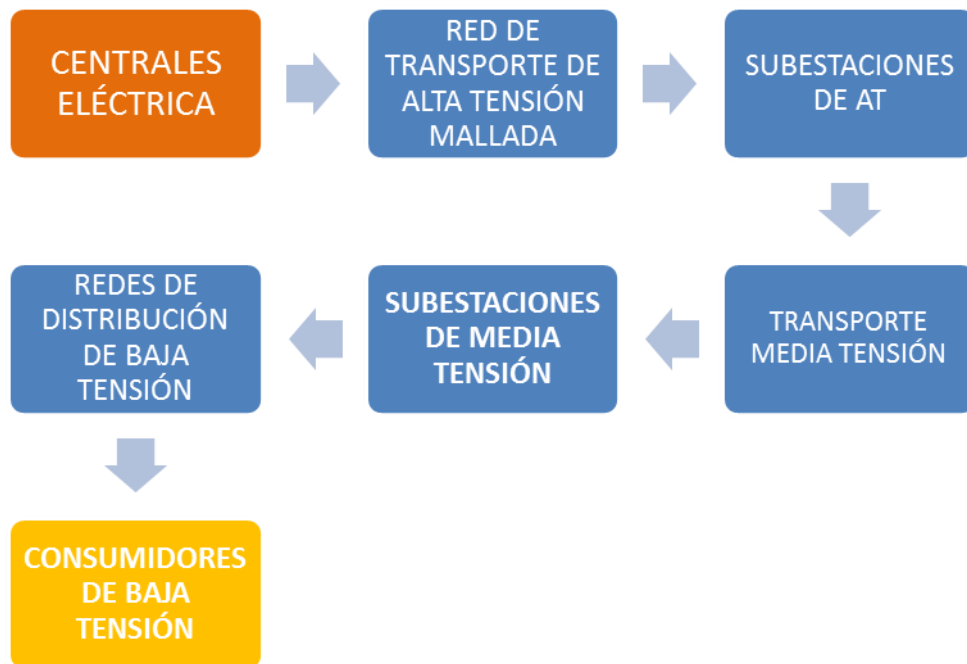


## RESUMEN GENERAL DEL LIBRO.

El primer capítulo consta de 3 partes. En la primera se hace una introducción histórica sobre la obtención, transporte y aprovechamiento de la energía eléctrica. Resaltando la importancia de la corriente alterna frente a la corriente continua.

A continuación se analizan los sistemas eléctricos constituidos por instalaciones, conductores y equipos. Estableciendo que dichos sistema constan principalmente de los siguientes bloques:



En lo que se refiere a la situación española, el aprovechamiento de la energía eléctrica comenzó en el primer tercio del siglo XX, con diferentes empresas del sector privado y sin ningún tipo de regulación en el mercado. El sistema se fue regularizando debido a la importancia a nivel nacional de la distribución energética, apareciendo diferentes planes en los que intervenían tanto las directivas nacionales como las europeas. En la actualidad la energía eléctrica está sujeta a una política de mercado libre, cuya regulación se supervisa mediante diferentes entidades que garantizan el mercado y abastecimiento energético.

En el año 2004 se produjeron 68.425 MW de los cuales el 40% se produjeron a partir de centrales térmicas, un 22% de hidráulica, unos 15% renovables y el resto nuclear. La producción energética fue de unos 263.068 GWh. De la cual menos del 10%

se utilizó en exportaciones e importaciones y otro 10% se perdió en los procesos de transporte y distribución. La red de transporte y distribución tiene una longitud de unos 54.340 Km y el 25% aproximadamente corresponde a líneas de alta tensión, el otro 25% a media tensión y el resto a baja tensión.

Después se pasa a describir las centrales eléctricas de mayor importancia.

## **1.- Centrales térmicas convencionales**

Transforman la energía procedente de la combustión en energía eléctrica mediante un ciclo termodinámico, en el cual el calor se utiliza para calentar agua en el hogar y utilizar la energía cinética del vapor para mover el rotor de un alternador, generalmente mediante una turbina. Existen 3 tipos principalmente las de ciclo de Rankine, las de ciclo combinado o de Bryton y las de cogeneración. Para un mejor aprovechamiento de la energía cinética del vapor se pueden utilizar dos turbinas en serie. Una forma de mejorar su rendimiento y disminuir la contaminación de la combustión de fuel o carbón, es utilizar calderas de lecho fluidizado, carbón pulverizado, calderas de gasificación o centrales de fuel. Una innovación es la utilización de gas natural, que mejora el rendimiento hasta un 60%. Los ciclos de cogeneración permiten generar al mismo tiempo vapor y energía eléctrica que en muchas ocasiones se reutiliza para calentar el vapor. Son típicos de procesos industriales.

