



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“SERVICIO ELÉCTRICO EN EDIFICIOS ELEVADOS”**

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

PRESENTA:

**VÁZQUEZ RODRÍUEZ LINO JUAN**

DIRECTOR DE TESIS:

ING. GUILLERMO LÓPEZ MONROY



México, D.F. Ciudad Universitaria. 2014

**Jurado asignado:**

Presidente: ING. HUGO ALFREDO GRAJALES ROMÁN  
Vocal: ING. GUILLERMO LÓPEZ MONROY  
Secretario: ING. CÉSAR MAXIMILIANO LÓPEZ PORTILLO ALCÉRRECA  
1<sup>er</sup> Suplente: M.I. LUIS CÉSAR VÁZQUEZ SEGOVIA  
2<sup>do</sup> Suplente: ING. RODOLFO MARTÍNEZ QUERO

**Director de tesis**  
ING. GUILLERMO LÓPEZ MONROY

.....

Firma

## **Agradecimientos...**

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por darme el privilegio de formar parte de la Máxima casa de estudios.

A la **Facultad de Ingeniería y a sus profesores**, por todo el conocimiento que me brindaron, por su disposición y apoyo. Principalmente a mi **Director de Tesis** que me dio la oportunidad de desarrollar este trabajo. A mis **Asesores**, por compartir sus conocimientos, experiencias y consejos. Porque pude crecer como profesionista y como persona, ya que sus bases respaldan el logro que hoy concluyo. Gracias.

Le doy gracias **a mis padres Juan y Silvia**, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una educación en el transcurso de mi vida. Pero sobre todo, por el amor que siempre me han brindado; este logro es de ustedes.

Un especial agradecimiento **a mi hermana Silvia F.**, por todo el apoyo brindado, por todos los consejos y regaños, por los buenos y los malos ratos, las tareas, las horas de estudio y por ayudarme a poner mis pies en la tierra. Sobre todo por ser un ejemplo a seguir. Nunca acabaré de agradeceréte, gracias hermana.

**A Diana**, se merece muchas palabras, ya que con ella he compartido incontables horas de estudio y trabajo. Gracias por acompañarme en mis desvelos, por estar ahí presente conmigo y por tu más valiosa compañía. Por el respaldo, amor y amistad que me has dado, gracias Diana.

A toda mi familia, que a pesar de la distancia siempre estuvieron a mi lado. Especialmente a mi **prima Lore**, por los buenos y malos momentos, espero que aprendas de la experiencia de los que te rodean. Las palabras nunca serán suficientes para testimoniar mi aprecio y agradecimiento.

**A todos mis amigos y compañeros**, que no acabaría de nombrarlos, ya que con ustedes he compartido buenos ratos. Por el respaldo y amistad, gracias.

A mis amigos que ya no están conmigo. Donde quiera que se encuentren gracias.

A todos mi mayor reconocimiento y gratitud.

*L. Juan V.R*

## ÍNDICE

### Introducción

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1 Historia de México .....	1
1.2 Historia de la electricidad.....	4
1.2.1 La guerra de las corrientes .....	10
1.3 CALIDAD EN EL SERVICIO .....	17
1.3.1 Antecedentes .....	17
1.3.2 ¿Qué es la calidad? .....	19
1.3.3 ¿Qué es servicio? .....	21
1.4 SERVICIO ELÉCTRICO EN MÉXICO .....	23
1.4.1 Antecedentes .....	23
1.5 Calidad del servicio eléctrico .....	30
1.5.1 Calidad de suministro .....	31
1.5.2 Calidad del producto .....	33
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>36</b>
<b>2 RASCACIELOS.....</b>	<b>36</b>
2.1 Antecedentes.....	36
2.2 EDIFICIO INTELIGENTE .....	39
2.2.1 Concepto.....	39
2.3 EDIFICIOS DE ALTURA.....	42
2.4 EDIFICIOS MAYORES A 110 PISOS EN EL MUNDO .....	45
2.4.1 Burj Khalifa.....	45
2.4.2 Torre Central De Shanghái .....	53
2.4.3 Torres Abraj Al Bait .....	58
2.5 EDIFICIOS MAYORES A 50 PISOS EN MÉXICO .....	61
2.5.1 Torre Mayor .....	61
2.5.2 Torre Ejecutiva PEMEX .....	66
2.5.3 World Trade Center, Ciudad de México .....	69

<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>74</b>
<b>3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....</b>	<b>74</b>
3.1 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.....	74
3.2 Componentes del sistema de distribución .....	75
3.2.1 Subestaciones receptoras secundarias .....	75
3.2.2 Alimentadores primarios .....	75
3.2.3 Transformadores de distribución .....	76
3.2.4 Alimentadores secundarios .....	76
3.2.5 Acometida.....	77
3.3 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN MÁS USADOS .....	78
3.3.1 Sistema radial .....	78
3.3.2 Sistemas radiales aéreos .....	79
3.3.3 Sistemas radiales subterráneos.....	81
3.3.4 Sistema en anillo .....	82
3.3.5 Sistema mallado .....	83
3.4 ELEMENTOS SECUNDARIOS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN .....	84
3.4.1 Interruptores .....	84
3.4.2 Fusibles.....	85
3.4.3 Cuchillas .....	85
3.4.4 Aisladores.....	86
3.4.5 Apartarrayos .....	86
3.4.6 Restauradores .....	87
3.4.7 Seccionadores.....	87
3.4.8 Capacitores .....	88
3.4.9 Reactores.....	88
3.5 Factor de demanda eléctrica en México.....	89
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>90</b>
<b>4 SECCIONADORES EN SF<sub>6</sub>.....</b>	<b>90</b>
4.1 El SF <sub>6</sub> .....	90
4.2 ¿Qué es un seccionador? .....	91
4.3 Reglas para abrir y cerrar un seccionador .....	92
4.4 Seccionador en SF <sub>6</sub> .....	93
4.4.1 Características del seccionador trifásico: .....	93

4.4.2	Configuración de seccionadores .....	94
4.4.3	Ventajas .....	94
4.5	Pruebas generales para los seccionadores .....	95
4.6	Pruebas de funcionamiento sobre los seccionadores .....	95
4.7	Pruebas eléctricas y mecánicas sobre los seccionadores .....	95
<b>CAPÍTULO 5</b>	.....	<b>97</b>
<b>5</b>	<b>TRANSFORMADORES TIPO INTERIOR</b> .....	<b>97</b>
5.1	Transformador seco .....	97
5.2	Transformador seco de Uso General .....	98
5.3	Transformador seco de relación múltiple .....	98
5.4	Transformador Seco con Factor K .....	98
5.5	Autotransformador .....	99
5.6	Transformador seco de aislamiento .....	99
5.7	Transformadores Encapsulados en Resina .....	99
5.8	Ventajas de los transformadores secos .....	100
5.9	Componentes de un transformador seco .....	101
5.10	Transformador con aceite mineral .....	101
5.10.1	Desventajas .....	102
5.11	Transformador con aceite biodegradable .....	102
5.11.1	Ventajas .....	103
<b>CAPÍTULO 6</b>	.....	<b>104</b>
<b>6</b>	<b>TABLERO ELÉCTRICO</b> .....	<b>104</b>
6.1	Definición .....	104
6.1.1	Diagrama unifilar .....	104
6.1.2	Diagrama de control .....	105
6.1.3	Diagrama de interconexión .....	105
6.2	Normatividad .....	105
6.3	Parámetros de seguridad .....	107
6.4	CLASIFICACIÓN DE TABLEROS ELÉCTRICOS .....	109
6.5	TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN .....	112
6.5.1	Características de construcción .....	112
6.5.2	Normas de fabricación .....	113
6.6	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN .....	113

6.6.1	Diseño .....	113
6.6.2	Tablero de distribución blindada Metal-clad y Metal-enclosed.....	114
6.7	Alcance del suministro .....	115
6.7.1	Transformador de potencial (TP) .....	116
6.7.2	Transformador de corriente (TC) .....	116
6.7.3	Equipo de medición .....	117
6.7.4	Barras de cobre .....	118
6.7.5	Barra de tierra .....	118
6.7.6	Alimentador de voltaje de control.....	118
6.7.7	Interruptores .....	119
<b>CAPÍTULO 7 .....</b>		<b>120</b>
<b>7</b>	<b>ESTRUCTURAS ELÉCTRICAS EN EDIFICIOS ELEVADOS .....</b>	<b>120</b>
7.1	Factores de suministro .....	121
7.2	Tipos de suministro.....	122
7.3	Sistema radial.....	123
7.3.1	Sistemas de alimentación con alimentador principal continuo.....	124
7.3.2	Sistema de alimentación con alimentadores por grupos.....	126
7.3.3	Sistema de alimentación con alimentadores individuales.....	127
7.4	Sistema en anillo abierto .....	128
7.5	Sistema en derivación doble .....	130
7.6	Mancha de red .....	132
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>		<b>134</b>
<b>8</b>	<b>Resultado y conclusiones.....</b>	<b>134</b>
<b>9</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>136</b>

## Introducción

El presente trabajo tiene por objetivo, realizar un análisis cualitativo del servicio eléctrico de un edificio. Así como dar a conocer la mejor estructura eléctrica, que permita brindar un servicio eficiente para todos los niveles del edificio elevado.

Actualmente en la Ciudad de México, obtener un suministro de energía eléctrica de manera confiable y eficiente es un verdadero reto. La suspensión temporal de la electricidad es un dolor de cabeza para muchos usuarios, además los cambios bruscos de corriente eléctrica, como de voltajes, amenazan gravemente a los equipos de cómputo así como a otros aparatos de mucha sensibilidad, causando una gran preocupación a los edificios.

Otro factor importante en los edificios es el uso incorrecto de conductores, que representan una gran resistividad eléctrica, provocando una caída de tensión en su trayecto por distribuir la energía eléctrica en los diferentes niveles del edificio.

El sobrecalentamiento de los cables es otro factor importante, ya que este es causado por el mal diseño de cargas eléctricas. Dicho problema también puede provocar el calentamiento excesivo de los tableros de distribución, así como su propia tubería y conexiones aledañas.

Por otra parte al presentarse una falla eléctrica en un edificio, el sistema eléctrico se colapsa, debido al mal diseño de la estructura eléctrica, así como a la elección de los sistemas de protección.

El propósito de este trabajo de tesis es aplicar una metodología cualitativa, con el fin de elegir la mejor estructura que permita el abastecimiento eléctrico permanente en los edificios elevados, es por eso que nuestro principal punto de referencia de esta investigación son las subestaciones de tipo interior y estructuras eléctricas, así como sus respectivos sistemas de seguridad.

A lo largo del desarrollo del temario se adoptarán ciertos procedimientos para abastecer los requerimientos necesarios para obtener un resultado satisfactorio y confiable, dentro de los cuales encontramos lo siguiente:

En el primer capítulo, se explicará cómo iniciaron las primeras construcciones, desde un pequeño centro ceremonial hasta los grandes edificios que conocemos hoy en día. Asimismo, se relatará cómo ha evolucionado la electricidad a través del tiempo y cómo ha llegado a ser una parte importante para nuestras vidas. De igual forma, se consideran los antecedentes de la calidad del servicio eléctrico, que le corresponden a las instituciones comisionadas, como en el caso de México, a la empresa estatal encargada del suministro de la energía eléctrica.

En el segundo capítulo se describirá los antecedentes referentes a los primeros edificios cimentados en el mundo, así como los construidos en la Ciudad de México, logrando con ello, una amplia visión del avance arquitectónico y tecnológico.

Más adelante para lograr el propósito de la investigación, los siguientes capítulos constarán de:

- ✚ Establecer una comparación entre los diversos tipos de arreglos utilizados en los sistemas de distribución, con el fin de conocer los tipos de voltaje con los cuales podemos alimentar a los edificios.
- ✚ Una vez obteniendo los tipos de voltaje de alta, media y baja tensión, elegir una subestación que más convenga para la instalación de tipo interior.
- ✚ Se definirá las partes y etapas que conforma a una subestación de tipo interior, con el fin de elegir los componentes más adecuados para el lugar.
- ✚ Se procederá a conocer los arreglos eléctricos, utilizados en los edificios, así como sus sistemas de protección, cuyo objetivo será elegir el sistema que más convenga para que el edificio esté siempre alimentado eléctricamente en caso de presentar una falla.
- ✚ Se dará a conocer las ventajas y desventajas del arreglo utilizado, así como la distribución de las subestaciones en los niveles del edificio.

Comparar los diseños de estructuras eléctricas ya existentes nos ayudará a elegir el mejor diseño a implementar en un edificio. A su vez, el mismo diseño nos ayudará a elegir el número de subestaciones que contendrá nuestro edificio.

Es importante mencionar que por medio de esta tesis se espera conocer un arreglo eléctrico confiable que permita tener energizado todos los niveles del edificio, así como librar cualquier falla eléctrica que se presente, partiendo de eso se espera obtener una subestación eléctrica de tipo interior, para la seguridad de los usuarios como del propio edificio.

Se espera que se utilice el sistema en anillo como mejor estructura eléctrica para el edificio, ya que esta mejora la calidad de servicio eléctrico, permitiendo librar la mayor parte de las fallas sin dejar de brindar servicio eléctrico a los usuarios.

Para ello, se espera mejorar la calidad de servicio eléctrico en los edificios elevados, utilizando diversas subestaciones en sus diferentes niveles, pues así se logrará reducir al mínimo las caídas de tensión, dado que entre más niveles tenga el edificio es muy común encontrar cargas grandes, ya sean motores para elevadores, equipos de calefacción así como aire acondicionado.

Es por eso que dependiendo del número de pisos de un edificio, es necesario distribuir con precisión las subestaciones eléctricas entre sus pisos superiores.

Por otra parte, esta tesis trata de proponer un mejor aprovechamiento del sistema eléctrico, con el fin de brindar un buen servicio en un edificio elevado, obteniendo grandes beneficios económicos y materiales. Ya que tras la utilización de una subestación de tipo interior se pretende reducir el costo y espacio de instalación, sin necesidad de construir bóvedas especiales y sin temor a que la subestación estalle. Esto trae consigo también beneficios en otros rubros, como la utilización de una subestación de tipo interior, que reduce la cantidad de desechos tóxicos, ayudando así al medio ambiente.

## CAPÍTULO 1

### 1 ANTECEDENTES

Durante la existencia de la humanidad, el hombre ha buscado la manera de protegerse de la noche y los malos tiempos de la naturaleza.

#### 1.1 Historia de México

De acuerdo a los datos históricos, la ciudad de México en sus tiempos prehispánicos fue habitada por tribus mexicas provenientes de la mítica Aztlán, quienes formarían su imperio donde estuviera “un águila parada sobre un nopal devorando una serpiente”<sup>1</sup>; tal y como se los había ordenado su Dios Huitzilopochtli. Tras viajar y recorrer gran parte de territorio mexicano los mexicas encontraron aquél lugar en un islote del lago de Texcoco, y en él se asentaron para darle el nombre de Tenochtitlan.

Tras el asentamiento del islote, los mexicas comenzaron la construcción de un pequeño centro ceremonial al que, con el paso del tiempo, se le fueron agregando palacios, edificios administrativos y calzadas que lo unían a tierra firme con los pueblos de Tepeyac, Tacuba, Iztapalapa y Coyoacán. El crecimiento de la ciudad prehispánica llegó a contar con una estructura urbana excepcional, con complejos sistemas de chinampas, calzadas y grandes canales para navegar.



Fig.1.01, Ciudad de México Tenochtitlan, Construida en un lago en los años 1325-1520

<sup>1</sup> Alvarado Tezozómoc, Fernando, *Crónica Mexicáyotl*, 1609. México, UNAM, Instituto de Investigaciones Históricas, 1949. - *Crónica mexicana*, 1598. México, Leyenda, 1944.

Los Mexicas mantenían relaciones de tensión con los Altépetl sometidos, a los que les imponían fuertes cargas tributarias. Lamentablemente esta situación fue aprovechada por los españoles, que recién llegados en 1519, rápidamente establecieron alianzas con los Zempoaltecas y los Tlaxcaltecas, iniciando así la culminación y esclavización de los Mexicas.

Los españoles se asentaron inicialmente en Coyoacán, donde el capitán Hernán Cortés recompensó a sus aliados con el botín obtenido en Tenochtitlan, al mismo tiempo que se iniciaba el proyecto de fundar una ciudad cabecera del reino de la Nueva España, nombrando a las autoridades y creando el primer ayuntamiento.

A principios de 1522, se dio inicio del nacimiento de la nueva raza de españoles, quienes modificaron las calzadas y definieron las áreas para vivienda y uso de los españoles en forma reticular, quedando reservado su perímetro para la población indígena. Ésta última tenía como límites, en forma aproximada, la calle de la Santísima al oriente, la de San Jerónimo o San Miguel al sur, la de Santa Isabel al poniente y la zona de Santo Domingo al norte, conservando hacia su exterior los cuadrantes de la ciudad indígena a los que se les asignaron los nombres cristianos de San Juan, Santa María, San Sebastián y San Pablo.

Después de la limitación de zonas, se dio inicio a la construcción de edificios, comenzando por una fortaleza que permitía a los españoles protegerse de posibles invasiones o rebeliones indígenas. Esta fortaleza se construyó posiblemente entre 1522 y 1524, en el lugar en el que posteriormente se levantaría el Hospital de San Lázaro. La nueva población todavía conservó durante algún tiempo el nombre de Tenochtitlan, aunque deformado por el de Temixtitan.

Las edificaciones que la complementaron en los principios de la Colonia fueron otra fortaleza, limitada por las calles de Tacuba, San José el Real, Empedradillo y Plateros, las casas de cabildo, la carnicería, la cárcel, las tiendas para los mercaderes y la plaza en donde se colocaron la horca y la picota.

Para finales del siglo XVI, la naciente capital de la Nueva España contaba con cerca de 35 edificios importantes, de los cuales muy pocos se conservaron debido

a las modificaciones y reconstrucciones que sufrieron. Así por ejemplo, en 1524 se construyeron el templo y convento de San Francisco, uno de los más antiguos; el convento fue seccionado en épocas posteriores y el templo fue modificado en el siglo XVIII. También se encuentra el Colegio de San Idelfonso, fundado en 1588.



**Fig. 1.02, Antiguo Colegio de San Idelfonso, 1558**

Otro de estos edificios fue el conjunto del templo y convento de Santo Domingo, primero de la orden dominica en el país; se sabe que el templo fue consagrado en 1590 y el convento original reemplazado por otro levantado en 1736 en estilo barroco. Al costado oriente del templo se levantó el Palacio de la Inquisición, obra de 1736 que suplía al tribunal que ya se encontraba allí; el conjunto fue construido por el arquitecto Pedro de Arrieta en estilo barroco sobrio. Actualmente alberga al Museo de la Medicina Mexicana.

La Real y Pontificia Universidad de México, la más antigua de América, fue fundada en 1551 y su edificio levantado por el capitán Melchor Dávila. También se encuentran el hospital e iglesia de Jesús, fundados en 1524 y uno de los pocos edificios que conservan parcialmente su estado original. El sitio en el que se localizan fue señalado por los historiadores como el lugar en el que se reunieron Hernán Cortés y Moctezuma II a la llegada del primero a la ciudad. El interior del hospital alojó durante muchos años los restos de Hernán Cortés.

La Catedral Metropolitana es uno de los edificios con más historia de la ciudad. Su construcción se inició en 1573 a partir de un proyecto del arquitecto Claudio de Arciniega, y se concluyó casi 300 años después con la intervención de hombres como José Damián Ortiz de Castro y don Manuel Tolsá. El gran conjunto llegó a

integrar en su poderosa estructura diversos estilos que fueron del barroco al neoclásico, pasando por el herreriano.

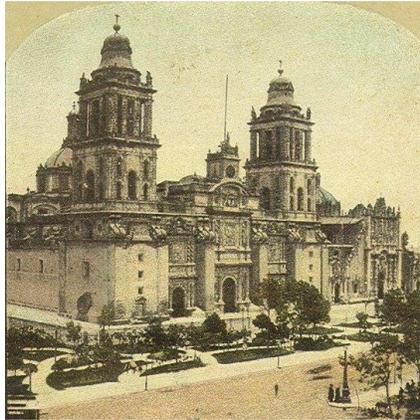


Fig. 1.03, Catedral Metropolitana, 1813.

Desafortunadamente, las inundaciones en la ciudad de México, contribuyeron a la destrucción de gran parte de los edificios del siglo XVI y principios del XVII. Sin embargo la Tenochtitlan, dejaría de serlo y pasaría a ser una nueva y majestuosa ciudad con grandes edificaciones en los años subsiguientes.



Fig. 1.04, Plaza de la Constitución, 1844<sup>2</sup>

## 1.2 Historia de la electricidad

El fenómeno de la electricidad en la naturaleza ha estado presente desde la antigüedad, pero no fue hasta el año de 600 a. C. aprox. en el país de Grecia, cuando Thales de Mileto (625/4 a. C. -547/6 a. C.) descubre la electricidad estática,

---

<sup>2</sup> [www.conaculta.gob.mx](http://www.conaculta.gob.mx)

comprobando las propiedades eléctricas del ámbar, descubriendo que al ser frotado con una pieza de piel, adquiere el poder de atraer pequeños objetos.<sup>3</sup>

También descubrió que dos varillas de ámbar después de ser frotadas entre sí se repelían, pero la razón de esos fenómenos no era comprendida. Gracias a esos descubrimientos se abrieron camino a nuevos estudios y nuevas teorías, con el paso del tiempo aproximadamente en el año 300 a. C., el griego Teofrasto (372 a. C. - 288 a. C.), habla de que existen otras sustancias que tienen la misma propiedad que el ámbar. Realizado un estudio de los diferentes tipos de materiales que eran capaces de producir fenómenos eléctricos escribió el primer tratado sobre la electricidad, en donde se establece que existen varias sustancias, aparte del ámbar, que poseen la propiedad de atraer objetos al ser frotados. Así deja constancia de lo que sería el primer estudio científico sobre la electricidad.



Fig. 1.05, piedra de ámbar

Hacia el año de 1600, la Reina Elizabeth ordena al Físico Real Willian Gilbert estudiar los imanes para mejorar la exactitud de las brújulas usadas en la navegación, siendo éste trabajo la base principal para la definición de los fundamentos de la Electrostática y Magnetismo.<sup>4</sup>

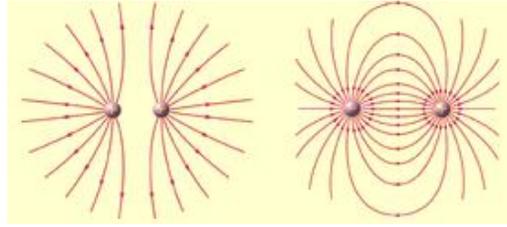
El físico real británico William Gilbert, utilizó por primera vez la palabra electricidad, creada a partir del término griego elektron (ámbar). Fue así como se realizaron los primeros estudios sobre electrostática y magnetismo así como las primeras distinciones entre electricidad y magnetismo.

---

<sup>3</sup> Filloy Y., Eugenio (1976). La geometría y el método axiomático. Revista Matemática. Matemáticas y Enseñanza. Sociedad Matemática Mexicana. Números 3, 4, 5, 6.

<sup>4</sup> José Luis Díaz Gómez,(2002), Apuntes de Historia de las Matemáticas vol.1, no.1

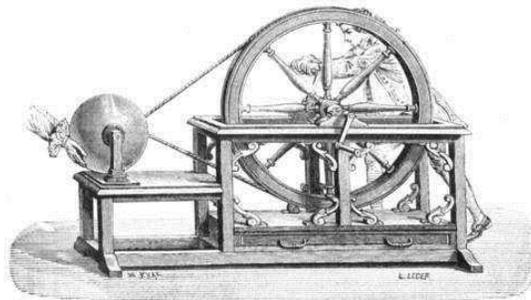
Más tarde se comprobó que otros cuerpos, como la piedra imán, el vidrio, la resina, el diamante y el cuarzo, tenían fuerza de atracción semejante a la del ámbar. Sin embargo, tuvieron que transcurrir muchos siglos para que se buscara una explicación racional de aquellos fenómenos.



**Fig. 1.06, campos magnéticos, atracción y repulsión.**

En el año de 1672 el físico alemán Otto von Guericke (1602 - 1686), inventó la primera máquina eléctrica o electrostática. El aparato era capaz de producir una carga eléctrica y su funcionamiento se basaba en una bola de azufre como aislador, que se hacía girar por una manivela, sobre la cual sí inducía una carga al apoyar una mano sobre ella. La esfera mantenía una gran cantidad de carga eléctrica y solo se descargaba acercándole un conductor al extremo. Además de atraer pequeños trozos de papel producía chispas mientras se la frotaba.

Por primera vez se veía que la electricidad podía fluir, aunque en realidad se pensaba que era un fluido que era transferido de un objeto a otro por frotamiento. Aproximadamente un año después el francés Francois de Cisternay Du Fay fue el primero en identificar la existencia de dos cargas eléctricas a lo que hoy le llamamos carga positiva y carga negativa.



**Fig. 1.07, Máquina Electrostática inventada por Otto von Guericke (1602-1686)**

El norteamericano Benjamín Franklin (1706 - 1790), en el año de 1749 aproximadamente, realizó su grandísimo experimento en Filadelfia, elevando un cometa en un día de tormenta, el cometa estaba compuesto por una estructura de metal atado a un hilo de seda, en cuyo extremo llevaba una llave metálica. En esa prueba pudo observar que la llave se cargaba de electricidad, demostrando así que las nubes tienen electricidad y los rayos son descargas eléctricas. Gracias a ese experimento y a sus estudios, inventó el pararrayos, protección que se aplica en la protección de edificios.



**Fig. 1.08, Benjamín Franklin (1706 - 1790), y su grandísimo experimento**

El físico francés, Charles Coulomb (1736 - 1806), estudió las leyes de atracción y repulsión eléctrica. En el año de 1777 inventó la balanza de torsión que medía la fuerza por medio del retorcimiento de una fibra fina y rígida a la vez, midiendo la fuerza de atracción magnética y eléctrica. Gracias a este invento, fue capaz de establecer el principio, conocido ahora como ley de Coulomb, que rige la interacción entre las cargas eléctricas.

También, realizó investigaciones de las fuerzas de rozamiento y sobre molinos de viento, así como, acerca de la elasticidad de los metales y las fibras de seda. Actualmente la unidad de medida de carga eléctrica es el Culombio o Coulomb [C], nombrada en honor de Charles Augustin de Coulomb.

El científico italiano Alessandro Volta (1745 - 1827), también contribuyó notablemente al estudio de la electricidad. En 1775 inventó el electróforo, dispositivo que generaba y almacenaba electricidad estática. Hacia 1800 había desarrollado la

llamada pila de Volta, explicando por qué se produce electricidad cuando dos cuerpos metálicos diferentes se ponen en contacto.

Mediante las múltiples pruebas que realizó pudo determinar que los metales más apropiados para esa función eran el zinc y la plata (que posteriormente sustituiría por cobre). El siguiente paso fue experimentar lo que ocurriría si conectaba una mezcla de sal sobre un cartón, posteriormente sustituyendo ese material por una pasta húmeda de sal, uniéndola entre los dos metales, para formar una celda. De esa manera pudo unir varias capas entre sí, colocándolas unas encima de las otras, hasta formar una batería de celdas conectadas en serie. Empleó su descubrimiento para elaborar la primera pila eléctrica del mundo; para ello, combinó dos metales distintos con un líquido que servía de conductor. Hoy en día a la unidad eléctrica es conocida como Voltio en su honor.



**Fig. 1.09, Batería de celdas conectada en serie por Alessandro Volta (1745 - 1827).**

Fue el físico alemán Georg Simon Ohm (1789 - 1854), quien describió la resistencia eléctrica de un conductor, descubridor de la ley de la electricidad que lleva su nombre, según la cual la intensidad de una corriente a través de un conductor es directamente proporcional a la diferencia de potencial entre los extremos del conductor e inversamente proporcional a la resistencia que éste opone al paso de la corriente, en 1827 estableció la ley fundamental de las corrientes eléctricas al encontrar que existe una relación entre la resistencia de un conductor, la diferencia de potencial y la intensidad de corriente eléctrica. En honor a Georg

Simon Ohm, se le dio a la unidad de medida de la resistencia eléctrica el nombre de Ohm.

Por su parte, el físico y químico inglés Michael Faraday (1791 - 1867), descubrió como se podía emplear un imán para generar una corriente eléctrica en una espiral de hierro. Propuso la teoría sobre la electrización por influencia, al señalar que un conductor hueco (jaula de Faraday) forma una pantalla por las acciones eléctricas. A partir del descubrimiento de la inducción electromagnética, en 1831, Faraday logró inventar el generador eléctrico y con ellos fue el desarrollo de los sistemas de energía eléctrica.

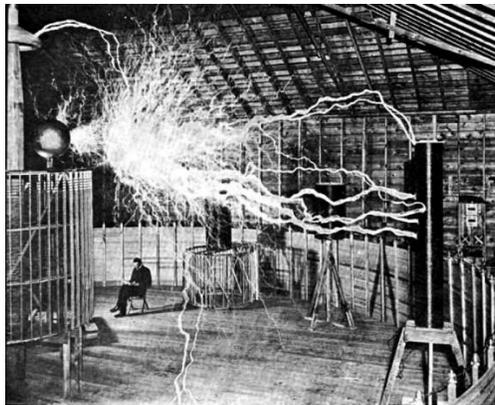


Fig. 1.10, Michael Faraday (1791 - 1867) y su laboratorio.

El físico inglés *James Joule* (1818 - 1889), estudió los fenómenos producidos por las corrientes eléctricas y el calor desprendido en los circuitos eléctricos. En el transcurso de sus investigaciones sobre el calor desprendido en un circuito eléctrico, formuló la actualmente conocida como Ley de Joule que establece que la cantidad de calor producida en un conductor por el paso de una corriente eléctrica cada segundo, es proporcional a la resistencia del conductor y al cuadrado de la intensidad de corriente.

El del norteamericano *Joseph Henry* (1797 - 1878), construyó el primer electroimán; el ruso *Heinrich Lenz* (1804 - 1865), enunció la ley relativa al sentido de la corriente inducida; el escocés *James Maxwell* (1831 - 1879), propuso la teoría electromagnética de la luz y las ecuaciones generales del campo electromagnético; *Thomas Alva Edison* (1847 - 1931), a quién se le atribuye la invención de la lámpara

incandescente; está en realidad sólo fue perfeccionada por él, tras muchos intentos consiguió un filamento que alcanzara la incandescencia sin fundirse, el yugoslavo *Nikola Tesla (1856 - 1943)*, inventó el motor asincrónico y estudió también las corrientes polifásicas; y el inglés *Joseph Thomson (1856-1940)*, investigó la estructura de la materia y de los electrones.

