

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

En este primer capítulo se exponen los fundamentos del tema a desarrollar, en donde se establecen sus principios y necesidades, y sobre todo aquella información que puede ser útil para los instaladores de cables, de manera que ésta tesis sea una herramienta que ayude a mejorar la forma en cómo se instalan los cables de energía.

## 1.1 La energía eléctrica en México

El descubrimiento del fenómeno de la inducción electromagnética por *Faraday*, en 1831, que dio lugar al invento del generador eléctrico es el punto inicial de la *Electrotecnia*, cuyo desarrollo está íntimamente ligado al de los sistemas de energía eléctrica. Generalmente se considera que los sistemas de energía eléctrica se inician en 1882 con las instalaciones de *Edison* en *New York*, aunque existían ya algunas instalaciones de alumbrado utilizando lámparas de arco eléctrico.

Al igual que en los otros grandes países de Europa, la generación de energía eléctrica se inició en el nuestro a finales del siglo *XIX*. En 1879 se instaló en León, Guanajuato, la primera planta generadora, misma que fue utilizada por la fábrica textil "*La Americana*". Casi inmediatamente se extendió su uso hacia la producción minera y de forma discreta en la iluminación residencial y pública.

En 1889, operó la primera planta hidroeléctrica en Batopilas, Chihuahua; la cual también extendió sus redes de distribución hacia mercados urbanos y comerciales atractivos, donde la población era de mayor percepción económica. Al iniciarse el siglo *XX*, México contaba con una capacidad de 31.0 [MW], propiedad de empresas privadas. Para 1910 eran 50.0 [MW], de los cuales 80% lo generaba *The Mexican Light and Power Company*, con el primer gran proyecto hidroeléctrico: la planta Necaxa, en Puebla. Tres compañías eléctricas tenían las concesiones e instalaciones de la mayor parte de las pequeñas plantas que funcionaban en los territorios de sus áreas de influencia. En ese período se comenzó el primer esfuerzo para ordenar la industria eléctrica con la creación de la Comisión Nacional para el Fomento y Control de la Industria de Generación y Fuerza, conocida posteriormente como Comisión Nacional de Fuerza Motriz. No fue sino hasta el 2 de diciembre de 1933, cuando se decretó integrar la Comisión Federal de Electricidad, considerándose por vez primera a la electricidad como una actividad nacional de utilidad pública. Cuatro años después, el 14 de agosto de 1937, CFE entró en operación formal. En ese momento, la capacidad instalada en el país era de 629.0 [MW]. Después de una controversial liquidación a Luz y Fuerza del Centro en octubre de 2009, Comisión Federal de Electricidad tomó el control de la distribución de la energía eléctrica en todo el país.

Para poder disfrutar de la electricidad en nuestro hogar, oficina o empresa ésta realiza un complejo recorrido desde los lugares donde se produce pasando por diferentes etapas hasta llegar finalmente a los lugares de consumo.

Un sistema de energía eléctrica consiste de una gran diversidad de cargas eléctricas repartidas en una región, en las plantas generadoras para producir la energía eléctrica consumida por las cargas, una red de transmisión y de distribución para transportar esa energía de las plantas generadoras a los puntos de consumo, y todo el equipo adicional necesario para lograr que el suministro de energía se brinde con las características de continuidad de servicio, de regulación de la tensión y de control de frecuencia requeridas a un costo adecuado.

Todo este recorrido, desde su generación hasta su entrega final, se realiza en lo que se denomina el sistema de potencia. El sistema de potencia se encuentra dividido en: generación, transmisión, subtransmisión y distribución.