## **2.- Centrales nucleares**

Aunque existen combustibles nucleares naturales como el uranio 235, es muy común enriquecer dichos combustibles nucleares con plutonio 239 que es un residuo de los procesos nucleares de fisión. La fisión nuclear es muy violenta y si no se controla adecuadamente se puede convertir en una bomba termonuclear. Los reactores nucleares se clasifican atendiendo al tipo de combustible que utilizan y a la forma de refrigeración del reactor. En cualquier reactor además de las barras de combustible existe un moderador que disminuye la energía de los neutrones producidos en la reacción y elementos de control, generalmente barras de cadmio, que absorbe los neutrones haciendo que la reacción sea fácil de controlar. El blindaje es otro elemento esencial en un reactor nuclear que utiliza hormigón, acero y plomo.

Entre otros reactores nucleares destacan los PWR (reactor de agua a presión), los BWR (de agua hirviendo). En las centrales nucleares los ciclos termodinámicos son los mismos que en las térmicas pero el calor que calienta el agua se obtiene del reactor nuclear.

## 3.- Centrales hidroeléctricas

El siguiente tipo de central convencional es el hidroeléctrico. En este caso se utiliza la energía cinética procedente de un salto de agua para mover una turbina cuyo eje es solidario con el rotor de un alternador y genera energía eléctrica. El generador utilizado es un generador síncrono. Dependiendo de cómo sea el salto de agua pueden ser de derivación, de acumulación, de salto mixto. Según el tipo de presa pueden ser de bóveda o arco o de gravedad dependiendo del caudal y del trazado del mismo. La mayor parte de las centrales están sobredimensionadas para asegurar en verano una producción mínima de energía. Por ello, suelen producir mayor cantidad en muchas ocasiones. En las centrales de bombeo el exceso se utiliza para bombear el agua del embalse inferior al superior.

## 4.- Centrales con energías renovables.

1.- Minihidráulicas: Centrales hidráulicas con producciones inferiores a 10 MW

2.- Eolicas: Las palas captan la energía del viento que mediante un buje une las palas al aerogenerador. Generalmente mediante un sistema de engranajes multiplicador. La góndola soporta toda la estructura y a su vez está sujeta por la torre. Los molinos que producen entre 1,5 y 2 MW se une al sistema central del parque.

3.- Centrales solares de alta temperatura: La radiación solar se utiliza para calentar agua. Pueden ser de baja, media y alta temperatura. Dependiendo de las aplicaciones que después se les dé. En algunos casos los colectores cilindro-parabólicos inciden sobre los hornos solares fundiendo sales y generando energía eléctrica.

4.- Centrales fotovoltaicas: Los paneles fotovoltaicos son paneles de silicio generalmente dopados con uniones PN. La radiación solar hace que en dichas uniones se dé el efecto Shokky y se genere una corriente continua de aproximadamente 1 A y 1,5 V. Con multitud de dichas células solares se puede llegar a generar potencias de hasta 1,5 Wp

5.- Centrales de biomasa: Se considera biomasa toda la materia orgánica. Se distingue biomasa primaria (producida por fotosíntesis), biomasa secundaria o residual y biomasa de cultivos energéticos.

6.- Pilas de combustible: Emplean hidrógeno como combustible. Dicho hidrógeno puede generarse de la hidrólisis del agua.

7.- Centrales geotérmicas y maremotrices: Utilizan el calor procedente de las reacciones nucleares del núcleo terrestre o del movimiento de las aguas del mar.

La generación y distribución de energía debe estar correctamente legislada mediante los reglamentos de alta y baja tensión.

# TECNOLOGIA ELECTRICA

---

Como la energía eléctrica que se produce, transporta y utiliza es corriente alterna no está de más conocer los principios básicos de la misma. La corriente alterna debe caracterizarse no sólo por sus valores de tensión, intensidad e impedancia, sino también por los desfases debidos a la existencia de reactancias y capacitancias. Esto implica que la potencia generada no puede ser utilizada al 100%. Para expresar dicho fenómeno se utilizan los fasores y la nomenclatura compleja. De esta forma la potencia en alterna se expresa como  $S = UI = P + jQ$ . Cada dipolo en alterna se caracteriza por su potencia activa  $P$  y su potencia reactiva  $Q$ . La potencia activa es la potencia eficaz la que se puede utilizar para transformarse en otros tipos de energías. La reactiva es debida a la generación de campos magnéticos y capacidades y no puede ser utilizada para su transformación. Los balances de potencia (o lo que es lo mismo de energía) son importantes conservándose por separado para las potencias activas y reactivas lo que constituye el denominado Teorema de Boucherau.

