



2.- El sistema de energía eléctrica

En el presente capítulo se dará una visión global de la estructura del sistema eléctrico español describiéndose brevemente los diferentes tipos de redes existentes en dicho sistema y haciéndose mayor hincapié en las redes de baja tensión que son el objetivo del presente proyecto.

Un sistema eléctrico es el conjunto de instalaciones, conductores y equipos necesarios para transportar la energía desde las centrales generadoras hasta los consumidores finales.

2.1 Estructura del sistema eléctrico.

En el sistema de suministro eléctrico existen tres actividades diferenciadas:

- ✓ **Generación:** Produce la energía necesaria para satisfacer el consumo. Está constituida por el conjunto de las centrales (termoeléctricas, hidroeléctricas, nucleares, eólicas, ciclos combinados, ...), que generan electricidad a tensiones de algunos kilovoltios e inmediatamente la transforman a tensiones que alcanzan los centenares de kilovoltios para optimizar su transporte por las líneas eléctricas hasta los grandes centros de consumo.

- ✓ **Transporte:** Permite transferir la energía producida en las centrales de producción hasta los centros de consumo. Comienza en las estaciones elevadoras de las centrales que elevan la tensión a 220 ó 400 kV y finaliza en las subestaciones de transformación, que reducen de alta tensión a niveles de tensión inferiores (132 ó 66 kV).

- ✓ **Distribución:** es la encargada del suministro de energía desde las subestaciones de transformación hasta los usuarios finales. Está compuesta por las redes primarias de distribución conocidas como red de subtransporte o red de reparto, las estaciones transformadoras de distribución donde se reduce la tensión de 132 ó 66 kV a 20 kV, la red de distribución de media tensión, los centros de



transformación, donde nuevamente se reduce la tensión en este caso de 20 kV a 400/230 V y la red de distribución de baja tensión.