En los siguientes años, se realizaron numerosos estudios sobre la electricidad, así como el mejoramiento de las ya inventadas tecnologías, logrando una gran evolución, propiciando también una gran disputa entre dos grandes ideas.

### 1.2.1 La guerra de las corrientes

Cabe mencionar que *Thomas Alva Edison*, nació el 11 de febrero de 1847, en la ciudad norteamericana de Milan, una pequeña población de Ohio. Fue un empresario y un gran inventor que patentó más de mil inventos en su vida, entre los cuales destacan el fonógrafo, el altavoz de transmisión telefónica, la bombilla de luz y muchos conceptos básicos para comprender los aparatos de imágenes en movimiento que hoy conocemos.<sup>5</sup>



Fig.1.11, Retrato de Thomas Alva Edison (1847 - 1931)

Gracias a los estudios y descubrimientos del científico italiano *Alessandro Volta*, *Thomas Alva Edison*, en 1882, logró poner en marcha una vida moderna, obteniendo excepcionales aportaciones y avances tecnológicos al mundo, ideó numerosos y grandes motores de vapor que alimentaban a varios dinamos capaces de producir una corriente continua que, conectada por cables, podían suministrar energía desde una central hasta los hogares de distintos lugares. Debido a la

---

<sup>5</sup> Levy, Joel. (2010). Rivalidades Científicas. Madrid: Paraninfo S.A..

presentación de la lámpara de *Thomas Alva Edison*, los nuevos sistemas de iluminación eléctricos se convirtieron en el logro tecnológico más importante del mundo. La electricidad podía sustituir el vapor para hacer funcionar los motores.

Era una Segunda Revolución Industrial en ciudades europeas y americanas, las centrales eléctricas se multiplicaban basadas en el diseño de Pearl Street, la central que *Thomas Alva Edison* estableció en 1882 en Nueva York, fue la primera instalación para la producción eléctrica comercial del mundo y aunque era una planta enorme para su época, podía producir y distribuir electricidad hasta aproximadamente, 3,300,000 m<sup>2</sup>(330 ha) de Manhattan<sup>6</sup>.

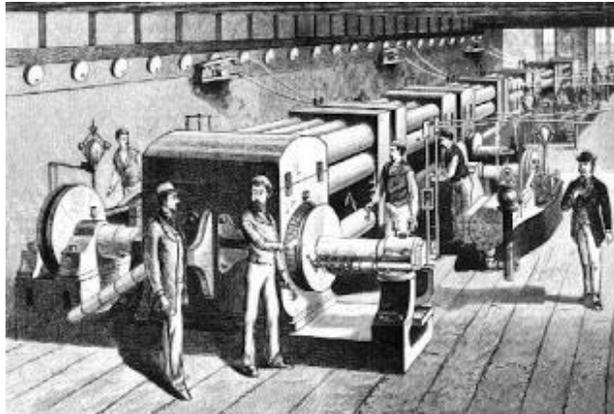


Fig. 1.12, Centrales Eléctricas de Pearl Street, New York, 1882

En ese entonces, *Thomas Alva Edison* ya era considerado el padre de las lámparas incandescentes y tenía cientos de inventos en producción, muchos de los cuales estaban directamente relacionados con el funcionamiento de esas lámparas y que funcionaban gracias a la corriente continua, que obviamente estaba patentada por él. Tras electrificar e iluminar los hogares con la inauguración de sus primeras estaciones eléctricas comerciales, primero en Londres, con la de Holborn Viaduct en enero de 1882 y después en Manhattan Nueva York, que se bautizó el 4 de septiembre como la Pearl Street Station, la primera de este tipo en Estados Unidos y que podía proveer de energía eléctrica a viviendas residenciales, logró obtener una gran suma de capital, que no mal aprovechó, convirtiéndose en un gran empresario. Más tarde *Thomas Alva Edison* se dio cuenta que para obtener más

---

<sup>6</sup> Pablo Francescutti. (2008). La Guerra de las Corrientes: Tesla frente a Edison. España: Entrelíneas.

dinero necesitaba de nuevos inventos, proyectos que le dejaran grandes cantidades de dinero y para lograrlo no necesitaba ser un genio ni matarse en idear cosas nuevas, ni perder el tiempo estudiando física, mecánica o electrónica, sino conseguir cerebros que estuviesen dispuestos realizarlo y que además, también a entregarle el derecho, es decir, las patentes. Fue entonces como se convirtió en un empresario con grandes ideas ambiciosas.<sup>7</sup>

Fue entonces cuando Nikola Tesla (1856 – 1943), apareció en el camino de Thomas Alva Edison. Nikola Tesla, nació el 10 de julio del año 1856 en el pueblo de Smiljan, hoy Croacia, después de estudiar en Austria y en la República Checa, en 1881 tuvo su primer trabajo en electricidad como ingeniero eléctrico para una empresa en Hungría, en donde comenzó a plantearse los primeros criterios para solucionar los problemas en cuanto al campo magnético rotativo. Al año siguiente se mudó a Francia y comenzó a trabajar para una de las sucursales de la empresa de Edison, donde inventó el motor de inducción y numerosos dispositivos cuyo funcionamiento se basaba en el uso del campo magnético rotativo.

En el año 1883, *Nikola Tesla* se mudó a Estados Unidos, Nueva York, para trabajar en los laboratorios de Edison. Lugar donde se le dio empleo de inmediato, dándole la tarea de mejorar los proyectos del propio Edison. *Nikola Tesla* dedicó varios años de su vida al desarrollo y mejoramiento de los dinamos de Edison, hasta que logró modificarlos, fue entonces cuando *Thomas Alva Edison*, observó que *Nikola Tesla* tenía una gran capacidad inventiva superior a la de él. *Nikola Tesla* había diseñado un sistema de generación y transmisión de corriente alterna que permitía que el voltaje se elevara con un transformador antes de transportarse a largas distancias y una vez en destino, que se redujera para proporcionar energía de forma eficiente, segura y económica. Cuando los celos profesionales de *Thomas Alva Edison* hicieron que la relación entre ambos terminara, es así como comenzaron sus diferencias entre la corriente continua y la corriente alterna, a tal grado que *Nikola Tesla* decidió dejar la empresa.

---

<sup>7</sup> Aznar, E. (2002). La batalla de las corrientes. 2014, de Técnica Industrial Sitio web: <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/4/36/a36.pdf>

En ese tiempo, la demanda de electricidad era enorme tal que condujo el deseo de construir centrales eléctricas más grandes y de llevar la energía a mayores distancias. Además, la rápida distribución de motores eléctricos industriales provocó una fuerte demanda por un voltaje diferente a los 110 V usados para la iluminación.

Más tarde los clientes comenzaron a percatarse de los numerosos problemas e inconvenientes que presentaba la corriente continua, el cual, provocaría un gran problema por la electrocución de muchas personas, se dieron cuenta de que la energía sólo fluía en una sola dirección y los cables se derretían al paso de la corriente; el sistema no permitía realizar transmisiones de energía a distancias superiores a uno o dos kilómetros, por lo que se tenían que instalar numerosos generadores por la ciudad, además de los terribles sembraderos de cables en el aire.<sup>8</sup>

El sistema de *Thomas Alva Edison*, que utilizaba la corriente continua, era poco adecuado para responder a estas nuevas demandas. El problema del transporte era aún más difícil, puesto que la transmisión interurbana de grandes cantidades de Corriente Continua en 110 Voltios era muy costosa y sufría enormes pérdidas por disipación en forma de calor, además de no poder transformar la energía de forma fácil.<sup>9</sup>

La solución a todo este gran conflicto eran las ideas de Nikola Tesla; pero Tesla era una amenaza a los intereses económicos de Thomas Alba, pues Thomas Alba Edison, sabía perfectamente que la idea de Tesla era una opción mejor que su corriente continua, pero lo cierto, es que amenazaba sus intereses económicos, ya que si le daba la razón, perdería innumerables cantidades de dinero.

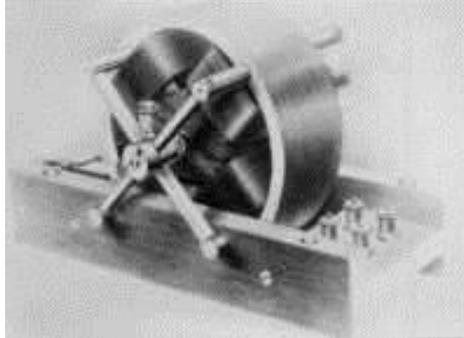
Cuando Tesla se fue de la empresa de Edison comenzó a juntar fondos para armar su propio laboratorio. Allí desarrolló el primer sistema de corriente alterna (AC), una forma mucho más sencilla y segura de utilizar la electricidad que el método continuo propuesto por Edison y más tarde creó la Tesla Electric Company,

---

<sup>8</sup> Claudio H. Sanchez. (Junio 2012). La Guerra de las Corrientes. Página 12, Futuro, 25.

<sup>9</sup> Aznar, E. (2002). La batalla de las corrientes. 2014, de Técnica Industrial Sitio web: <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/4/36/a36.pdf>

patentando numerosas invenciones, basándose en ideas mejoradas de Édison, como los generadores de corriente alterna más eficaces, económicos y útiles que los de corriente continua de Edison.



**Fig.1.13, Motor de corriente alterna**

En 1886, *George Westinghouse (1846 - 1914)*, un rico empresario y recién llegado en el negocio eléctrico, fundó *Westinghouse Electric* para competir con *General Electric* de Edison. Fue entonces cuando Tesla conoció y decidió unirse a al empresario *George Westinghouse*, quien había desplegado una red eléctrica de corriente alterna en Massachusetts, *Westinghouse* estaba interesado en la idea de Tesla, pues él, al igual que *Tomas Alba Édison* sabía que la idea de Tesla era la solución a todos los problemas, pero todavía faltaba una pieza importante en su rompecabezas, para que la corriente alterna lograra competir con la corriente directa. Esa pieza era el motor de inducción, que el propio Tesla ya había inventado.

Por sus patentes, *Westinghouse* le ofreció 5,000 dólares en efectivo, otros 55,000 dólares en acciones, y 2.5 dólares por cada caballo de potencia que se hubiese generado en la electricidad comercializada.

Para eso *Westinghouse* ya había comprado los derechos a las patentes de sistema de polifase de Tesla y otras patentes para transformadores de corriente alterna de *Lucien Gaulard (1850 - 1888)* y *John Dixon Gibbs (1834 - 1912)*, que gracias a su invento del transformador se hizo posible la elevación eficiente y económica de la tensión utilizando sistemas de corriente alterna.



**Fig. 1.14, Primer transformador inventado por Gaulard-Gibbs**

No obstante, Thomas Alva Edison ridiculizó a Tesla, electrocutando públicamente a animales para demostrar los riesgos de la corriente alterna, sus ideas de Thomas Alva Edison lo llevó a extremos planes para derrotar a Tesla. Ante tales situaciones, Tesla se expuso a una Corriente Alterna que atravesó su cuerpo sin causarle ningún daño. Fue así como Tomas Alva Edison no pudo hacer nada y posteriormente ideó nuevas ofensas, pero falló en sus intentos.<sup>10</sup>

Tras meses de disputa económica e intelectual, el enfrentamiento estaba llegando a su fin, ya que por medio de la Exposición Universal de Chicago de 1893, los organizadores buscaban una forma para iluminar el lugar y recurrieron a las empresas de Edison y de Westinghouse asociado con Tesla. Tomas Alva Edison les propuso su sistema de corriente continua lo cual fue sumamente elevado para implementarlo. En cambio, Tesla, con su corriente alterna, les presentó un presupuesto que ascendía a la mitad comparado con el de Tomas Alva Edison y que, además, libraba a la Feria de telarañas de cables que suponía la opción de Edison. La victoria estaba, pues, clara y la superioridad de la corriente alterna había quedado demostrada, fue así como Tesla pudo exhibir y echar andar sus generadores y motores que funcionaban con corriente alterna.

---

<sup>10</sup> Ronald Y. Barazarte. (2013). La Batalla de las Corrientes: Edison, Tesla y el nacimiento del sistema de potencia. *Tecno-Historia*, Vol.4, N.1, 51-53.



**Fig.1.15, Exposición Universal de Chicago de 1893, iluminada de noche.**

Meses después, un comité de expertos de la Niagara Falls Power Company, le pidió a Westinghouse y Thomas, el desarrollo de su sistema de transmisión. Debían de decidir con qué sistema se iba a implementar el potencial hidroeléctrico de las Cataratas del Niágara. El contrato fue para la empresa de Westinghouse (corriente alterna).

La distribución de energía de forma alterna inventada por el científico Nikolas Tesla y que comercializó inicialmente George Westinghouse fue el sistema que acabaría imponiéndose, ya que mediante la inducción y el uso de transformadores permite modular la energía en el punto de destino sin necesidad de elevar de forma equivalente la tensión en la red de distribución, ahorrando pérdidas de energía y capacidad a la central que genera la electricidad.

La estación de Pearl Street acabó incendiándose en 1890 cuando aún se encontraba en funcionamiento quemando todas los Dinamos. Dos años después se creó el gigante estadounidense General Electric que aplicó e invirtió fuertemente en la tecnología de corriente alterna terminando prácticamente de imponer este sistema. Siendo el fin de las guerras de las corrientes eléctricas.

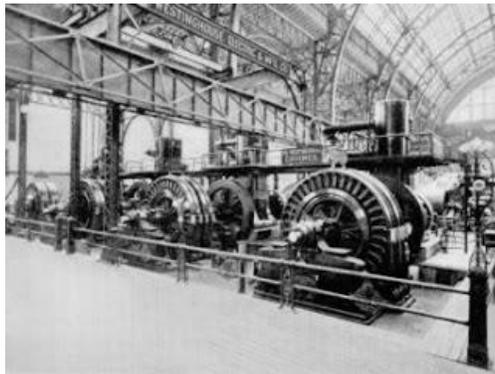
### **1.2.1.1 Conclusión**

Gracias a los inventos del transformador eléctrico de Gaulard y Gibbs y al motor de inducción de Tesla, se hizo posible la elevación eficiente y económica de la energía eléctrica alterna, ya sea en generación, transmisión y distribución, cabe mencionar que los primeros sistemas de corriente alterna fueron monofásicos, posteriormente Nikolas Tesla inventó el sistema polifásico, más tarde el sistema de corriente alterna trifásico se desarrolló rápidamente, debido a que se ha podido

comprobar que posee muchas ventajas sobre otras clases de energía, por ejemplo: puede ser transformada fácilmente, se transporta de manera sencilla y a grandes distancias a través de líneas aéreas que no contaminan el ambiente. Se puede utilizar también en forma de corrientes muy fuertes para alimentar enormes motores eléctricos o bien en pequeñas corrientes para hacer funcionar dispositivos electrónicos.

En los países desarrollados, existen actualmente varios medios para producir energía eléctrica: centrales hidroeléctricas, termoeléctricas o nucleoeleóctricas, cuya finalidad es evitar el consumo excesivo del petróleo.

A partir de esos descubrimientos se sentaron las bases para el comienzo de numerosos estudios de electricidad. Diversos físicos y matemáticos dieron origen a nuevos inventos así como grandes pasos para dar pie a las bases de lo que hoy en día conocemos.



**Fig. 1.16, Westinghouse y Tesla, ponen en servicio la Primera planta de Generación de Electricidad comercial en C.A. La Planta del Niágara, 1895.**

## **1.3 CALIDAD EN EL SERVICIO**

### **1.3.1 Antecedentes**

La calidad en el servicio, se viene tratando desde mucho tiempo atrás, pues desde la antigüedad el hombre ha ideado la forma de perfeccionar sus instrumentos como mejorar su vestido, así como buscar una mejor forma de protegerse de la naturaleza.

Un claro ejemplo sobre la calidad data aproximadamente 2000 años antes de Cristo, en el famoso código Hammurabi hablaba sobre la calidad de las

construcciones y la posibilidad de ejecutar al constructor, si la casa se caía sobre su propietario. En la época de los fenicios, aparecen antecedentes de la calidad en los que se señala que en caso de herramientas mal fabricadas, era posible cortarle la mano al artesano por su mala selección del material.

Hace 1500 años antes de Cristo, en el antiguo Egipto, los egipcios utilizaban técnicas para comprobar la calidad de los bloques de piedras mediante trozos de cuerda, esta misma técnica se ha comprobado que también era usada en las construcciones de América central durante la época de los mayas.

Varios siglos después, con la aparición de los gremios y la organización de fabricantes y comerciantes, comenzaron a aparecer diferentes controles de calidad, con la llegada de la Revolución Industrial, se comenzó a fabricar todo tipo de productos pero a gran escala, lo que implicaba un mayor control de la calidad. Distintas piezas que se ensamblaban después unas con otras. Todos estos procesos de fabricación en cadena implicaban que toda la cadena de producción se basase en las mismas medidas de control de calidad.

El Control de Calidad estadístico inicio en los años 30 con el cuadro de control ideado por Dr. W. A. Shewarth de laboratorios Bell.

La Segunda Guerra Mundial fue el catalizador que permitía aplicar el cuadro de control a diversas industrias en los Estados Unidos. Al utilizar control de calidad los Estados Unidos pudieron producir artículos militares de bajo costo y gran calidad. La producción norteamericana durante la guerra fue muy satisfactoria en términos cuantitativos, cualitativos y económicos debido al Control de Calidad.

El control de calidad dependía enteramente de la inspección, pero ésta no era cabal para todos los productos.

Al terminar la guerra las tropas norteamericanas desembarcaron en Japón, dichas fuerzas de ocupación impartieron sus enseñanzas a la industria japonesa transfiriendo el método norteamericano sin ninguna modificación apropiada para el Japón.

Japón comenzó a traducir las normas inglesas para aplicarlas en su industria; anteriormente Japón utilizaba el método de Taylor y esto era muy complicado para los obreros y el control de calidad dependía enteramente de inspección.

La gran contribución hecha por el estadístico estadounidense William Edwards Deming fue que la dirección pensó en forma diferente a las prácticas administrativas que se siguieron en el pasado. Otra persona que contribuyó sustancialmente a la educación de los empresarios japoneses en el mejoramiento de la calidad, como en otros países, fue el Doctor Joseph M. Juran, conocido y llamado “el padre de la Calidad”, ya que es reconocido como la persona que agregó la dimensión humana a la calidad y de ahí proviene los orígenes estadísticos de la calidad total.

### 1.3.2 ¿Qué es la calidad?

Conceptualmente el termino calidad involucra muchos conceptos, a tal grado que resulta muy complicado hallar una definición propia y satisfactoria. Generalmente usamos el concepto de calidad para referimos a algo que sea bueno, regular o simplemente malo.

Los autores que definieron el término calidad son muchos, entre ellas la del doctor Kaoru Ishikawa que explica y narra en su capítulo II<sup>11</sup> En donde nos dice que:

“El control de calidad se hace para lograr aquella calidad que cumpla con los requisitos de los consumidores”.

Esto es que las normas para productos y los datos analíticos y afines son muy importantes en el control de calidad y en estas se basan los ingenieros para decir que un producto es “bueno y de calidad” pero al fin de cuentas el consumidor es el que va a decir si el producto cumple con sus necesidades y por lo tanto sea de calidad.

El Dr. Kaoru Ishikawa dice que hay dos tipos de características de calidad: la real y la sustituta. En el ejemplo de una prensa rotativa que el papel no se rompa

---

<sup>11</sup> Kaoru Ishikawa, (1997). ¿Qué es el control total de calidad?, La Modalidad Japonesa. Bogotá: Norma.

mientras pasa por la prensa es una característica de calidad real y la resistencia a la tensión y el espesor (normas NIJ) del papel son características de calidad sustitutas.

Kaoru Ishikawa dice por medio del paradigma que la mejor manera de asegurar la calidad tiene el siguiente procedimiento:

- Determinar las características de calidad reales para un producto dado.
- Resolver los problemas de cómo medir tales características y como fijar las normas de calidad para el producto.
- Escoger las características de calidad sustitutas que probablemente tengan alguna relación con las reales.
- Establecer la relación entre las características de calidad real y sustituta mediante estadísticas y análisis de calidad.

Solo haciendo esto se puede saber hasta qué punto se puede confiar en las características sustitutas para cumplir con las reales.

Otro lema del Dr. Ishikawa es “cumplir no con las normas nacionales sino con los verdaderos requisitos de los clientes”.

En resumen, en la aplicación del CC hay tres pasos importantes que se deben seguir:

1. Entender las características de calidad reales.
2. Fijar métodos para medirlas y probarlas. Esta tarea es tan difícil que al final de cuentas, posiblemente acabemos por recurrir a los cinco sentidos (prueba sensorial).
3. Descubrir características de calidad sustitutas y entender correctamente la relación entre estas y las características reales.

La real academia de la lengua española dice, “que la calidad es la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa, que permite apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie”.

Para Edward Deming, la calidad la define como “el juicio que tienen los clientes o los usuarios sobre un producto o servicio”, por otra parte propuso ver a la organización como una entidad integral, impulsada por la fuerza de la calidad girando en torno al mejoramiento incesante de todos los procesos con el objetivo de mejorarla.

Juran definió la calidad como "adecuación al uso". Además de promover la aplicación de métodos estadísticos a la mejora de la calidad, desarrolló estrategias de implementación que contemplan aspectos organizativos, como los consejos de calidad y los equipos de calidad. Su trabajo consideró el diseño de métodos prácticos para los proyectos de mejora de la calidad. Se preocupó, además, por ampliar el concepto del costo de la (mala) calidad. Adoptó el enfoque de sistemas a través de la “espiral del progreso” que une gráficamente todas las funciones necesarias para lanzar un producto o servicio.

La organización internacional para la estandarización (ISO), ha definido a la calidad como “el conjunto de características de una entidad que sustentan su capacidad de satisfacer necesidades expresas e implícitas”.

Como podemos ver el termino calidad involucra gran cantidad de conceptos totalmente diferentes, pues cada quién tiene un punto de vista diferente, en lo personal el termino calidad se refiere a la asociación de características de un servicio u objeto tangible mediante el cual satisfacen las necesidades del usuario. Es importante mencionar que la calidad es utilizada en cualquier parte de nuestra sociedad

### 1.3.3 ¿Qué es servicio?

El sustantivo servicio, como su nombre lo dice proviene del verbo servir, empleado para referirse a la actividad y acción de que alguien esté sujeto a otro, para hacer lo que él diga.

Por otra parte el término servicio en el ámbito económico se da entender por el número de tareas a desarrollarse por una compañía para satisfacer las demandas de sus clientes. De esa forma el servicio se presenta como un bien no material, hay

que resaltar que su valor más importante es la experiencia. Por otra parte, es necesario destacar que quienes proveen servicios integran el denominado sector terciario de la escala industrial.

En términos administrativos de acuerdo con Joseph Juran (1904 – 2008), en 1964 dijo que “servicio, es el trabajo realizado para la otra persona”. Una empresa de servicios existirá mientras tenga capacidad competitiva en la Calidad de los servicios que ofrece, en el precio de los mismos y en las relaciones con los clientes, en ese orden.

Los servicios se distinguen a partir de cuatro características principales:

1. *La intangibilidad*, la cual significa que el servicio no se puede apreciar con los sentidos antes de ser adquirido, es decir un servicio no puede ser visto, sentido, oído ni escuchado. Por lo que supone un mayor riesgo percibido para los consumidores manifestado como el temor a verse insatisfechos tras la adquisición.

2. *La inseparabilidad*, que significa que su producción es inseparable de su consumo, es decir la producción y el consumo se desarrollan de forma paralela.

3. *La heterogeneidad*, que hace referencia a la dificultad de estandarización dada la alta variabilidad potencial en el desempeño de los servicios, así, los resultados de su prestación, pueden ser muy variables de productor a productor, de cliente a cliente, etc. en pocas palabras dos o más servicios pueden resultar parecidos pero nunca serán iguales ni idénticos.

4. *La perecibilidad* del carácter perecedero, es decir, no puede ser almacenado.

Todo servicio requiere de la presencia humana, la cual interacciona hasta que el cliente lo solicite, algunas veces puede ser un conjunto de ideas y conocimientos. El servicio se caracteriza por una producción y un consumo a la vez; si el servicio no es consumido o utilizado, inmediatamente desaparece, por ello las compañías tienen un intenso conocimiento de labor, con varios empleados obligados a responder a las necesidades del usuario.

## 1.4 SERVICIO ELÉCTRICO EN MÉXICO

### 1.4.1 Antecedentes

Los comienzos de la energía eléctrica en México se remontan a finales del siglo XIX, en 1879 durante el periodo del presidente Porfirio Díaz, se instala en León, Guanajuato, la primera planta termoeléctrica, generadora de energía eléctrica, utilizada solamente por la fábrica textil La Americana.

En 1881 da inicio el alumbrado público en el país cuando la Compañía Mexicana de Gas y Luz Eléctrica se hace cargo del alumbrado público residencial en la capital de la República Mexicana. Para 1885 la cañería que distribuía el gas para el alumbrado público en la capital era de 100 kilómetros y se contaba con 50 focos de luz eléctrica, 2 mil faroles de gas y 500 faros de aceite para los barrios alejados del Centro. En 1889 entró en operación la primera planta hidroeléctrica en Batopilas, en el estado de Chihuahua y frontera con los Estados Unidos, extendiendo sus redes de distribución a lugares donde la población era de mayor capacidad económica.

Años más tarde se otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público, colocándose en la ciudad de México, las primeras 40 lámparas de arco en la Plaza de la Constitución, cien en la Alameda Central y comenzó la iluminación de la calle de Reforma y de algunas otras vías.<sup>12</sup>



Fig. 1.17, Primeras lámparas en Plaza la Constitución.

<sup>12</sup> Eliezer Braun. (2004). La Electricidad en México. México: Electromagnetismo: De la Ciencia a la Tecnología. Biblioteca Digital.

Posteriormente algunas compañías internacionales con gran capacidad vinieron a crear filiales. En 1898 apareció The Mexican Light and Power Company (más tarde la extinguida empresa Luz y Fuerza del Centro) de origen canadiense, en el centro del país; así como The American and Foreign Power Company, con tres sistemas interconectados en el norte de México y la Compañía Eléctrica de Chapala, en el occidente.<sup>13</sup>

Posteriormente en el municipio de Juan Galindo, en el estado de Puebla, a finales del siglo XIX un doctor francés de apellido Vaquier, investigó y comprobó las potencialidades energéticas de las corrientes de agua en la región de Huachinango, mismas que se precipitaban por los acantilados.<sup>14</sup>

El doctor formó una empresa para la generación de electricidad y solicitó al gobierno mexicano una concesión para que se aprovecharan las aguas del río Necaxa como fuerza motriz.

Debido a que se necesitaban fondos bastante altos para realizar la obra, esto sin contar el atraso en los honorarios del doctor, además de los desacuerdos con el gobierno, el proyecto fue pausado. Más tarde la compañía eléctrica *Mexican Light and Power Company*, se hizo cargo del proyecto.

Cabe mencionar que en el año de 1903 por medio de la Ley del Parlamento de Canadá, capítulo 153.3 Eduardo VII autoriza la creación de la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza en calidad de cesionaria de la Société du Necaxa, y el 24 de marzo del mismo año el gobierno porfirista otorga la concesión para que dicha compañía aprovecha como fuerza motriz las aguas de los ríos Tenango, Necaxa y Catepuxtla en el Distrito de Huauchinango en el estado de Puebla.

Por medio de las empresas privadas, a inicios del siglo XX México ya contaba con una capacidad de 31 MW. Para 1910 eran 50 MW, de los cuales 80% los generaba LyFC. La planta Necaxa, en Puebla, fue el primer gran proyecto

---

<sup>13</sup> José Francisco Coello Ugalde. (2013). Luz y fuerza de la memoria histórica. luz y fuerza del centro (1903-2014). México: Efemérides.

<sup>14</sup> CFE. (2014). CFE y la electricidad en México. 2014, de CFE Sitio web: <http://www.cfe.gob.mx/>

hidroeléctrico, con seis unidades y una capacidad instalada de 31.500 MW, y comenzó a transmitir el fluido eléctrico desde Necaxa a la Ciudad de México en 1905.

Para ese año, las tres compañías eléctricas tenían las concesiones e instalaciones de la mayor parte de las pequeñas plantas que sólo funcionaban en sus regiones.

En ese período se dio 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.

En 1937 México tenía 18.3 millones de habitantes, de los cuales únicamente siete millones contaban con electricidad, proporcionada con serias dificultades por tres empresas privadas.

En ese momento las interrupciones de luz eran constantes y las tarifas muy elevadas, debido a que esas empresas se enfocaban a los mercados urbanos más redituables, sin contemplar a las poblaciones rurales, donde habitaba más de 62% de la población. La capacidad instalada de generación eléctrica en el país era de 629.0 MW.

En el periodo de gobierno del General Lázaro Cárdenas, en 1937, un año antes de la expropiación petrolera, el primer mandato inicial fue el de construir plantas generadoras de energía eléctrica para satisfacer la demanda del sector rural.

Fue entonces que el 14 de agosto de 1937, el gobierno federal creó, a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que tendría por objeto organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales. *Ley promulgada en la Ciudad de Mérida, Yucatán el 14*

*de agosto de 1937 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de agosto de 1937.*<sup>15</sup>

La empresa mexicana CFE comenzó a construir plantas generadoras y ampliar las redes de transmisión y distribución, beneficiando a más mexicanos al posibilitar el bombeo de agua de riego y la molienda, así como mayor alumbrado público y electrificación de comunidades.

Los primeros proyectos de generación de energía eléctrica de CFE se realizaron en Teloloapan, Guerrero; Pátzcuaro, Michoacán; Suchiate y Xíá, Oaxaca; y Ures y Altar Sonora.

En 1938 CFE tenía apenas una capacidad de 64 kW, misma que, en ocho años, aumentó hasta alcanzar 45,594 kW. Entonces, las compañías privadas dejaron de invertir y CFE se vio obligada a generar energía para que éstas la distribuyeran en sus redes, mediante la reventa.

En 1949 el Presidente de la República, Miguel Alemán, expide un Decreto que hizo de la CFE un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio. En 1960, de los 3,208 MW de capacidad instalada en el país, la CFE aportaba el 54%; LyFC el 25%; la estadounidense The American and Foreign Power Company el 12%, y otras compañías el 9%. Sin embargo, el 64% de los mexicanos y mexicanas no contaban con electricidad.