Ya se ha comentado, que después de diferentes esfuerzos se optó por la utilización de la corriente alterna frente a la corriente continua. Pero los generadores productores de energía generalmente no son monofásicos. Lo más común es que sean trifásicos. Por ello, los sistemas de producción y transporte energético de alta tensión son sistemas trifásicos. Los sistemas trifásicos presentan dos tipos de configuraciones, configuración en estrella en la que la intensidad de línea y de fase coinciden; mientras que la tensión de línea es  $\sqrt{3}$  la tensión de fase. En la configuración en triángulo la tensión de línea y fase coinciden, mientras que la intensidad de línea es  $\sqrt{3}$  la intensidad de fase.

Los desfases, su orden y su representación fasorial es otro elemento importante para la realización de cálculos sencillos de corrientes trifásicas. Constituye lo que se denomina secuencia de fase. En general para analizar un circuito trifásico se es preciso transformarle en una configuración estrella-estrella. En dicho tipo de configuración el estudio del circuito monofásico es sencillo, considerando los principios básicos de análisis de circuitos de corriente alterna. Una herramienta que simplifica los cálculos la constituye los balances de potencias en activa y reactiva. Otra herramienta muy útil para el estudio de sistemas eléctricos es la denominada, valores por unidad, en la que dada una base de potencia, impedancia, intensidad y voltaje, el resto de los valores del circuito se establecen en función de la misma. Se pueden realizar de forma sencilla y mediante reglas de tres cambios de bases.

Además de conocer los principios básicos y fundamentales de la corriente alterna trifásica es preciso conocer también las principales máquinas eléctricas que estarán en todos los sistemas eléctricos tanto en la fase de producción como en la fase de transporte y aprovechamiento de la energía eléctrica. Además de su clasificación en máquinas de corriente trifásica y monofásica; y a su vez de corriente alterna y continua; la clasificación de las máquinas eléctricas más utilizada es:

Maquinas eléctricas estáticas. Dentro de este tipo sólo está el transformador. El transformador consta de dos devanados sobre un núcleo común generalmente de hierro. La variación del flujo magnético en la entrada y en la salida hace que los valores de tensión e intensidad se modifiquen dependiendo del número de espiras a la entrada del transformador y a la salida del mismo. Lo cierto es que los transformadores reales no tienen rendimientos del 100% y por ello hay pérdidas por efectos resistivos y por efectos debidos a campos magnéticos. Los parámetros que tipifican un transformador se determinan mediante 3 ensayos típicos que son el de vacío (que determina la resistencia y la admitancia del transformador), el ensayo de cortocircuito (que determina la tensión de cortocircuito y el circuito equivalente corresponde a una rama serie con el circuito), y finalmente el ensayo de caída de tensión en carga que determina las tensiones nominales y el rendimiento del transformador.

La forma en cómo analizar un transformación cuantitativamente, es utilizando los correspondientes circuitos equivalentes y los valores por unidad. Con ello, se consiguen muchas simplificaciones. Los transformadores pueden ser de muy diversas clases monofásicos, trifásicos. Algunos permiten modificar la relación de transformación para ello se suelen emplear dos métodos principalmente: La adaptación de la tensión de entrada a la variación de la tensión de alimentación y la compensación de las caídas de tensión en carga

### Maquinas eléctricas rotatorias

Síncronas (Generadores y motores): Se compone de un devanado inductor y de un inducido trifásico en donde se produce la corriente alterna cuando se trata de generador. Entre otros parámetros de interés está el número de pares de polos que suele ser 1 ó 2. Los mayores rendimientos se obtienen a velocidades de giro moderadas. Habitualmente la máquina síncrona dispone en el rotor de un devanado adicional denominado amortiguador y su función es amortiguar las variaciones de la velocidad del rotor respecto de la de sincronismos cuando aparece un régimen transitorio.

El giro del rotor en el seno del estator genera una fem denomina tensión interna y una impedancia interna, lo que supone que la tensión en los bornes es la diferencia entre la aplicada y la generada.