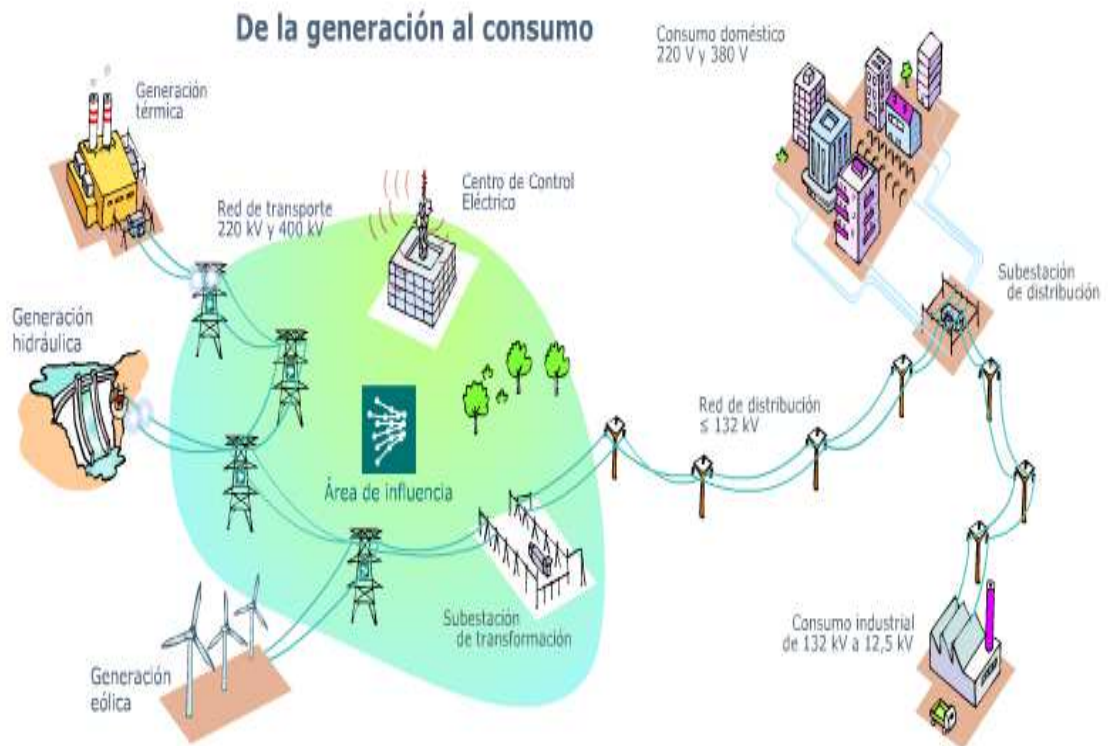


Figura 3.- Estructura de un sistema de energía eléctrica¹

Los procesos de producción, transporte, distribución y consumo de electricidad están irremediablemente condicionados por el hecho de que tiene que existir un equilibrio instantáneo y permanente entre la generación y la demanda. Son sistemas en equilibrio dinámico, de enorme tamaño, donde cualquier contratiempo pone en peligro el equilibrio del conjunto, extendiéndose las consecuencias negativas a todo el sistema por efecto dominó y poniendo en riesgo el abastecimiento de electricidad en extensas zonas geográficas.

Es por esto, que en el ámbito técnico, es necesario sofisticados sistemas de control, supervisión, seguimiento en tiempo real y elementos de protección.

¹ Fuente: Red Eléctrica Española. <http://www.ree.es>



2.2 Redes del sistema eléctrico.

Las redes que forman el sistema eléctrico anteriormente descrito se clasifican en:

✓ **Redes de transporte.**

Son las encargadas de llevar la energía eléctrica desde las estaciones elevadoras hasta las subestaciones de transformación. Son líneas de alta o muy alta tensión (220 kV ó 400 kV) lo que permite trasladar grandes cantidades de energía eléctrica a grandes distancias con una tecnología de cables razonablemente barata y sin grandes pérdidas de energía.

La red de transporte conecta entre sí todos los grandes centros de producción y consumo adoptando normalmente una configuración muy mallada que garantiza una gran fiabilidad, existiendo caminos alternativos para evacuar y recibir energía eléctrica en el caso de que fallen algunas líneas.

Las líneas utilizadas en el transporte son líneas que tienen una relación R/X de valor pequeño, es decir son líneas fundamentalmente inductivas. El estudio de estas redes como sistema trifásico equilibrado es bastante realista puesto que efectivamente la mayor parte de las cargas son trifásicas equilibradas.

✓ **Redes de distribución.**

Son las redes encargadas del transporte de la energía desde las subestaciones de transformación hasta los usuarios. Estas redes se subdividen en:

- Red primaria de distribución (red de reparto): Son líneas aéreas o subterráneas de media tensión (132 kV ó 66 kV) que se extienden desde las subestaciones de transformación hasta las estaciones transformadoras de distribución. Estas redes alimentan la red secundaria o bien grandes consumos industriales.
- Red secundaria de distribución: compuesta por las líneas aéreas o subterráneas que unen las subestaciones de distribución con los centros de transformación, lo que se conoce como red de distribución de media



tensión (20 kV) y las líneas que partiendo de los centros de transformación llevan la energía hasta los usuarios finales, denominada red de distribución de baja tensión (220-380 V).

A diferencia de las redes de transporte, el cociente R/X de las líneas de distribución comienza a tener un valor más elevado. Además, es habitual la confluencia de líneas largas y cortas en el mismo nudo, y por tanto, de parámetros con órdenes de magnitud muy distintos. Los desequilibrios de la red, a ciertos niveles de tensión, comienzan a ser notables.

2.3 Redes de distribución de baja tensión.

En el artículo 2 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) aprobado por el Real Decreto 842/2002, del 2 de agosto, nos limita el campo de aplicación de dicho reglamento definiéndose así qué es lo que se entiende por baja tensión.

