condiciones normales de servicio:

- **Altitud de la instalación** (hasta 1000 metros sobre el nivel del mar)
- **Temperatura del refrigerante**, por ejemplo para aparatos refrigerados por aire, la temperatura del aire ambiente no debe exceder los 40 °C

Además en las normas se fijan temperaturas mínimas del aire y valores promedios diarios y anuales que, si se previese excederlos, es indispensable indicarlos claramente a nivel de especificación.

La sobre elevación de temperatura es la diferencia entre la temperatura en distintas partes de la máquina y la temperatura ambiente.



Cuando el transformador está diseñado para funcionar en lugares donde la temperatura del aire de refrigeración excede los valores indicados en las normas, la sobreelevación de temperatura admisible para los arrollamientos, núcleo y aceite, lógicamente se debe reducir.

Las pruebas de calentamiento que establecen las normas, tienen por finalidad verificar el dimensionado térmico de la máquina con relación a la sobreelevación media de la temperatura.

1.3.5.2. Clasificación

- **Según el número de fases:** Los hay monofásicos y trifásicos
- **Según la función desempeñada:** Se dividen en trafos de medida y de potencia
- **Según el medio de refrigeración utilizado:** Se caracterizan por una letra:
 - ◆ Aceite mineral o líquido aislante sintético inflamable : O
 - ◆ Líquido aislante sintético no inflamable : L
 - ◆ Gas: G
 - ◆ Agua : W
 - ◆ Aire : A
- **Según como circule el medio refrigerante :** Se utilizan los siguientes símbolos:
 - ◆ Natural : N
 - ◆ Forzado : F
 - ◆ Dirigido para el caso particular del aceite : D
- **Según la variación:** Dependiendo si varían la intensidad o la tensión y serán aumentadores si los valores del primario son menores que los del secundario, y reductores si los valores del secundario son mayores que los del primario
- **Según la disposición de los arrollamientos** en el circuito magnético: Pueden ser de columnas o acorazados



1.3.5.3. Características nominales.

Las características nominales son datos que en base a las condiciones de servicio, definen las prestaciones a efectos de las garantías y condiciones de ensayo especificadas.

- **Tensión nominal** (en valor eficaz) de un arrollamiento es la tensión aplicada u obtenida en vacío entre bornes de línea de un arrollamiento de un transformador polifásico o entre bornes de un arrollamiento monofásico
- **Relación de transformación nominal** es la que existe entre las tensiones nominales de los distintos arrollamientos para la toma principal
- **Frecuencia nominal** es aquella a la cual el transformador está destinado a funcionar (normalmente 50 o 60 Hz)
- **Potencia nominal**, es el valor convencional de la potencia aparente (kVA o MVA), que establece las bases para el diseño, la construcción, las garantías del fabricante y los ensayos, determinando el valor de la corriente nominal que puede circular con la tensión nominal aplicada, de acuerdo con las condiciones especificadas
- **La corriente nominal** es el valor que se obtiene dividiendo la potencia nominal de un arrollamiento por la tensión nominal de dicho arrollamiento y por el factor de fase apropiado ($\sqrt{3}$ en los transformadores trifásicos)
- **El nivel de aislamiento**, es el conjunto de valores que caracterizan la aptitud de los arrollamientos a soportar las sollicitaciones dieléctricas que se presentan en servicio
- **La clase de precisión** es el error máximo que va a cometer el trafo de medida. Para que se cumpla nos tenemos que mover en un rango de valores determinado de la potencia aparente consumida. La potencia aparente consumida debe estar entre el 25% y el 100% de la carga de precisión indicada. Por tanto la carga de precisión indica el rango de potencia aparente que estaría consumiendo el trafo de medida para la cual se cumple una clase de precisión determinada

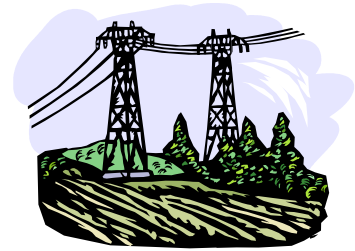


1.4. LÍNEAS DE TRANSPORTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

1.4.1. INTRODUCCIÓN

La función de las líneas eléctricas es transmitir energía entre dos puntos en forma técnica y económicamente conveniente, para lo cual se busca optimizar las siguientes características:

- **Resistencia eléctrica**, ligada a las pérdidas
- **Resistencia mecánica**, ligada a la seguridad
- **Costo limitado**, ligado a la economía



En el diseño se trata de buscar soluciones que reduzcan el costo de la instalación y también de reconstrucción después de eventos destructivos.

Las características de las líneas que son de mayor importancia son su longitud y su tensión. Los parámetros eléctricos de importancia para observar su comportamiento en la red son resistencia, reactancia inductiva y capacitancia derivación.

A veces las líneas tienen cables de guarda, estos apantallan los conductores, protegiéndolos de descargas atmosféricas directas (rayos), recientemente han comenzado a difundirse cables de guarda con fibra óptica que se utiliza como vector de transmisión de información entre las estaciones que une la línea.

1.4.2. LÍNEAS ELÉCTRICAS

Las líneas constituyen uno de los principales elementos que intervienen en la composición de una red eléctrica. La interconexión de sistemas y el transporte, reparto y distribución de la energía dentro de un sistema determinado se realizan por medio de líneas aéreas o cables aislados.

La interconexión entre redes regionales o nacionales, así como el transporte entre grandes centros de producción y consumo, para los que siempre se emplean altas tensiones con distancias de orden elevado, son dominio exclusivo de las líneas aéreas.

En las redes de distribución en media tensión, comienzan ya a existir dos campos de utilización perfectamente delimitados: las líneas aéreas y los cables aislados. Cuando se trata de redes rurales, provinciales, o cuando las distancias superan algunos kilómetros, predominan de las



líneas aéreas. Cuando se trata de centros urbanos, zonas industriales densas o distancias muy cortas, es práctica normal utilizar las líneas subterráneas.

En las redes de distribución en baja tensión podemos hacer las mismas consideraciones que en el caso de media tensión, si bien por tratarse en general de distancias cortas y distribuciones muy directas a los elementos de consumo, predominan claramente los conductores aislados.

La elección de un sistema u otro, depende de un gran número de factores. Las consideraciones económicas constituyen el principal factor de decisión. El coste de un sistema enterrado puede alcanzar de 5 a 10 veces el coste de un sistema aéreo. Un sistema aéreo de distribución puede tener una vida útil de 25 años, mientras que un sistema enterrado puede alcanzar los 50 años.

Un sistema aéreo es más propenso a sufrir mayor número de averías como consecuencia del viento, hielo, nieve o accidentes de todo tipo, sin embargo conviene no olvidar que la reparación y localización de averías es mucho más sencilla en un sistema aéreo que en un sistema subterráneo.

Cuando se deben transmitir grandes potencias desde la generación hasta los centros de consumo, es necesario en la electrotecnia de potencia el uso de tensiones elevadas. La corriente se conduce a través de conductores metálicos. Por lo tanto se producen pérdidas, entre las cuales la pérdida por efecto Joule es la más importante.