Las máquinas síncronas tienen unos límites de funcionamiento que se identifican con 4 parámetros que son: Intensidades del inductor e inducido, la máxima potencia motriz y la mínima excitación. Los límites de funcionamiento se suelen representar a través de un diagrama fasorial.

Asíncronas (generadores y motores): La máquina de inducción es una máquina eléctrica rotativa, en la que un rotor gira en el interior de un estator. Las ranuras del inductor (alimentadas mediante una red trifásica) gira a la velocidad de sincronismo  $n_s$ . Hay dos variante constructivas las máquinas de motor bobinado o anillos rozantes y las de motor de jaula de ardilla

Aunque pueden trabajar como generador, son más utilizadas como motores. La existencia de corrientes en el rotor, junto con el campo magnético giratorio en el entrehierro crea un par de fuerzas que mueve al rotor en el sentido del campo. La velocidad se estabiliza cuando se igualan el par motor y el par resistente, lo que supone una velocidad  $n_r$  inferior a la de sincronismo  $n_s$ . Este fenómeno induce el concepto de deslizamiento, que es una forma de medir la velocidad del motor de forma indirecta. La máquina asíncrona tiene un circuito equivalente similar al del transformador y se estudia como tal.

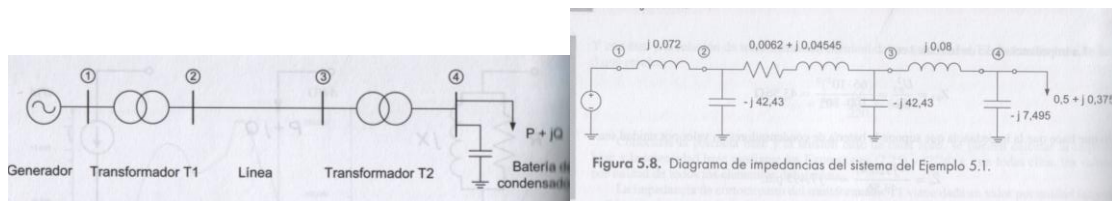
El arranque de un motor asíncrono presenta algunos inconvenientes. Cuando se arranca el deslizamiento vale 1 y se asemeja a un transformador, por ello existen diversos métodos para arrancar motores eléctricos entre los que destacan los siguientes: Por actuación sobre el estator, arranque estrella-triángulo, arranque por actuación sobre el rotor y arranque automático.

Los elementos que unen todos los elementos de circuitos y máquinas anteriormente descritos son los cables. Pero los cables eléctricos en sí mismos, cuando las longitudes son suficientemente grandes presentan ciertos efectos que hay que considerar para la realización de los correspondientes cálculos de diseño. Los cables suelen ser de cobre o de aluminio. En cualquier caso, tienen una resistencia Ohmica, que por ser conductores de primera especie aumenta con la temperatura. Pero además la existencia de corriente alterna que varía con el tiempo, hace que aparezcan efectos inductivos y capacitivos que deben de considerarse, sobre todo el inductivo, el capacitivo suele ser menos importante. Todos estos efectos se suelen representar mediante una impedancia de línea. El resultado es que las líneas de transporte se pueden considerar circuitos de corriente alterna con sus correspondientes impedancias en serie o en paralelo y se deben analizar como tales. Existen algunos efectos y fenómenos que deben ser considerados. Por ejemplo la existencia de perturbaciones externas que se suelen propagar en la línea en forma de ondas y que interfieren con las fases dando lugar a interferencias constructivas o destructivas, con sus propias características. Desde el punto de vista del diseño de la línea es preciso seleccionar el tipo de cable, su grosor y su aislamiento para conseguir un proceso con las mínimas pérdidas de potencia. Para ello se precisa conocer la máxima caída de tensión admisible y la máxima intensidad e corriente admisible. La selección del conductor es un proceso que consta de los siguientes pasos:

# TECNOLOGIA ELECTRICA

- 1.- Se calcula la intensidad de corriente máxima
- 2.- Se elige el dispositivo de protección de línea
- 3.- se determina la sección normalizada
- 4.- Según sea monofásico o trifásico se calcula la caída de tensión.
- 5.- Se compara con los límites establecidos en el RBT.