Artículo 2. Campo de aplicación

1. *El presente Reglamento se aplicará a las instalaciones que distribuyan la energía eléctrica, a las generadoras de electricidad para consumo propio y a las receptoras, en los siguientes límites de tensiones nominales:*
 - a) *Corriente alterna: Igual o inferior a 1.000 voltios.*
 - b) *Corriente continua: Igual o inferior a 1.500 voltios.*

En la práctica es bastante poco habitual encontrar redes de distribución de corriente continua por lo que se entiende por instalaciones de baja tensión aquellas cuyo valor nominal de corriente alterna sea igual o inferior a 1.000 voltios, o lo que es lo mismo, a 1 kV.

En el artículo 4 de este mismo reglamento quedan recogidas las tensiones nominales usualmente utilizadas y la frecuencia empleada en las redes de baja tensión.



Artículo 4. Clasificación de las tensiones. Frecuencia de las redes.

1. ...
2. *Las tensiones nominales usualmente utilizadas en las distribuciones de corriente alterna serán:*
 - a) *230 V entre fases para las redes trifásicas de tres conductores.*
 - b) *230 V entre fase y neutro, y 400 V entre fases, para las redes trifásicas de 4 conductores.*
3. ...
4. *La frecuencia empleada en la red será de 50 Hz*

Además, el reglamento, en sus instrucciones técnicas complementarias 06 y 07 (ITC-BT-06 e ITC-BT-07) clasifica las líneas eléctricas de baja tensión de la siguiente forma

✓ **Redes aéreas.**

Los conductores utilizados en las redes aéreas serán de cobre, aluminio o de otros materiales o aleaciones que posean características eléctricas y mecánicas adecuadas y serán preferentemente aislados.

- *Conductores aislados: serán de tensión asignada no inferior a 0,6/1 kV, tendrán un recubrimiento tal que garantice una buena resistencia a las acciones de la intemperie y deberán satisfacer las exigencias especificadas en la norma UNE 21030. La sección mínima permitida en los conductores de aluminio será de 16 mm², y en los de cobre de 10 mm².*

La sección mínima correspondiente a otros materiales será la que garantice una resistencia mecánica y conductividad eléctrica no inferiores a las que corresponden a los de cobre anteriormente indicados.

- *Conductores desnudos: serán resistentes a las acciones de la intemperie y su carga de rotura mínima a la tracción será de 410 daN debiendo satisfacer las exigencias especificadas en las normas UNE 21012 o UNE 21018 según que los conductores sean de Cobre o de Aluminio.*



Se considerarán como conductores desnudos aquellos conductores aislados para una tensión nominal inferior a 0,6/1 Kv.

Su utilización tendrá carácter especial debidamente justificado, excluyendo el caso de zonas de arbolado o con peligro de incendio

✓ **Redes subterráneas para distribución en baja tensión**

Los conductores de los cables utilizados en las líneas subterráneas serán de cobre o de aluminio y estarán aislados con mezclas apropiadas de compuestos poliméricos. Estarán además debidamente protegidos contra la corrosión que pueda provocar el terreno donde se instalen y tendrán la resistencia mecánica suficiente para soportar los esfuerzos a que puedan estar sometidos.

Los cables podrán ser de uno o más conductores y de tensión asignada no inferior a 0,6/21 Kv, y deberán cumplir los requisitos especificados en la parte correspondiente de la Norma UNE-HD 603. La sección de estos conductores será la adecuada a las intensidades y caídas de tensión previstas y, en todo caso, esta sección no será inferior a 6 mm² para conductores de cobre y a 16 mm² para los de aluminio.

Dependiendo del número de conductores con que se haga la distribución la sección mínima del conductor neutro será:

- a) Con dos o tres conductores: Igual a la de los conductores de fase.*
- b) Con cuatro conductores, la sección del neutro será como mínimo la de la siguiente tabla.*

Conductores fase (mm²)	Sección neutro (mm²)
6 (Cu)	6
10 (Cu)	10
16 (Cu)	10
16 (Al)	16
25	16
35	16



50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

Tabla 1.- Sección del neutro en función de la sección de las fases

2.3.1. Topología de las redes de baja tensión

En cuanto a la topología de las redes de distribución en baja tensión las distribuciones más frecuentes son las siguientes:

✓ **Distribución radial**

Este tipo de distribución se alimenta desde uno solo de sus extremos desde la red de media tensión a través de un centro de transformación, transmitiendo la energía en forma radial. Puede existir inyección de generación renovable en otros puntos de la red aguas abajo. La ventaja de esta topología radica en que es el método de explotación más económico y el más simple desde el punto de vista del diseño, la planificación y la protección. Su principal inconveniente es que no garantiza un servicio continuo porque al tener una única alimentación si ésta falla, los consumidores aguas abajo quedarían desconectados y por consiguiente sin suministro.