El 27 de septiembre de 1960, el Presidente Adolfo López Mateos nacionaliza la industria eléctrica comprando con fondos públicos y deuda externa los bienes e instalaciones de las empresas transnacionales. El gobierno adquirió en 52 millones de dólares, el 90% de las acciones LyFC y se comprometió con ellas a pagar las deudas de esas empresas que ascendían a 78 millones de dólares. Por 70 millones de dólares obtuvo las acciones de la estadounidense American and Foreign Power Company. Sin embargo, el gobierno los comprometió a invertir ese dinero en México para evitar que todos esos dólares salieran del país.<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Artículo 27. México 1996

<sup>16</sup> Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Artículo 27. México 1996

Al adquirir la LyFC, la nación mexicana adquirió 19 plantas generadoras que servían al Distrito Federal y a los estados de Puebla, México, Michoacán, Morelos e Hidalgo; 16 plantas hidráulicas y 3 térmicas; 137 km de línea de transmisión de doble circuito trifásico en el sistema de 220 KV, dos subestaciones transformadoras de cerro Gordo, México y El Salto, Puebla; 38 subestaciones receptoras conectadas a la red de transmisión de 85 y 60 KV; gran número de bancos de transformadores; 4,500 km. de líneas primarias de distribución de 6 KV; 11 mil transformadores de distribución con capacidad de 670 mil KVA; y 6,800 km. de líneas de baja tensión.

Entre las plantas hidroeléctricas se obtuvieron: Necaxa, Patla, Tezcapa, Lerma, Villada, Fernández Leal, Tlilán, Juandó, Cañada, Alameda, Las Fuentes, Temascaltepec, Zictepec, Zepayautla y San Simón. Entre las plantas termoeléctricas: Nonoalco, Tacubaya y Lechería. Además la nación recibió el edificio situado en la esquina de Melchor Ocampo y Marina Nacional de la Ciudad de México y todos los inmuebles y muebles de las estaciones y plantas termoeléctricas e hidroeléctricas, así como equipos y materiales de oficina. Con el dinero del pueblo, se pagó todo esto.

A partir de entonces se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización. El Estado mexicano adquirió los bienes e instalaciones de las compañías privadas, las cuales operaban con serias deficiencias por la falta de inversión y los problemas laborales.

Un año después, en 1961, la capacidad instalada de la CFE había llegado a 3,250 MW y de toda la energía que producía, vendía el 25%. De no tener ninguna participación en la propiedad de las centrales generadoras de electricidad, por estar en manos extranjeras, pasó a tener el 54%, siendo así la CFE quién dirigía la energía eléctrica del país.

Para 1971, la CFE tenía una capacidad instalada de 7,874 MW. Al final de ésta década se dio un mayor crecimiento llegando a instalarse centrales generadoras por el equivalente a 1.6 veces lo hecho hasta el momento.

En 1974 todos los sistemas de transmisión de energía eléctrica se encontraban interconectados, excepto Baja California y Yucatán que se incorporaron al Sistema Interconectado Nacional en 1990, quedando por fin el sistema de transporte de energía cubriendo casi la totalidad del territorio mexicano. Durante la década de los 70's también se logró unificar la frecuencia eléctrica de 60 Hertz en todo el país y en 5 años se logró la unificación más grande del mundo, ya que se visitaron 2 millones 434,810 consumidores de energía para adaptar sus equipos electrodomésticos a la nueva frecuencia; se convirtieron 32 centrales generadoras, con 87 unidades y se ajustaron 41 subestaciones. Así, grandes obras de infraestructura, pero mucha deuda externa, pesaba sobre el país.

Durante la década de los 80's disminuyó la inversión en la CFE y a partir de 1982 con el gobierno del presidente Miguel de la Madrid, comienza en México la aplicación de las políticas neoliberales y los Programas de Ajuste Estructural que empezaron a imponer el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial. El país empieza a vender sus activos rápidamente cuando entonces el gobierno administraba alrededor de 1,115 empresas paraestatales. En 1989 se reforma la Ley del Servicio Público de Energía permitiendo que el Ejecutivo Federal pudiera disponer de la Constitución, estructura y funcionamiento del servicio que venía proporcionando la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A., y sus asociadas Compañía de Luz y Fuerza de Pachuca, S.A., Compañía Mexicana Meridional de Fuerza, S.A., y Compañía de Luz y Fuerza Eléctrica de Toluca, S.A., el ejecutivo Federal, dispondrá la constitución de un organismo descentralizado con personalidad jurídica y patrimonios propios, el cual tendrá a su cargo la prestación del servicio que ha venido proporcionando dichas Compañías". Fue hasta febrero de 1994 cuando se crea por Decreto presidencial el organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro, con personalidad jurídica y patrimonio propio.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> CFE., [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)

Para 1961 la capacidad total instalada en el país ascendía a 3,250 MW. CFE vendía 25% de la energía que producía y su participación en la propiedad de centrales generadoras de electricidad pasó de cero a 54%.

En esa década la inversión pública se destinó en más de 50% a obras de infraestructura. Se construyeron importantes centros generadores, entre ellos los de Infiernillo y Temascal, y se instalaron otras plantas generadoras alcanzando, en 1971, una capacidad instalada de 7,874 MW.

Al finalizar esa década se superó el reto de sostener el ritmo de crecimiento al instalarse, entre 1970 y 1980, centrales generadoras que dieron una capacidad instalada de 17,360 MW.

Cabe mencionar que en los inicios de la industria eléctrica mexicana operaban varios sistemas aislados, con características técnicas diferentes, llegando a coexistir casi 30 voltajes de distribución, siete de alta tensión para líneas de transmisión y dos frecuencias eléctricas de 50 y 60 Hertz.

Esta situación dificultaba el suministro de electricidad, por lo que CFE definió y unificó los criterios técnicos y económicos del Sistema Eléctrico Nacional, normalizando los voltajes de operación, con la finalidad de estandarizar los equipos, reducir sus costos y los tiempos de fabricación, almacenaje e inventariado. Posteriormente se unificaron las frecuencias a 60 Hertz y CFE integró los sistemas de transmisión en el Sistema Interconectado Nacional.

En los años 80 el crecimiento de la infraestructura eléctrica fue menor que en la década anterior, principalmente por la disminución en la asignación de recursos a la CFE. No obstante, en 1991 la capacidad instalada ascendió a 26,797 MW.

A inicios del año 2000 se tenía ya una capacidad instalada de generación de 35,385 MW, cobertura del servicio eléctrico del 94.70% a nivel nacional, una red de transmisión y distribución de 614,653 kms, lo que equivale a más de 15 vueltas completas a la Tierra y más de 18.6 millones de usuarios, incorporando casi un millón cada año.

A partir octubre de 2009, CFE es la encargada de brindar el servicio eléctrico en todo el país, además CFE es reconocida como una de las mayores empresas eléctricas del mundo, y aún mantiene integrados todos los procesos del servicio eléctrico.

Más tarde, de acuerdo a lo establecido en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Diario Oficial de la Federación, 10 de junio de 2011), dice que corresponde exclusivamente a la Nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. Actualmente, la empresa Comisión Federal de Electricidad (CFE), es la institución estatal encargada del suministro de la energía eléctrica a los clientes del servicio público, empleando para ello el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), y cobrando por su servicio una tarifa regulada.

Actualmente la capacidad total instalada para la generación de energía eléctrica en México es de 60.795 MW.

La mayor parte es aportada por plantas termoeléctricas con un total de 43,231 MW ó 71%, aproximadamente el 18% de la electricidad producida en México proviene de recursos hidroeléctricos. La mayor planta hidroeléctrica de México es la Presa Chicoasén en Chiapas, con 2,400 MW, Ésta es la cuarta planta de energía hidroeléctrica más productiva del mundo.<sup>18</sup>

### **1.5 Calidad del servicio eléctrico**

La calidad del servicio, en el suministro de energía eléctrica es el conjunto de características tanto técnicas como comerciales, inherentes al suministro eléctrico exigible por los consumidores. La calidad del servicio eléctrico nace a partir de la gran demanda ejercida por los usuarios, llevando a las empresas distribuidoras de energía eléctrica a crear una planeación a largo plazo, en donde el tema principal es brindar un servicio de calidad y confiable.

---

<sup>18</sup> Comisión Federal de Electricidad y Comisión Reguladora de Energía

El suministro de energía eléctrica debe de tener y disponer de una calidad adecuada, tal que el usuario quede satisfecho de su servicio.

De acuerdo al Ing. Jacinto Viqueira Landa, de su libro *Redes Eléctricas* (1970), redacta que para medir la calidad del suministro de energía eléctrica debe realizarse con una calidad adecuada, de manera que los aparatos que utilizan la energía eléctrica funcionen correctamente. También define a la calidad del suministro de energía eléctrica por medio de la “*continuidad del servicio, la regulación del voltaje y el control de la frecuencia.*”

Por otra parte la calidad de servicio va configurada por la Calidad en la atención y relación con el cliente, relativa al conjunto de actuaciones de información asesoramiento, contratación, comunicación y reclamación.

### **1.5.1 Calidad de suministro**

Se refiere a la continuidad del servicio determinada por el número y duración de las interrupciones. Se dice que una interrupción eléctrica es el evento durante el cual el voltaje suministrado al cliente cae a cero y no regresa a sus valores normales automáticamente.

Cabe mencionar que la confiabilidad en el servicio debe de ser una característica fundamental que determina el funcionamiento correcto y continuo del sistema. Dando como resultado un mínimo de fallas y un funcionamiento constante la mayor parte del tiempo.

De acuerdo a la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), el tiempo mínimo de una larga interrupción es de 3 minutos. Si el tiempo es menor a 3 min. Se denomina corta interrupción.

Las interrupciones se pueden clasificar de acuerdo a su origen, como lo son: *Interrupciones Programadas e Interrupciones Imprevistas.*

#### **1.5.1.1 Interrupciones programadas**

Las interrupciones programadas son aquellos eventos que se avisan con la suficiente anticipación a los clientes, estas se realizan para poder realizar trabajos

de inversión y mantenimiento en la red eléctrica, con el fin de que los trabajos en líneas puedan realizarse con las más estrictas normas de seguridad y calidad.

Las interrupciones programadas están claramente definidas en los marcos regulatorios de la mayoría de los mercados abiertos.

#### 1.5.1.2 Interrupciones imprevistas

Las interrupciones imprevistas son todas las que no se contemplan en una programación. Por lo general la mayoría de las fallas ocurren en MT y BT. Éstas corresponden a valores entre el 80 % y el 90 %, del total de las fallas del sistema eléctrico.

#### 1.5.1.3 Tiempo de interrupción por usuario (TIU)

El TIU es el tiempo promedio de interrupción por usuario, con este índice se evalúa en CFE, el desempeño que tienen las instalaciones que suministran la energía eléctrica a los clientes.

#### 1.5.1.4 Tiempo de restablecimiento del suministro (TRS)

El TRS es el tiempo requerido para restablecer el suministro en los segmentos del sistema eléctrico no fallados, debido a una interrupción de un cliente o de una parte del sistema.

#### 1.5.1.5 Tiempo de Reparación de la Falla (TRF)

El TRF es el tiempo requerido para devolver a su condición original un componente o equipo del segmento del sistema eléctrico fallado.

**Fórmula:**

$$TIU = \frac{\text{Duración de la Interrupción } (D_i) \times \text{Usuarios Afectados } (U_{af})}{\text{Usuarios Totales } (U_t)}$$

$D_i$  = Tiempo de restablecimiento del suministro (TRS) + Tiempo de reparación de la falla (TRF)

Jacinto Viqueira Landa (1970)<sup>19</sup> nos dice que para asegurar la continuidad del suministro de energía se debe de tomar en cuenta una serie de disposiciones necesarias para estar preparado ante cualquier falla que ocurra en el sistema. Algunas de esas disposiciones las menciono a continuación:

- ✚ En el primer punto nos indica que hay que disponer de una reserva de generación adecuada para hacer frente a la posible salida de servicio o indisponibilidad, de cierta capacidad de generación.
- ✚ En el segundo punto nos dice que hay que disponer de un sistema de protección automático que permita eliminar con una rapidez necesaria cualquier elemento del sistema que haya sufrido una avería.
- ✚ Para el tercer punto nos dice que hay que diseñar un sistema de manera que la falla y desconexión de un elemento tenga la menor percusión posible sobre el resto del sistema.
- ✚ En el cuarto punto nos indica que hay que disponer de circuitos de alimentación de emergencia para hacer frente a una falla en la alimentación total.
- ✚ En el quinto punto nos dice que hay que disponer de medios para reestablecer el sistema rápidamente, disminuyendo así la duración de las interrupciones cuando estas no han podido ser evitadas.<sup>20</sup>

### 1.5.2 Calidad del producto

Actualmente existen diversos tipos de equipos electrónicos así como de luminarias utilizados por los usuarios, demandando cada vez más energía eléctrica, a su vez esto provoca problemas a la red, pues sobre exigen los diseños a la cuales fueron diseñados, como resultado a las altas exigencias provocan grandes perturbaciones y fallas al sistema.

A su vez las empresas suministradoras de electricidad, en este caso CFE, han puesto mucha atención a la calidad de su producto que es suministrado al cliente,

---

<sup>19</sup> Jacinto Viqueira Landa. (1970). Redes Eléctricas I. México: UNAM., Primera Edición

<sup>20</sup> Jacinto Viqueira Landa. (1970). Redes Eléctricas I. México: UNAM., Primera Edición. Pág.19

esto es relativa a las características de la onda de tensión, es decir depende de la *regulación del voltaje y el control de la frecuencia*.

La *regulación el voltaje* es la capacidad de mantener un voltaje fijo en diferentes condiciones de carga. Las variaciones de voltaje dependen de la calidad de la onda suministrada, esta debe de tener una forma senoidal con amplitud y frecuencia definida e invariable.

La perturbación de una onda aparece cuando las características de la onda rebasan los límites aceptables. Las tolerancias admitidas sobre las tensiones de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, son de hasta el  $\pm 5.0$  % de tensión nominal.

Si se trata de redes secundarias en servicios calificados como Urbano-Rurales y/o Rurales, dichas tolerancias son de hasta el  $\pm 7.5$ %.

Cabe mencionar que todos los sistemas de energía eléctrica funcionan a una frecuencia determinada y con una tolerancia determinada. Los transformadores y generadores desde su construcción las diseñan a una frecuencia dándoles un rango de variaciones que pueda soportar.

Las *variaciones de frecuencia* se presentan por fallas o desviaciones en la generación de la energía, debido a fallas de los motores o caídas, pues las perturbaciones nacen a partir de cambios inesperados de velocidad o al producirse una variación de la carga conectada al sistema, reflejando así una variación de velocidad de rotación de las máquinas y en consecuencia de la frecuencia. Estos cambios solo pueden ser controlados por los operadores del sistema, manteniendo siempre la frecuencia de 60 [Hz], con un margen de variación de  $\pm 1$ %.

Para que la frecuencia de un sistema se considere pura, el porcentaje de armónicas debe ser despreciable, esto a su vez requiere que los generadores proporcionen una tensión lo más cercano a una tensión senoidal, además hay que limitar a valores tolerables la aparición de armónicas en otros puntos del sistema.

La presencia de armónicas causa pérdidas adicionales al sistema, además de que puede afectar el funcionamiento de diversos aparatos, provocando también fenómenos de resonancia que pueden dañar al equipo. En general las armónicas de las ondas de tensión existentes en un sistema de energía eléctrica, representan un porcentaje suficientemente reducido con relación a la onda fundamental para no causar problemas. (Viqueira, pág. 26.)<sup>21</sup>

El suministro de energía eléctrica es de vital importancia en nuestra sociedad pues de ella depende el desarrollo para llevar a cabo prácticamente cualquier actividad productiva, industrial, comercial, agrícola, de servicios y de muchos otros campos, incluyendo las que se desarrollan domésticamente.

La necesidad de contar con un buen suministro es a escala global y ha creado requerimientos específicos para que las compañías responsables de hacer llegar el fluido eléctrico a los usuarios mejoren la calidad de la energía que aportan. Su vínculo es directo con la productividad industrial, comercial y social de una nación; una mejor calidad se traducirá en más y mejor desarrollo.

---

<sup>21</sup> Jacinto Viqueira Landa. (1970). Redes Eléctricas I. México: UNAM., Primera Edición

## CAPÍTULO 2

### 2 RASCACIELOS

#### 2.1 Antecedentes

Se sabe que desde las primeras edificaciones del ser humano y a medida que fue avanzando el tiempo, el hombre ha buscado la manera de mejorar sus construcciones, es decir ha realizado cada vez nuevos edificios con el fin de crear un entorno controlado para poder vivir y para poder trabajar. Pero a lo largo de las últimas décadas han cambiado las prioridades de diseño y de organización de los edificios.

Para que un edificio pueda llevar el nombre de rascacielos, basta con que sea lo suficientemente alto y habitable, también se dice que un edificio es un rascacielos cuando sobresale por su altura a comparación de los demás, pues en la actualidad, existen muchos términos para designar el nombre de rascacielos a los edificios, se puede decir que es un término comparativo al contexto. El Consejo de Edificios Altos y Hábitat Urbano (CTBUH), define a los rascacielos como “un edificio en el que lo vertical tiene una consideración superlativa sobre cualquier otro de sus parámetros en que se implanta”. También dice que un edificio suele ser considerado rascacielos a partir de los 304.80 metros de altura (1000 ft), pero también existe un criterio basado en la altura, situando el límite inferior en unos 152.4 metros (500 ft) de altura.

La construcción de los grandes edificios comenzó a partir de los grandes avances en la fabricación del hierro y el acero, además del hormigón armado, el cristal, la bomba hidráulica y los nuevos ascensores.

Por medio de la construcción de los rascacielos se logra el máximo aprovechamiento en los suelos, además del gran ahorro económico, pues hay lugares en donde el valor del suelo es relativamente elevado, económicamente hablando. Por ello la mayoría de oficinas y centros comerciales se encuentran en grandes rascacielos.

En 1884, en Chicago, se inició la construcción del edificio considerado como el primer rascacielos que se construyó, llamado Home Insurance Building de Chicago, con un número de 10 plantas.<sup>22</sup>

Este edificio fue el primero en utilizar una estructura de acero, compuesto por columnas verticales y vigas horizontales para la sujeción, en lugar de sustentarlo con paredes de ladrillo o piedra gruesa. Claro, la estructura de acero soportaba todo el peso del edificio y los tabiques solo eran para los muros y separar las habitaciones.

El ingeniero para la construcción fue William Le Baron Jenney, proyecto que se le asignó por la empresa de La Home Insurance Company, que deseaba la construcción de un nuevo edificio para sus oficinas con características de invulnerabilidad ante los incendios, con una altura total de 42 metros. El ingeniero William Le Baron Jenney descubrió que con piezas de acero se podía construir y sustentar un edificio de gran altura.

Además como la estructura era de acero, soportaba el peso del edificio completo y las paredes externas eran simplemente una especie de piel que protegía el interior de las variaciones del tiempo. También, el Home Insurance Building, se consideró como el primer edificio alto en contar con múltiples ventanas, pues usando una estructura de acero le permitió tener más espacio de gran utilidad, además de que fue la primera estructura que hoy conocemos como rascacielos moderno.

El edificio se construyó originalmente de diez pisos y 42 metros de altura (138 ft). Más tarde en 1890, se le añadieron dos pisos adicionales sobre lo alto del edificio, ampliándose a 12 pisos y 54 metros de altura (180 ft).

---

<sup>22</sup> <http://www.chicagoarchitecture.info/>



**Fig 2.01, Home Insurance Building, construido en 1885, en Chicago. Demolido en 1931.<sup>23</sup>**

Años más tarde tras el conflicto de energía eléctrica, se optó por mejorar las instalaciones de los edificios, dándole una nueva utilidad a las alturas. No fue hasta principios de los años ochenta cuando se comenzaron a construir en Estados Unidos y Japón los primeros edificios a los que se aplicaban la informática para mejorar su comodidad, habitabilidad y funcionalidad, más tarde estas aplicaciones dieron origen a los edificios inteligentes.

Las ciudades, como Nueva York, Chicago, Ciudad de México, Shanghai, Panamá y Hong Kong, comenzaron una nueva era de edificios o mejor dicho de rascacielos.

Uno de los proyectos para lograr y animar a todo el mundo a crear edificios inteligentes fue el modelo iniciado por Telehouse en 1985. También conocido como hoteles telecom, centros de datos de Internet o centros de recibimiento, lo cual se consideró verdaderamente un éxito, pues el edificio contaba con una inteligencia muy avanzada para su época.

Más tarde, en la década de los sesenta empezaron a realizarse los sistemas de administración y ahorro de energía de los edificios, a mediados de los ochenta el

---

<sup>23</sup> Biblioteca Frances Loeb, Graduate School of Design de la Universidad de Harvard.  
<http://www.chicagoarchitecture.info/>

mayor interés por el ahorro de energía fue orientándose hacia la obtención de aumento en la eficiencia de los edificios.

Ya a principios de los noventa los edificios inteligentes en México parecían todavía un sueño, conforme iba creciendo la tecnología.

## 2.2 EDIFICIO INTELIGENTE

### 2.2.1 Concepto

En la actualidad y como en todas las definiciones, es muy difícil que todos tengan una definición por igual para el concepto de edificio inteligente, ya que la mayoría lo define de acuerdo a su conveniencia y experiencia. De acuerdo con la Arq. Esperanza M. Torres Cuadrado, de la revista de la UNAM, en el apartado de edificios inteligentes, aportan una serie de definiciones correspondientes a diversas compañías.

 *Intelligent Building Institute (IBI), Washington, D.C., E.U.*

Un edificio inteligente es aquel que proporciona un ambiente de trabajo productivo y eficiente a través de la optimización de sus cuatro elementos básicos: estructura, sistemas, servicios y administración, con las interrelaciones entre ellos. Los edificios inteligentes ayudan a los propietarios, operadores y ocupantes, a realizar sus propósitos en términos de costo, confort, comodidad, seguridad, flexibilidad y comercialización. (Mr. Geissler, Richard (1992) Alternativas de Vanguardia, Últimos Avances y Conceptos en el Mundo del Edificio Inteligente)

 *Compañía Honeywell, S.A. de C. V., México, D.F.*

Se considera como edificio inteligente aquél que posee un diseño adecuado que maximiza la funcionalidad y eficiencia en favor de los ocupantes, permitiendo la incorporación y/o modificación de los elementos necesarios para el desarrollo de la actividad cotidiana, con la finalidad de lograr un costo mínimo de ocupación, extender su ciclo de vida y garantizar una mayor

productividad estimulada por un ambiente de máximo confort. (Sosa, Jorge (1995) Coincidencias y Diferencias en las Tendencias de Automatización para Procesos Industriales y Edificios Inteligentes)

✚ *Compañía AT&T, S.A. de C.V., México, D.F.*

Un edificio es inteligente cuando las capacidades necesarias para lograr que el costo de un ciclo de vida sea el óptimo en ocupación e incremento de la productividad, sean inherentes en el diseño y administración del edificio. (AT&T, S.A. de C.V. (1993) Oficinas Inteligentes)

✚ *Compañía Bricos, MEM, México, DF.*

Un edificio inteligente se refiere a construcciones comúnmente edificios que hacen uso de toda clase de tecnologías para hacer más eficiente su uso y control, estas tecnologías abarcan principalmente cuatro categorías: Seguridad, Comunicaciones, Apoyo Logístico y Automatización de Procesos. (Bricos, Mayoreo Electrico Monterrey).

✚ *Alta Tecnología en Automatización S.A. de C.V., México, D.F.*

Un Edificio Inteligente es aquel que proporciona un ambiente productivo y de bajo costo mediante la optimización de cuatro elementos básicos: estructura, sistemas, servicios, administración, y su interrelación entre ellos.

El Edificio Inteligente ayuda a los propietarios, administradores y ocupantes a alcanzar sus metas en las áreas de costos, confort, convivencia, seguridad, flexibilidad de largo plazo y precio de reventa.

De acuerdo al instituto mexicano del edificio inteligente, IMEI, un edificio inteligente deberá de reunir las siguientes características:

- ✚ Flexibilidad y adaptabilidad relacionadas con un costo, ante los continuos cambios tecnológicos requeridos por sus ocupantes.
- ✚ Altamente eficiente en el consumo de energía eléctrica.

- ✚ Capacidad de proveer un entorno ecológico habitable y altamente seguro, que maximice la eficiencia en el trabajo a niveles óptimos de confort de sus ocupantes.
- ✚ Centralmente automatizado para optimizar su operación y administración en forma electrónica.

De acuerdo al Intelligent Building Institute (IBI)<sup>24</sup>, en su concepto de edificio inteligente redacta las necesidades de los propietarios, ocupantes y operadores del edificio en cuatro elementos principales:

1. Estructura del edificio: Se refiere a la estructura y diseño arquitectónico, incluyendo los acabados y mobiliario. Entre sus componentes están la altura de losa a losa, la utilización de pisos elevados y plafones registrables, cancelería, ductos y registros para las instalaciones, tratamientos de fachadas, utilización de materiales a prueba de fuego, acabados, mobiliario y ductos para cableado y electricidad.
2. Sistemas del edificio: Se consideran todas las instalaciones que integran un edificio, tales como: aire acondicionado, calefacción y ventilación, energía eléctrica e iluminación, controladores y cableado, elevadores y escaleras mecánicas, seguridad y control de acceso, seguridad contra incendios y humo, telecomunicaciones, instalaciones hidráulicas, sanitarias y seguridad contra incendios.
3. Servicios del edificio: Se incluyen los servicios o facilidades que ofrecerá el edificio, entre los que podemos mencionar: comunicaciones de video, voz y datos, automatización de oficinas, salas de juntas y cómputo compartidas, área de fax y fotocopiado, correo electrónico y de voz, seguridad por medio del personal, limpieza, estacionamiento, escritorio de información en el lobby o directorio del edificio, facilidad en el cambio de teléfonos y equipos de computación, centro de conferencias y auditorio compartidos y videoconferencias.

---

<sup>24</sup> Intelligent Building Institute, <http://www.ibuilding.gr/definitions.html>

4. Administración del edificio: Comprende la operación del mismo de manera eficaz y eficiente en su mantenimiento, administración de inventarios, reportes de energía, análisis de tendencias, administración y mantenimiento de servicios y sistemas. La optimización de cada uno de estos elementos y la interrelación o coordinación entre sí, es lo que determinará la inteligencia del edificio.

Desde el punto de vista computacional, el término Edificio Inteligente sugiere la presencia de sistemas basados en técnicas de inteligencia artificial, programados, capaces de:

- ✚ Tomar las decisiones necesarias en un caso de emergencia.
- ✚ Predecir y auto diagnosticar las fallas que ocurran dentro del edificio.
- ✚ Tomar las acciones adecuadas para resolver dichas fallas en el momento adecuado.
- ✚ Monitorear y controlar las actividades y el funcionamiento de las instalaciones del edificio.

En la actualidad existen grandes rascacielos que utilizan la tecnología y conceptos de inteligencia, cada vez invierten más en el diseño de los edificios, con el fin de ahorrar energía así como aprovechar al máximo el uso del suelo, teniendo como resultado el bienestar de sus ocupantes.

### 2.3 EDIFICIOS DE ALTURA

Cabe mencionar que la edificación más antigua que se conoce en el mundo y construida por el hombre corresponde a la Gran Pirámide de Giza. Esta pirámide fue construida durante 20 años en el período comprendido entre los siglos 2600 a.C. y 2570 a.C. Las dimensiones de este monumento sagrado son de 146.60 metros de altura y 230 metros de lado en su base, ha sido nombrada Maravilla Honorífica por ser la única Maravilla Antigua que todavía se conserva.



**Fig. 2.02, Gran Pirámide de Giza en Egipto que data del año 2500 a.C. aprox<sup>25</sup>.**

A partir de la construcción del edificio Home Insurance Building de Chicago, se iniciaron muchos proyectos nuevos, fue entonces que en el año de 1930, en Nueva York, se terminó de construir el edificio de Trump, con un total de 70 pisos, y una altura de 283 m, también fue conocido como el edificio del Banco de Manhattan o como Manhattan Company Building, más tarde por su localización fue llamado 40 Wall Street, este edificio fue el primero en lograr la mayor altura en el mundo.

Posteriormente se terminó de construir el Chrysler Building o Edificio Chrysler de Nueva York, que a su vez conseguía batir todos los récords alcanzando los 319 metros de altura, convirtiéndose ahora en el rascacielos más alto del mundo.

El record del edificio Chrysler le duró poco, pues en 11 meses, exactamente en el año de 1931 se terminó de construir el Empire State Building de la misma ciudad, con 381 metros de altura.

El record del Empire State Building, fue prolongado, pues 42 años más tarde, en 1973 fueron inauguradas las Torres Gemelas del World Trade Center de la misma ciudad, con una altura de 417 y 415 metros de altura.

---

<sup>25</sup> <http://www.maravillasdelmundo.net/>



Fig. 2.03 Empire State Building<sup>26</sup>

Sólo un año más tarde, en 1974, la Torre Sears de Chicago, las superaba con 25 metros más de altura, alcanzando los 442 metros de altura.

En el año 1998 se produjo otro cambio importante en la construcción de edificios, pues en Malasia, se finalizó la construcción de las Torres Petronas, contando con una altura de 452 metros, consiguiendo el título de rascacielos más alto del mundo, título que mantuvo hasta el año 2004, pues en ese año fue inaugurado la torre de Taipei 101 de Taiwan, que se convirtió en el rascacielos más alto del mundo con sus 508 metros de altura.

En el año 2010 se inauguró un nuevo rascacielos llamado Burj Khalifa de Dubai. Este importantísimo edificio localizado en los Emiratos Árabes, con sus 828 metros de altura, es actualmente el rascacielos más alto del mundo y la estructura más alta del mundo creada por el hombre.

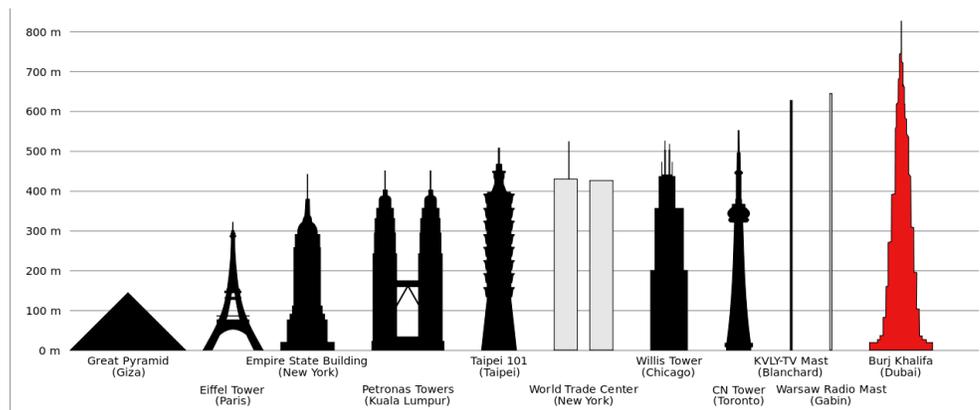


Fig. 2.04 Evolución de la arquitectura y la ingeniería desde la famosa Gran Pirámide de Giza en Egipto que data del año 2500 a.C., hasta el Burj khalifa en el año 2010.<sup>27</sup>

<sup>26</sup> Empire State Building Achieves LEED Gold Certification. <http://www.esbnyc.com/>

<sup>27</sup> Tomado de wikipedia.org

## 2.4 EDIFICIOS MAYORES A 110 PISOS EN EL MUNDO

### 2.4.1 Burj Khalifa

En la actualidad el edificio Burj Khalifa, conocido durante su construcción como Burj Dubai (Torre Dubái en árabe), es un rascacielos que se encuentra situado a orillas del Golfo Pérsico en los Emiratos Árabes Unidos, en el distrito Downtown Burj Khalifa de la ciudad de Dubái, es reconocida a nivel mundial como la estructura más alta construida por el hombre con 828 metros (2,716.5 pies) de altura, y con un total de 160 plantas habitables.