La pérdida Joule, P_j en un sistema de transmisión trifásico, cuando la resistencia óhmica de una fase es igual a R , resulta

$$P_j = 3I^2 R$$

Introduciendo la potencia a transmitir

$$P = \sqrt{3}UI \cos\varphi$$

en la expresión anterior, la pérdida Joule resulta:

$$P_j = P^2 \frac{R}{U^2 (\cos\varphi)^2}$$

Esta expresión muestra que la pérdida Joule de una línea es proporcional al cuadrado de la potencia a ser transmitida P , y a la resistencia óhmica R de la línea, además, inversamente proporcional al cuadrado de la tensión U y al factor de potencia $\cos\varphi$.

Las pérdidas, por motivos económicos, no deben superar un determinado porcentaje de la potencia a ser transmitida. De esta expresión surge que la conclusión más eficaz es la elevación de la tensión a utilizar.



Con una elevación de la tensión, también, se eleva el costo de la instalación. Por eso es necesario, al proyectar una instalación de transmisión de potencia, considerar todas estos aspectos que inciden en el costo del sistema de transmisión.

1.4.3. ESQUEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Para determinar las características de las medidas de protección contra choques eléctricos en caso de defecto (contactos indirectos) y contra sobreintensidades, así como de las especificaciones de la aparamenta, será preciso tener en cuenta el esquema de distribución empleado. Los esquemas de distribución se establecen en función de las conexiones a tierra de la red de distribución o de la alimentación, por un lado, y de las masas de la instalación receptora, por otro. La denominación se realiza con el código de letras siguiente:

- **Primera letra**: se refiere a la situación de la alimentación con respecto a tierra.

T= Conexión directa de un punto de la alimentación a tierra.

I= Aislamiento de todas las pares activas de la alimentación con respecto a tierra o conexión de un punto a tierra a través de una impedancia.

- **Segunda letra** : Se refiere a la situación de las masas de la instalación receptora con respecto a tierra.

T = Masas conectadas directamente a tierra, independientemente de la eventual puesta a tierra de la alimentación.

N = Masas conectadas al punto de la alimentación puesto a tierra (en corriente alterna, ese punto es normalmente el punto neutro).

- **Otras letras (eventuales)** : Se refieren a la situación relativa del conductor neutro y del conductor de protección.

S = Las funciones del neutro y de protección, aseguradas por conductores separados.

C = Las funciones del neutro y de protección, combinadas en un solo conductor (conductor CPN).



1.4.3.1. Esquema TN

Los esquemas TN tienen un punto de la alimentación, generalmente el neutro compensador, conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas a dicho punto mediante protectores de protección. Se distinguen tres tipos de esquemas TN según la disposición relativa del conductor neutro y del conductor de protección:

- **Esquema TN-S** : En el que el conductor neutro y el de protección son distintos en todo el esquema (fig. 1)

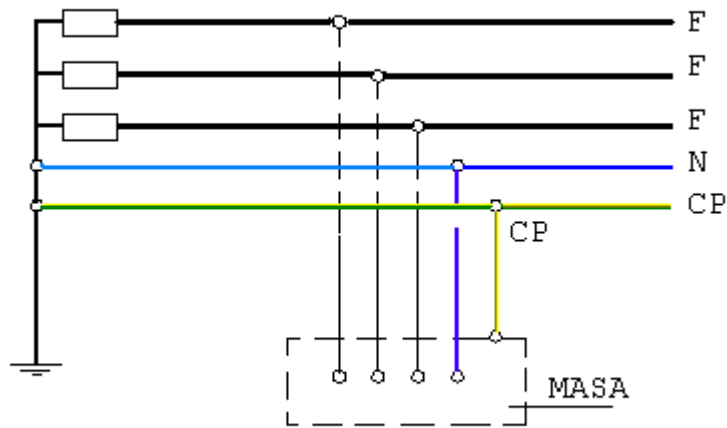


Fig.1. Esquema TN-S

- **Esquema TN-C** : En el que las funciones de neutro y protección están combinados en un solo conductor en todo el esquema (fig. 2)

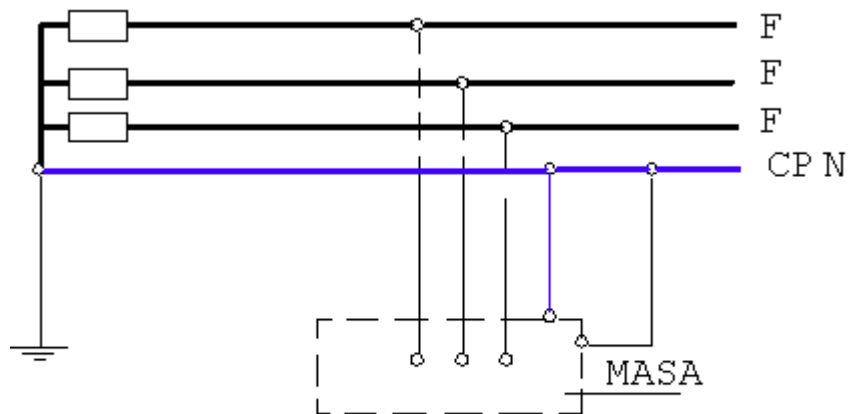


Fig.2. Esquema TN-C



- **Esquema TN-S-C** : En el que las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor en una parte del esquema (fig. 3)

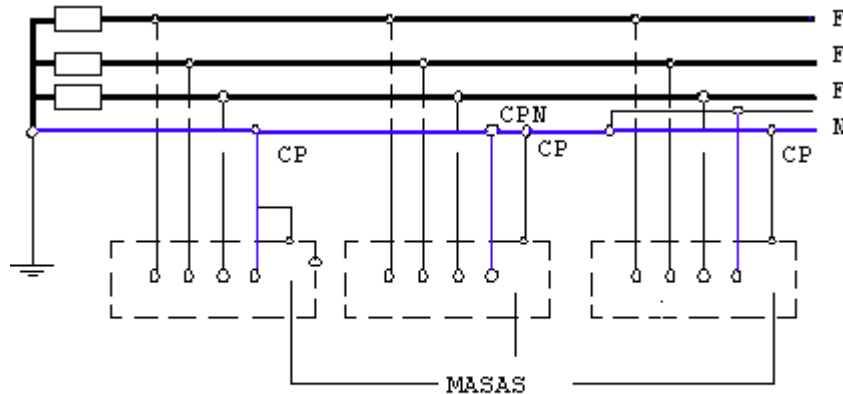


Fig.3. Esquema TN-S-C

En los esquemas TN cualquier intensidad de defecto franco fase-masa es una intensidad de cortocircuito. El bucle de defecto está constituido exclusivamente por elementos conductores metálicos.

1.4.3.2. Esquema TT

El esquema TT tiene un punto de alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de alimentación (fig. 4).

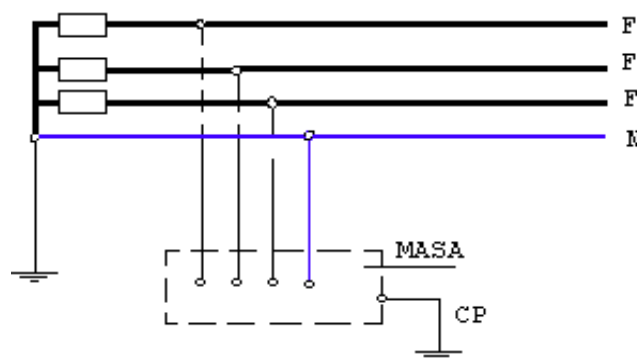


Fig.4. Esquema TT

En este esquema las intensidades de defecto fase-masa o fase-tierra pueden tener valores inferiores a los de cortocircuito, pero pueden ser suficientes para provocar la aparición de tensiones peligrosas.