La normalización en la forma de representar las líneas de transporte es importante. Se suele utilizar dos formas el denominado diagrama unifilar y el diagrama de impedancias y admitancias. Los 6 elementos básicos son el generador, transformador, línea, elementos de protección y maniobra y cargas. Los transformadores y el resto de los elementos pueden ser representados mediante el denominado modelo "pi", resultando circuitos en los que sólo hay cargas y cables y por lo tanto se pueden estudiar con los métodos de análisis de circuitos eléctricos en alterna ya conocidos. El diagrama unifilar permite conocer la topología del sistema y sus elementos. El diagrama de impedancias y admitancias sustituye los elementos por sus modelos "pi" y lo convierte en un circuito listo para su análisis.



Una herramienta matemática muy útil en el análisis de circuito la constituye utilizar el sistema de valores por unidad. Los balances de potencias y flujos de carga, también son herramientas que ayudan a analizar los circuitos. Se recomienda el análisis por nudos y la utilización de admitancias en lugar de impedancias. Los nudos se clasifican en nudos de carga de control de tensión u oscilantes. Los procesos de cálculos se pueden complicar y en algunas ocasiones se utiliza las iteraciones y los tanteos.

Aunque los circuitos suelen ser estables en el tiempo y esta es una premisa para la realización del análisis de los mismos, no siempre es del todo cierto. Como ya se ha comentado pueden existir perturbaciones temporales, que hacen necesario el análisis de circuitos en forma de transitorios. Las perturbaciones transitorias pueden tener diferentes orígenes como el encendido y apagado de generadores y motores en la red, o perturbaciones atmosféricas. Estas últimas son más incontrolables ya que no se dispone de información para su valoración cuantitativa. En cambio el encendido y apagado de motores y generadores sí puede ser valorado y deben de garantizarse el

buen funcionamiento del circuito mediante protecciones adecuadas. El encendido y apagado da lugar a cortocircuitos con valores eficaces y corrientes de cresta que se superponen a los de la denominada corriente simétrica. Una forma de solventar el problema es establecer una serie de parámetros máximo y mínimo que permite normalizar los elementos de protección. El método equivalente de Thévenin se utiliza para facilitar los cálculos en estas condiciones. Las protecciones de los sistemas eléctricos eliminan las situaciones de falta que puedan aparecer, aislando las partes afectadas. Los elementos pueden ser fusibles o sistemas de apertura y cierre. Es necesario detectar la falta (utilizando un relé) y abrir el propio interruptor. Los relés pueden ser de muy diversas clases entre otros destacan los electromecánicos y los de estado sólido. Su parámetro de diseño característico es el tiempo independiente, normalmente inverso, dependiente muy inverso y dependiente extremadamente inverso. Es decir cada relé se identifica con unas series de curvas de funcionamiento. En función de las condiciones de funcionamiento de los circuitos se selecciona uno u otro relé. En cualquier caso, todo el proceso debe estar sujeto a la legislación vigente.

Desde la producción hasta el consumo de la energía se debe recorrer un largo camino. En dicho camino la corriente debe ser acondicionada en los centros de transformación. Dependiendo de los valores de la corriente los centros de transformación pueden ser a la intemperie o bajo envolvente. Aunque no hay regla fija los segundos corresponden a valores de tensión altos y los primeros a valores de tensión baja. En cualquier caso a su vez, dependiendo de la configuración y tipo de obra, existen diversos tipos. Los centros de transformación están constituidos por 4 tipos de componentes que son los cuadros de maniobra, el transformador, los cuadros de protección y los equipamientos auxiliares. En ellos, los diferentes elementos se configuran en celdas que son como armarios, en donde se integran los diversos elementos. Las celdas pueden ser de muy diversos tipos dependiendo de los valores de la corriente y de los tipos de elementos que existan en ella. El aislamiento en los diversos centros de transformación, está establecido bajo normativa y es un problema que debe ser estudiado y resuelto de forma adecuada en cada central particular, considerando las posibles sobrecargas debidas a los elementos o a cuestiones atmosféricas tales como tormentas. Las líneas que transporta la corriente tienen determinados elementos que deben aislar la corriente y aguantar los diferentes esfuerzos de tracción y cortadura de las catenarias de los postes eléctricos. Para ello, se utilizan caperuzas, peanas, materiales de vidrio y cerámico que soportan los esfuerzos y aíslan la corriente.

Las celdas de los centros de transformación albergan los elementos de protección y maniobra. Dichos elementos son los encargados de garantizar la seguridad y el buen funcionamiento de los sistemas eléctricos. Los principales aparatos de maniobra son los seccionadores, los seccionadores de puesta a tierra, los



interruptores, los interruptores-seccionadores, los contactores de alta tensión y los interruptores automáticos.