La torre se inauguró el 4 de enero de 2010, fecha que coincidió con el cuarto aniversario del día de la coronación de Su Alteza el Jeque Khalifa Mohammed Zayed Al-Nahyan, vicepresidente y primer ministro de EAU y soberano de Dubái.



Fig. 2.05 Burj Khalifa<sup>28</sup>

La construcción del edificio comenzó el día 21 de septiembre de 2004, diseñado por el estudio de arquitectos SOM (Skidmore, Owings and Merrill), con la participación de las empresas constructoras Samsung C&T, Arabtec y BESIX. El primer diseño del edificio fue realizado por el arquitecto americano Jay Marshall Strabala, posteriormente el proyecto pasó a manos del arquitecto, Adrian Smith y Bill Baker como jefe ingeniero estructural, considerando que la sección superior del

---

<sup>28</sup> <http://www.dubaicityinfo.com/>

edificio no culminó con elegancia con el resto de la estructura, por lo que solicitó y recibió la aprobación para aumentar la cantidad hasta la altura actual.

La construcción del Burj Khalifa contó con un presupuesto inicial estimado de más de 4,000 millones de dólares, que se incrementó hasta los 20,000 millones para el desarrollo completo de la torre Burj Khalifa, parte del coste del edificio fue financiado por la familia del Emir Mohammed bin Rashid Al Maktoum, entre los que destaca su sobrino Fuad bin Rashid Al Maktoum de tan solo 20 años, que financió 25 millones de dólares del proyecto.

En un principio, el Burj Khalifa iba a tener el nombre de Grollo Tower, y mediría 570 metros, lo suficiente para convertirlo en el edificio más alto del mundo, y se iba a situar en Australia. La forma del rascacielos no tenía nada que ver con el diseño actual. Su diseño consistía en un prisma con una punta iluminada. Posteriormente se creó el modelo que actualmente se conoce, basado en los arcos árabes y la forma de una flor que se cultivaba en los Emiratos Árabes Unidos y en la India: la *Hymenocallis*.<sup>29</sup>

Posteriormente para la construcción del Burj Khalifa, se hizo uso de 330,000 metros cúbicos de concreto, 39,000 toneladas de armazones de acero, 103,000 metros cuadrados de vidrio, 15,500 metros cuadrados de acero inoxidable y 22 millones de horas de mano de obra.

Más tarde, su altura había ascendido a más de 600 metros y su diseño comenzaba a parecer más alto. Una vez ya ubicado en la ciudad de Dubai, su diseñador y creador había decidido que la altura del rascacielos iba a superar los 700 metros de altura.

---

<sup>29</sup> Bernardo Roca García. (Octubre 2007). Dubai construye el nuevo Techo del mundo. *Directivas Construcción*, 204, 14.

### 2.4.1.1 Inspiración

El enorme edificio está inspirado en la *Hymenocallis*, una flor originaria del desierto con seis lóbulos a su alrededor. Gracias a la forma de esta flor, surgió la genial idea de construir una superestructura modular con un núcleo central y tres alas en espiral con retrocesos; de esta forma, recortando los módulos de la torre a diferentes alturas, se consiguió reducir la carga transversal por la acción horizontal del viento pudiendo ganar así mucho más altura. Las plantas del edificio están compuestas por tres alas gallonadas de hormigón armado en forma de Y con más de 160 plantas habitables en total que se sitúan en torno a un núcleo centralizado de escaleras y ascensores.



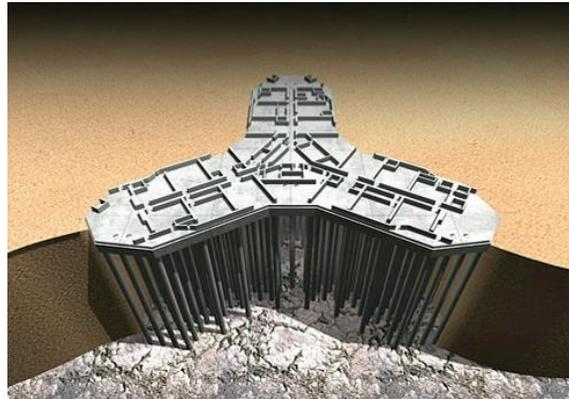
Fig.2.06 La forma de la base del Burj Khalifa está basada en la forma geométrica de una flor, la *Hymenocallis* blanca de seis pétalos cultivada en la región de Dubái y en la India.

### 2.4.1.2 Diseño del edificio

Tomando como inspiración la *Hymenocallis*, la base del Burj Khalifa consiste en una Y, compuesta de arcos basados en los domos de la arquitectura islámica.

La base de marco triangular o forma de Y, cuenta con un núcleo y tres secciones laterales que sobresalen de éste. Los cimientos, de concreto y acero, compuestos por 192 pilares redondos de 1.5 metros de diámetro cada uno y enterrados a más de 50 metros de profundidad, exigieron el uso de 45,000 metros cúbicos de concreto y su peso asciende a más de 110,000 toneladas.

Las alas o secciones laterales ascienden cada una a distinta altura y van haciendo que la estructura del edificio vaya siendo más estrecha. A su vez las alas forman una escalera en caracol con dirección a la izquierda, que rodea el edificio y sirve para contrarrestar los fuertes vientos y las numerosas tormentas de arena en Dubái.



**Fig. 2.07, Cimentación del burj khalifa, mostrando su sistema de pilotes de 1'5 metros de diámetro en su base y más de 43 m de profundidad.<sup>30</sup>**

Los niveles del edificio se contraen de acuerdo con un patrón escalonado espiral en sentido ascendente. Las diferencias entre un nivel y otro conforman el entramado del edificio; de este modo, el escalonamiento se obtiene apoyando columnas sobre paredes con objeto de distribuir la carga de forma óptima. Esta disposición, asimismo, permite continuar con el trabajo de construcción sin sufrir las dificultades normalmente asociadas a las columnas de transferencia.

El cuerpo del Burj Khalifa lo conforman siete niveles mecánicos localizados a lo largo del edificio cada 30 pisos, en donde se alojan los Sistemas de Electricidad, Depósitos de agua, bombas y Elementos de Tratamiento de aire que son esenciales para el funcionamiento del rascacielos.

A partir del último nivel mecánico, ubicado a más de 500 metros de altura, en donde terminan las alas, continúa el núcleo del edificio que se subdivide hasta terminar en la antena telescópica de 4,000 toneladas de acero, en donde funciona

---

<sup>30</sup> Metal Actual. (2011). El Colosal de Dubái. Metal Actual, [www.metalactual.com](http://www.metalactual.com), pág. 8.

un equipo de telecomunicaciones que agilizan el tránsito de datos a través de la telefonía celular, fija, Internet y otras señales digitales.



**Fig. 2.08, Cuerpo del Burj Khalifa, cuenta con 7 niveles mecánicos localizados a lo largo del edificio cada 30 pisos, en donde se sitúa la maquinaria que controla los sistemas del edificio como las estaciones eléctricas o las bombas de agua.**

La efectividad de este diseño fue corroborada ante más de 40 pruebas en un túnel de viento, las cuales sustentaron su adecuado funcionamiento. A partir del último nivel mecánico del Burj Khalifa, localizado a más de 500 metros de altura, terminan las alas y solo queda el núcleo del edificio, el cual se subdivide hasta que termina en una punta, que es la antena. La antena es visible a una distancia de 95 km y para su colocación, se utilizó desde dentro del edificio, una bomba hidráulica que la empujó hasta coronar su altura final.<sup>31</sup>

Cabe mencionar que el rascacielos, hasta los 586 metros, está hecho de concreto reforzado. A partir del piso 156 (586 metros) en adelante, las plantas están hechas de acero, lo cual las hace más ligeras.

Además el edificio dispone de 57 elevadores y 8 escaleras mecánicas, los elevadores con una velocidad máxima de 10 metros/segundo, que conectan sin paradas la planta baja con los vestíbulos intermedios, en los que los pasajeros

---

<sup>31</sup> Metal Actual. (2011). El Colosal de Dubái. Metal Actual, [www.metalactual.com](http://www.metalactual.com), pág. 9.

pueden tomar elevadores locales que prestan servicio a las plantas situadas entre un vestíbulo y otro.

### 2.4.1.3 Fachada

Para el revestimiento de la fachada trabajaron más de 380 ingenieros y técnicos, todos ellos dieron forma a la vista exterior del Burj Khalifa, diseñada bajo los parámetros de los muros tipo cortina, construida en aluminio, acero y vidrio, diseñándola especialmente para soportar las altas temperaturas de verano de Dubái, que data de aproximadamente 60°C en promedio. En total se utilizaron 24,348 paneles de vidrio de alta prestación que cubren un área de 142.000 m<sup>2</sup>. Este vidrio es de doble cristal plano, hermético y compuesto por una micronsísima de capa magnetrónicas que actúan como escudo para proteger de la excesiva luminosidad, propia del clima desértico, a la vez que impiden el sobrecalentamiento en el interior del edificio. De esta manera, el vidrio exterior sirve para rechazar gran parte del calor solar, mientras que el vidrio interior evita que la temperatura al interior del edificio se incremente.<sup>32</sup>

La combinación de ambos productos arroja unos resultados excepcionales tanto en control solar como en aislamiento térmico. Cabe destacar que ambos cristales proporcionan luz natural a la edificación, atenúan el ruido exterior y brindan un excelente balance acústico.

A su vez, la estructura de cada panel está elaborada en parteluces de aluminio y antepechos de acero con aletas tubulares verticales de acero inoxidable; materiales que sellan herméticamente las unidades y ayudan a mantener una temperatura agradable al interior de la edificación y garantizan la larga vida útil de la fachada debido a la resistencia de los materiales frente al clima de Dubái.

---

<sup>32</sup> Bernardo Roca García. (Octubre 2007). Dubái construye el nuevo techo del mundo. Revista Directivas Construcción, N° 204, pág.14.

#### 2.4.1.4 Características más relevantes

##### Altura, superficie y peso:

- ✚ Altura: 828 metros
- ✚ Área total construida: 527,310 m<sup>2</sup>
- ✚ Peso aproximado del edificio (vacío): 500,000 toneladas

##### Detalles técnicos de la construcción:

- ✚ Pilotes de cimentación: 194
- ✚ Horas de trabajo empleadas para su construcción: 22,000,000
- ✚ Acero usado en la estructura: 31,500 toneladas
- ✚ Acero usado en todo el edificio: 39,000 toneladas
- ✚ Concreto usado en la construcción: 330,000 metros cúbicos
- ✚ Paneles de fachada de vidrio utilizados: 28,250
- ✚ Número máximo de trabajadores simultáneos: 12,000
- ✚ Altura máxima a la que se bombeó hormigón: 605 metros
- ✚ Profundidad de los pilotes de cimentación: 50 metros
- ✚ Vidrio utilizado en la fachada: 100,000 metros cuadrados

##### Detalles inmobiliarios:

- ✚ Apartamentos residenciales: 1,044
- ✚ Velocidad máxima de los ascensores: 10 metros por segundo
- ✚ Recorrido máximo de ascensor: 504 metros
- ✚ Plazas de aparcamiento subterráneas: 3,000
- ✚ Demanda eléctrica pico de la torre: 36MW

#### 2.4.1.5 Distribución de las plantas

Plantas	Uso
160 en adelante	Plantas mecánicas
156 - 159	Telecomunicaciones
155	Piso mecánico

139 - 154	Suites corporativas
136 - 138	Pisos mecánicos
125 - 135	Suites corporativas
124	Mirador At the Top
123	Sky lobby
122	Restaurante <i>At.mosphere</i>
111 - 121	Suites corporativas
109 - 110	Pisos mecánicos
77 - 108	Residencias de lujo
76	Sky lobby
73 - 75	Pisos mecánicos
44 - 72	Residencias de lujo
43	Sky lobby
40 - 42	Pisos mecánicos
38 - 39	Suites del Hotel Armani
19 -37	Residencias Armani
17 - 18	Pisos mecánicos
9 - 16	Residencias Armani
1 - 8	Hotel Armani
Planta baja	Hotel Armani
Sótano	Hotel Armani
B1 - B2	Estacionamiento, Piso mecánico

Dubai, una ciudad en pleno desierto, pasó a formar parte de la historia de los rascacielos, ya que en 2010 se inauguró el Burj Khalifa de 828 metros de altura arquitectónica, que actualmente ocupa el puesto nº 1 en la lista de los 10 rascacielos más altos del mundo, así como nº 1 en el número de pisos. El enorme edificio es de uso mixto, siendo el diseño del arquitecto americano Adrian Smith.<sup>33</sup>

---

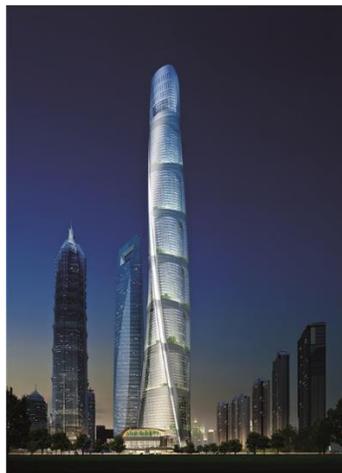
<sup>33</sup> <http://www.burjkhalifa.ae/>

### 2.4.2 Torre Central De Shanghái

La ciudad de Shanghái se localiza en China, actualmente es una de las ciudades con gran potencial y de mayor crecimiento mundial. A finales del año 2004, la ciudad de Shanghái anunció que había 6,704 edificios de 11 o más plantas completados desde 1990. Para el mes de noviembre de 2008, había 932 edificios altos completados y 208 más en construcción, aprobados o propuestos, de los cuales tres superan los 300 metros de altura.<sup>34</sup>

La Torre de Shanghái, es un rascacielos que actualmente se encuentra en construcción, se encuentra localizada en Lujiazui, en el distrito de Pudong, diseñada por la empresa M. Arthur Gensler Jr. & Associates, Inc., llamada y conocida como Gensler y Marshall Strabalar como jefe arquitecto. La Torre Shanghai será la más grande de China y ocupará el segundo lugar en el mundo.

La construcción del edificio comenzó el 29 de noviembre de 2008, actualmente la torre está casi concluida, se pretende inaugurarla el siguiente año, 2015, en este año se considera como el segundo rascacielos más alto del mundo, alcanzando los 632 metros de altura y un total de 121 pisos contando con 2 pisos subterráneos.



**fig.2.09, El rascacielos chino, será superado sólo en altura por la torre Burj Khalifa de Dubái, según lo previsto y dado que las obras van conforme a lo planificado.**

---

<sup>34</sup> Alejandro Pavez V. (Septiembre 2011). Shanghai Tower, China. Tocando Las Estrellas. Revista BIT, 57, pág.78-84.

El presidente de la compañía que construye el rascacielos, Gu Jianping, adelantó en la agencia oficial Xinhua que ahora la firma se centrará en la decoración interior y exterior del mismo, además de que "La Torre cumplirá la demanda de oficinas de alto nivel de Shanghai en un momento en el que la metrópolis busca convertirse en uno de los centros financieros internacionales y una zona de comercio más importante".

El edificio dispondrá de 381,600 metros cuadrados de superficie útil, de los cuales 210,000 estarán destinados a oficinas, contará con una subestación eléctrica subterránea que suministrará de energía a todo el inmueble.

#### 2.4.2.1 Diseño

La forma espiral de Shanghai Tower, está inspirada en la figura del río Yangpu y en los lineamientos del Feng Shui, donde todas las energías deben fluir hacia el infinito. Para establecer el ángulo de giro se realizaron una serie de estudios y pruebas a escala para encontrar el activo estructural que permitiera el mejor ángulo de rotación para enfrentar las fuertes corrientes de viento. Para establecer el mejor caso que permitiera la reducción de estas cargas, se creó una serie de pruebas de rotación (90°, 120°, 150°, 180° y 210°) y de ampliación (25%, 40%, 55%, 70% y 85%).<sup>35</sup>

Los resultados demostraron que una escala de factor de alrededor del 55% y una rotación de 120°, puede representar una reducción de hasta un 24% en las cargas del viento

Para optimizar la estabilidad a la estructura, la torre contará con un amortiguador de masa sintonizado en sus pisos superiores. El sistema pesa 1.200 toneladas y su estructura soportante es de 2 toneladas. En total la estructura y el péndulo alcanzan las 1,400 toneladas.

---

<sup>35</sup> Alejandro Pavez V. (Septiembre 2011). Shanghai Tower, China. Tocando Las Estrellas. Revista BIT, 57, pág.78-84.

La Torre de Shanghai, está organizada en base a nueve edificios cilíndricos apilados uno encima del otro, contando un total de 121 plantas, todas delimitadas por la capa interior de la fachada. La capa interior de la fachada es de doble forro, y encierra a los edificios, mientras que la fachada externa genera la envolvente del edificio, que gira un ángulo de 120 grados dándole a la torre una apariencia curva.

A medida que la torre vaya subiendo, van apareciendo nueve zonas interiores que proporcionarán espacio público para los visitantes. Los espacios entre las dos capas de la fachada crean nueve jardines elevados. Estos jardines permitirán la interacción y la reunión de la comunidad, incluyendo restaurantes, cafés y tiendas, a lo largo de un paisaje exuberante.

La fachada transparente es una característica de diseño único, porque la mayoría de los edificios tienen sólo una fachada con vidrio altamente reflectante para reducir la absorción de calor, pero la doble capa de vidrio elimina la necesidad de cualquier capa a ser opacada. Una vez abierto, se espera que la torre pueda albergar hasta 16,000 personas sobre una base diaria.

#### **2.4.2.2 Construcción**

Para la construcción de los cimientos fue necesario construir un muro circular alrededor del perímetro del terreno, para que cuando se comenzara a excavar no se drenara el agua del río que cruza en las cercanías de la Torre. El terreno arcilloso obligó a insertar cerca de 1,300 pilotes a un poco más de 80 metros de profundidad para entregarle estabilidad al suelo. Cada pilote tiene un metro de diámetro y se ubican a tres metros de distancia. Su instalación fue cuidadosa para no afectar la estabilidad de los dos rascacielos adyacentes.<sup>36</sup>

Una vez instalados los pilotes y en torno a los 30 metros de profundidad, se ubicó la zapata de fundación. Se utilizaron 16 bombas, alimentadas por 120 hormigoneras por hora, todo para volcar los 61,000 metros cúbicos utilizados para crear la losa de

---

<sup>36</sup> Gensler Shanghai. (2013). Shanghai torre. Gensler DesignUpdate, 1, 10.

cimentación que posee seis metros de espesor. Sobre esta losa de cimentación se construyó el núcleo central de la torre a base de hormigón de alta resistencia. Para su construcción se utilizó un sistema de encofrado repetitivo.

El núcleo está conectado a ocho súper columnas que le darán más estabilidad a la torre. “Se trata de una tecnología que se desarrolló cuando se diseñó una de las torres vecinas. En vez de tener un sistema de múltiples columnas, esta metodología permite concentrar las columnas en ciertos puntos permitiendo que el espacio sea más eficiente”.<sup>37</sup>

Las súper columnas tienen una dimensión de 4.3 m x 5.3 m y se encuentran a lo largo de la circunferencia del núcleo que alcanza los 30 metros cuadrados.



**Fig.2.10, A finales de abril de 2011, el refuerzo de acero de la torre se había subido a la planta 18, mientras que su núcleo de hormigón había llegado a la planta 15, y el piso encuadre se había completado hasta el cuarto piso.**

A finales de diciembre de 2011, los cimientos de la Torre se habían completado, y su construcción de acero se había elevado por encima de la planta 30. A principios de febrero de 2012, del núcleo de hormigón de la Torre se había elevado a una altura de 230 metros (750 pies), con alrededor de cincuenta pisos terminados. En los primeros meses de 2012, las grietas comenzaron a aparecer en las carreteras cerca de lugar de construcción de la Torre. Estos fueron atribuidos a hundimiento

---

<sup>37</sup> Alejandro Pavez V. (Septiembre 2011). Shanghai Tower, China. Tocando Las Estrellas. Revista BIT, 57, pág.78-84.

del suelo, lo que probablemente fue causado por exceso de agua subterránea de extracción en el área de Shanghai.

En mayo de 2012, el núcleo de la Torre se quedó a 250 metros (820 pies) de alto, mientras que los pisos habían sido establecidos a una altura de 200 metros (660 pies). A principios de septiembre de 2012, el núcleo se había alcanzado una altura de 338 metros.

A finales de 2012, la Torre alcanzó el piso 90, unos 425 metros (1.394 pies) de alto. Para el 11 de abril de 2013, la Torre había alcanzado 108 pisos, a más de 500 metros (1.600 pies) de altura y que superen las alturas de sus dos rascacielos vecinos, la Torre Jin Mao y el Shanghai World Financial Center.

La mayoría de la energía de la Torre estará a cargo de los aerogeneradores situados cerca de la parte superior, que generarán hasta 350,000 kW de electricidad.

La fachada de vidrio aislante de doble capa reducirá la necesidad de usar el aire acondicionado y se compondrá de un vidrio reforzado con una alta tolerancia a los cambios de temperatura. Además, los sistemas de calefacción y refrigeración del edificio usarán fuentes de energía geotérmica.

En septiembre de 2011, la empresa japonesa Mitsubishi Electric Corp., ganó la licitación para construir el sistema de ascensores de la Torre Shanghai. Mitsubishi Electric suministró los 106 ascensores de la torre, incluyendo tres modelos de alta velocidad capaces de viajar a 40 kilómetros por hora, en base a tecnologías innovadoras diseñadas específicamente para la Torre.<sup>38</sup>

---

<sup>38</sup> Alejandro Pavez V. (Septiembre 2011). Shanghai Tower, China. Tocando Las Estrellas. Revista BIT, 57, pág.78-84.

### 2.4.2.3 Información general

Información general		Detalles técnicos	
<b>La construcción se inició</b>	29 de noviembre 2008	<b>Total plantas</b>	121
<b>Prevista de finalización</b>	2015		(pisos bajo tierra: 2)
<b>Costo</b>	US \$ 4,2 mil millones		380.000 m <sup>2</sup> (4.090.300 pies cuadrados) por encima del nivel
<b>Altura</b>		<b>Superficie</b>	de 170 m <sup>2</sup> (1,800 pies cuadrados) por debajo del grado
<b>Arquitectónico</b>	632 m (2073 pies)	<b>Diseño y construcción</b>	
<b>En planta alta</b>	556,7 m (1826 pies)	<b>Arquitecto</b>	Gensler
			Thornton Tomasetti
		<b>Ingeniero</b>	
		<b>El contratista principal</b>	Shanghai Construction Group

### 2.4.3 Torres Abraj Al Bait

Las Torres de Abraj Al Bait, también conocidas como Makkah Royal Clock Tower, actualmente es una construcción residencial y hotelera de uso mixto, ubicada en el centro de la Meca, en Arabia Saudita. La construcción, inició en el año 2004 y

finalizó durante el transcurso del 2012, está basada en siete torres erigidas por encima de podios de las cuales, la más alta, posee el Reloj Makkah Royal alcanzando una altura de 601 metros, convirtiéndose en uno de los diez rascacielos más altos del mundo.

Este gran proyecto de construcción fue llevado a la realidad a través de los Fondos King Abdulaziz, que tiene por objeto modernizar la ciudad para ofrecer un alojamiento de clase mundial al creciente número de visitantes y residentes de la ciudad santa de la Meca. La compañía Saudi Binladin Group desarrolló el proyecto completo, delegando el diseño arquitectónico del complejo a Dar Al-Handasah en 2001.

Cuando se acabó se coronó como el segundo edificio más alto del mundo, después del Burj Khalifa de Dubái. Para el año 2015 será considerada como el tercer rascacielos más grande después de la torre central de china. La estructura tiene un área de construcción más grande que cualquier otra estructura en el mundo con 1, 500,000 m<sup>2</sup> de área de construcción. Por este motivo, las Torres de Abraj-Al Bait tienen un espacio para el rezo, con capacidad para albergar a aproximadamente cuatro mil personas.



**Fig. 2.11, La Torre del hotel del complejo se convirtió en el segundo edificio más alto del mundo en 2012 y actualmente es el tercer edificio más alto del mundo.<sup>39</sup>**

<sup>39</sup> <http://www.fierasdelaingenieria.com/>

Además, las Torres Abraj Al Bait tienen un centro comercial de cuatro plantas y un estacionamiento capaz de albergar más de mil vehículos. Las torres residenciales albergan permanentemente a los residentes, mientras dos helipuertos y un centro de convenciones sirven para acomodar a los viajeros de negocios.

En total, más de setenta mil personas pueden ser albergadas en el interior del edificio principal. Está encabezada por un reloj que se ve a 25 kilómetros de distancia, y que con un tamaño de 43 metros de lado convirtiéndose en el más grande del mundo. El piso residencial más alto está a 400 metros sobre el suelo, justo debajo del reloj. Las medidas de las caras del reloj son de 43m x 43m, el más grande del mundo.

Por otra parte el edificio cuenta con una antena de 71 metros en el tope del reloj dándole una altura total de 601 metros, lo que lo convierte en el tercer edificio más alto del mundo, sobrepasando a la Torre Taipei 101 en Taiwán y por detrás de la Torre central de Shanghái y el Burj Khalifa.

#### 2.4.3.1 Información general

Información General		Dimensiones	
Costo	\$1.6 Billones	Superficie	Torre: 310,638 m <sup>2</sup>
Localización	La Meca, Arabia Saudita		Complejo: 1,575,815 m <sup>2</sup>
<b>Construcción</b>		Altura máxima	601 m (1.972 pies)
Inicio	2004	Altura de la azotea	558,7 m (1.833 pies)
Término	2012	Altura de la última planta	558,7 m (1.833 pies)
<b>Equipo</b>		Número de plantas	120
Arquitecto(s)	Dar Al-Handasah	Número de ascensores	96

Ingeniero estructural	Dar Al-Handasah	
Contratista	Grupo Saudi Binladin	

## 2.5 EDIFICIOS MAYORES A 50 PISOS EN MÉXICO

### 2.5.1 Torre Mayor

La Torre Mayor es un rascacielos ubicado en la ciudad de México, en la avenida Paseo de la Reforma número 505, Distrito Federal.

El proyecto fue desarrollado por el arquitecto Paul Reichmann. Hay que mencionar que el equipo Reichmann International vio interrumpida su construcción durante cuatro años debido a la crisis económica que presentó México a mediados de los años 90. Cabe mencionar que Reichmann International ha estado a cargo de diversos desarrollos corporativos, dentro de los que se destaca las cuatro Torres del World Financial Center en Nueva York, Estados Unidos, el edificio de 72 pisos First Canadian Place en Toronto, Canadá y el desarrollo Canary Wharf en la zona Este de Londres.



**Fig. 2.12, La construcción de La Torre comenzó en el año de 1999 y fue concluida a finales de 2002 superando a la Torre Pemex.**

La Torre Mayor tiene una altura de 225.00 metros sobre el nivel de la banqueta y 59 niveles, incluyendo 4 niveles de estacionamientos subterráneos, con más de 2,000 espacios de autoservicio disponibles. El edificio está equipado con 29 elevadores en total, 27 de pasajeros y 2 de carga, todos de alta velocidad divididos en tres sectores:

-  Del piso 1 al piso 21
-  Del piso 22 al piso 35
-  Del piso 36 al piso 55.

Además cuenta con 84,135 m<sup>2</sup> de espacio de oficina, 2 escaleras de emergencia presurizadas, unidades automáticas manejadoras de aire acondicionado, sistemas mecánicos, eléctricos y de telecomunicaciones en cada piso. Cada planta de piso cuenta con una superficie promedio de 1,650 a 1,825 m<sup>2</sup> libre de columnas y con una altura libre de cada piso de 4.50 m en total se rige con un área de 157,000 m<sup>2</sup> de construcción.<sup>40</sup>

Dada la sismicidad de la Ciudad de México, y el terreno donde se localiza la edificación, se llevó a cabo un riguroso estudio de ingeniería sísmica, a fin de poder aislar sísmicamente a la torre contando con una estructura de concreto reforzado con 46,916 metros cúbicos de concreto, 21,200 toneladas de acero estructural y de refuerzo, 98 amortiguadores sísmicos y 252 pilotes en su cimentación enterrados a 36 y 64 metros de profundidad, además de su estructura inteligentemente pensada, todo ello en conjunto le confiere al edificio una resistencia frente a sismos de hasta 8.5 grados en la escala Richter, toda la ingeniería de la estructura fue realizada por el mexicano Enrique Martínez Romero.

---

<sup>40</sup> <http://www.torremayor.com.mx/>

### 2.5.1.1 Datos generales

Para el recubrimiento de la fachada sur se utilizaron más de 30 mil metros cuadrados de cristal con aislamiento térmico y acústico, además de acabados de mármol en su interior y granito en áreas comunes.

La Torre resiste vientos de 257 kilómetros por hora, sus cristales son de 2.5 centímetros de grosor lo que le confiere un aislamiento del calor, rayos ultravioleta y ruido. Por sus notables características en diseño y estructuración ha sido premiada por:

-  ADI.
-  Charles J. Pankow Award.
-  ANIPPAC.
-  B.O.W.N.
-  IMEI, *Edificio Inteligente*.
-  IMEI, *Edificio Patrocinador*.
-  ACEC New York.
-  ACEC New York.

Además las columnas metálicas de la Torre están recubiertas en concreto hasta el perímetro del piso 30 y hacia arriba hasta el piso 35, en el área del núcleo.

El sistema de amortiguamiento está compuesto de 98 amortiguadores que reducen al mínimo su desplazamiento durante un sismo y 252 pilotes de concreto y acero que penetran una profundidad de 60 metros.

Por otra parte el sistema es administrado por un sistema inteligente, llamado Building Management System (BMS), que controla todas las instalaciones y equipos de forma armónica y eficiente, como lo es el sistema de Luz que a su vez es controlado por el sistema B3.

### 2.5.1.2 Sistema Eléctrico

Actualmente en nuestra Ciudad de México, obtener un suministro de energía eléctrica de manera confiable y eficiente es un verdadero reto y una gran preocupación inclusive en los mejores edificios. La suspensión temporal de la electricidad es un dolor de cabeza para muchos usuarios, además los cambios bruscos de corriente eléctrica, amenazan a los equipos de cómputo así como a otros equipos de mucha sensibilidad.