En general, el bucle de defecto incluye resistencia de paso a tierra en alguna parte del circuito de defecto, lo que no excluye la posibilidad de conexiones eléctricas, voluntarias o no, entre la zona de la toma de tierra de las masas de la instalación y la de la alimentación. Aunque ambas tomas de tierra no sean independientes, el esquema sigue siendo un esquema TT si no se cumplen todas las condiciones de un esquema TN. Dicho de otra forma, no se tienen en cuenta las posibles conexiones entre ambas zonas de toma de tierra para la determinación de las condiciones de protección.

1.4.3.3. Esquema IT

El esquema IT no tiene ningún punto de la alimentación conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están puestas directamente a tierra (fig. 5).

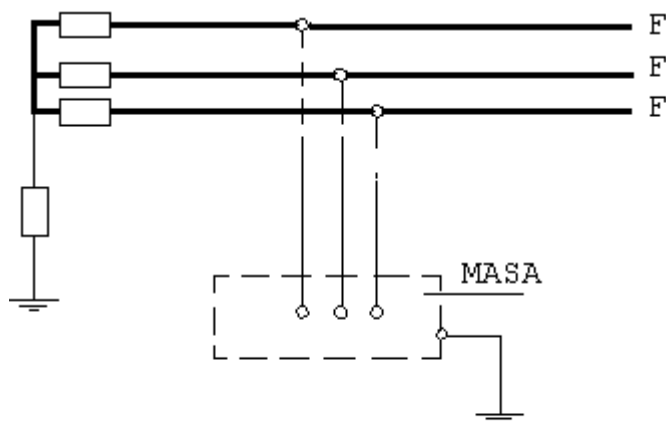


Fig.5. Esquema IT

En este esquema la intensidad resultante de un primer defecto fase-masa o fase-tierra, tiene un valor lo suficientemente reducido como para no provocar la aparición de tensiones de contacto peligrosas.

La limitación del valor de la intensidad resultante de un primer defecto fase-masa o fase-tierra se obtiene, bien por la ausencia de conexión a tierra en la alimentación, o bien por la inserción de una impedancia suficiente entre un punto de la alimentación (generalmente el neutro y tierra). A este efecto puede resultar necesario limitar la extensión de la instalación para disminuir el efecto capacitivo de los cables con respecto a tierra. Se recomienda no distribuir el neutro.



1.4.3.4. Aplicación de los tres tipos de esquemas

La elección de uno de los tres tipos de esquemas debe hacerse en función de las características técnicas y económicas de cada instalación. Sin embargo, hay que tener en cuenta los siguientes principios:

- Las redes de distribución pública de baja tensión tienen un punto puesto directamente a tierra por prescripciones reglamentarias. Este punto es el punto neutro de la red. El esquema posible para instalaciones receptoras alimentadas directamente de una red de distribución pública de baja tensión será el esquema TT
- En instalaciones alimentadas en baja tensión, a partir de un centro de transformación de abonado, se podrá elegir cualquiera de los tres esquemas citados
- Puede establecerse un esquema IT en parte o partes de una instalación alimentada directamente de una red de distribución pública mediante el uso de transformadores adecuados

1.4.3.5. Prescripciones especiales para la aplicación del esquema TN

Para que las masas de la instalación receptora puedan estar conectadas a neutro como medida de protección contra contactos indirectos, la red de alimentación debe cumplir las siguientes prescripciones especiales:

- La sección del conductor neutro debe, en todo su recorrido, ser igual a la indicada en la tabla siguiente, en función de la sección de los conductores de fase
- En las redes de distribución subterráneas, cuando se utilicen conductores con envuelta protectora de aluminio, podrán utilizarse ésta como conductor neutro, siempre que su sección sea por lo menos eléctricamente equivalente a la sección de los conductores de fase
- En las líneas aéreas, el conductor neutro se tenderá con las mismas precauciones que los conductores de fase
- Además de las puestas a tierra de los neutros señaladas en las Instrucciones y para las líneas principales y derivaciones serán puestos a tierra igualmente en los extremos de estas cuando la longitud de las mismas sea superior a 200 metros



- La resistencia de tierra del neutro no será superior a cinco ohmios en las proximidades de la central generadora o del centro de transformación, así como en los 200 últimos metros de cualquier derivación de la red
- La resistencia global de tierra, de todas las tomas de tierra del neutro, no será superior a dos ohmios
- Debe procurarse en las redes subterráneas la unión del conductor neutro de las cajas de empalme, terminales, etc., con las canalizaciones metálicas de agua próximas al emplazamiento de estas cajas y terminales
- Las masas de las instalaciones receptoras deberán conectarse al conductor neutro mediante conductores de protección

1.4.4. CLASIFICACIÓN DE LAS REDES

Podemos hacer una primera clasificación de las redes eléctricas según su disposición y modo de alimentación en los tres tipos siguientes:

- **Red radial o en antena**

La alimentación por uno solo de sus extremos transmitiendo la energía en forma radial a los receptores. Son simples y de forma sencilla se equipan de protecciones selectivas, pero les falta de garantía de servicio

- **Red en bucle o en anillo**

Tiene dos de sus extremos alimentados, quedando estos puntos intercalados en el anillo o bucle. Gran seguridad de servicio y facilidad de mantenimiento, pero tiene mayor complejidad y sistemas de protección así mismo más complicados

- **Red mallada**

La red mallada es el resultado de entrelazar anillos y líneas radiales formando mallas. Sus ventajas radican en la seguridad de servicio, flexibilidad de alimentación y facilidad de conservación y manutención. Sus inconvenientes, la mayor complejidad, extensiva a las protecciones y el rápido aumento de las potencias de cortocircuito



Atendiendo a la tensión, las redes se clasifican en alta y baja tensión. La baja tensión comprende hasta los 1.000 voltios. Para la alta tensión, el Reglamento de Líneas Eléctricas en el artículo segundo, marca tres categorías de líneas teniendo en cuenta la tensión nominal y la tensión más elevada.

En la tabla de la página siguiente aparecen las tensiones normalizadas.

Categoría de la línea	TERCERA					SEGUNDA			PRIMERA		
<i>Tensión Nominal (kV)</i>	3	6	10	15	20	30	45	66	132	220	380
<i>Tensión más elevada (kV)</i>	3,6	7,2	12,0	17,5	24,0	36,0	52,0	72,5	145,0	245,0	420,0



1.4.5. TOPOLOGÍAS DE LAS REDES

1.4.5.1. Sistemas radiales

Supongamos que se tiene un centro de cargas, y varias cargas que deben ser alimentadas desde este centro. Desde cada carga hasta el centro se debe encontrar un camino a través de un cable. El cable puede ser exclusivo para cada carga o bien puede pasar por varias cargas sucesivamente.

El sistema de alimentación en el cual cada carga esta unida con el centro de alimentación a través de un cable exclusivo, es característico de las instalaciones industriales en el nivel de alimentación de las cargas. Una ventaja de este sistema es que permite el control centralizado desde el centro de alimentación, un ejemplo clásico es un centro de control de motores.