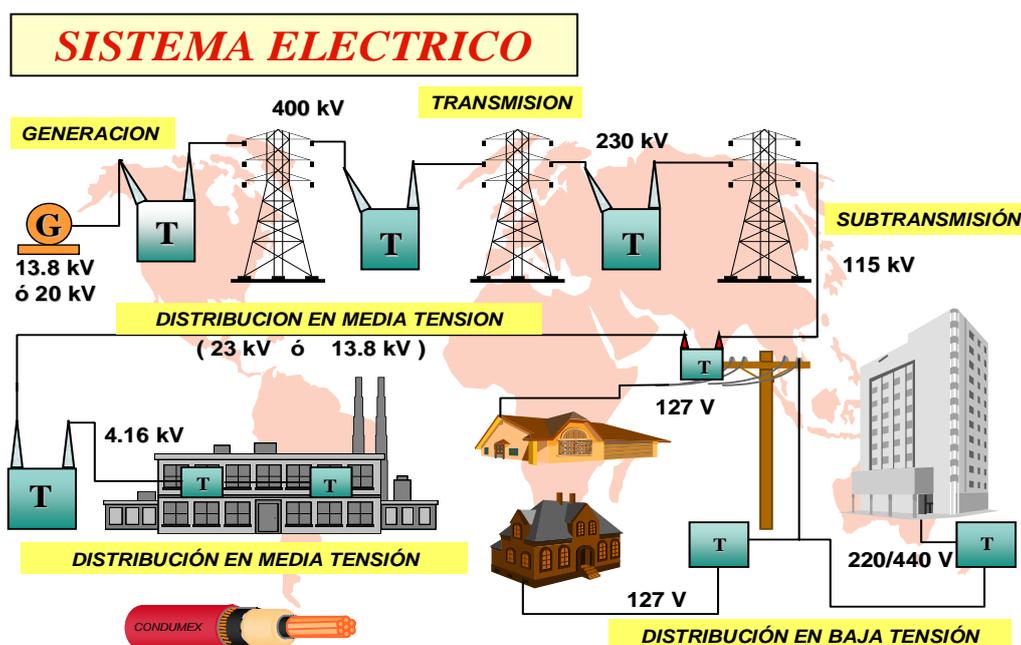


Figura 1. Sistema eléctrico

Fuente: Conдумex. Características de cables de energía de media y alta tensión.

### 1.1.1 Generación

Es aquí donde se realiza la transformación de energía hidráulica, térmica, química, eólica, solar, nuclear, etcétera en energía mecánica y esta a su vez en energía eléctrica.

Los generadores funcionan de manera similar a los motores, pero en forma inversa, esto significa que: mientras a un motor le proporcionamos energía eléctrica para transformarla en energía mecánica; a los generadores debemos de alguna manera entregarle energía mecánica para transformarla en energía eléctrica y así producir electricidad. Existen diversos tipos de plantas generadoras de electricidad entre las que podemos mencionar:

**Hidroeléctrica:** Este tipo de planta es la más económica de todas a largo plazo, ya que requiere de una inversión inicial muy elevada. Es necesario que existan saltos de agua y ríos de gran capacidad para poder construir una central de generación de este tipo. El agua que se va soltando se hace chocar contra las aspas de una inmensa turbina, que esta unida mecánicamente al generador, para así moverlo y éste a su vez producir electricidad. Actualmente la Comisión Federal de Electricidad está construyendo la Central Hidroeléctrica la Yesca que generará 750 [MW] y que se planea quede terminada en febrero de 2011.

**Termoeléctrica:** Estas plantas producen electricidad a partir de la combustión de gas, petróleo o carbón. En este caso se quema el combustible para producir vapor de agua, éste vapor a alta presión es disparado contra las aspas de las turbinas que están acopladas mecánicamente a grandes generadores, moviéndolos y produciendo la energía eléctrica necesaria.

**Nuclear:** En este caso se utiliza el poder calorífico de la fusión nuclear para producir electricidad. En México solo contamos con una planta de este tipo la cual se localiza en Laguna Verde. La central consta de dos unidades, cada una con capacidad de 682.44 [MW] y entró en operación el 29 de Junio de 1990.

**Eólica:** Es el viento en este caso quien mueve las aspas de una especie de molino y estas mueven un generador para producir electricidad. En México la Central de La Venta se localiza, a unos 30 [km] al noreste de Juchitán, Oaxaca.