Cabe mencionar que la Torre Mayor entrega un sistema de red vertical de ductos y cableado, a través de espacios especiales en cada piso dentro del núcleo del edificio, con cableado de cobre y de fibra óptica también para cada nivel. El edificio proporciona un sistema versátil y flexible para cumplir con las necesidades presentes y futuras de los sistemas más avanzados de cableado o inalámbricos, incluyendo microondas y satélites.

Para abastecer los requerimientos de electricidad e iluminación en la Torre Mayor se utilizó un moderno sistema vertical de cableado, con capacidad de 60 W por metro cuadrado, que está ubicado dentro del entrepiso para facilitar su mantenimiento y eventuales modificaciones.

El sistema es alimentado por dos subestaciones independientes, con la posibilidad de alternarlas automáticamente. Cuenta con mecanismos de control de niveles de energía para mantener la corriente constante en todo el edificio.<sup>41</sup>

La conexión para abastecer de energía a la Torre se hace directamente de los alimentadores de alta tensión 23 kv., por medio de tres líneas que llegan a los transformadores que son equipos de transferencia del tipo seco, de donde salen las líneas a media tensión con un sistema de anillos, hasta las tres subestaciones secundarias ubicadas en los niveles 9, 53 y 54 que alimentan a las diferentes áreas de la Torre.

---

<sup>41</sup> <http://www.torremayor.com.mx/>

El equipamiento eléctrico de la Torre Mayor es de la más alta tecnología y aumenta los ahorros de sus ocupantes, es el único inmueble en México con tres alimentaciones eléctricas de 16 megavoltios, suministradas por tres subestaciones de media tensión de la ciudad que garantizan el abasto permanente. El edificio cuenta con equipamiento propio que transforma la energía de tensión media a baja y se distribuye a todos los pisos por medio de un moderno sistema vertical de transmisión llamado electroducto.

El sistema de electroductos, tiene una capacidad de 4,000 amperes para el suministro eléctrico a los ocupantes con un voltaje de 220 v. También existe un electroducto con una capacidad de 6,000 amperes para el suministro eléctrico a las áreas de servicio de la Torre con un voltaje de 440 v. Este sistema da una compactación en la red de energía eléctrica ya que se ahorra cable, espacio y la instalación es mucho más versátil.

Como último respaldo en caso de falla del suministro de energía eléctrica de las tres subestaciones, se cuentan con una planta de emergencia de diésel marca GP de 1,700 KW.

La Torre Mayor, también cuenta con supresores de picos en todos los niveles, los cuales anulan las variaciones de voltaje evitando posibles daños a equipos electrónicos y de computación.

La automatización de la Torre Mayor está administrada por el Building Management System (BMS), un sistema inteligente que controla todas las instalaciones y equipos de forma armónica y eficiente para proteger la vida humana y reducir en forma sustancial los costos operativos de su empresa. A este sistema están integrados los sistemas: eléctrico, hidrosanitario, de elevadores y protección contra incendio y tiene la capacidad de resolver las necesidades más sofisticadas

de cada inquilino en particular, tales como la lectura de tarjetas de seguridad y control de la iluminación.<sup>42</sup>

### 2.5.2 Torre Ejecutiva PEMEX

La Torre Ejecutiva PEMEX es un rascacielos ubicado en la Ciudad de México, en la Avenida Marina Nacional, la construcción estuvo Diseñada en 1976 por el arquitecto Pedro Moctezuma Díaz Infante. Tras cinco años de planeación la construcción inició en 1981 y la Torre se inauguró en 1982, convirtiéndose en el edificio más alto de la República Mexicana de ese mismo año, fecha en la cual fue terminada. Posteriormente La Torre de PEMEX fue considerada como el rascacielos mexicano más alto de México durante 19 años, título que cedió a la Torre Mayor en el año 2003. Siendo esta 32 metros más alto que la Torre Latinoamericana y 11 metros menos que la Torre Mayor.



**Fig.2.13, Torre PEMEX, desde su inauguración la torre es ocupada por Pemex, una de las empresas más grandes de Latinoamérica.**

Actualmente es el segundo rascacielos más alto de la Ciudad de México con 214 metros de altura, hay que mencionar que originalmente la altura fue de 222 metros. Sin embargo, debido a modificaciones en la punta de la torre, se redujo a 214 metros.

---

<sup>42</sup> <http://www.torremayor.com.mx/>

### 2.5.2.1 Construcción

Los principales materiales usados en la construcción fueron acero, vidrio y aluminio. La constructora encargada de desarrollar el proyecto fue ICA, la ingeniería la realizó Colinas de Buen S.A. de C.V., y la cimentación corrió a cargo de Solum S.A.

De acuerdo con ICA, el edificio ocupa un área total de 165,000 metros cuadrados. Usando 224,000 toneladas de acero de refuerzo el cual provenía de Houston y España, destacando que los tornillos de acero en la estructura metálica son de alta resistencia y 39,150 metros cúbicos de concreto de origen mexicano.

La cimentación se adjudicó mediante un concurso a Solum S.A., para ser realizada en un tiempo de 90 días. La estructura se apoya al suelo con 164 pilotes construidos en concreto y acero, anclados a una profundidad de 32 metros, superando el relleno pantanoso del antiguo lago, hasta llegar al subsuelo más firme.

La estructura de la torre de 214 metros de altura, contiene 54 plantas de 2.77 metros de altura por piso y entre 1,845 a 1,850 metros cuadrados de superficie habitable, además de dos niveles subterráneos de estacionamiento.

Su estructura la mantiene anclada al suelo con 164 trabes de concreto y acero a 32 metros de profundidad, superando el relleno pantanoso del antiguo lago, hasta llegar al subsuelo más firme. Dispone también de 90 amortiguadores lo que explica su resistencia a los sismos. Su primera prueba de fuego fueron los temblores de 1985, tras los cuales no sufrió daño alguno puesto que fue diseñada para soportar sismos de 8.5 grados en la escala Richter, por tal motivo es considerado como uno de los edificios más resistentes del mundo.

El edificio cuenta con 54 pisos y 8 niveles de estacionamientos subterráneos. Lo que le da la capacidad para más de 2 mil autos. Funciona con 27 elevadores y 4 escaleras de emergencia. Los elevadores se detienen en el piso más cercano en caso de que sus detectores sísmicos registren un movimiento. Los cristales

utilizados en el edificio son de tipo reflejantes polarizados de color cobrizo llamados semitemplados, contando con una tecnología inteligente que matizan la transmisión calorífica de los rayos solares.

### 2.5.2.2 Características Generales

La Torre se alimenta eléctricamente de dos puntos distintos de la ciudad, estas cargas son de 16 mega-voltios, suministradas por tres subestaciones de media tensión de la ciudad que garantizan el abasto permanente.

La capacidad total de la Torre es de aproximadamente 7,000 personas.

La Torre Pemex está administrada por el Building Management System (BMS), que es un sistema inteligente que controla todas las instalaciones y equipos de forma armónica y eficiente para proteger la vida humana. A éste sistema están integrados los sistemas: eléctrico, hidro-sanitario, de elevadores, de protección contra incendio así como la capacidad de controlar la iluminación del edificio.

El Building Management System (BMS) tiene dentro de su sistema un control relevante en seguridad como:

- ✚ Detección de incendios y extinción
- ✚ Control de Acceso
- ✚ Control de Intrusión
- ✚ Circuito Cerrado de Televisión (CCTV)
- ✚ Control de Activos

Es considerado un edificio inteligente, debido a que el sistema de luz es controlado por un sistema llamado B3, al igual que el de la Torre Mayor.

<b>Datos Generales</b>			
<b>Localización</b>	México, D.F.	<b>Capacidad</b>	7,000 personas
<b>Propietario</b>	Petróleos Mexicanos	<b>Número de plantas</b>	54
<b>Uso</b>	Oficinas	<b>Número de ascensores</b>	27
		<b>Plantas Subterráneas</b>	8
<b>Construcción</b>		<b>Equipo</b>	
<b>Inicio proyecto</b>	1976	<b>Arquitecto(s)</b>	Pedro Moctezuma Díaz Infante
<b>Construcción</b>	1982	<b>Contratista</b>	Colinas de Buen S.A. de C.V.
<b>Finalización</b>	1983	<b>Promotor</b>	Robledo Construcciones e Instalaciones S.A de C.V.
<b>Dimensiones</b>		<b>INTELIGENCIA</b>	
<b>Altura de la azotea</b>	214 m	<b>Sistema</b>	BMS
<b>Altura de la última planta</b>	211.3 m	<b>iluminación</b>	B3
<b>Area Total</b>	165,000 m <sup>2</sup>		

### 2.5.3 World Trade Center, Ciudad de México

Gustavo Díaz Ordaz, en el año de 1966 inició la obra de construcción del Polyforum y del Hotel México. Hacia 1968 y con motivo de los Juegos Olímpicos, se contemplaba construir un complejo arquitectónico que incluyera un hotel que tendría 80 pisos y se convertiría en el hotel más alto del mundo con cerca de 300 metros, además contendría un centro comercial, una escuela de Arte Público, un mercado de artesanías, entre otras cosas. Por diversas razones el proyecto se retrasó y no pudo concretarse para la olimpiada y a partir de ahí atravesó una serie de problemas

económicos, que llevaron al abandono del edificio pero sin cancelar el plan original.<sup>43</sup>



**Fig. 2.14, A mediados de la década de 1980, se inició un proyecto para convertir al Hotel de México en un centro internacional de negocios.**

Hacia el año de 1972 se inauguró la torre del Hotel México, aunque las principales fachadas permanecían en obra negra, mientras que otras áreas comenzaron a funcionar como el Polyforum, el centro de convenciones, el área comercial, el estacionamiento, el restaurante giratorio, entre otros más. En el año de 1980 las fachadas fueron terminadas hasta completarse el trabajo.

Con el apoyo del ex presidente Miguel de la Madrid Hurtado y Carlos Salinas de Gortari, se forman sociedades para concretar el futuro del WTC, en el mes de julio de 1994 culminó la reestructuración del edificio y en noviembre de 1994 se inauguró formalmente la Torre del World Trade Center Ciudad de México.

Actualmente la Torre WTC es el tercer edificio más alto de la Ciudad de México, siendo un rascacielos de 50 pisos y 207 metros de altura, incluyendo su antena, su excelente ubicación le permite un fácil acceso, cuenta con un cine dentro de sus instalaciones, hotel, establecimientos comerciales, radiodifusoras y una televisora, pero lo más atractivo de la Torre es el lujoso restaurante giratorio que se ubica en

---

<sup>43</sup> Mohd Huzairy. (Julio 2010). Historia del World Trade Center, Ciudad de México. Revista Holiday inn Express.

el piso 45, el cual ofrece una impresionante vista panorámica y tarda aproximadamente una hora en completar una vuelta.

### 2.5.3.1 Arquitectura

Los arquitectos que diseñaron el Hotel México fueron Guillermo Rossell de la Lama, Ramón Miguel de Jáuregui y Joaquín Álvarez Ordoñez, dándole al edificio un diseño modernista, el capital y desarrollador fue Manuel Suárez y Suárez y la ingeniería corrió a cargo de Heberto Castillo Martínez, mismo que incorporó su tecnología denominada losa triodética mejor conocida como tridilosa, la cual reduce considerablemente el uso de concreto y acero y por consecuencia reduce el peso del edificio.

Durante la renovación de la estructura los arquitectos a cargo fueron Gutiérrez Cortina, la construcción la realizó GUTSA e ICA. Para la seguridad del edificio cuenta con la tecnología antisísmica de 56 amortiguadores y 232 pilotes que penetran a 45 metros de profundidad sobre el terreno. Los principales materiales empleados en la construcción fueron: vidrio, acero y concreto.



**Fig 2.15,** Los niveles de oficinas inician a partir del piso 4 hasta el piso 39, con módulos de oficinas que van de 40 metros cuadrados hasta una planta completa de aproximadamente 3,200 m<sup>2</sup>.

La fachada es una de las características emblemáticas que dieron el toque de modernidad arquitectónica al WTC. Tiene una superficie de 41,710 metros cuadrados, compuesta por más de 10 mil módulos independientes, fabricados con perfiles de aluminio y cristal con un promedio de 4 metros cuadrados cada uno.

Cuenta con 35 ascensores, que fueron remodelados en 1992 y transformados en elevadores de alta velocidad, estos alcanzan un máximo de avance de 6,6 metros por segundo. Así mismo, los elevadores inteligentes que se encuentran en el lugar, tienen la capacidad de detectar cualquier movimiento anormal en la tierra y al ocurrir un sismo, se detienen de manera automática en la parada más cercana para que los pasajeros bajen.

Cabe destacar que es el edificio con más elevadores en Latinoamérica, superando a los de Torre Mayor.

### 2.5.3.2 Edificio Inteligente.

La Torre WTC está administrada por un sistema inteligente que controla todas las instalaciones y equipos de forma armónica y eficiente. A este sistema están integrados los sistemas: eléctrico, hidro-sanitario, de elevadores y protección contra incendio y tiene la capacidad de controlar la iluminación del edificio.<sup>44</sup>

También cuenta con elevadores automáticos y se encuentran siempre en los pisos de más afluencia de personas.

El edificio cuenta con una manejadora de aire automática en cada nivel para surtir.

El edificio cuenta con los siguientes sistemas:

-  Sistema de Generación y distribución de agua helada ahorrador de energía.
-  Sistema de Volumen Variable de Aire.
-  Sistema de Extracción Sanitarios Generales en cada nivel de oficinas.
-  Sistema de ventilación Mecánica de aire automático en estacionamientos.
-  Sistema de Extracción Mecánica Cuarto de basura.

---

<sup>44</sup> <http://www.wtcmexico.mx/>

### 2.5.3.3 Datos generales

Datos Generales		Diseño	
Altura	207 metros.	Arquitecto	Guillermo Rossell de la Lama; Joaquín Álvarez Ordóñez; Ramón Miquelajauregui
Área total	239,000 m <sup>2</sup>	Contratista	Eureka, Escala Internacional y Gutsa
Espacio de oficinas	87,100 m <sup>2</sup>	Inversionista	Banco de Comercio Exterior (Bancomext)
Pisos	50 pisos.		
Estructura de concreto reforzado con:	34,000 m <sup>3</sup> de concreto; 28,000 toneladas de acero estructural y de refuerzo; 56 amortiguadores sísmicos.		

## CAPÍTULO 3

### 3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Un sistema de distribución eléctrico es el conjunto de elementos encargados de suministrar la energía desde una subestación de potencia hasta el usuario. La función de la red de distribución es tomar de la fuente la energía eléctrica en bloque y distribuirla a los usuarios en los niveles de tensión normalizados y en las condiciones de seguridad exigidas por los reglamentos.

#### 3.1 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Un sistema eléctrico de potencia está conformado por la generación de la energía eléctrica, por un medio de transmisión a partir de las líneas de transmisión que interconecta a todos los sistemas eléctricos, por subestaciones eléctricas tanto elevadoras como reductoras de voltaje, por último un medio de distribución.<sup>45</sup>

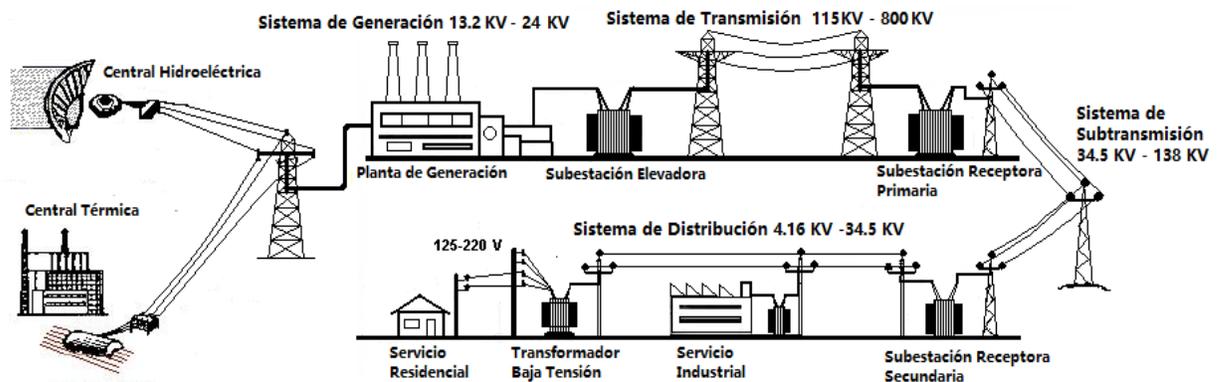


Fig. 3.01, Diagrama del sistema eléctrico de potencia, con sus sistemas que lo conforman.

La red de distribución de energía eléctrica o sistema de distribución de energía eléctrica, es el conjunto de instalaciones y equipos eléctricos encargados de realizar la transformación de niveles de alta, media o baja tensión a niveles adecuados para la distribución de energía eléctrica, cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales.

<sup>45</sup> Roberto Espinoza Y Lara, (Julio 1990). Sistemas Eléctricos De Distribución. México: F.I., UNAM.

Como su nombre lo dice, los sistemas de distribución tienen como objetivo suministrar a los usuarios la energía eléctrica producida en las plantas de generación.

## **3.2 Componentes del sistema de distribución**

El sistema de distribución está conformado por:

### **3.2.1 Subestaciones receptoras secundarias**

Se le llama así al lugar donde se transforma la energía recibida de las líneas de subtransmisión y dan origen a los circuitos de distribución primaria o alimentadores primarios.

Generalmente estas están alimentadas por las redes de subtransmisión y suministran la energía eléctrica a las redes de distribución a tensiones entre 34.5 y 6.6 kV.

### **3.2.2 Alimentadores primarios**

Son circuitos que parten de las subestaciones de distribución, que recorren cada uno de los sectores urbanos y rurales suministrando potencia a los transformadores de distribución a voltajes como 34.5 kv, 69 kv, 85 kv y 115 kv.

Los alimentadores primarios de distribución, también conocido como circuitos primarios, parten de las subestaciones receptoras secundarias y son los encargados de distribuir la energía eléctrica hasta los transformadores de distribución.

Los conductores son de tipo trifásico, de 3 o de 4 hilos, estos a su vez son transportados por un medio aéreo o subterráneo, cuando es aéreo son soportados por postes de diferentes dimensiones y cuando son subterráneos en ductos de diversos calibres y materiales.

Las derivaciones de alimentación pueden ser de tipo *troncal o ramal*. Dicho de esa forma la estructura es de tipo radial, caracterizado por los diversos ramales que salen del tronco, asemejándose a un árbol.

Las derivaciones de alimentación *troncal* pueden ser trifásicos de tres hilos y cuatro o monofásicos de dos hilos y un hilo. Por otra parte las derivaciones de alimentación troncal deben de soportar grandes capacidades de corriente eléctrica, ya que transmite la energía eléctrica desde la subestación de potencia hacia los ramales, por tal motivo la selección del cable debe de ser de un calibre muy grande, en cambio los ramales, van conectados a los transformadores de distribución, así como servicios dados en media tensión, los calibres de los conductores de menores dimensiones a los del tipo troncal.

### **3.2.3 Transformadores de distribución**

Son los encargados de reducir la tensión al valor utilizado por los clientes, se conectan a un circuito primario y suministran energía a los consumidores. El transformador de distribución es el encargado de conectar al circuito primario con el secundario.

En la actualidad existen diversos tipos de transformadores de distribución, fabricados en potencias normalizadas desde los 25 hasta los 1000 kva, y tensiones primarias de 13.2, 15, 25, 33 y 35 kv. La utilización de los transformadores depende mucho de la magnitud de la carga del sistema, utilizándola mayor parte de las veces, el transformador que más se adecue al lugar donde se encuentre, por ejemplo: Transformadores de tipo pedestal, Transformador tipo poste, Transformador Tipo subestación, Transformador Tipo sumergible.

### **3.2.4 Alimentadores secundarios**

Los alimentadores secundarios son los encargados de distribuir la energía eléctrica a los usuarios.

A los alimentadores secundarios los podemos clasificar en tres tipos dependiendo del número de hilos, ya sea en monofásicos de 2 hilos, monofásico de 3 hilos o trifásico de 4 hilos. La entrega de voltajes son 115 a 127 volts entre fase y neutro, y de 200 a 220 volts entre fases, o de 220 a 240 entre la fase y el neutro.

En la mayoría de los casos estos alimentadores secundarios son circuitos radiales, salvo en los casos de las estructuras subterráneas malladas (comúnmente conocidas como redes automáticas) en las que el flujo de energía no siempre sigue la misma dirección. Estas subestaciones se encuentran alimentadas normalmente por los niveles de tensión intermedios (69 kv, 115 kv y en algunos caso 85 kv) para alimentar a las llamadas redes de distribución de 6.6 kv, 13.8 kv, 23 kv y 34.5 kv.

### **3.2.5 Acometida**

La acometida, es la parte de la instalación eléctrica así como del sistema de distribución. Cabe mencionar que la acometida es continua desde el punto de conexión de la red de distribución hasta la entrada principal del equipo de medición. Las tensiones para la acometida las podemos encontrar desde media tensión o baja tensión, en tensiones primarias y secundarias respectivamente.

En la actualidad existen principalmente 3 maneras de hacer aterrizar la energía eléctrica al consumo de los edificios, la principal y la más común es la acometida aérea, la segunda es la acometida subterránea, y la tercera es mixta, resultado de la combinación de la acometida subterránea y la acometida aérea.

Para realizar la acometida aérea, es necesario realizarla conforme lo indica la compañía suministradora de energía, en este caso CFE, que a su vez nos da un manual para realizar la instalación conforme a su normatividad.

Tipo	Sistema de Instalación
Aéreas	Instalada sobre fachada
	Tensada sobre poste
Subterráneas	Con entrada y Salida
	En derivación
Mixtas	Aero-subterráneas

#### Tipos de acometidas en función a su instalación

Generalmente todos los edificios tienen una acometida de tipo subterránea trifásica, en media tensión. El tipo y la naturaleza de los conductores los designa la empresa suministradora bajo sus norma particulares.

### 3.3 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN MÁS USADOS

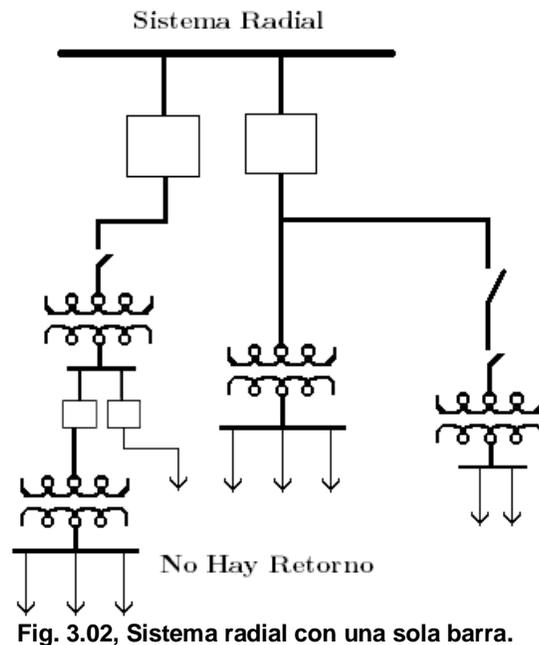
Los sistemas de distribución se pueden clasificar de acuerdo a su construcción y ubicación, tales como *Sistema radial*, *Sistema anillo*, *Sistema en malla o mallado*

#### 3.3.1 Sistema radial

El sistema radial se caracteriza por suministrar el servicio de energía eléctrica en una sola trayectoria entre la fuente y la carga. Es decir, parte desde la subestación y se distribuye por un solo camino sin regreso sobre el cual pasa la corriente en forma de rama hasta el suministro del cliente.

Cabe mencionar que los sistemas de tipo radial son los más económicos que existen, pues cuentan con una estructura bastante sencilla y utilizan la menor cantidad de equipo. A su vez la sencillez provoca una desventaja si se presenta una falla en el alimentador primario o a la hora de dar un mantenimiento, ya que hay que dejar fuera a toda la red, y eso no es lo conveniente para los usuarios dado que se quedarían sin servicio eléctrico.

Este tipo de estructuras son utilizados generalmente en zonas urbanas, suburbanas, así como en las zonas rurales, las podemos encontrar desde instalaciones aéreas como instalaciones subterráneas.



### 3.3.2 Sistemas radiales aéreos

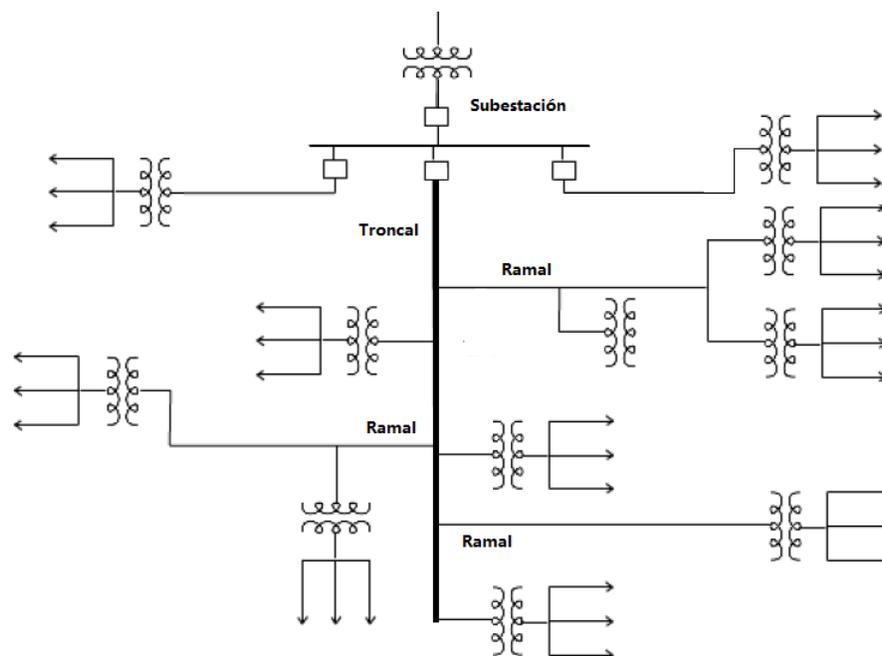
Los sistemas de distribución radiales aéreos se caracterizan por tener una estructura sencilla y económica. Las cargas en zonas urbanas son de tipo residencial, comercial e industrial, en cambio en las zonas rurales solo son cargas de uso doméstico y pocas veces existen cargas de pequeñas industrias.

Los sistemas aéreos están constituidos por transformadores reductores de voltaje, así como un medio de protección, como lo son las cuchillas, apartarrayos, cortacircuitos fusibles, seccionadores entre otros equipos de protección, todos ellos diseñados para ser instalados de forma área.

Como vimos anteriormente en el diagrama general de un sistema eléctrico de potencia, los alimentadores primarios que parten de la subestación de distribución están constituidos por líneas aéreas sujetas por postes llegando a los transformadores de distribución.

La instalación más utilizada en las zonas rurales es la configuración radial forma arbol, caracterizado por tener los conductores desnudos de calibre muy grueso en la parte troncal; es decir, al inicio de la línea van los conductores de mayor calibre conectado, después, los ramales con conductores de menor calibre respecto al troncal.

En cambio en regiones urbanas, con mayor densidad de población y por ende, mayor demanda de carga eléctrica, se utiliza el sistema radial, pero, con diversas interconexiones, las cuales están abiertas, ya que en caso de presentarse una falla en la red principal, se pueda seccionar para permitir pasar parte de la carga de un alimentador a otro y así mantener su operación normal, mientras es reparada la red principal.



**Fig.3.03, Diagrama unifilar de un sistema radial aéreo.**

### 3.3.3 Sistemas radiales subterráneos

Los sistemas de distribución tipo subterráneo son utilizados con mayor frecuencia en las zonas urbanas, ya que el tipo de instalación es invisible, pues toda instalación como su nombre lo dice, está por debajo del nivel del suelo. El sistema radial subterráneo a diferencia del aéreo es más costoso, y por ende más confiable, los equipos utilizados son más sofisticados ya que son diseñados para estar bajo tierra, las características que les dan a estos equipos son de tipo sumergibles.

Los arreglos subterráneos tienen la ventaja de no estar expuestos a fallas como las de tipo aéreo, en caso de que se llegara a presentar una falla, los seccionadores entran en operación, permitiendo dar una flexibilidad para pasar la carga a otro alimentador.

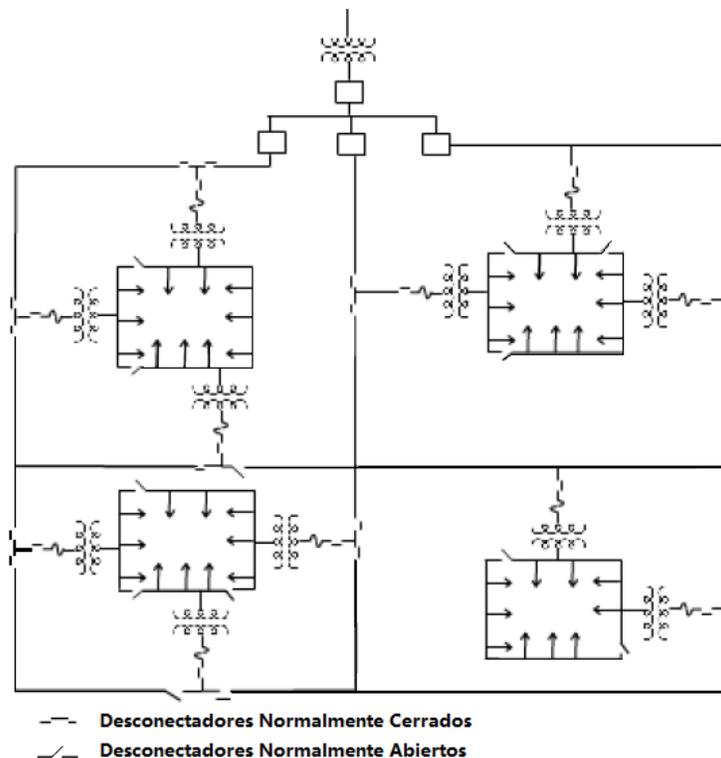


Fig. 3.04, Diagrama unifilar de un sistema radial subterráneo.

### 3.3.4 Sistema en anillo

En comparación del sistema radial, el sistema en anillo cuenta con más de una trayectoria entre la fuente y la carga para proporcionar el servicio de energía eléctrica. El costo del sistema en anillo es mucho mayor que el sistema radial, dado que cuentan equipos más coordinados, como sistemas de protección diseñadas específicamente para ese diseño.

El sistema en anillo comienza en la estación central o subestación y hace todo un recorrido completo por todo el sistema y regresa de nuevo al punto de partida. De esa forma permite aislar secciones si se llegase a presentar una falla o si hay una avería en un punto del sistema en anillo, se puede mantener el servicio si lo alimentamos desde otro punto.