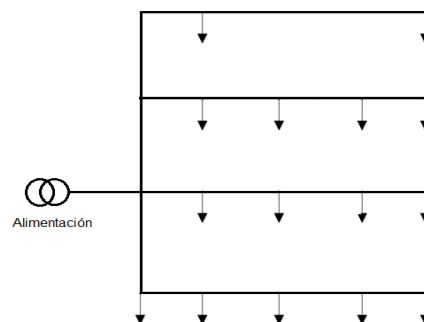


Figura 4.- Red con distribución radial



✓ **Distribución en anillo**

Se caracteriza por estar alimentada desde dos de sus extremos, estando los receptores intercalados entre estos, formando un anillo cerrado. Esta tipología ofrece mayor continuidad del servicio al poder alimentar a los receptores desde puntos distintos, facilitando además el mantenimiento de la red. Es una red más compleja que la radial tanto a nivel constructivo como a la hora de planificar las protecciones del sistema.

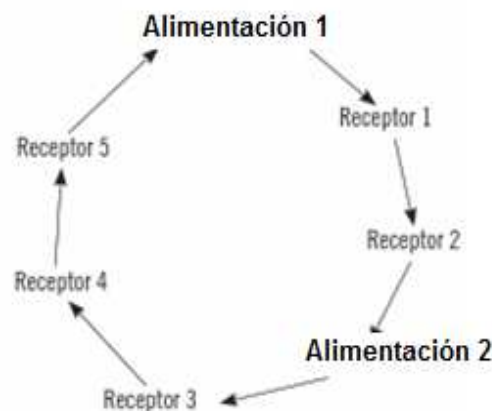


Figura 5.- Red con distribución en anillo²

✓ **Distribución mallada**

En este tipo de distribución se combinan redes en anillo interconectadas en forma radial. Estas redes aseguran totalmente el servicio a los receptores dando mayor flexibilidad de alimentación a la red y facilitando enormemente su mantenimiento. Suelen ser redes de gran complejidad en las cuales la potencia de cortocircuito aumenta con rapidez.

² Fuente: MENDOZA RAMIREZ, Antonio J. *Montaje de redes eléctricas aéreas de baja tensión*. Antequera, Málaga. IC editorial, 2012. ISBN:9788483649510.

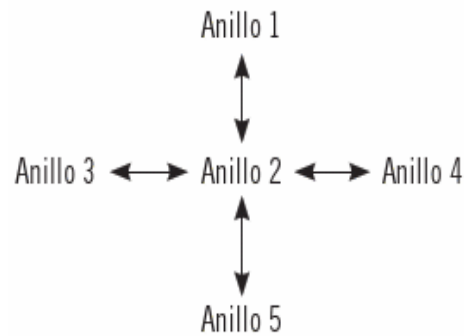


Figura 6.- Red con distribución mallada³

En este proyecto se estudia la topología radial.

2.3.2 Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución de baja tensión.

Para la determinación de 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 aparatada encargada de tales funciones, 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 un código de letras con el significado 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 partes activas de la alimentación con respecto a tierra o conexión de un punto a tierra a través de una impedancia.

³ Fuente: MENDOZA RAMÍREZ, Antonio J. *Montaje de redes eléctricas aéreas de baja tensión*. Antequera, Málaga. IC editorial, 2012. ISBN:9788483649510.



- ✓ **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 directamente al punto de la alimentación puesto a tierra (en corriente alterna este 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 de neutro y de protección, aseguradas por conductores separados
 - C = Las funciones de neutro y de protección, combinadas en un solo conductor (conductor CPN).