**Solar:** La energía solar es la energía producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión; llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres. La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar (0.2%) debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Definición obtenida de <http://www.formaselect.com/areas-tematicas/energias-renovables/energia-solar.htm>

**Geotermoeléctrica:** Las plantas geotérmicas aprovechan el calor del vapor de agua proveniente del subsuelo para producir electricidad. Las tensiones de generación usadas en un sistema eléctrico en México son 13.8 [kV] ó 20 [kV].

**Capacidad instalada y generación.** La generación de energía eléctrica en la Comisión Federal de Electricidad se realiza en centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, eólicas y nucleares. A inicios del año este año (2010) se tenían los siguientes datos sobre la capacidad instalada y de generación:

		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010*
Capacidad (MW)	CFE	38,422	37,325	37,470	38,397	38,474	38,927	39,62
	PIE's	7,265	8,251	10,387	11,457	11,457	11,457	11,45
	Total	45,687	45,576	47,857	49,854	49,931	50,384	51,08
Generación (TWh)	CFE	159.53	170.07	162.47	157.51	157.16	154.14	35.72
	PIE's	45.85	45.56	59.43	70.98	74.23	76.50	17.89
	Total	205.39	215.63	221.9	228.49	231.4	230.64	53.61

Tabla 1. Desarrollo de la capacidad instalada y de generación.<sup>2</sup>

En la siguiente tabla se presenta la capacidad efectiva por tipo de generación:

Tipo de Generación	Capacidad efectiva en MW	Porcentaje
Termoeléctrica	23,474.67	46%
Hidroeléctrica	11,134.90	22%
Carboeléctrica	2,600.00	5%
Geotermoeléctrica	964.50	2%
Eoloeléctrica	85.25	0%
Nucleoeléctrica	1,364.88	3%
Termoeléctrica (Productores Independientes)	11,456.90	22%
<b>Total</b>	<b>51,081.10</b>	<b>100%</b>

Tabla 2. Capacidad efectiva instalada por tipo de generación al mes de marzo de 2010<sup>3</sup>

<sup>2,3</sup> Información obtenida de:

<http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/queEsCFE/estadisticas/Paginas/Indicadoresdegeneraci%C3%B3n.aspx>

### **1.1.2 Transmisión y sub-transmisión**

La electricidad producida en centrales generadoras se debe transportar hacia los grandes centros de población, que por lo general se encuentran a una distancia considerable.

Para realizar esta labor de forma eficiente se eleva el voltaje, por medio de transformadores, en los cuales los niveles de tensión utilizados son de 400, 230 y 161 [kV]. Una vez que nos aproximamos a los centros poblados, es necesario reducir el voltaje a valores menores de 69 [kV] y 115 [kV] por medio de transformadores reductores.

### **1.1.3 Distribución**

Finalmente, para poder llegar a cada uno de los hogares, centros comerciales e industrias, se vuelve a reducir el voltaje a niveles de 34.5, 23, 13.8, 6.6, 4.16 y 2.4 [kV] y 120 [V], 240 [V], y 440 [V] por medio de transformadores reductores. De esta forma es mucho más sencillo, económico y seguro, transportar la energía eléctrica a cada rincón del pueblo, urbanización o ciudad. Estamos entonces en la etapa de distribución. Para septiembre de 2007, la longitud de estas líneas fue de 612,651 [km].

Los postes, equipos se colocan en las calles, los cables que parten de los postes hacia cada casa, comercio o industria y los equipos contadores de energía (medidores) son los componentes de la fase de distribución y los últimos en la carrera de la electricidad desde el generador hasta nuestros hogares e industrias.

## **1.2 Formas de transmisión de energía**

La electricidad generada en las plantas eléctricas llega a los consumidores a través de líneas de transmisión, las cuales son construidas de acuerdo con los requerimientos ambientales y normativos vigentes.

### **1.2.1 Líneas aéreas**

Una línea de transmisión aérea está constituida por los conductores, las estructuras de soporte, los aisladores y accesorios para sujetar los conductores a las estructuras de soporte y, en la mayor parte de los casos de las líneas de alta tensión, los cables de guarda para proteger a las líneas de las descargas atmosféricas.