Los seccionadores unen o separan diferentes partes del circuito para realizar operaciones de reparación o mantenimiento. Esto implica que durante su actuación se produzcan arcos eléctricos que pueden llegar a dañarles. Los seccionadores utilizan diferentes formas electromecánicas para conectar las diferentes partes del circuito y por ello se diferencian en seccionadores de cuchillas giratorias, deslizantes, de columnas giratorias de pantógrafo y de puesta a tierra. La utilización de uno u otro tipo de seccionador depende del tipo de línea principalmente: De esta manera los seccionadores de cuchillas giratorias y los de cuchillas deslizantes se utilizan en media tensión, los de comunas giratorias se utilizan para tensiones superiores a 30 kV y los de pantógrafo para alta tensión. Los seccionadores de puesta a tierra se suelen utilizar para la realización de operaciones de mantenimiento.

La diferencia entre un seccionador y un interruptor, es que el seccionador cambia la configuración del circuito, mientras que el interruptor establece cuando pasa o no la corriente al circuito. Los interruptores pueden ser diversos tipos dependiendo del voltaje y la función en el circuito. Existen interruptores-seccionadores, interruptores automáticos, de alta tensión para motores. En la puesta en funcionamiento de los interruptores se suelen dar fenómenos que deben de controlarse para no dañar el circuito, principalmente corrientes transitorias y formación de arcos eléctricos. Estos últimos pueden dar lugar a daños graves en el circuito por ello, deben ser controlados mediante la utilización de dieléctricos entre los que destaca el aire, el aceite, el hexafluoruro de azufre y el vacío. Las técnicas constructivas en interruptores e interruptores seccionadores más importantes son la ruptura brusca combinada con contactos auxiliares de arco, el soplado con autoformación de gases, autosoplado y aire comprimido, y finalmente, el soplado magnético.

Para seleccionar la aparamenta adecuada a cada sistema eléctrico se debe considerar las características de la corriente y las características de los diferentes aparatos establecidas por los fabricantes de los mismos. El proceso de selección debe hacerse de forma cuidadosa.

El transformador es elemento más importante de los centros de transformación, ya que en él se basa la funcionalidad del centro. Los transformadores pueden ser de potencia, autotransformadores, de medida de pequeña tensión y para aplicaciones especiales. Dentro de los aspectos de diseño de mayor importancia destacan 2: los sistemas de refrigeración y la forma de conexión de los diferentes tipos de transformadores. Para indicar la refrigeración de los transformadores se suelen utilizar 4 letras. La primera indica qué refrigerante se utiliza en los devanados, la segunda el tipo de circulación, la tercera se refiere al medio externo y la cuarta al modo de

circulación del refrigerante externo. Los acoplamientos de los transformadores pueden realizarse de 3 formas diferentes: estrella, triangulo o zigzag indicándose con Y, D o Z. Además también se precisa indicar la secuencia de fases horaria o antihoraria no números correspondientes a las horas del reloj. Para seleccionar los transformadores y realizar los correspondientes ajustes se precisa realizar una serie de ensayos básicos que determinan los parámetros de resistencia y pérdidas de corriente a vacío. Con dichos ensayos se califica el diseño. Además pueden existir ensayos especiales y complementarios que permiten afinar los ajustes.

Establecidas las características de las redes de distribución en alta tensión se pasará a describir las de distribución de baja tensión y las medidas de seguridad que deben ser tomadas para evitar daños materiales y humanos. En primer lugar estableceremos como se realizan las conexiones en baja tensión. Existen 3 topologías básicas que a su vez depende de cómo se realice la conexión de los circuitos a tierra y de los sistemas de seguridad. Si la primera letra de la conexión es la T indica que el neutro del transformador está directamente conectado a tierra, en cambio si es la I la tierra está conectada a la instalación en el centro de transformación. La segunda letra puede ser una T si las masas de los receptores están conectadas directamente a tierra o una N si las masas se conectan al neutro. La tercera letra puede ser una S si las funciones del neutro y del sistema de protección son independientes o una C si las funciones anteriormente aludidas se refieren a un mismo conductor. Con lo anteriormente comentado se pueden realizar muchas variaciones, como se puede suponer debiendo seleccionar la más adecuada a cada tipo de circuito para garantizar la seguridad.