El sistema de alimentación en el cual un solo cable va pasando por todas las cargas sucesivamente, es característico de la distribución domiciliaria, de los circuitos de iluminación de calles. Este sistema obliga a tener los dispositivos de control de las cargas distribuidos, uno en correspondencia de cada derivación de carga, salvo que simplemente se conecten y desconecten todas las cargas juntas desde el centro de alimentación.

Una mezcla entre los dos sistemas podemos llamarla arborescente, el cable nace troncal en el centro de alimentación, y se subdivide en ramas y más ramas, llegando hasta las cargas (hojas).

El calculo de la red es simple, el flujo de carga se puede desarrollar suponiendo perdidas nulas, la carga que pasa por una rama cualquiera es suma de todas las cargas comprendidas entre esa rama y las hojas.

1.4.5.2. Anillos y mallas

Buscando soluciones a la debilidad desde el punto de vista de seguridad de alimentación, se plantean redes de mayor complejidad.

Los esquemas radiales se pueden duplicar, radial doble, y cada carga puede seleccionar si se alimenta desde un cable o el otro, o bien una línea que alimenta muchas cargas puede terminar en otro centro de alimentación, alimentarse desde ambas puntas, formando un anillo.

Si a un sistema arborescente se le agregan más ramas entre nodos ya existentes, se forma un sistema mallado. El sistema mallado puede tener también más puntos de alimentación.



Frecuentemente en el nivel de distribución el funcionamiento de las redes, aun teniendo estructura mallada es radial, es decir se abren cierta cantidad de ramas a fin de poder alimentar todas las cargas y la red queda radial. En caso de perdida de un cable en servicio se conectan otros cables (que estaban desconectados) a fin de que nuevamente la red con un nuevo esquema radial preste servicio a todos los usuarios, se puede decir que la red mallada funciona como red radial dinámica (que cambia).

El calculo y verificación de esta red se debe repetir para distintas configuraciones, encontrando para cada elemento las condiciones criticas.

Si se desea mantener las mallas cerradas, debe considerarse que los sistemas de protecciones deberán garantizar el buen funcionamiento separando exclusivamente el tramo que en cada condición se encuentre en falla. Esta es la principal dificultad que aun cuando se plantean sistemas mallados a nivel de distribución se los hace funcionar en modo radial, para facilitar la identificación de los puntos donde ocurren las fallas.

Las redes de alta tensión (transmisión) son las que funcionan en modo mallado, a medida que se baja a tensiones menores el funcionamiento se plantea en modo radial.

1.4.5.3. Alternativas y su caracterización

En bajas tensiones las potencias manejadas son relativamente bajas, en redes industriales se alimentan directamente los usuarios, los equipos, las redes son frecuentemente radiales, difícilmente se justifican esquemas radiales dobles.

La red de baja tensión de distribución publica en cambio tiene generalmente un largo distribuidor del que se derivan las cargas, los distribuidores a su vez son derivados a lo largo de un alimentador.

En media tensión la red industrial puede ser radial simple cuando soporta una interrupción que puede ser poco probable, cuando no el esquema es radial doble.

A veces el esquema radial doble alimenta más centros a lo largo de su recorrido, permitiendo cierta economía de equipos de maniobra.

La red publica utiliza esquemas radiales simples mientras las cargas son modestas, cuando el área servida es de mayor importancia el esquema se hace anillado, trabajando en forma radial, solo excepcionalmente se avanza haciéndolo trabajar cerrado, las complicaciones entonces son grandes.



Difícilmente una industria posee un red de alta tensión compleja, esto solo se da en industrias muy grandes (acerías por ejemplo), a lo sumo se observan dos o tres centros de alta tensión desde donde se derivan distribuciones de media tensión o se conectan eventuales generadores, los centros de alta tensión se unen a la red publica en forma radial o formando anillo que trabaja cerrado en ambos extremos.

La red de alta y muy alta tensión tiene siempre estructura de red mallada, de la que se desprenden estructuras arborescentes, radiales, que con el tiempo (al desarrollarse el área) se convierten en nuevas mallas, a su vez al superponerse a una red de alta tensión otra mayor, la de menor tensión reduce su función de transporte a distribución, y entonces frecuentemente pierde su estructura mallada y se hace (nuevamente) radial.



1.4.6. AISLADORES

Los conductores empleados en líneas aéreas, en la mayor parte de los casos, son desnudos; por lo tanto, se necesita aislarlos de los soportes por medio de aisladores, fabricados generalmente con porcelana o vidrio. La sujeción del aislador al poste se realiza por medio de herrajes. Pero además, un aislador debe tener las características mecánicas necesarias para soportar los esfuerzos a tracción a los que está sometido.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, las cualidades específicas que deben cumplir los aisladores son:

- **Rigidez dieléctrica** suficiente para que la tensión de perforación sea lo más elevada posible. Esta rigidez depende de la calidad del vidrio o porcelana y del grueso del aislador. La tensión de perforación es la tensión a la cual se ceba el arco a través de la masa del aislador
- **Disposición adecuada**, de forma que la tensión de contorneamiento presenta valores elevados y por consiguiente no se produzcan descargas de contorno entre los conductores y el apoyo a través de los aisladores. La tensión de contorneamiento es la tensión a la que se ceba un arco a través del aire siguiendo la mínima distancia entre fase y tierra, es decir, el contorno del aislador. Esta distancia se llama línea de fuga
- **Resistencia mecánica adecuada** para soportar los esfuerzos demandados por el conductor, por lo que la carga de rotura de un aislador debe ser cuanto menos igual a la del conductor que tenga que soportar
- **Resistencia a las variaciones de temperatura**
- **Ausencia de envejecimiento**. Deben perdurar lo máximo a lo largo del tiempo

Los aisladores son, de todos los elementos de la línea, aquellos en los que se pondrá el máximo cuidado, tanto en su elección, como en su control de recepción, colocación y vigilancia en explotación. En efecto, frágiles por naturaleza, se ven sometidos a esfuerzos combinados, mecánicos, eléctricos y térmicos, colaborando todos ellos a su destrucción. Todo nuevo tipo de aislador necesita ser confirmado por un uso muy prolongado, dada la imperfección de nuestro conocimiento en esta materia.



1.4.7. CONDUCTORES

1.4.7.1. Conductores para líneas aéreas

Los conductores, por las características eléctricas propias del material, pueden ser de cobre, aluminio y aluminio-acero y se presentan normalmente desnudos. Estos conductores van sujetos a los aisladores; éstos, a través de los herrajes, son colocados en las crucetas, que a su vez, se colocan sobre el poste que los mantiene distanciados del suelo.

➤ Conductor de aluminio-acero

Estos conductores están compuesto de varios alambres de aluminio, de igual o diferente diámetro nominal, y de alambres de acero galvanizado. Los alambres van cableados en capas concéntricas. Los alambres centrales son de acero y las capas exteriores la forman alambres de aluminio.

Este tipo de conductores tiene un inconveniente con respecto a los de aluminio exclusivamente, es su mayor peso. No obstante, son mayores las ventajas ya que tienen una mayor resistencia mecánica, pudiendo disminuir con ello el número de apoyos y de aisladores al poderse aumentar la longitud de los vanos.

Son estos conductores los más utilizados en las líneas aéreas de media y alta tensión, ya que, al tener menor peso y precio, han desplazado a los conductores de cobre

➤ Cable aislado unipolar

Es un conductor formado por una cuerda de aluminio sobre la que se pone una fina capa de cloruro de polivinilo, plastificado y estabilizado, que impermeabiliza al conductor y lo protege de los agentes atmosféricos, evitando de esta forma los efectos que le pudiera producir los ambientes más desfavorables, incluso los muy corrosivos. Su aplicación se reduce a líneas de baja tensión.