Así, los esquemas de conexión de tierra que pueden presentarse en una red de baja tensión son:

- ✓ **Esquema TN:** tienen un punto de la alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas a dicho punto mediante conductores de protección. Se distinguen tres tipos de esquemas TN según la disposición del conductor neutro y del conductor de protección:
 - Esquema TN-S: En el que el conductor neutro y el de protección son distinto en todo el esquema.

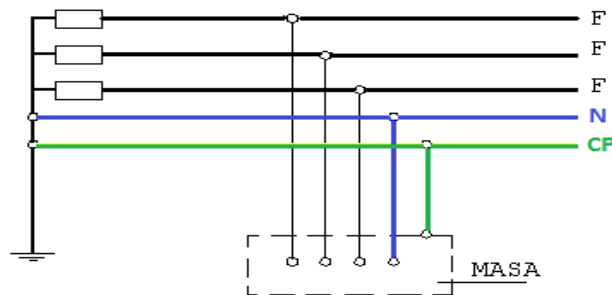


Figura 7.- Esquema TN-S de una instalación



- Esquema TN-C: En el que las funciones de neutro y protección están combinados en un solo conductor en todo el esquema. Las masas de las instalaciones receptoras deberán conectarse al conductor neutro mediante conductores de protección.

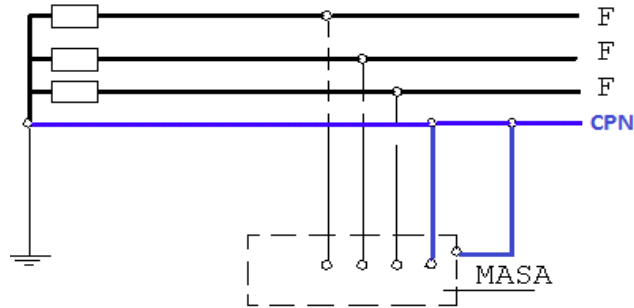


Figura 8.- Esquema TN-C de una instalación

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

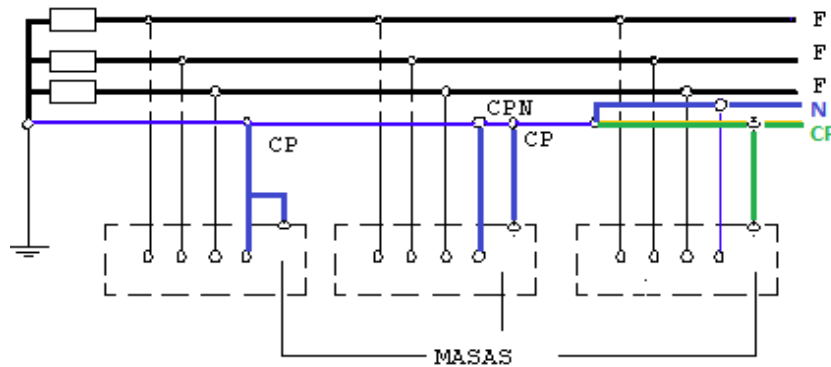


Figura 9.- Esquema TN-C-S de una instalación

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.



- ✓ **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 la alimentación.

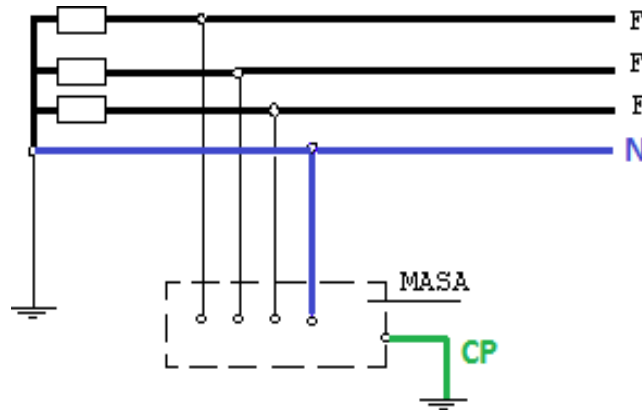


Figura 10.- Esquema TT de una instalación

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 sino se cumplen todas las condiciones del 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.