Los sistemas en anillo son los más confiables ya que cada carga en teoría se puede alimentar por dos trayectorias, además de que permiten la continuidad de servicio, aunque no exista el servicio en algún transformador de línea.

Otra de las grandes ventajas que nos ofrece el sistema en anillo, es que si a la salida del servicio, cualquier circuito por motivo de una falla, se abren los dos interruptores adyacentes, se cierran los interruptores de enlace y queda restablecido el servicio instantáneamente. Si falla un transformador o una línea, la carga se pasa a otro transformador.

Un punto importante en los sistemas en anillo, es que si el mantenimiento se efectúa en uno de los interruptores normalmente cerrados, al dejarlo desenergizado el alimentador respectivo se transfiere al circuito vecino, previo cierre automático del interruptor de amarre.

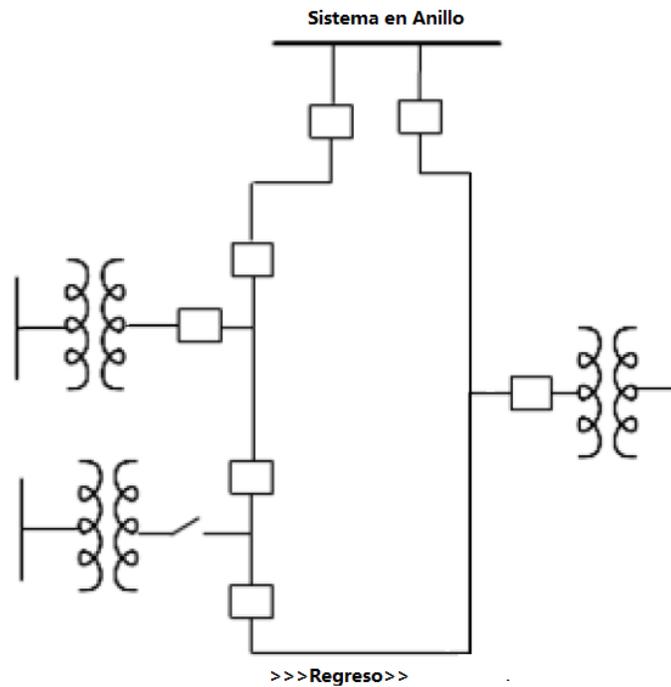


Fig. 3.05, Diagrama unifilar de un sistema en anillo.

### 3.3.5 Sistema mallado

La mejor instalación de servicio eléctrico es el sistema mallado, a su vez es el sistema más costoso.

El sistema mallado provee una mayor confiabilidad en el servicio eléctrico que las formas de distribución radial, ya que se le da alimentación al sistema desde dos plantas y le permite alimentar de cualquier planta de poder a cualquier subestación de distribución. En pocas palabras el sistema mallado tiene más de un camino simultáneo para el flujo de potencia, formado por distintos sistemas en anillo, lo cual en conjunto dan lugar a un sistema mallado.

Si se llegase a presentar una falla en el sistema mallado, esta es seccionada y respaldada por la red en anillo más cercana, dejando truncada la parte afectada.

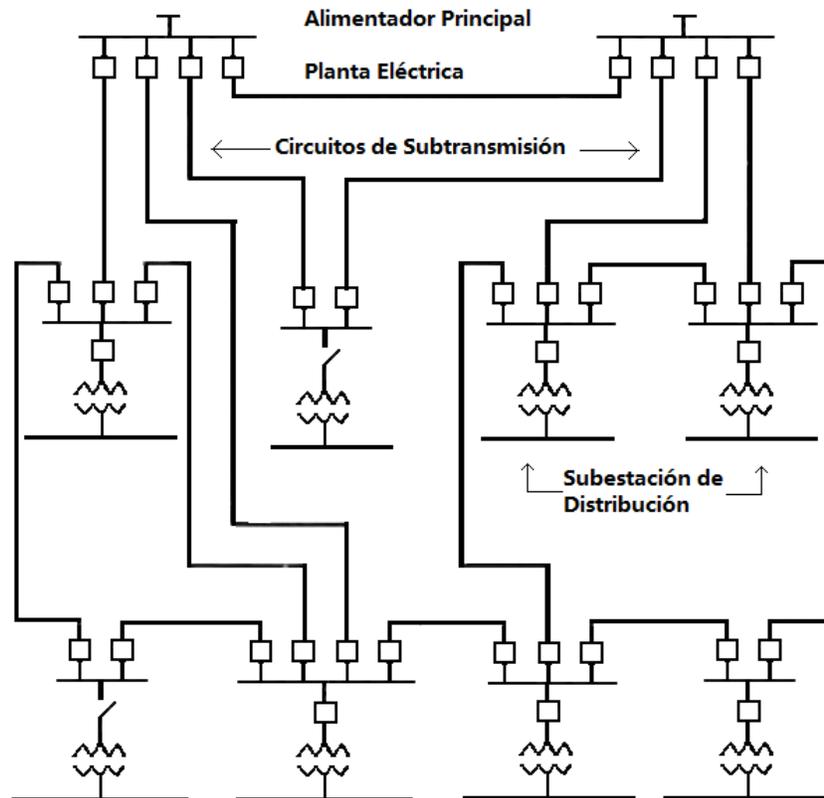


Fig. 3.06, Diagrama unifilar de un sistema en malla.

### 3.4 ELEMENTOS SECUNDARIOS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

#### 3.4.1 Interruptores

La característica más saliente del interruptor, también llamado disyuntor, es poder operar estableciendo e interrumpiendo cualquier valor de corriente hasta la que corresponde a su poder de interrupción (corriente de cortocircuito).

Lógicamente después de efectuar algunas veces esta operación el desgaste de los contactos puede ser muy elevado y las prestaciones del aparato quedan disminuidas.

Los poderes de interrupción van desde 1 KA hasta algunas decenas, como dicho son del orden de 100 veces la corriente nominal de los aparatos. La característica más saliente del interruptor, también llamado disyuntor, es poder operar

estableciendo e interrumpiendo cualquier valor de corriente hasta la que corresponde a su poder de interrupción (corriente de cortocircuito).

Lógicamente después de efectuar algunas veces esta operación el desgaste de los contactos puede ser muy elevado y las prestaciones del aparato quedan disminuidas.

### **3.4.2 Fusibles**

Los fusibles o cortacircuitos, no son más que una sección de hilo más fino que los conductores normales, colocado en la entrada del circuito a proteger, para que al aumentar la corriente, debido a un cortocircuito, sea la parte que más se caliente y por tanto la primera en fundirse. Una vez interrumpida la corriente, el resto del circuito ya no sufre daño alguno. Los fusibles de alta tensión y alta capacidad interrumpida, son elementos limitadores de corriente y protegen a los equipos de los efectos mecánicos y térmicos de corto circuito, están diseñados y fabricados según las normas IEC 281.1, DIN 43625, VDE 0670 PARTE 4 Y NMX.J.149.

Pueden ser instalados sobre bases soportes o utilizados en nuestros seccionadores de operación con carga H251, en combinación estos dos equipos crean un medio de conexión y desconexión económica y confiable.

### **3.4.3 Cuchillas**

Se les conoce también con el nombre de separadores o desconectores. Son dispositivos que sirven para conectar y desconectar diversas partes de una instalación eléctrica, para efectuar maniobras de operación o bien de mantenimiento.

La misión de estos aparatos es la de aislar tramos de circuitos de una forma visible. Los circuitos que debe interrumpir deben hallarse libres de corriente o dicho de otra forma el seccionador debe maniobrar en vacío. No obstante, debe ser capaz de soportar corrientes nominales, sobreintensidades y corrientes de cortocircuito durante un tiempo especificado. Así, este aparato va a asegurar que los tramos de

circuitos aislados se hallen libres de tensión para que se puedan tocar sin peligro por parte de los operarios.

Los seccionadores utilizados habitualmente en instalaciones eléctricas tienen muy variadas formas constructivas pudiéndose clasificar según su modo de accionamiento:

- ✚ Seccionadores de cuchillas giratorias.
- ✚ Seccionadores de cuchillas deslizantes.
- ✚ Seccionadores de columnas giratorias.
- ✚ Seccionadores de pantógrafo.
- ✚ Seccionadores semipantógrafos o tipo rodilla.

#### 3.4.4 Aisladores

Los aisladores sirven de apoyo y soporte a los conductores, al mismo tiempo que los mantienen aislados de tierra. El material más utilizado para los aisladores es la porcelana, el vidrio y materiales sintéticos como resinas epoxi.

#### 3.4.5 Apartarrayos

Se denominan en general apartarrayos a los dispositivos destinados a absorber las sobretensiones producidas por descargas atmosféricas, por maniobras o por otras causas que en otro caso, se descargarían sobre aisladores o perforarían el aislamiento. Ocasionalmente ocasionando interrupciones en el sistema eléctrico y, en muchos casos, desperfectos en los generadores, transformadores.

Los apartarrayos se hallan permanentemente conectados entre la línea y tierra y se han de elegir con unas características tales que sean capaces de actuar antes de que el valor de la sobretensión alcance los valores de tensión de aislamiento de los elementos a proteger (lo que se conoce como coordinación de aislamiento), pero nunca para los valores de tensión normales.

### 3.4.6 Restauradores

Los restauradores son dispositivos autocontrolados para interrumpir y cerrar automáticamente circuitos de corriente alterna con una secuencia determinada de aperturas y cierres seguidos de una operación final de cierre o apertura definitiva. En caso de que la falla no fuese eliminada entonces el restaurador opera manteniendo sus contactos abiertos, están diseñados para interrumpir en una sola fase o en tres fases simultáneamente. Los restauradores sirven para reconectar alimentadores primarios de distribución. Normalmente el ochenta por ciento de las fallas son de naturaleza temporal, por lo que es conveniente restablecer el servicio en la forma más rápida posible para evitar interrupciones de largo tiempo. Para estos casos se requiere de un dispositivo que tenga la posibilidad de desconectar un circuito y conectarlo después de fracciones de segundo.

### 3.4.7 Seccionadores

Son elementos que no están diseñados para interrumpir corrientes de cortocircuito ya que su función es el de abrir circuitos en forma automática después de cortar y responder a un número predeterminado de impulsos de corriente de igual a mayor valor que una magnitud previamente predeterminada, abren cuando el alimentador primario de distribución queda desenergizado.

Existen llaves cuya función solo es aislar una parte de la instalación de otra, para poder acceder a ella en condiciones de seguridad.

Estos aparatos reciben el nombre de seccionadores (de seguridad) y en media y alta tensión son la mayor cantidad de aparatos.

Se operan cuando por ellos no circula corriente, están sin carga (la corriente es despreciable), o al abrirlos no cambiar el potencial entre sus bornes (se encuentran cortocircuitados por otros aparatos).

Su función es garantizar la seguridad cuando se accede a la parte de la instalación que se ha seccionado.

En baja tensión en general no se instalan seccionadores con esta función exclusiva, en muchos casos los aparatos son seccionables y su extracción garantiza las condiciones de seguridad. La potencia máxima que pueden cortar los seccionadores es de 50 KVA.

### **3.4.8 Capacitores**

Los capacitores mejoran el factor de potencia debido a que sus efectos son exactamente opuestos a los de las cargas reactivas, eliminado así el efecto contrario que las causa.

La cantidad de capacitores necesarios se determina midiendo la energía activa y reactiva en instalaciones ya existentes, así se puede calcular la potencia necesaria del condensador para obtener el factor de potencia deseado. También, se puede conectar durante cierto tiempo registradores de potencia activa reactiva para obtener información sobre el consumo de energía reactiva. Los beneficios de los capacitores en paralelo dan al sistema una base para la reducción de los KVAR. Esta ayuda se manifiesta en una reducción de sus facturas de electricidad liberación de capacidad de KVA en el sistema, mejoramiento de voltaje así como reducción de pérdidas.

### **3.4.9 Reactores**

Un reactor en línea es un componente eléctrico, que consiste en una o más bobinas inductoras o transformadoras, cada elemento es cableado en serie con una fase del circuito, generalmente entre la fuente de poder y la carga eléctrica.

De acuerdo con las propiedades de un inductor, el reactor en línea se opondrá a cambios rápidos en la corriente y/o frecuencias. Este dispositivo sirve también para atenuar picos de corrientes. El tipo más común es diseñado para energía eléctrica en tres fases, en el cual tres inductores aislados están conectados en serie con cada una de las tres fases.

### 3.5 Factor de demanda eléctrica en México

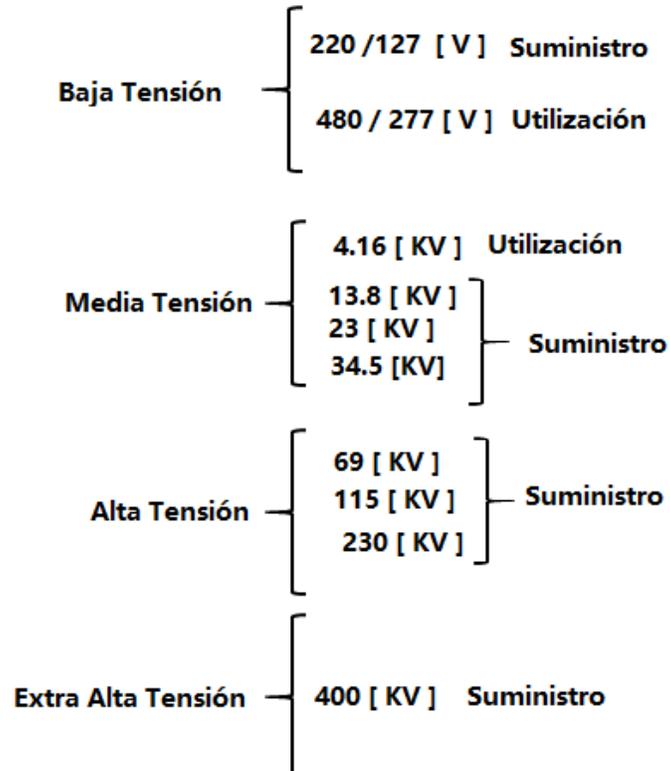


Fig. 3.07, Diagrama de suministro de energía eléctrica normalizado en México.

## CAPÍTULO 4

### 4 SECCIONADORES EN SF<sub>6</sub>

#### 4.1 El SF<sub>6</sub>

El Hexafloruro de Azufre o mejor conocido en las industrias como SF<sub>6</sub>, es un gas artificial utilizado ampliamente en los equipos eléctricos de alta tensión, descubierto en el año de 1901, por el químico francés Henri Oissan.

El SF<sub>6</sub> es incoloro, inodoro y no es combustible, químicamente es muy estable por lo que a temperatura ambiente no reacciona con ninguna otra sustancia. Tiene una gran estabilidad que se basa en el arreglo simétrico perfecto de sus seis átomos de Flúor en torno a un átomo de Azufre central.

Su perfecta estabilidad es lo que lo vuelve un gas muy útil en la industria, además de que el gas tiene características electronegativas, es decir, tiene la propiedad de capturar electrones libres transformando los átomos en iones negativos, lo cual lo hace un excelente aislante eléctrico de tal forma que puede apagar un arco eléctrico en forma efectiva.

Gracias a la excelente aislación eléctrica que proporciona el SF<sub>6</sub>, ha permitido la extinción de los arcos eléctricos, utilizado en subestaciones encapsuladas, en interruptores y seccionadores de alta y media tensión. Tiene una gran utilidad como aislante y medio de enfriamiento en transformadores de poder, así como un medio de extinción. Todas estas aplicaciones son sistemas cerrados, muy seguros y sin posibilidades de filtraciones, puesto que algunas veces son sellados con otro químico. Estas asombrosas propiedades hacen posible construir equipos muy compactos, que utilizan menos materiales, seguros y con una vida útil más extensa. A presión atmosférica, el SF<sub>6</sub> tiene una rigidez dieléctrica 2.5 veces mejor que la del aire. Usualmente se utiliza a entre 3 y 5 veces la presión atmosférica y en cuyo caso la rigidez dieléctrica alcanza a ser hasta 10 veces más grande que el aire.

Hoy en día los equipos que utilizan el SF<sub>6</sub> son muy seguros y en condiciones normales no deberían liberar gas a la atmósfera. Los equipos en general son monitoreados en forma permanente y cualquier fuga puede ser precozmente detectada y corregida. En la eventualidad de que el equipo deba ser abierto, el gas puede ser recomprimido en un estanque y luego de un proceso de filtrado, puede ser reutilizado.

Esto lo ha hecho muy popular y por lo tanto pueden encontrarse hoy en día miles de equipos eléctricos alrededor de mundo en media y alta tensión.

## 4.2 ¿Qué es un seccionador?

Un seccionador es un dispositivo de operación manual, que principalmente consta de dos posiciones, el cerrado y el abierto; esto nos sirve para conectar y desconectar una parte de un circuito cuando hay únicamente tensión. Se puede decir que un seccionador es igual a un interruptor, con diferencia de que el interruptor está diseñado para conectar y desconectar un circuito con flujo de corriente eléctrica, y el seccionador solo conecta y desconecta una diferencia de potencial en vacío, sin paso alguno de corriente eléctrica o carga.

Hay que resaltar que los seccionadores no están diseñados para cerrar o abrir con cargas y por lo tanto no se dan valores nominales para estas funciones.

Los seccionadores siempre van acompañados de interruptores eléctricos, lo cual permite que el seccionador se pueda maniobrar.

Cabe mencionar, que el seccionador se abrirá después de abierto el interruptor y se cerrará antes de cerrar el interruptor. Ya que si activamos un seccionador y está pasando corriente puede producirse un arco eléctrico.

Por otra parte, los seccionadores en SF<sub>6</sub> son equipos que se instalan en las redes de electricidad, con la finalidad de proteger a las redes eléctricas, tanto de la compañía suministradora como las del cliente.

De igual forma, dependiendo de la configuración de la red, el equipo seccionara en diferentes partes de la distribución de energía eléctrica, entre dos o más circuitos eléctricos de alimentación.

A su vez, los seccionadores cuentan con protecciones electrónicas, para que en dado caso de que se presente alguna falla en una carga particular, la protección se habilitara abriendo el circuito de esa vía, cortando de esa forma la energía de la carga que presento el problema.

Cabe mencionar, que los seccionadores son fabricados de acuerdo a las necesidades del consumidor y del proyecto a instalar.

En la actualidad existen seccionadores que incorporan gran cantidad de tecnología así como seguridad, los podemos encontrar de operación manual, automático o de telecontrolados por medio de Radio Frecuencia, GPRS y Fibra Óptica. Además con la ayuda del aislamiento en GAS SF<sub>6</sub> con el que cuenta el seccionador nos ayuda a la extinción del arco eléctrico que se genera al momento de operar el equipo durante una apertura y así evitar algún tipo de incendio o explosión en el equipo.

Los podemos clasificar en dos tipos, como lo son:

-  Seccionadores de tipo pedestal.
-  Seccionadores de tipo sumergible.

Estos seccionadores los podemos encontrar desde 15 kv, 27 kv, y 38 kv. Ya sea de 2 vías hasta un total de 6 vías. Así como en tanques y gabinete de un material de Acero dulce o Acero Inoxidable en caso de que se vaya a instalar en costas o zonas de alta contaminación.

### **4.3 Reglas para abrir y cerrar un seccionador**

1. Desconectar el interruptor principal.
2. Desconectar el seccionador.

3. Colocar un candado de seguridad en la meta del seccionador, para evitar que cualquier persona de forma involuntaria conecte, o cierre el circuito y comprobar la ausencia de tensión.
4. Colocar un cartel indicativo.
5. Manipular solo la instalación afectada.

Para cerrar el seccionador, hacemos inversamente los pasos anteriores.

1. Conexión del seccionador.
2. Conexión del interruptor principal.

#### 4.4 Seccionador en SF<sub>6</sub>

Los seccionadores aislados en gas de “SF<sub>6</sub>”, son fabricados para la operación manual o automática, con protección electrónica ajustable según las necesidades de cada cliente en el momento de su solicitud. Son fabricados en uno o dos frentes, ya sea en una construcción total de tanque y gabinete en acero dulce o bien en acero inoxidable para zonas de ambiente corrosivo.

##### 4.4.1 Características del seccionador trifásico:

- ✚ Clase de voltaje: 15, 27, 38 kv.
- ✚ Boquillas de 600 A, operación sin carga y 200 A, operación con carga.
- ✚ Protección electrónica ajustable en cada vía de entrada y salida.
- ✚ Transferencia automática ajustable.
- ✚ Equipo totalmente soldado y ensamblado, verificado y llenado con sf6.
- ✚ Seccionadores de posición abierto-cerrado con identificación de fases y diagramas de conexión.
- ✚ Válvula de llenado, soportes de montaje y características según norma de fabricación.

#### 4.4.2 Configuración de seccionadores

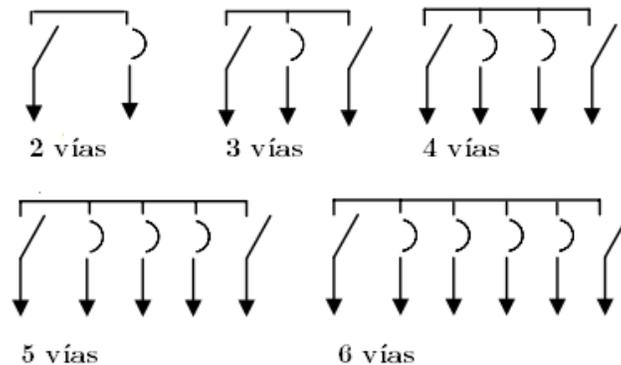


Fig. 4.01, Diagrama de los tipos de seccionadores de 2, 3, 4, 5 y 6 vías

#### 4.4.3 Ventajas

Los seccionadores en hexafloruro (SF<sub>6</sub>), por medio de su tamaño ayudan a optimizar el espacio de las instalaciones, además cuenta con múltiples ventajas, entre las cuales destacan:

- ✚ Resistencia de arco interno.
- ✚ Una instalación fácil y sencilla.
- ✚ Es económico.
- ✚ Una operación segura y simple.
- ✚ Contiene un buen tamaño.
- ✚ Es de un bajo mantenimiento.
- ✚ Utiliza un tanque sellado.
- ✚ Simultaneidad de fases.
- ✚ Partes móviles internas.



**Fig. 4.02, Seccionador encapsulado tipo pedestal en sf6, utilizado principalmente para las redes en anillo. De Schneider Electric.**

#### **4.5 Pruebas generales para los seccionadores**

Las pruebas se realizan para todo tipo de seccionadores y se ejecutarán según la Norma de procedimientos generales de prueba para la recepción de equipos de subestación.

#### **4.6 Pruebas de funcionamiento sobre los seccionadores**

Se verificará la operación del seccionador mediante operaciones de cierre y apertura, con y sin condiciones de enclavamiento, de forma manual y eléctrica siempre y cuando aplique. En cada operación se debe verificar el funcionamiento del indicador de posición.

Después de cada operación el seccionador debe mantener la alineación y ajustes indicados por el fabricante.

#### **4.7 Pruebas eléctricas y mecánicas sobre los seccionadores**

Las pruebas eléctricas y mecánicas que se deben realizar a los seccionadores son las siguientes:

- ✚ Verificación de tensión C.A. y C.D.: Se revisará que en los puntos que corresponden a la alimentación de corriente alterna cuente con el nivel de tensión correcto.
- ✚ Revisión del alineamiento y niveles: Si el seccionador está sobre una estructura, se debe verificar que él, así como todos sus componentes aisladores, “brazos de contacto, mando y mecanismo de transmisión”, estén correctamente nivelados y alineados.
- ✚ Revisión de la presión mecánica de los contactos: La presión de los contactos del seccionador se debe medir con un dinamómetro y verificar que esté dentro de la especificación del fabricante.
- ✚ Revisión del estado del aislador: El aislador debe estar limpio de cualquier suciedad para evitar la pérdida de aislamiento por contaminación y para facilitar su inspección. No debe presentar ningún daño en la porcelana. Se pueden aceptar reparaciones en la parte exterior de los aisladores siempre y cuando sean superficiales y debidamente tratadas para evitar bordes filosos y la acumulación de humedad.
- ✚ Revisión de las conexiones primarias y secundarias: Las conexiones no deben presentar falsos contactos. En caso de conexiones bimetálicas debe verificarse que cuenten con medios inhibidores.
- ✚ Revisión de caja de mando: La caja de terminales secundarios debe encontrarse limpia y libre de humedad. Además debe estar sellada para mantenerse en dichas condiciones.
- ✚ Prueba de resistencia de contactos: La prueba de resistencia de contactos deberá realizarse para todos los polos del seccionador. En el reporte se deberán incluir los valores obtenidos en cada medición e indicar las condiciones, procedimiento y equipo con que fueron realizadas.
- ✚ Verificación de media carrera: Se debe verificar el funcionamiento adecuado del seccionador y de los bloqueos en posición de media carrera.

## **CAPÍTULO 5**

### **5 TRANSFORMADORES TIPO INTERIOR**

En la actualidad existen gran cantidad de transformadores para distintas aplicaciones y lugares.

Los transformadores de distribución, generalmente son transformadores con una potencia igual o inferiores a los 500 kVA y de tensiones iguales o inferiores a 67,000 V, tanto monofásicos como trifásicos.

Cabe mencionar, que la mayoría de los transformadores están diseñados para montaje sobre postes, pero existen transformadores que estén por encima de las clases de 18 kV, diseñados para montaje en estaciones o en plataformas. La utilización más solicitada para estos transformadores son: en casas residenciales, edificios, almacenes públicos, talleres y centros comerciales. Generalmente los transformadores tipo seco son los más adecuados para una instalación interior.

#### **5.1 Transformador seco**

El transformador seco es un equipo que no contamina, evita el riesgo de incendio y es libre de mantenimiento, por lo cual es un equipo muy seguro para instalarse en lugares donde laboran o conviven las personas.

Generalmente este tipo de transformadores son instalados en grandes centros comerciales, edificios de oficinas, hospitales, centros turísticos e industriales, en general que quieran tener un diseño compacto.

En la actualidad hay distintos tipos de transformadores secos como los que les mostraremos a continuación:

## 5.2 Transformador seco de Uso General

Los transformadores secos de uso general se aplican en sistemas de distribución de baja tensión que sirven para alimentar las cargas que tienen un voltaje diferente al sistema de distribución general, ya sean sistemas de iluminación, aire acondicionado y equipos médicos.

Pueden ser sistemas de iluminación, aire acondicionado, equipos médicos, etc., se fabrican desde 1kva hasta 1000kva y pueden ser elaborados como transformadores reductores y como transformadores elevadores de voltaje.

## 5.3 Transformador seco de relación múltiple

Estos transformadores secos se diseñaron pensando en nuestros distribuidores, ya que les da la opción de tener en un solo transformador varias opciones de voltaje. Esto los ayuda a mantener un stock reducido y poder ofrecer soluciones prontas a sus clientes.

## 5.4 Transformador Seco con Factor K

Los transformadores con especificaciones del factor k, están diseñados para reducir los efectos de las corrientes armónicas creadas por cargas no lineales debido a los equipos electrónicos.

El factor K es una constante que nos indica la capacidad que posee el transformador para alimentar cargas no lineales (por ejemplo: hornos de inducción, sistemas de cómputo) sin exceder la temperatura de operación para la cual está diseñado. A su vez, el factor K cumple la función de ser un indicador de la capacidad del transformador para soportar el contenido de corrientes Armónicas (componentes fundamentales de la corriente), mientras se mantiene operando dentro de los límites de temperatura para la cual está diseñado. A su vez todos estos transformadores cumplen con toda la normativa vigente, tanto nacional como internacional con respecto al factor K especificado para transformadores, según la norma IEEE.

## 5.5 Autotransformador

Son frecuentemente utilizados como una alternativa económica en transformadores de propósitos generales para ajuste de voltajes específicos. Siempre y cuando el aislamiento en la línea de alimentación no es requerido y pueden ser usados tanto para subir o bajar voltajes. La diferencia es que en el auto transformador, la tensión de entrada y de salida están eléctricamente conectadas (un solo devanado). En tanto que en el transformador están completamente separadas.

Se diseñan en capacidades desde 5 kVA hasta 1000 kVA en clase de 1.2kV. Su mayor aplicación es en la industria con problemas de regulación de voltajes.

Como ventajas de los autotransformadores podemos mencionar que son más económicos, la impedancia tiende a cero por consecuencia no hay caída de tensión, son más eficientes, puede trabajar como elevador o como reductor y además compactos.

## 5.6 Transformador seco de aislamiento

Los transformadores de aislamiento separan magnéticamente una carga especial del sistema de distribución general, eliminando distorsiones de la onda senoidal, garantizando una buena conversión de corriente alterna a corriente directa.

Estos transformadores se fabrican en las mismas capacidades y tensiones que los de uso general.

## 5.7 Transformadores Encapsulados en Resina

Los transformadores encapsulados están diseñados para trabajar en ambientes corrosivos y húmedos proporcionando una gran seguridad, además de que poseen una tecnología respetuosa con el medio ambiente, ofrecen flexibilidad de aplicación y de este modo hacen posible una distribución rentable de energía. Son equipos

que se utilizan principalmente donde no se puede poner en riesgo la seguridad de las personas como lo son: edificios, hospitales, centros comerciales, hoteles, etc.

Su principal característica es que son refrigerados en aire con aislación clase F, utilizándose resina epoxi como medio de protección de los arrollamientos, siendo innecesario cualquier mantenimiento posterior a la instalación. Se fabrican en potencias normalizadas desde 100 hasta 2500 kVA, con tensiones primarias de 13.2, 15, 25, 33 y 35 kV y frecuencias de 50 y 60 Hz. Cabe resaltar que el transformador seco también se fabrica para media tensión y es ideal para usarse en edificios, hospitales, centros comerciales, sistemas de iluminación, industria en general, maquinaria especial.

### 5.8 Ventajas de los transformadores secos

- ✚ Los transformadores secos no contaminan y no corren riesgos de incendio, en comparación de los transformadores de aceite.
- ✚ Su empleo es recomendable en edificios de oficinas, hospitales, hoteles, centros comerciales y plantas con procesos industriales.
- ✚ No contaminan el medio ambiente, no hay derrames de líquidos, no requieren drenaje para aceite, ni sistemas contra incendio.
- ✚ No propagan flama.
- ✚ Se fabrican con aislamientos clase "B", "F" y "H" del tipo "mylar" y "nomex", materiales que pueden trabajar con temperaturas de 150 y 220°C respectivamente, que son auto-extinguibles, no propagan la flama y no son explosivos.
- ✚ Tienen una alta resistencia óhmica.
- ✚ Estos aislamientos no absorben humedad, los transformadores secos conservan permanentemente una alta resistencia óhmica aunque estén trabajando en medios ambientes extremadamente húmedos, conservando siempre sus excelentes características dieléctricas Ciclos de trabajo.
- ✚ Tienen una alta resistencia a los cortos circuitos y resisten severos ciclos de trabajo y las sobrecargas normales.
- ✚ Son muy Silenciosos.