Este cable es adecuado para líneas aéreas sobre aisladores, pero no para la derivación de una línea aérea al interior de un edificio.

Las ventajas de este tipo de cables son:

- ◆ Gran duración de la línea en medios corrosivos, debido a la protección ejercida por la capa de cloruro de polivinilo
- ◆ Mayor regularidad en el suministro de energía en la línea, debido a la ausencia de cortocircuitos ocasionados por contactos accidentales, ramas de árboles u otros elementos que puedan caer o tocar a los conductores



- ◆ Eliminación total de riesgos de accidentes, debidos a contactos de personas con la línea y descuidos en el trabajo de los operarios próximos a una línea de tensión

➤ **Cable aislado multipolar trenzado**

En las redes de distribución, para reemplazar a las líneas aéreas de cobre desnudo o aislado, se ha generalizado un nuevo tipo de montaje a partir de cables trenzados.

Están constituidos por tres cables unipolares de campo radial, aislados individualmente sin funda exterior, cableados sobre un núcleo central formado por una cuerda portante de acero de 50 mm² de sección, protegida generalmente con una capa de cloruro de polivinilo.



Las ventajas que presentan los cables trenzados son:

- ◆ Ventaja de acoplar los tres conductores alrededor de un cable fiador
- ◆ El calentamiento mutuo entre fases es notablemente más débil que en un cable trifásico
- ◆ Facilidad de fabricación, montaje y reparación, al presentarse las averías casi siempre en una sola fase
- ◆ En la alimentación de pequeños núcleos rurales, en la que las líneas desnudas presentan peligro y la canalización subterránea es muy costosa, se emplea este tipo de cable como solución intermedia, para mejorar la estética
- ◆ La ausencia de soportes facilita la circulación sobre las aceras y las calles

Las intensidades de carga admisibles se han determinado según normas para cables instalados al aire con temperatura ambiente de 40 °C y temperatura máxima, en el conductor, de 90 °C en régimen permanente.

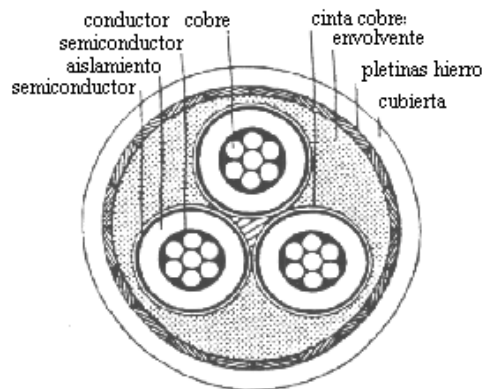
Intensidades de carga admisible en cables en haces (Cu, Al). La tensión nominal de este tipo de cables no suele sobrepasar los 30 kV



1.4.7.2. Cables para líneas subterráneas

En la figura se pueden ver las distintas partes que constituyen los cables empleados:

- **Conductores.** Generalmente son cableados y su misión es conducir la corriente. Cada uno de los cables se llama cuerda
- **Capa semiconductora.** Capa que recubre al conductor, para impedir la ionización del aire, que en otro caso se produciría en la superficie de contacto entre el conductor metálico y el material aislante. Por otro lado, mejorar la distribución del campo eléctrico en la superficie del conductor



Cable tripolar con alm as apantalladas

- **Aislante.** Envolvente de diferentes características, según el tipo de cable. Hay papel impregnado en aceite mineral o aislantes secos como son el policloruro de vinilo, el polietileno, el polietileno reticulado, el caucho natural o sintético y el etileno-propileno
- **Pantalla.** Se aplica una pantalla sobre cada uno de los conductores aislados con el fin de confinar el campo eléctrico al interior del cable y limitar la influencia mutua entre cables próximos. La pantalla está constituida por una envoltura metálica de cobre
- **Rellenos.** Su misión es dar forma cilíndrica al conjunto de los tres conductores
- **Armadura.** Es un envolvente constituido por cintas, pletinas o alambres metálicos
- **Cubierta.** Recubre exteriormente el cable, protegiendo la envoltura metálica de la corrosión y de otros agentes químicos



Según su configuración

Los cables subterráneos se pueden dividir en unipolares y multipolares.

➤ **Cable unipolar**

Este cable se ha empleado en corriente continua, pero en la actualidad se emplea mucho en muy alta tensión. Está constituido por una sola alma, que casi siempre es de sección circular. Los aislamientos y la protección son similares al cable multipolar

➤ **Cable multipolar**

Se denomina cable multipolar el formado por dos o más conductores, bien sean de fases, neutro, protección o de señalización; cada uno lleva su propio aislamiento y el conjunto puede completarse con envolvente aislante, pantalla, recubrimiento contra la corrosión y efectos químicos, armadura metálica, etc

Según el campo eléctrico producido

Se clasifican en radiales y no radiales.

➤ **Cable de campo no radial**

El campo eléctrico en la masa del aislamiento no es radial, ya que, además del campo debido a su propio conductor, inciden los campos de las otras dos fases, dando lugar a componentes tangenciales, como se puede ver en la figura. Esta forma de trabajo no favorece el aislamiento, por lo que queda relegado únicamente hasta tensiones de unos 15kV

➤ **Cables de campo radial**

Para evitar los problemas que plantean los cables de campo no radial se coloca una pantalla exterior constituida por un envolvente metálico (cinta de cobre, hilos de cobre, etc.) que confinan el campo eléctrico al interior del cable.

Estos cables se emplean en alta tensión y se fabrican de forma unipolar o multipolar



1.4.8. PARÁMETROS DE LA LÍNEA

➤ **Resistencia eléctrica** (R)

La resistencia de los conductores es la causa principal de la pérdida de energía en las líneas de transporte. Entendiendo por tal resistencia, la llamada resistencia efectiva del conductor, cuyo valor viene dado en ohmios / metro.

Se modela como una resistencia en serie

➤ **Reactancia del conductor** (jX)

Es la responsable del campo magnético y depende de la posición de los conductores. Se modela como una reactancia en serie por cada fase

➤ **Susceptancia** (jB)

Al haber un medio dieléctrico (aire) entre los dos cables de alta tensión, se tiene un efecto de condensador entre cada dos fases y entre cada fase y tierra.

Se modela como una impedancia en paralelo

➤ **Conductancia** (G)

El aire que envuelve las líneas de alta tensión puede volverse conductor debido al campo eléctrico, por lo que se producen pérdidas por efecto corona. Esto se atenúa agrupando los cables



1.5. CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

1.5.1. INTRODUCCIÓN

La misión de un Centro de Transformación es reducir la tensión de Media Tensión a niveles de utilización en Baja Tensión (B1/220/127V ó B2/380/220V). Esto se consigue con el Trafo de distribución. En la actualidad se hacen transformaciones de 5 kv, pero en un futuro próximo se harán de 10 kv. Aunque pueden estar al aire libre, normalmente están en sitios cerrados.