## **1.2.2 Líneas subterráneas**

Las líneas subterráneas consisten en la transmisión de energía eléctrica a través de cables de potencia. Dichos cables consisten, esencialmente, en uno o más conductores aislados mediante materiales enrollados o extruidos sobre los conductores.

Existen otros elementos en el cable que tienen por objetivo hacer eficiente el uso de las cualidades de los aislamientos y el control de campos electromagnéticos dependiendo de la tensión de diseño.

## **1.2.3 Calidad del servicio eléctrico**

El suministro de energía eléctrica debe realizarse con una calidad adecuada, de manera que los aparatos que utilizan la energía eléctrica funcionen correctamente. La calidad del suministro de energía eléctrica queda definida por los siguientes factores: continuidad del servicio, regulación del voltaje, control de la frecuencia y el control de las armónicas.

### **1.2.3.1 Continuidad del servicio**

La energía eléctrica ha adquirido tal importancia en la vida moderna, que una interrupción de su suministro causa graves trastornos y pérdidas económicas importantes. Por lo cual, para asegurar la continuidad del suministro deben tomárselas disposiciones necesarias para hacer frente a una falla en algún elemento del sistema. A continuación se mencionan las principales:

- a) Disponer de la reserva de generación adecuada para hacer frente a la posible salida de servicio, o indisponibilidad, de cierta capacidad de generación.
- b) Disponer de un sistema de protección automático que permita sacar de servicio rápidamente cualquier elemento del sistema que ha tenido una falla.
- c) Diseñar el sistema de manera que la falla y desconexión de un elemento tenga la menor repercusión posible sobre el resto del sistema.
- d) Disponer de los circuitos de alimentación de emergencia necesarios para hacer frente a una falla en la alimentación normal.
- e) Disponer de los medios para un restablecimiento rápido del servicio, disminuyendo así la duración de las interrupciones, cuando éstas no han podido ser evitadas.

### 1.2.3.2 Control de la frecuencia

Los sistemas de energía eléctrica funcionan a una frecuencia determinada, dentro de cierta tolerancia. En los países de Europa, la mayor parte de los de países asiáticos, africanos y algunos de Sudamérica han adoptado una frecuencia de 50 [Hz]. En América del Norte y otros países del continente americano los sistemas eléctricos funcionan a 60 [Hz]. En general, el equipo eléctrico de un sistema, como los generadores y los transformadores, está diseñado para funcionar a una frecuencia determinada y lo mismo puede decirse de los equipos de distribución y utilización. En México la frecuencia estándar de generación, distribución y utilización es de 60 [Hz].

El rango de las variaciones de frecuencia que pueden tolerarse en un sistema depende tanto de las características de los aparatos de utilización, como el funcionamiento del sistema mismo.

En algunas aplicaciones, como, por ejemplo, la industria de fabricación del papel, la variación de la velocidad debida a la variación de frecuencia puede afectar el buen funcionamiento del proceso de fabricación.

Tomando en cuenta todos estos factores puede decirse que, desde el punto de vista del adecuado funcionamiento de los aparatos de utilización, es suficiente controlar la frecuencia con una precisión del 1%.

Por último, entre las características que debe cumplir la frecuencia de un sistema, puede incluirse su pureza, es decir, que el porcentaje de armónicas sea despreciable. Esto requiere, en primer lugar, que los generadores proporcionen una tensión lo más aproximada posible a una tensión sinusoidal.

En segundo lugar, hay que limitar a valores tolerables la aparición de armónicas en otros puntos del sistema, como pueden ser los circuitos magnéticos de los transformadores, que están diseñados para funcionar a densidades de flujo próximas a los valores de saturación. Una disminución excesiva de la frecuencia o un aumento de la tensión pueden causar la saturación del circuito magnético y la deformación de la onda de la tensión inducida.

La presencia de armónicas debidas a cargas no lineales causa pérdidas adicionales y puede afectar el funcionamiento de ciertos tipos de aparatos, así como producir también fenómenos de resonancia que pueden dañar el equipo.