- ✓ **Esquema IT:** No tiene ningún punto de la alimentación conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están puestas directamente a tierra

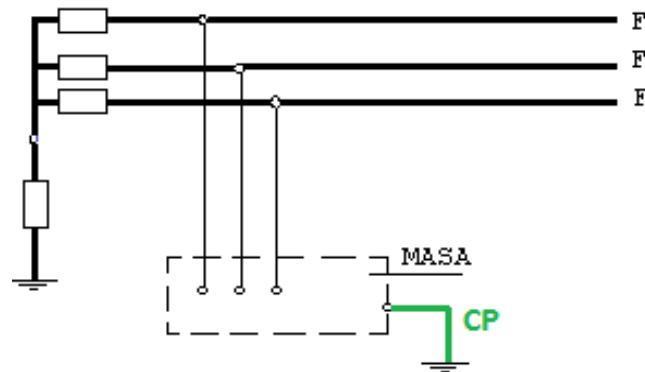


Figura 11.- Esquema IT de una instalación

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 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. En este tipo de esquema se recomienda no distribuir el neutro.

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.

- a) Las redes de distribución pública de baja tensión tienen un punto puesto directamente a tierra por prescripción reglamentaria. Este punto es el punto neutro de la red. El esquema de distribución para instalaciones receptoras alimentadas directamente de una red de distribución pública de baja tensión es el esquema TT.



- b) En instalaciones alimentadas en baja tensión, a partir de un centro de transformación de abonado, se podrá elegir cualquiera de los tres esquemas citados.
- c) Al margen de lo dicho en a), 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, en cuyo secundario y en la parte de la instalación afectada se establezcan las disposiciones que resultan de la utilización de dicho esquema.

En la instrucción técnica ITC-BT-06 queda recogido que el conductor neutro de las líneas aéreas de redes de distribución de las compañías eléctricas se conectará a tierra en el centro de transformación o central generadora de alimentación, en la forma prevista en el *Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación*. Además, en los esquemas de distribución tipo TT y TN, el conductor neutro y el de protección para el esquema TN-S, deberán estar puestos a tierra en otros puntos, y como mínimo una vez cada 500 metros de longitud de línea. Para efectuar ésta puesta a tierra se elegirán, con preferencia, los puntos de donde partan las derivaciones importantes.

En las redes de distribución privadas, con origen en centrales de generación propia para las que se prevea la puesta a tierra del neutro, se seguirá lo especificado anteriormente para las redes de distribución de las compañías eléctricas.

En cuanto a las redes subterráneas, la instrucción técnica ITC-BT-07 en lo referente a las puestas a tierra y continuidad del neutro se recoge que se atenderá a lo establecido en la ITC-BT-06.

Para la aplicación del esquema TN se deben de cumplir además algunas prescripciones especiales:

- a) La sección del conductor neutro debe, en todo su recorrido, ser como mínimo igual a la indicada en la siguiente tabla.



Sección de los conductores de fase (mm^2)	Sección nominal del conductor neutro (mm^2)	
	Redes aéreas	Redes subterráneas
16	16	16
25	25	16
35	35	16
50	50	25
70	50	35
95	50	50
120	70	70
150	70	70
185	95	95
240	120	120
300	150	150
400	185	185

Tabla 2.- Valores de la sección del conductor neutro en esquemas TN

- b) En las líneas aéreas, el conductor neutro se tenderá con las mismas precauciones que los conductores de fase
- c) Además de las puestas a tierra de los neutros, señaladas en las instrucciones ITC-BT-06 e ITC-BT-07, para las líneas principales y derivaciones serán puestos a tierra igualmente en los extremos de éstas cuando la longitud de las mismas sea superior a 200.
- d) La resistencia de tierra del neutro no será superior a 5 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.
- e) La resistencia global de tierra, de todas las tomas de tierra del neutro, no será superior a 2 ohmios.