- ✚ Por sus condiciones de trabajo el transformador, debe estar debajo de los 46 - 60 da según su capacidad.
- ✚ Estos transformadores se usan en lugares donde las subestaciones están dentro de edificios (sótanos o azoteas), como pueden ser hospitales, edificios de oficinas, hoteles, centros comerciales, etc.

### 5.9 Componentes de un transformador seco

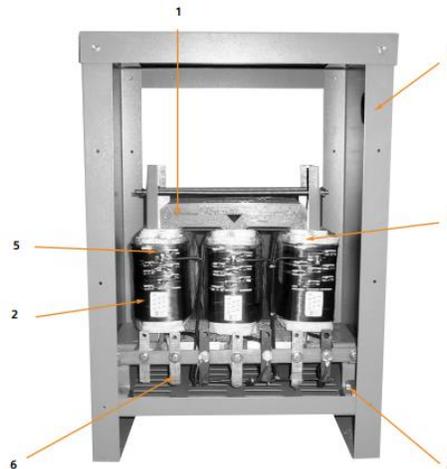


Fig. 5.01, Transformador tipo seco, de baja tensión. De Siemens.

1. Núcleo
2. Devanado primario
3. Devanado secundario
4. Soportes antivibración
5. Derivaciones para ajuste de voltaje
6. Barras conexión a devanados
7. Gabinete

### 5.10 Transformador con aceite mineral

Estos transformadores utilizan para su enfriamiento el aceite mineral. El aceite mineral de los transformadores es poco biodegradable, lo cual implica un riesgo muy grande de contaminación, ya que una vez finalizada la vida útil, este tiene que ser desechado y como es de saberse esto implica una gran contaminación al medio ambiente.

### 5.10.1 Desventajas

Las principales desventajas que presentan estos tipos de transformadores ante los de aceite biodegradable son:

- ✚ La disponibilidad del aceite está limitada a al costo del petróleo, pues es un derivado.
- ✚ Una vez acabada la vida útil, este tiene que ser sometido a pruebas para su reutilización.
- ✚ Sometidos a pruebas de arco eléctrico estos aceites liberan hidrocarburos poliaromáticos los cuales son tóxicos.
- ✚ Los transformadores que utilizan estos aceites deben de contar con un lugar muy específico además de tener las medidas de seguridad correspondientes, pues estos tienen un elevado riesgo de incendio y explosión. Por lo cual no es muy recomendable para instalaciones tipo interior.
- ✚ Es un gran contaminante para el medio ambiente.
- ✚ La instalación de estos transformadores requiere de muchas medidas de seguridad, lo cual lo hace mas costoso.

### 5.11 Transformador con aceite biodegradable

El aceite biodegradable es un aceite de tipo vegetal, este tipo de aceite tiene la capacidad de ser un recurso renovable y natural. Es un aceite no toxico, es un fluido refrigerante dieléctrico resistente al fuego, a base de aceite natural, formulado para aplicaciones en transformadores de distribución y potencia y siendo usado por varios distribuidores e industrias. Generalmente se le conoce como aceite dieléctrico vegetal Fr3, formulado a partir de aceites vegetales comestibles y aditivos de mejoría de desempeño de clase comestible. No contiene petróleo, halógenos, silicones u otro material cuestionable. Se degrada rápido y totalmente en el suelo y en ambientes acuáticos.

Los aceites biodegradables presentan una rigidez dieléctrica mayor que los aceites minerales e incluso sometidos a altos niveles de humedad.

Los transformadores con aislamiento en aceite vegetal o biodegradables tiene un punto de inflamación muy elevado en comparación a los de aceite mineral, esto hace que sean muy seguros para instalaciones de uso interior o instalaciones en lugares reducidos, además de que favorecen a la economía, pues teniendo un alto nivel de inflamación permite contar con menor medida de seguridad.

Los aceites tipo biodegradable tiene una vida de envejecimiento a largo plazo, lo cual prolonga la vida útil como aislante de los bobinados del transformador. Este fenómeno se le debe a la gran afinidad que presentan los aceites vegetales con la humedad, lo cual lo mantiene al papel aislante más seco y de esa forma se conserva mejor.

#### 5.11.1 Ventajas

- ✚ Por su gran confiabilidad y seguridad, el transformador es utilizado en hospitales edificios y centros comerciales.
- ✚ Se recomienda ampliamente para instalaciones de tipo interior.
- ✚ Se usa generalmente para zonas con instalaciones con ausencia de protecciones contra incendios.
- ✚ Por ser un fluido de base vegetal y resistente a altas temperaturas, existen variados usos para estos transformadores.
- ✚ Tiene una gran confiabilidad así como disponibilidad debido al bajo mantenimiento.
- ✚ Cuentan con una gran reducción de costos, como una gran vida útil.
- ✚ El fluido mantiene su rigidez dieléctrica mucho mejor que otros fluidos dieléctricos al ser usado como medio de apertura bajo carga, y posee las menores tendencias a la gasificación bajo solicitaciones eléctricas.

## CAPÍTULO 6

### 6 TABLERO ELÉCTRICO

El objetivo principal de cualquier tablero eléctrico, así como del tablero de distribución, es elevar al máximo la protección contra cortocircuitos y la segmentación del sistema de distribución para reducir al mínimo el efecto de las fallas del equipo en otras partes del sistema. Otros objetivos podrían incluir el diseño redundante para facilitar el mantenimiento y las reparaciones, los métodos de transferencia manual o automática de las cargas críticas, y la cuidadosa selección de equipos para las tareas de conmutación especiales o las condiciones ambientales.

#### 6.1 Definición

En términos generales un tablero eléctrico es una caja o gabinete que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, medición, protección así como de alarma y señalización, con sus cubiertas y soportes correspondientes, que cumplen una función específica dentro de un sistema eléctrico.

En una instalación eléctrica, los tableros eléctricos son la parte principal, y en dichos tableros, se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de la misma instalación.

Todo tablero eléctrico cuenta con un medidor de consumo y un interruptor, que es un dispositivo que corta la corriente eléctrica una vez que se supera el consumo calculado. Los tableros en su interior cuentan con equipos eléctricos que a su vez contienen: barras de distribución, elementos de protección, elementos de señalización, elementos de comando y eventualmente, instrumentos de medición. Todos ellos se instalan teniendo en cuenta una referencia de conexión, utilizando diagramas como: *Diagrama unifilar, diagrama de control, diagrama de interconexión.*

##### 6.1.1 Diagrama unifilar

El diagrama o esquema unifilar, es la representación gráfica de una instalación eléctrica mediante una sola línea, para indicar conexiones entre diferentes

elementos, tanto de conducción como de protección y control. Típicamente el esquema unifilar tiene una estructura de árbol.

### **6.1.2 Diagrama de control**

Nos da la idea de un desempeño óptimo de los sistemas y se ha dinamizado mejorando la productividad y aligeran la carga de muchas operaciones manuales y repetitivas.

### **6.1.3 Diagrama de interconexión**

Son similares a los diagramas unificables, solo que en este caso en los esquemas siempre se hace referencia a las fases a las cuales estarán conectados todos los circuitos. Pueden incluir símbolos de interruptores termomagnéticos indicando su capacidad de protección para los circuitos que protegen.

## **6.2 Normatividad**

Para fabricar los tableros eléctricos se debe cumplir con una serie de normas que permitan su funcionamiento de forma adecuada cuando ya se le ha suministrado la energía eléctrica. El cumplimiento de estas normas garantiza la seguridad tanto de las instalaciones en las que haya presencia de tableros eléctricos como de los operarios.

Para diseñar un tablero hay que tener en cuenta ciertas consideraciones: si es para baja o media tensión así como sus respectivas normas, para garantizar la continuidad y protección del tablero y de sus operadores.

Hay que tener presente varios factores y variables antes de instalar y diseñar un tablero: potencia a manejar, sistema de control de los aparatos, política de mantenimiento, seguridad de las instalaciones que controlarán y de los operarios.

También deben someterse a ciertos ensayos para comprobar su funcionalidad y eficacia: Ensayos dieléctricos, ensayos térmicos, ensayos de corto circuito, grado de protección, maniobras mecánicas.

NORMAS DE REFERENCIA		
1	IEC 62271-200 (IEC 60298)	AC metal clad / enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV.
2	IEC 62271-102 (IEC 60129)	Alternating current disconnectors and earthing switches.
3	IEC 62271-100 (IEC-60056)	High voltage alternating current circuit breakers.
4	IEC 60044-1 & 2 or ANSI C57 or CSA	Current and Voltage transformer.
5	IEC 60044-7 and	Sensors.
6	IEC 60694 (IEC-271-1)	Three pole Circuit breakers vacuum type.
7	IEC 60529	IP65 degree of protection for gas compartments and IP4X for the supporting frame, low voltage and other compartments

**Tabla 6.01, normas para diseño, fabricación y pruebas que deben de considerarse para los tableros.<sup>46</sup>**

<sup>46</sup> Ficha técnica, Tablero de Distribución Primaria en Media Tensión, Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Obras y Conservación, Mayo 2010.

### 6.3 Parámetros de seguridad

Una importante medida de seguridad para los tableros eléctricos es la instalación de interruptores de seguridad, dichos interruptores de seguridad suelen ser de dos tipos:

- a) **Automático**, o termomagnéticos, son los encargados de proteger tanto el tablero eléctrico como la instalación de variaciones en la corriente. Tanto los fusibles como los dispositivos automáticos se ajustan de fábrica para trabajar a una tensión o voltaje y a una carga en ampere determinada, para lo cual incorporan un dispositivo térmico que abre el mecanismo de conexión al circuito cuando la intensidad de la corriente sobrepasa los límites previamente establecidos.
- b) **Diferencial**, Un interruptor diferencial, también llamado disyuntor por corriente diferencial o residual, es un dispositivo electromecánico que se coloca en las instalaciones eléctricas con el fin de proteger a las personas de las derivaciones causadas por faltas de aislamiento entre los conductores activos y tierra o masa de los aparatos.

Ahora bien, muchas veces se subestima la importancia del tablero como elemento que permite elevar el estándar de seguridad en la instalación: un tablero eléctrico es un elemento que debe ser sometido a pruebas y certificado por un organismo competente.

Para esto, debe comprobarse la robustez y seguridad de un tablero frente a condiciones desfavorables mediante tres métodos distintos, pero equivalentes: por ensayo, por cálculo/medición y por cumplimiento de normas de diseño. Los parámetros relevantes a verificar son los siguientes:

- a) **Grado de protección de la carcasa:** El código IP de un tablero define cuán segura es la carcasa para proteger a las personas frente a la posibilidad de alcanzar partes energizadas en el interior del equipo e impedir la penetración de cuerpos sólidos al equipo (como piedrecillas o polvo) o de líquidos. También se hace necesario especificar el código IK, el cual indica la

protección de la carcasa contra impactos mecánicos recibidos desde cierta altura y con un cierto peso.

- b) **Distancias de aislamiento y líneas de fuga:** La tensión de aislamiento disminuye cuando aumenta la contaminación en el interior del tablero. Esta reduce la distancia mínima necesaria para que las partes activas (o activas y masa) tengan algún tipo de contacto eléctrico entre sí, lo que se debe medir y considerar al momento de diseñar un tablero.
- c) **Protección contra los choques eléctricos e integridad de los circuitos de protección:** Se trata de comprobar la conexión efectiva de las masas entre sí y de ellas con el conductor de protección mediante una prueba de continuidad de corriente, donde la resistencia del tablero no debe sobrepasar los 50 m (Norma IEC 61439-1). Además, se comprueba la resistencia al fuego esperando la extinción de éste en menos de 30 segundos con temperaturas de ensayo de 960 °C para las partes que fijan piezas bajo tensión, y de 650 °C para los demás elementos. También se deben hacer pruebas para comprobar la "compatibilidad electromagnética" (CEM) frente a campos que puedan interferir con el funcionamiento de elementos electrónicos en el interior del tablero.
- d) **Circuitos eléctricos internos y conexiones:** Conformidad con el cableado interno, sección adecuada de los conductores, etiquetado de los circuitos, uso del código de colores, fijación adecuada de los conductores, distancias a los puntos energizados, entrada de los conductores, chequeo de juegos de barras.
- e) **Dispositivos de maniobra y protección:** Conformidad de los aparatos con los modelos prescritos, poder de corte adecuado (por asociación si fuese necesario), selectividad en los circuitos especificados, placas de señalización y etiquetados, conexiones.

## **6.4 CLASIFICACIÓN DE TABLEROS ELÉCTRICOS**

### **DE ACUERDO A SU UBICACIÓN Y FUNCIÓN**

#### **6.4.1.1 Tableros generales (T.G.)**

Son los tableros principales de las instalaciones. En ellos estarán montados los dispositivos de protección y maniobra que protegen los alimentadores y que permiten operar sobre toda la instalación interior en forma conjunta o fraccionada.

#### **6.4.1.2 Tableros generales auxiliares (T.G.A.)**

Son tableros que serán alimentados desde un tablero general y desde ello se protegen y operan sub.-alimentadores que alimentan tableros de distribución.

#### **6.4.1.3 Tableros de distribución (T. D.)**

Los tableros de distribución son aquéllos que reciben los alimentadores provenientes del tablero general, y contienen todos los dispositivos de protección y maniobra que permiten proteger y operar sobre los circuitos particulares en que está dividida una instalación o parte de ella. Sin embargo, muchas veces se subestima la importancia del tablero como elemento que permite elevar el estándar de seguridad en la instalación.

Pueden ser alimentados desde un tablero general, desde un tablero general auxiliar o directamente desde el empalme.

#### **6.4.1.4 Tablero de paso (T. P.)**

Son tableros que contienen fusibles cuya finalidad es proteger derivaciones que por su capacidad de transporte no pueden ser conectadas directamente al alimentador, sub-alimentador o línea de distribución de la cual está tomada.

#### **6.4.1.5 Tablero de comando (T. COM.)**

Son tableros que contienen dispositivos de protección y maniobra que permiten proteger y operar en forma simultánea sobre artefactos individuales o grupos de artefactos pertenecientes a un mismo circuito.

#### **6.4.1.6 Tableros de centro de control (T. C.C.)**

Son tableros que contienen dispositivos de protección y de maniobra o únicamente dispositivos de maniobra y que permiten la operación de grupos de artefactos en forma individual, en conjunto, en subgrupos en forma programada o no programada.

### **DE ACUERDO AL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA**

#### **6.4.1.7 Tableros de alumbrado (T. A.)**

Es un elemento que sirve para controlar y dividir circuitos de una instalación eléctrica, en la cual también es posible alimentar y controlar diversos centros de carga; esta protección está controlada por interruptores termomagnéticos de uno, dos y tres polos. Los tableros van dirigidos a pequeños y grandes negocios, oficinas, centros comerciales donde se requiere dividir la instalación por zonas.

#### **6.4.1.8 Tableros de fuerza (T. F.)**

Podemos indicar que un centro de carga, es un tablero metálico que contiene una cantidad determinada de interruptores termomagnéticos, generalmente empleados para la protección y desconexión de pequeñas cargas eléctricas y alumbrado. En el caso de que en un tablero eléctrico se concentre exclusivamente interruptores para alumbrado, se conoce como "tablero de alumbrado"; si concentra otros tipos de cargas, se conoce como "tablero de fuerza".

Los tableros de fuerza, pueden ser monofásicos o trifásicos, razón por la cual pueden soportar interruptores termomagnéticos monopolares, bipolares o tripolares.

#### **6.4.1.9 Tableros de calefacción (T. CALEF.)**

Se debe verificar en todos los tableros el balance térmico entre las pérdidas originadas por las protecciones, cables, juegos de barras, conexiones, y otros elementos como señales luminosas transformadores de medición etc.

El balance térmico se realiza en watt y los datos de perdidas deben ser extraídos de los manuales o catálogos de cada fabricante. La capacidad de evacuar calor medida en watt por la envolvente (gabinete) depende de los materiales, de la forma

constructiva, y del modo de instalación (embutido en pared o exterior). Este dato en todos los casos debe ser suministrado por el fabricante de gabinetes.

Se considera que una envolvente satisface térmicamente a las necesidades térmicas del tablero eléctrico contenido en su interior, cuando la potencia en watt capaz de evacuar es mayor que la pérdida en watt generada por todos los elementos que conforman el tablero eléctrico.

#### **6.4.1.10 Tableros de control (T. C.)**

El tablero de control es una herramienta, el diagnóstico y monitoreo permanente de determinados indicadores e información ha sido y es la base para mantener un buen control de situación en muchas de las disciplinas de la vida.

Como ejemplo de estos podemos señalar a la: medicina, basada en mediciones para el diagnóstico de la salud de los pacientes, a la aviación, cuyos indicadores de tablero de control sintetiza la información del avión y del entorno para evitar sorpresas y permite a los pilotos dirigir el avión a buen puerto; el tablero de un sistema eléctrico o de una represa son otros ejemplos. En todos estos casos el tablero permite a través del color de las luces y alarmas ser el disparador para la toma de decisiones. En todos estos ejemplos es fundamental definir los indicadores a monitorear.

#### **6.4.1.11 Tableros de señalización (T. S.)**

En una instalación eléctrica, los tableros eléctricos son la parte principal. En los tableros eléctricos se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de dicha instalación.

En términos generales, los tableros eléctricos son gabinetes en los que se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente.

## 6.5 TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN

Los Tableros de Distribución de Baja Tensión son diseñados y aptos para su utilización en los gabinetes o cajas montados sobre pared, son muy accesibles solo por su frente.

Los Tableros de distribución constituyen una parte inherente a toda red eléctrica y se fabrican para conducir desde algunos pocos amperios hasta el orden de 4000 Amperes, así como para soportar los niveles de corrientes de cortocircuito y los niveles de tensión de la red eléctrica.

Los interruptores pueden ser del tipo bastidor abierto, en caja moldeada o tipo miniatura (riel DIN) y se pueden equipar con accesorios para mando local y a distancia. Existe una amplia variedad de equipos que pueden ser instalados en estos Tableros.

### 6.5.1 Características de construcción

Son modulares, auto soportados o murales, fabricadas con estructuras de plancha de fierro LAF de hasta 3mm, puertas, techo y tapas.

El grado de protección estándar es IP20 y se pueden fabricar hasta con un grado de protección IP55 (protegido contra el polvo y contra chorros de agua en cualquier dirección).

Todas las superficies metálicas son pintadas con dos capas de pintura de base anticorrosiva y dos capas de pintura de acabado color gris o el color especificado por el usuario. Inmediatamente antes del pintado, las superficies metálicas son sometidas a un proceso de arenado comercial.

La estructura está formada por columnas y travesaños soldados entre sí (también se puede suministrar con estructuras empernadas) para proporcionar un alto grado de robustez mecánica.

La ubicación de los equipos internos se efectúa de tal manera de brindar la mayor facilidad posible para la instalación y mantenimiento; así como para proporcionar la mayor seguridad para los operadores y las instalaciones y para brindar un alto grado

de continuidad de servicio. Todas las partes metálicas son conectadas a una barra de tierra firmemente empernada a la estructura de la Celda.

### 6.5.2 Normas de fabricación

La ubicación de los equipos internos se efectúa de tal manera de brindar la mayor facilidad posible para la instalación y mantenimiento; así como para proporcionar la mayor seguridad para los operadores y las instalaciones y para brindar un alto grado de continuidad de servicio. Todas las partes metálicas son conectadas a una barra de tierra firmemente empernada a la estructura de la Celda. Las normas principales en que se basan la construcción de los tableros son: IEC, NEMA, ANSI, IEEE.

## 6.6 TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN

Los Tableros de Distribución de media Tensión son utilizados principalmente en las Subestaciones principales, secundarias y en lugares donde se desee tener un grupo de interruptores con relés de sobrecargas y cortocircuitos; destinados a proteger y alimentar a las cargas eléctricas. Este tipo de tableros de tipo interior es manejado en edificios elevados con el fin de proteger y salvaguardar a las líneas de cualquier falla.

### 6.6.1 Diseño

Para el diseño de tableros hay que tener en cuenta una serie de consideraciones y normativas, garantizando así la continuidad y protección del tablero así como la de los operadores. En el diseño de tableros hay que tener en cuenta el costo de la misma y la inversión que esta generaría para ello se desarrolla una metodología. A continuación se menciona las variables y consideraciones generales que hay que tener en cuenta:

- ✚ Potencia a manejar (robustez): Tensión nominal, Corriente nominal, Capacidad de Cortocircuito
- ✚ Sistema de Control de los Aparatos
- ✚ Inversión vs. Instalación a maniobrar y proteger
- ✚ Política de Mantenimiento: Correctivo, Preventivo
- ✚ Seguridad de Instalaciones y Operarios
- ✚ Facilidad de Expansión

### 6.6.2 Tablero de distribución blindada Metal-clad y Metal-enclosed

Generalmente en las industrias, centros comerciales y edificios es muy común encontrar tableros de distribución con revestimiento metálico tipo metal-clad y el tablero de distribución de interruptor con gabinete metálico tipo metal-enclosed. Caracterizado por contar con protecciones y seccionamientos internos. Ambos tipos de equipo están disponibles con fabricantes reconocidos como equipos de alta calidad. En algunos casos, la aplicación indicará la elección del equipo.

Los tableros de distribución deben de tener capacidades de corto circuito iguales o mayores que la corriente de cortocircuito disponible. Cuando el usuario de energía eléctrica es el propietario del tablero de distribución principal, la empresa suministradora que abastece puede especificar, de manera conservadora, capacidades que sean mayores que la corriente de cortocircuito disponible real.

Tensión Nominal				
Tipo de tablero de distribución	4.16 [KV]	13.8 [KV]	25 [KV]	34.5 [KV]
Metal-clad	65 - 350 [MVA]	500 - 1000 [MVA]	900 - 1700 [MVA]	1255 - 2390 [MVA]
Metal-enclosed	125 - 290 [MVA]	300 - 960 [MVA]	405 - 860 [MVA]	375 - 1000 [MVA]

Tabla 6.02, capacidades de los tableros.

#### 6.6.2.1 Metal-clad

El tablero de distribución con revestimiento metálico tipo metal-clad utiliza interruptores automáticos desmontables, generalmente a este tipo de tableros se les conoce con el nombre de equipo con interruptor automático. El interruptor automático proporciona tanto protección contra cortocircuitos como interrupción de corriente de carga.

El tablero blindado Metal-Clad, debe ser resistente al arco eléctrico, diseñado para soportar los efectos de una falla de arco interno, de uso general para instalación interior construido en secciones verticales auto soportadas alineadas por el frente, formando una estructura rígida uniforme a base de lámina de acero de un

sólo frente y en forma modular para que pueda extenderse más allá de sus extremos y sin transición, totalmente ensamblado en fábrica.

El tablero debe contar con arrancadores con tecnología al vacío o para interruptores de potencia o arrancadores con tecnología en hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ).

#### 6.6.2.2 Metal-enclosed

El tablero de distribución de interruptor con gabinete metálico tipo metal-enclosed utiliza seccionadores interruptores de carga y fusibles de potencia, se le conoce como equipo con seccionador/fusible.

Los seccionadores interruptores de carga proporcionan interrupción de corriente de carga (establecimiento e interrupción de corrientes de carga). Los fusibles de potencia proporcionan protección contra cortocircuitos tanto de fallas de fase a tierra como de fase a fase. Los fusibles de material sólido limitan la duración de la falla. Están disponibles en una amplia variedad de capacidades de interrupción y de corriente continua. Su curva TCC es muy inversa en el margen bajo de corriente de falla y moderadamente inversa en el margen alto de corriente de falla.

### 6.7 Alcance del suministro

El alcance de suministro en forma general pero no limitativa se muestra a continuación:

-  Gabinete metálico
-  Interruptores en vacío
-  Cubículos para interruptor disponible
-  Transformadores de potencial
-  Transformadores de corriente
-  Relevadores de protección
-  Equipos de medición
-  Alambrado de control
-  Accesorios

### 6.7.1 Transformador de potencial (TP)

También conocido como transformadores de medida de tensión, es un elemento utilizado para medir la tensión primaria del sistema de potencia y entregar en forma proporcional un valor de tensión secundaria.

Son transformadores de pequeña potencia que trabajan prácticamente en vacío. Aíslan la tensión nominal del primario de los circuitos conectados de medida y protección y transforman la tensión a medir en tensiones secundarias aptas para su medida, manteniendo la fidelidad de sus valores absolutos y desfasajes.

Cada transformador de tensión tiene un arrollamiento primario y uno secundario. Para ciertas aplicaciones pueden tener más de un secundario, pero siempre con un solo núcleo de hierro. Aunque teóricamente podrían ser autotransformadores, para instalaciones de media y alta tensión son utilizados transformadores para lograr aislación galvánica entre los equipos de potencia y los de mando, control y medición.

### 6.7.2 Transformador de corriente (TC)

Los transformadores de corriente también conocidos como transformadores de intensidad, son los que proporciona una corriente de salida proporcional a la corriente de entrada. Son transformadores de baja potencia, cuyos primarios están intercalados en la línea, mientras que los arrollamientos secundarios quedan prácticamente en cortocircuito a través de los equipos de medida, contadores, relés, etc. conectados. Estos transformadores separan los circuitos de medida y protección de la tensión primaria.

- ✚ Los correspondientes a MT, normalmente cuentan con varios arrollamientos secundarios con núcleos totalmente separados magnéticamente con las mismas o diferentes curvas de características. Pueden, por ejemplo, disponer de dos núcleos de medida de diferente precisión o ser ejecutados también con núcleos de medida y protección con distintos factores nominales de sobre intensidad.
- ✚ Las intensidades secundarias normalizadas son 1 y 5 A.
- ✚ La intensidad nominal térmica permanente es 1,2 veces la nominal.

- ✚ La intensidad nominal térmica de breve duración  $I_{th}$ , es el valor de la intensidad máxima soportada en el primario por un segundo de duración, estando el secundario cortocircuitado.(valor eficaz en kA).
- ✚ La intensidad dinámica nominal  $I_{dyn}$ , es el valor de la amplitud de la primera onda de la intensidad, cuyos efectos mecánicos pueden ser soportados por un transformador de intensidad con el arrollamiento secundario en cortocircuito, sin sufrir danos. (Valor de pico en kA).
- ✚ Referente a la Clase, los devanados para fines de medida (se identifican con la letra M), la clase indica el límite del error porcentual de la intensidad para la intensidad nominal; los devanados para fines de protección (se identifican con la letra P) es el límite porcentual de error total para la intensidad limite nominal de error en el primario.

### 6.7.3 Equipo de medición

Se deben integrar en el relevador de protección los dos equipos de medición y deben ser multifunciones de rastreo continuo, con memoria y capacidad de conectarse a un sistema de adquisición de datos y control de supervisión SCADA.

Además debe tener la capacidad de medir los siguientes parámetros:

- ✚ Tensión (V)
- ✚ Corriente (A)
- ✚ Potencia Real (kW)
- ✚ Potencia Reactiva (kVAR)
- ✚ Potencia Aparente (kVA)
- ✚ Factor de potencia
- ✚ Frecuencia (Hz)
- ✚ Energía Real (kWh)
- ✚ Energía Reactiva (kVARh)
- ✚ Energía Aparente (kVAh)
- ✚ Sag / Swell
- ✚ THD (Distorsión Armónica Total) Tensión y Corriente

✚ Datos indicando fecha y hora del suceso de:

Demanda pico

Pérdida de voltaje

Retorno de voltaje

Reconexión

#### **6.7.4 Barras de cobre**

Las barras a utilizar en los tableros serán de cobre electrolítico de pureza no inferior a 99,9% y de alta conductividad. Serán pintadas y plateadas en todas las superficies de contacto, las cuales soportaran la sollicitación térmica y dinámica originada por las corrientes nominal y cortocircuito. Dichas barras irán montadas sobre aisladores.

Las barras estarán identificadas según la fase a la cual corresponden. La sección de las barras de neutro, será como mínimo de un 50 % de la sección de las Barras principales.

#### **6.7.5 Barra de tierra**

La barra de tierra debe ser de cobre electrolítico de una capacidad no menor de 630 A, esta barra se instalará a lo largo de todo el tablero, en cada sección se deben proporcionar los conectores para asegurar la continuidad de la barra.

Ambos extremos de la barra deben contar con una zapata de compresión para cable de cobre calibre 4/0 AWG.

#### **6.7.6 Alimentador de voltaje de control**

El tablero debe contar con un alimentador de corriente directa de 24 VCD para el control de los interruptores (cierre y apertura), lámparas indicadoras, etc. a la entrada del alimentador se debe instalar un interruptor termomagnéticos de 2 polos, de 24 VCD y de una capacidad de acuerdo a la carga que alimenta.

Para cada cubículo destinado a un interruptor se debe instalar un interruptor termomagnético de 2 polos, 24 VCD, de una capacidad de acuerdo a la carga alimentada, incluyendo los cubículos indicados como futuro.

Los conductores deben ser de cobre electrolítico, cableado clase B con aislamiento tipo TWH-LS para 600 V, baja emisión de humos y baja toxicidad.

### 6.7.7 Interruptores

Los interruptores deben contar con los siguientes accesorios:

- ✚ Botón de cierre
- ✚ Botón de apertura
- ✚ Botón de reconexión
- ✚ Indicación de posición de los contactos principales
- ✚ Indicación de resorte cargado o descargado
- ✚ Contador de operaciones
- ✚ Tres lámparas indicadoras
- ✚ Capuchones desmontables para las lámparas de color rojo, verde y blanca.
- ✚ Dispositivo de carga manual de las muelles de mando.

#### 6.7.7.1 Interruptor automático o disyuntor

Es un elemento de maniobra y corte que opera con intensidades distintas de cero, ya sea nominal, sobreintensidades 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.

## CAPÍTULO 7

### 7 ESTRUCTURAS ELÉCTRICAS EN EDIFICIOS ELEVADOS

Como veníamos mencionando en nuestros capítulos anteriores, el construir grandes edificios tiene una importancia muy grande, pues no basta con construir y diseñar toda la construcción, sino también implica diseñar una buena estructura eléctrica, ya que de esa estructura dependerá mucho el abastecimiento eléctrico en todos sus niveles.

Para encontrar una solución que brinde una buena calidad en el suministro de energía eléctrica, se requiere instalar transformadores de distribución en las subestaciones de Media Tensión /Baja Tensión, en diferentes niveles del edificio así como redes verticales de media y baja tensión, con el fin de mantener un servicio de calidad, siendo necesario que el usuario cumpla con los requerimientos estipulados por la empresa suministradoras de energía eléctrica.

Generalmente, el suministro de energía eléctrica a estas edificaciones son de tipo subterráneo, transmitiendo la energía eléctrica mediante la instalación de uno o más transformadores de distribución y de la concentración de medidores correspondiente, en el interior de locales cedidos en su caso, por el usuario a la empresa suministradora para tal efecto, los cuales normalmente se encuentran en planta baja o sótano.