1.5.2. CONSTITUCIÓN BÁSICA

Un C.T. está constituido básicamente como sigue:

- **Celdas de línea**, de entrada o salida que por lo general llevan los seccionadores
- **Celda de protección**, inmediatamente anterior al trafo, que lleva seccionadores e interruptores con fusibles
- **Celda de transformador**
- **Embarrado de media tensión**. Debe cumplir una distancia de seguridad entre una línea de embarrado y otra para evitar la atracción de entre ellas produciendo un corto circuito
- **Cuadro de baja tensión**. Están compuesto por un módulo superior de medida con trafo de intensidad y trafo de tensión, un módulo de protección y un módulo de conexión

1.5.3. CLASIFICACIÓN DE LOS C.T.

1.5.3.1. Tipo de alimentación:

- **Alimentación en punta**. Es aquel que tiene únicamente una línea de alimentación y está conectado en derivación de la red principal o constituye el punto final de dicha red. Una celda remonte es aquella a la que le llega la alimentación subterránea y alimenta a las pletinas de cobre haciendo de unión entre la línea subterránea y aérea
- **Alimentación en paso (anillo o bucle)**. Es aquel que tiene una línea de entrada y una línea de salida hacia otro centro. Permite seccionar la red de media tensión



1.5.3.2. Tipo de posición que ocupa en la red de distribución

- **Radial**: Compuesto por varios centros de transformación en línea, conectados en serie a media tensión para reducir pérdidas en el transporte y un centro de transformación en punta al final. Este sistema tiene menos fiabilidad
- **En anillo**: De la subestación parten conexiones para todos los C.T., y todos ellos tienen entrada y salida. La conexión entre ellos se realiza en media tensión, pero todos tienen conversión a baja tensión

1.5.3.3. Tipo de emplazamiento:

- **Intemperie o aéreo**: Está constituido por un transformador de potencia no superior a 160KVA, protegido con fusibles y seccionadores, todo ello montado sobre apoyo o apoyos. Se puede superar ésta potencia si el trafo se instala sobre un pórtico.

Se utiliza para zonas rurales, suministros provisionales o clientes aislados

- **Interior**: En los años 50-60 los equipos se separan mediante celdillas. Se hacen embarrados donde los conductores van desnudos y el medio de corte es el aire. Para reducir costes y espacio, se empiezan a usar posteriormente elementos prefabricados y conductores aislados.

Instalados en recintos cerrados, habiendo dos variantes:

- ◆ Subterráneos. Situados bajo la vía pública o en el sótano de los edificios
- ◆ De superficie. Sus accesos están a nivel de calle y existen dos tipos:
 - En local. Forma parte de un edificio
 - Independiente. Aislado de cualquier edificación, y puede ser prefabricado de hormigón o metálico y construido de fábrica de ladrillos (convencional)



1.5.3.4. Tipo de propietario

- **De empresa:** Es propiedad de la empresa suministradora, y de él parten las redes de distribución en baja tensión. Tiene una o varias celdas de línea y una celda de protección por cada transformador montado. Al haber un C.T. con dos o más transformadores acoplados se aumenta la potencia de cortocircuito
- **De cliente:** Es propiedad del cliente y puede haber dos variantes:
 - ◆ Con equipos de medida de baja tensión. Son centros de poca potencia, normalmente intemperie sobre apoyos
 - ◆ Con equipos de medida en media tensión. Son centros de mayor potencia, con una parte de la empresa suministradora y el resto del cliente, teniendo acceso directo desde la vía pública la parte de empresa

1.5.3.5. Tipo de acometida

- Con acometida aérea
- Con acometida subterránea

1.5.4. COMPONENTES DE UN C.T. INTERIOR

1.5.4.1. Celda de Línea

Es la celda donde la red en Media Tensión entrega la energía. La apartamenta que la forma está destinada sólo a maniobra y no a la protección.

- Interruptor y seccionador
- Interruptor–seccionador que permite hacer un corte de la corriente en funcionamiento normal
- Seccionador de puesta a tierra, que elimina las tensiones por el efecto capacitivo existente entre las líneas



1.5.4.2. Celda de Seccionamiento

Destinada de nuevo a la maniobra aunque en este caso no es obligatoria. Su función es la de separar entre la parte correspondiente a la compañía y la del abonado, a la que se puede acceder para el mantenimiento. La aparamenta está constituida por:

- Interruptor y seccionador
- Interruptor-seccionador

No se pone seccionador con puesta a tierra.

1.5.4.3. Celda de medida

Existen cuando los C.T. pertenecen al abonado y no a la compañía. Hay una por transformador y se coloca en el primer lugar de la parte correspondiente al abonado por la razón de que a partir de aquí, toda la intensidad que pase deberá abonarse a la compañía eléctrica. Si la ubicación de la celda de medida fuese más abajo, no se contabilizarían las pérdidas del trafo, por lo que las tendría que pagar la compañía eléctrica. Está constituida por:

- Contadores
- Trafos de medida y protección

1.5.4.4. Celda de protección

Es la única que incluye una aparamenta de corte de intensidad. Se encarga de la protección de los trafos en caso de fallo, por lo que debe incluir un poder de corte. La aparamenta asociada es la siguiente:

- Interruptor-seccionador: Protegido con un relé que da la orden de corte al interruptor
- Fusible (ruptofusible)
- Interruptor automático. Presenta una determinada curva característica (I-t)

1.5.4.5. Celda del transformador

Es la parte donde se aloja el transformador, e incluye por tanto relés de control, reguladores para evitar posibles fugas y refrigeración. No tiene aparamenta asociada.



1.5.5. ARTERIAS

Las arterias son conductores que unen las estaciones transformadoras de distribución, E.T.D., con los centros de transformación, C.T., los cuales alimentan a su vez a las redes de distribución.

La posibilidad de alimentar por un solo punto una red de distribución queda desechada debido a la necesidad de mantener las caídas de tensión dentro de ciertos límites. Lo contrario obliga a colocar conductores de mucha mayor sección, con un costo más elevado.

La alimentación mediante un número relativamente grande de centros de transformación se hace imprescindible, teniendo siempre presente que cuanto mayor sea su número, menor será el coste de los conductores de la distribución, pero en cambio, el coste de las arterias y el de los transformadores aumentará. Por consiguiente, teniendo presente esta idea, en cada caso se hará lo que se estime más conveniente desde el punto de vista económico.

Los centros de transformación se extienden a lo largo de las calles y se hallan situados debajo de las aceras o en locales reservados para este fin. Las potencias de los transformadores que albergan son muy diversas pero, por lo general, están comprendidas entre 100 y 800 kVA.

Es importante destacar que de acuerdo con el artículo 17 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, cuando se construya un local, edificio o agrupación de éstos, cuya previsión de cargas exceda de 50 kVA., o cuando la demanda de potencia de un nuevo suministro sea superior a esa cifra, la propiedad del inmueble deberá reservar un local destinado al montaje de la instalación de un centro de transformación. Posteriormente, la Compañía Suministradora decidirá si hace uso o no del local reservado.



1.5.6. INSTRUCCIONES GENERALES DE PUESTA A TIERRA

El objetivo es limitar la tensión respecto a tierra de las masas metálicas y asegurar la actuación de las protecciones. Se realiza mediante electrodos enterrados en el suelo, que permiten el paso a tierra de las corrientes de fallo o de origen atmosférico (rayos).

Al producirse un defecto, se produce una tensión en el contacto con tierra, que será menor a medida que la pica esté más enterrada. La corriente circula por el terreno y va disminuyendo al alejarse.

1.5.6.1. Puestas a tierra de protección

Se pondrán a tierra las partes metálicas de una instalación que no estén en tensión normalmente pero que puedan estarlo a consecuencia de averías, accidentes, descargas atmosféricas o sobretensiones.

Salvo las excepciones señaladas en los apartados que se citan, se pondrán a tierra los siguientes elementos:

- Los chasis y bastidores de aparatos de maniobra
- Los envolventes de los conjuntos de armarios metálicos
- Las puertas metálicas de los locales
- Las vallas y cercas metálicas
- Las columnas, soportes, pórticos, etc
- Las estructuras y armaduras metálicas de los edificios que contengan instalaciones de alta tensión
- Los blindajes metálicos de los cables
- Las tuberías y conductos metálicos
- Las carcasas de transformadores, generadores, motores y otras máquinas
- Hilos de guarda o cables de tierra de las líneas aéreas



1.5.6.2. Puestas a tierra de servicio.

Se conectarán a tierra los elementos de la instalación necesarios y entre ellos:

- Los neutros de los transformadores, que lo precisan en instalaciones o redes con neutro a tierra de forma directa o a través de resistencias o bobinas
- El neutro de los alternadores y otros aparatos o equipos que lo precisen
- Los circuitos de baja tensión de los transformadores de medida
- Los limitadores, descargadores, autoválvulas, pararrayos, para eliminación de sobretensiones o descargas atmosféricas
- Los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra

1.5.6.3. Interconexión de las instalaciones de tierra.

Las puestas a tierra de protección y de servicio de una instalación deberán interconectarse, constituyendo una instalación de tierra general.

Excepcionalmente, de esta regla general deben excluirse aquellas puestas a tierra a causa de las cuales puedan presentarse en algún punto tensiones peligrosas para las personas, bienes o instalaciones eléctricas.

En este sentido se preverán tierras separadas, entre otros, en los casos siguientes:

- Los señalados en la presente Instrucción para Centros de Transformación
- Los casos en que fuera conveniente separar de la instalación de tierra general los puntos neutros de los devanados de los transformadores
- Los limitadores de tensión de las líneas de corriente débil (telefónicas, telegráficas, etc.) que se extienden fuera de la instalación. En las instalaciones en las que coexistan instalaciones de tierra separadas o independientes, se tomarán medidas para evitar el contacto simultáneo inadvertido con elementos conectados a instalaciones de tierra diferentes, así como la transferencia de tensiones peligrosas de una a otra instalación



1.5.6.4. Seccionadores de puesta a tierra

En las instalaciones en las que existan líneas aéreas de salida no equipadas con cable a tierra, pero equipadas con seccionadores de puesta a tierra conectados a la tierra general, deberán adoptarse las precauciones necesarias para evitar la posible transferencia a la línea de tensiones de contacto peligrosas durante los trabajos de mantenimiento en la misma.

1.5.6.5. Conjuntos protegidos por envolvente metálica

En los conjuntos protegidos por envolvente metálica deberá existir una línea de tierra común para la puesta a tierra de la envolvente, dispuesta a lo largo de toda la aparamenta. La sección mínima de dicha línea de tierra será de 35 mm², si es de cobre, y para otros materiales tendrá la sección equivalente de acuerdo con lo dictado en la presente Instrucción.

Las envolventes externas de cada celda se conectarán a la línea de tierra común, como asimismo se hará con todas las partes metálicas que no formen parte de un circuito principal o auxiliar que deban ser puestas a tierra.

A efectos de conexión a tierra de las armaduras internas, tabiques de separación de celdas, etc, se considera suficiente para la continuidad eléctrica, su conexión por tornillos o soldadura. Igualmente las puertas de los compartimentos de alta tensión deberán unirse a la envolvente de forma apropiada.

Las piezas metálicas de las partes extraíbles que están normalmente puestas a tierra, deben mantenerse puestas a tierra mientras el aislamiento entre los contactos de un mismo polo no sea superior, tanto a frecuencia industrial como a onda de choque, al aislamiento a tierra o entre polos diferentes. Estas puestas a tierra deberán producirse automáticamente.



1.6. EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL

1.6.1. INTRODUCCIÓN

A partir de la liberalización del mercado, se empieza a considerar la electricidad como un producto, dando el derecho a elegir quien nos la suministra. En la situación anterior, la Red Eléctrica Española hacía una previsión de demanda y generaba lo que estimaba oportuno minimizando las pérdidas. Esto provoca ineficiencias en la generación y el consumo, estructuras rígidas, y la no existencia de incentivos para optimizar la generación, incentivar el ahorro y mejorar la calidad del servicio.

Se procede entonces a la separación de las distintas actividades que intervienen en el proceso, como la generación, el transporte y la distribución, todos ellos regulados.

La ley del sector eléctrico pretende regular las actividades relacionadas con el suministro de la energía, garantizando el suministro y la calidad a un menor coste, para adecuarlo a las necesidades de los consumidores, según el principio de la libre competencia.

Existe una única red a la que se puede acceder libremente, y las compañías no propietarias deben pagar por el derecho a usarla. El precio de la electricidad se abre, dando lugar a un mercado de energía al por mayor, donde compran y venden los distintos agentes.

1.6.2. AGENTES QUE INTERVIENEN

El mapa de agentes que intervienen en el sistema eléctrico español está compuesto básicamente por los siguientes participantes:

- **Generadores**: tienen la función de producir electricidad, así como construir, operar y mantener las centrales de generación. Operan en libre competencia desde la creación del mercado liberalizado de electricidad y venden su generación al mercado mayorista
- **Productores en régimen especial**: son empresas productoras que tienen un tratamiento económico especial al mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto medioambiental, debido a la utilización de fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración
- **Transportistas**: llevan la electricidad desde los centros de producción hasta la red de distribución y, además, construyen, mantienen y maniobran las instalaciones de la red de transporte



➤ **Distribuidores:** tienen la función de situar la energía en el punto de consumo y proceder a su venta, así como construir, mantener y operar las instalaciones de la red de distribución. Gestionan por tanto la red de distribución, compran la energía en el mercado mayorista y la suministran a sus clientes facturándoles a una tarifa establecida por la ley. Las obligaciones de la Distribuidora son:

- ◆ Garantizar la calidad del servicio de acuerdo a los parámetros establecidos por la Administración
- ◆ Realizar la Lectura de los contadores
- ◆ Responsable de la inspección y calidad de las instalaciones del distribuidor hasta el equipo de medida y realizar las pruebas previas a la conexión de nuevos usuarios o modificaciones de los existentes
- ◆ Mantener un sistema operativo que asegure el servicio de atención permanente y resolución de incidencias de sus clientes
- ◆ Mantener en correcto funcionamiento el Sistema de Intercambio de Información

➤ **Comercializadores:** ostentan esta figura todas las personas jurídicas que, accediendo a las redes de transporte o distribución, tienen como función la venta de energía eléctrica a los consumidores cualificados o a otros sujetos del sistema.

La Comercializadora realiza las ventas de energía en competencia en un entorno de mercado libre para aquellos clientes que hayan optado por pasar al mercado liberalizado

➤ **Consumidor cualificado:** se adquiere la condición de cualificado cuando el nivel de consumo anual por punto de suministro es superior a una cantidad establecida por Ley. Desde el 1 de enero de 2003, lo son todos los consumidores que pueden acogerse al sistema de elegibilidad. Más información sobre el sistema de elegibilidad en la web de la Comisión Nacional de la Energía



1.6.3. REGULADORES

- **La Administración General del Estado:** Ejerce las facultades de la planificación eléctrica, regula la organización y el funcionamiento del mercado de producción, establece la regulación básica de la generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica y determina los requisitos mínimos de calidad y seguridad en el suministro eléctrico
- **La Comisión Nacional de Energía:** Es el ente regulador de los sectores energéticos. Sus objetivos son garantizar la competencia real en el sector energético y la objetividad y transparencia de su funcionamiento

1.6.4. OPERADORES

- **El Operador del Sistema:** Es el responsable de la gestión técnica del sistema, transporte y del funcionamiento del sistema en el mercado mayorista y garantiza la continuidad y seguridad del suministro eléctrico y la correcta coordinación del sistema de producción y transporte. La Ley asigna esta función a RED ELÉCTRICA.

La operación del sistema hace posible que el mercado funcione y aporta una liquidez absoluta a generadores y consumidores. Con independencia de la oferta y la demanda que resulte del mercado, RED ELÉCTRICA asegura:

- ◆ La sustitución de la energía que un grupo generador no pudo producir
 - ◆ Controla y opera el sistema en tiempo real y garantiza la correcta coordinación entre la generación de las centrales eléctricas y el transporte de energía, asegurando, en todo momento, la continuidad y seguridad del suministro eléctrico
 - ◆ Desarrolla y amplía la red de transporte de alta tensión, y garantiza su mantenimiento y mejora bajo criterios homogéneos y coherentes. Así proporciona a los agentes del sistema una red de transporte fiable y segura, con unos índices de disponibilidad y calidad de servicio muy satisfactorios
 - ◆ Gestiona las interconexiones internacionales y el tránsito de electricidad entre sistemas exteriores
- **El Operador del Mercado** es el responsable de la gestión económica: gestiona el sistema de ofertas de compra y venta de energía que los diferentes agentes efectúan en el mercado de producción y realiza la liquidación final resultante. La Ley asigna esta función a la Compañía Operadora del Mercado Español de Electricidad



1.6.5. ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA REGULACIÓN

Se produce una liberalización de las actividades eléctricas y del uso de las instalaciones, abriéndose la generación y la comercialización a la competencia. Hay una separación jurídica de actividades:

- **Actividades Reguladas**: Transporte y Distribución
- **Actividades Liberalizadas**: Producción y Comercialización

El transporte y la distribución por tanto se regulan en régimen de monopolio, pero quedando abiertas las redes al resto de operadores y consumidores cualificados mediante el principio de acceso a terceros.

La comercialización a tarifa, realizada por los distribuidores, está regulada y para Alta Tensión se termina en el año 2007. Se crea un mercado mayorista de electricidad con dos modalidades:

- **Mercado regulado**: que funciona a base de ofertas de compra y venta de energía que realizan los agentes de mercado
- **Mercado Libre**: que funciona a base de contratos bilaterales físicos entre productores y consumidores cualificados

El precio de la energía se determina en este mercado, y es distinto para cada una de las 24 horas de cada día del año.

Se crea la figura del **consumidor cualificado**, como aquel que puede elegir libremente su suministrador o comercializador o acudir directamente al mercado a comprar energía. El precio que deberá pagar al distribuidor un peaje regulado por el uso de las redes de transporte y distribución, incluido en las denominadas tarifas de acceso.



1.6.6. CONSUMIDORES

Son los principales beneficiarios del proceso de liberalización.

Desde Enero de 2003, la regulación española del suministro de electricidad otorga a todos los consumidores el derecho de ser cualificados, y con ello tienen varias posibilidades de contratación:

- Contratar directamente la compra de energía a un agente de mercado en el mercado mayorista
- Contratar con un productor de electricidad o con un agente externo autorizado mediante un contrato bilateral con un determinado horizonte temporal
- Contratar con una empresa comercializadora con un determinado horizonte temporal
- Mantenerse en el régimen de precios regulados (tarifas eléctricas). Estas tarifas desaparecerán en enero de 2007 para los suministros en alta tensión

El precio de la electricidad dependerá por tanto si accedemos al mercado liberalizado o permanecemos en el marco regulado. En cualquier caso hay una parte de la factura eléctrica que es común: hay que pagar un impuesto especial sobre el consumo de electricidad, con el tipo del 5,113% ($1,05113 \times 4,864\%$), el 3,54% se paga de cuota de la Moratoria Nuclear y el IVA (16%) una vez repercutido el impuesto sobre el consumo de electricidad.

1.6.6.1. Suministro en el mercado liberalizado

En este caso, el suministro físico se produce de la misma forma a través de la red eléctrica de la empresa distribuidora, pero el precio de la electricidad lo negociamos libremente con un suministrador llamado comercializador.

El precio pagado al comercializador se compone de dos partes, una se refiere al uso de la red que es una tarifa de acceso aprobada por la Administración Pública con un importe máximo no negociable y otra parte que sí se puede negociar que es el valor económico de la energía eléctrica.

Otra opción es acceder directamente al mercado donde se hacen ofertas horarias de adquisición. Aquí pagamos un precio por los servicios complementarios, por la garantía de potencia, y el precio marginal de la energía casada. El volumen de energía adquirido deberá incluir las pérdidas en la red imputables al suministro.



1.6.6.2. Suministro en el mercado regulado

La empresa distribuidora que es la propietaria y operadora de la red eléctrica es la que nos suministra en nuestro hogar de acuerdo con un precio regulado o tarifa aprobada por la Administración Pública.

Desde el punto de vista económico, los productores venden su energía eléctrica a un mercado llamado POOL de Energía, donde se establece un precio de la electricidad distinto para cada hora del año. La empresa distribuidora compra la electricidad que después la vende al consumidor final a un precio máximo aprobado por la Administración Pública que no se puede negociar, también llamado tarifa que cubre la totalidad del coste del suministro.

La empresa distribuidora tiene que pagar una parte al mercado o al productor de electricidad, otra parte correspondiente a la empresa que transporta la energía, y otra parte la entrega a un administrador del sistema para costear algunos gastos comunes para que este funcione. Finalmente se queda con la parte restante que es la retribución por la actividad que desarrolla.

1.6.6.3. El derecho a elegir suministrador

El derecho a elegir la segunda opción ha sido otorgado a los consumidores españoles de forma escalonada, tal como se muestra en la siguiente tabla. Así, fueron los muy grandes consumidores industriales con consumo anual superior a los 15 millones de Kilowatios-hora los que podían elegir negociar en el libre mercado el suministro, para que finalmente este derecho se extendiera a todos los consumidores pequeños y domésticos (Pequeñas empresas, oficinas y hogares) a principios del año 2003.

Normalmente, los consumidores domésticos tenemos el contador en régimen de alquiler (La propiedad es de la empresa distribuidora) y la lectura del consumo se hace cada dos meses, por lo que la factura que pagamos corresponde también a un periodo bimestral.

Respecto a las opciones o modalidades de suministro de mercado regulado o de mercado liberalizado, el consumidor dispone del mismo contador, por lo que no tiene que cambiarlo. Sin embargo, si queremos ser suministrados en el mercado liberalizado tenemos que instalar un limitador para la potencia que utilizamos, también llamado interruptor de control de potencia (ICP).