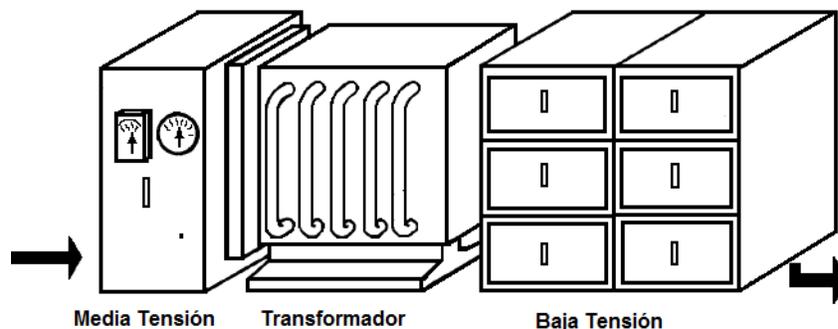


Fig. 7.01, Subestación eléctrica tipo interior

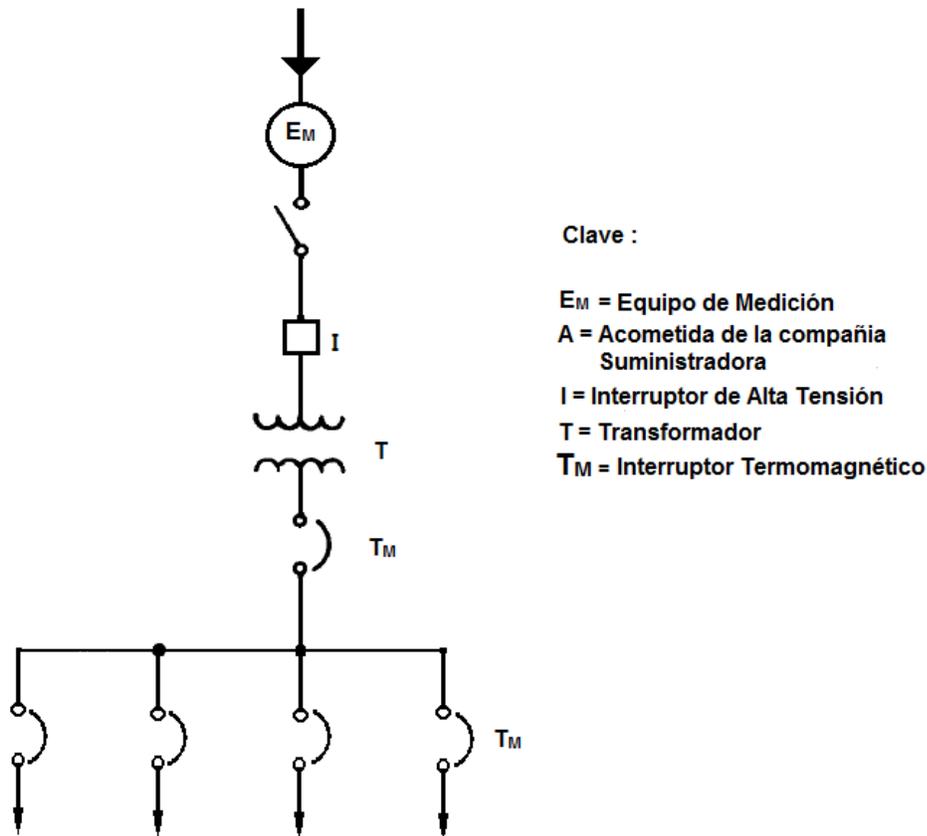


Fig. 7.02 diagrama elemental de una subestación eléctrica.

Al tener este tipo de instalación y a medida que van incrementando el tamaño de la edificación, va incrementando su carga y el número de consumidores. Esto ha provocado la aparición de problemas tales como: sobrecargas, variaciones de tensión, mala regulación y poca flexibilidad de operación con consecuencias negativas en la calidad del uso de la energía eléctrica.

### 7.1 Factores de suministro

La estructura del sistema de distribución en el interior de un edificio, dependerá de:

- ✚ las características de la carga.
- ✚ la configuración del edificio
- ✚ el grado de confiabilidad.
- ✚ la calidad de servicio que se requiera.

De acuerdo con estos factores se distinguen dos tipos de sistemas:

- ✚ Alimentación vertical para los alimentadores principales
- ✚ Alimentación horizontal para la alimentación de cada piso

Las alternativas de alimentación de energía eléctrica para un edificio deberán ser analizadas tomando en cuenta, entre otros factores, los siguientes:

- ✚ Zona geográfica, refiriéndose al tipo de suministro de energía eléctrica, ya sea el sistema aéreo o un sistema subterráneo.
- ✚ Tipo y magnitud de la carga, tipo de tarifa que se contratará con la compañía suministradora.
- ✚ Tensión de suministro.
- ✚ Nivel de cortocircuito.
- ✚ Confiabilidad.
- ✚ Arquitectura del inmueble, refiriéndose al área o número de niveles construidos
- ✚ Medición.
- ✚ Costos.

## 7.2 Tipos de suministro

A continuación se describen algunos de los tipos más comunes de sistemas de alimentación en grandes edificios.

Cabe mencionar que las estructuras normalizadas para alimentación en media tensión que se utilizan frecuentemente son:

- ✚ Radial.
- ✚ Anillo abierto.
- ✚ Derivación doble.
- ✚ Mancha de red.

Cada uno de estos sistemas presentan características definidas, y pueden diseñarse para edificios verticales, los cuales describiremos enseguida.<sup>47</sup>

---

<sup>47</sup> Fernando Gutiérrez González, Arturo Salazar De La Torre. (2008). Diseño de un Sistema de Distribución Vertical en 23 kv. México: IPN.

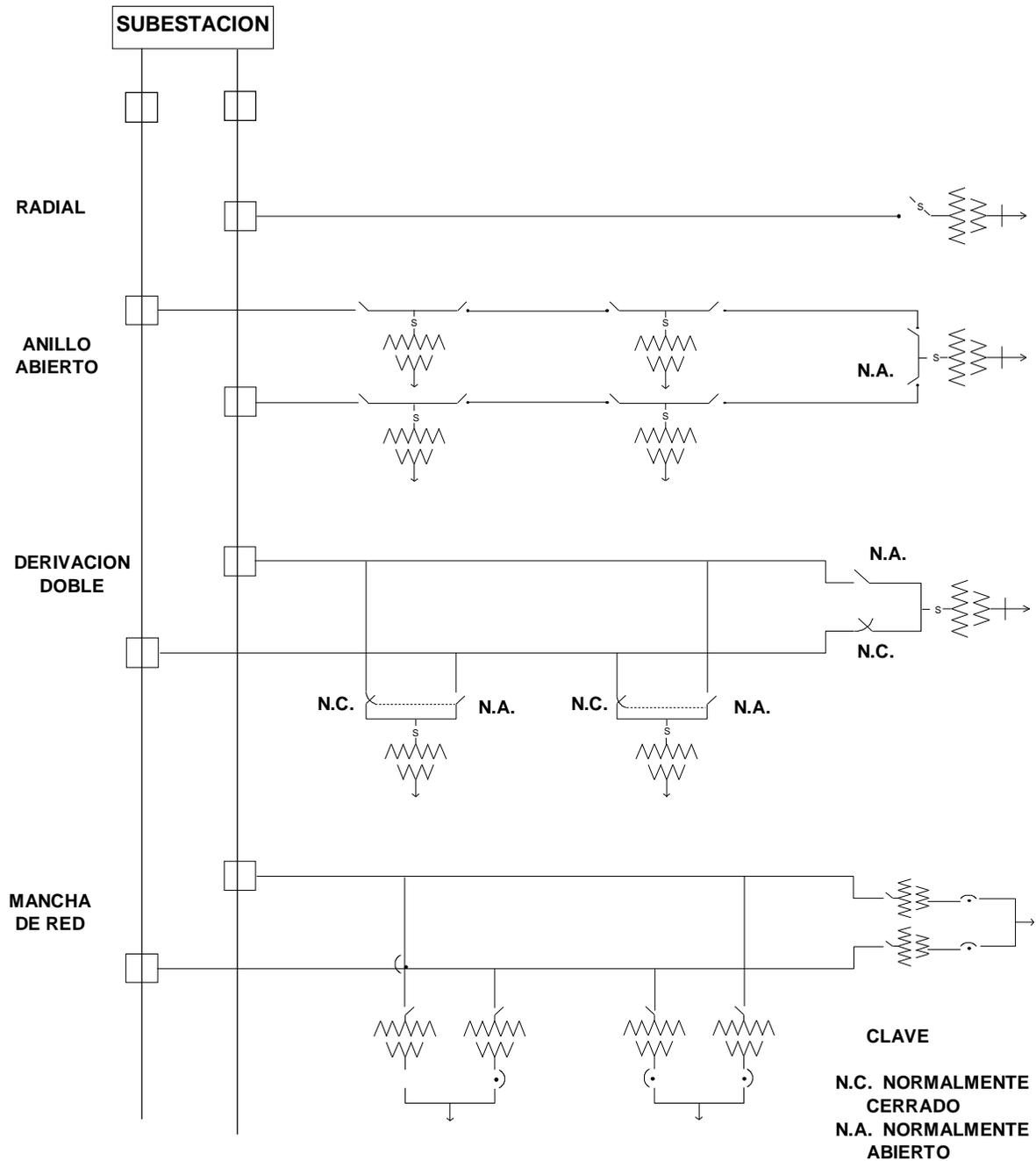


Fig. 7.03, Principales Estructuras de Alimentación.

### 7.3 Sistema radial

#### ➤ Desventajas

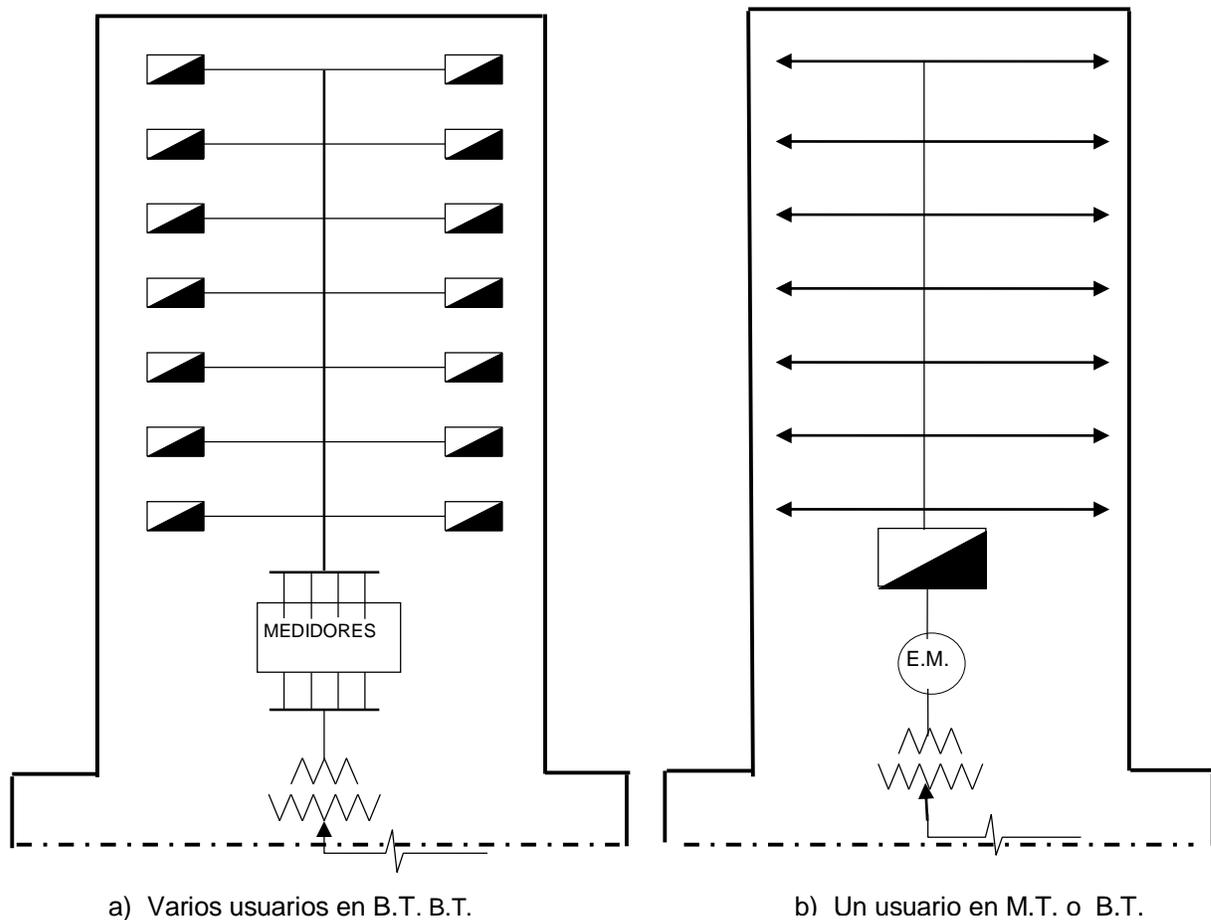
La estructura de alimentación radial, aérea o subterránea a un servicio de este tipo es obviamente la menos compleja pero también es la menos confiable ya que debido a una falla en cualquier componente del sistema de alimentación primaria, afectará a

todos los consumidores ligados al mismo, los cuales quedarán sin servicio hasta que se localice y sea reparada la falla. Por tanto este sistema solamente se aplicará a servicios que no requieran gran continuidad.

### 7.3.1 Sistemas de alimentación con alimentador principal continuo

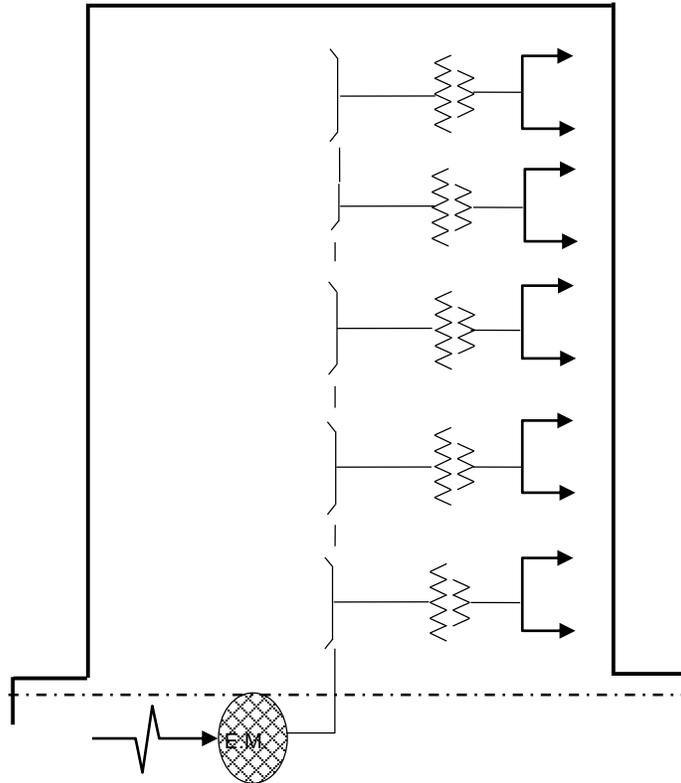
#### ➤ Ventajas

Este tipo de alimentación es relativamente económico y se usa en aquellas instalaciones en donde sea aceptable una cierta inseguridad en el suministro de la energía eléctrica, ya que tiene el inconveniente de que en caso de que el alimentador principal falle, entonces se afecta el suministro a todos los pisos del edificio. Además, al llevar el alimentador principal prácticamente el total de la carga, requiere de conductores de gran sección y su montaje además de costoso se dificulta.



**Fig. 7.04, Sistema radial para suministro de energía a edificios elevados.**

Tiene la ventaja de que su construcción es relativamente sencilla, se pueden compensar las cargas de los distintos pisos y no requiere de instalaciones complicadas en baja tensión.



**Fig. 7.05, c) Un usuario en M.T. con un solo alimentador y varios transformadores en diferentes niveles.**

### 7.3.2 Sistema de alimentación con alimentadores por grupos

#### ➤ Ventajas

Este sistema ofrece ventajas en cuanto a continuidad de alimentación, ya que cada alimentador alimenta a departamentos por grupo o por pisos así como lo vemos en la figura, de manera que en caso de falla de un alimentador solo afecta a los departamentos de un grupo, o bien a los pisos de un grupo. Por ser de menor sección los conductores de cada alimentador, su instalación es más sencilla.

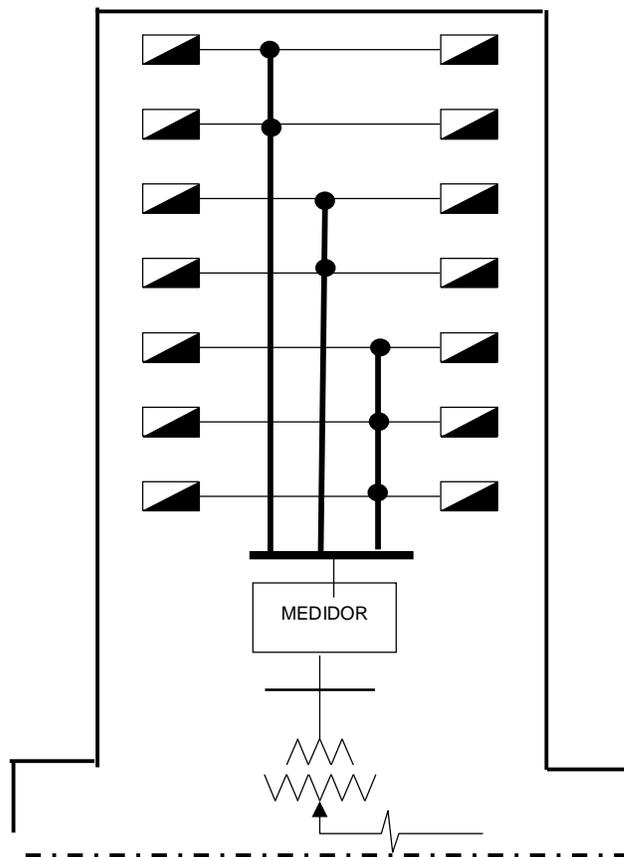


Fig. 7.06, d) Alimentadores por grupo, usuarios en M.T. o B.T.

#### ➤ Desventajas

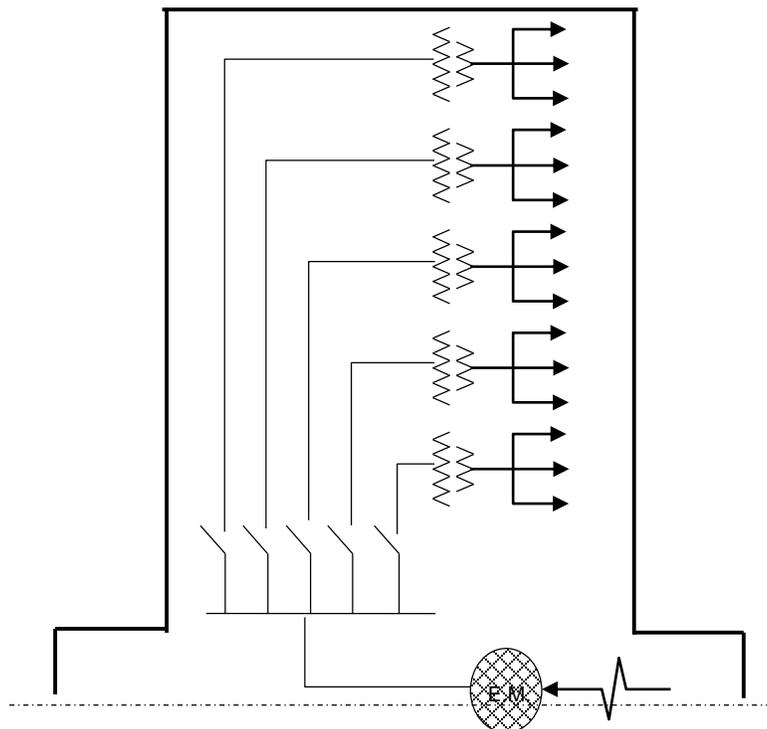
Este sistema tiene el inconveniente de que las diferentes cargas de cada piso se balancean o compensan solo dentro de cada grupo, también se requiere mayor número de interruptores al haber mayor número de circuitos, por lo tanto requiere de mayor costo.

### 7.3.3 Sistema de alimentación con alimentadores individuales

#### ➤ Ventajas

Las principales ventajas de este sistema de alimentación son que en caso de falla en un alimentador, esta solo afecta al piso correspondiente, por ser menos la sección de los conductores de los alimentadores, su montaje es más sencillo; su uso es recomendable en edificios donde los medidores se localizan en un punto central, como es el caso de la mayoría de edificios de departamentos.

El sistema tiene la desventaja de que solo se balancea o equilibran las cargas de cada piso, por lo que los conductores se calculan para las cargas máximas de cada piso, su montaje es costoso y se requiere usar tubo conduit o ductos con suficiente espacio para alimentar al conjunto de alimentadores.



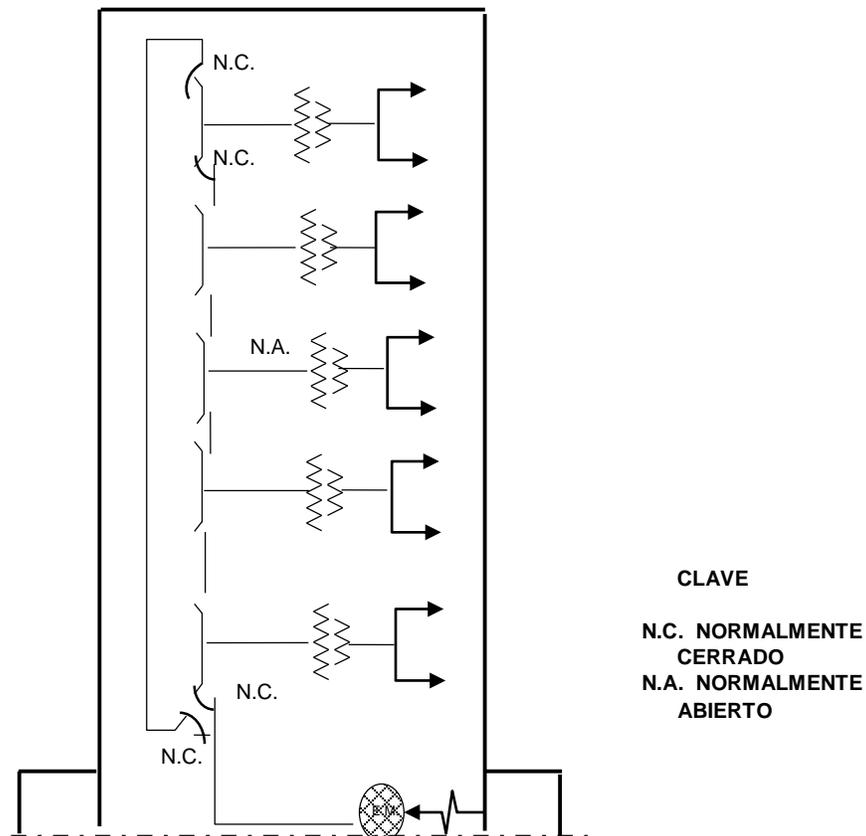
**Fig. 7.07, e) Un usuario en M.T. con transformadores en varios niveles, varios alimentadores.**

## 7.4 Sistema en anillo abierto

### ➤ Ventajas

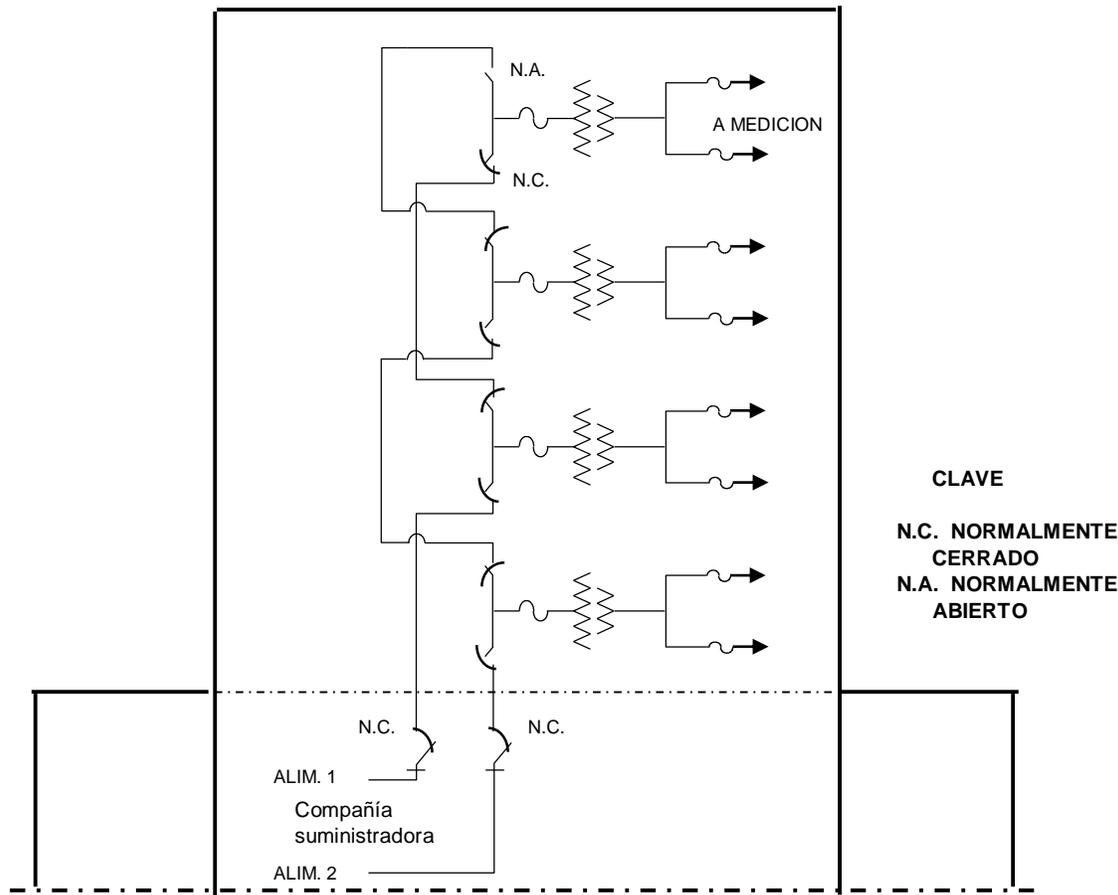
Este tipo de sistema de alimentación es usado en grandes edificios, no solo para viviendas, en general para otro tipo de uso, tiene la gran ventaja sobre los anteriores de que ofrece gran seguridad en la alimentación, se dimensionan los alimentadores adecuadamente y además en caso de falla se puede seccionar, manteniendo en operación, ya que solo se desconecta la parte que tiene falla, los alimentadores son de menor sección que en los casos anteriores.

El sistema requiere también de pocas instalaciones en baja tensión con un número reducido de salidas.



**Fig. 7.08 Un usuario en M.T. con transformadores en varios niveles.**

Este diseño ha sido empleado extensamente para alimentar cargas comerciales y pequeñas cargas industriales importantes. Consta de dos alimentadores radiales que se unen en un desconectador normalmente abierto. Una falla en un componente de la red primaria puede ser seccionada o aislada en forma manual y restablecer el servicio mediante la operación del desconectador ubicado en el punto normalmente abierto.

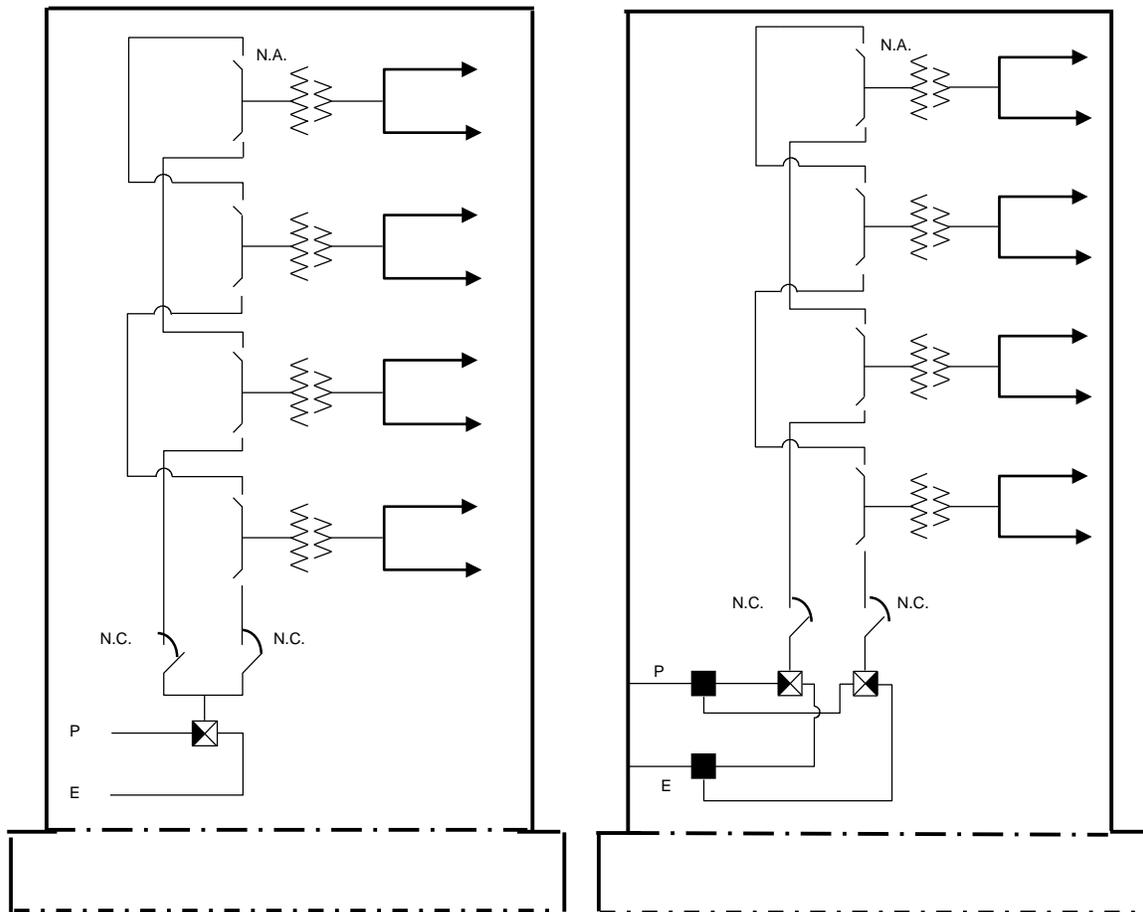


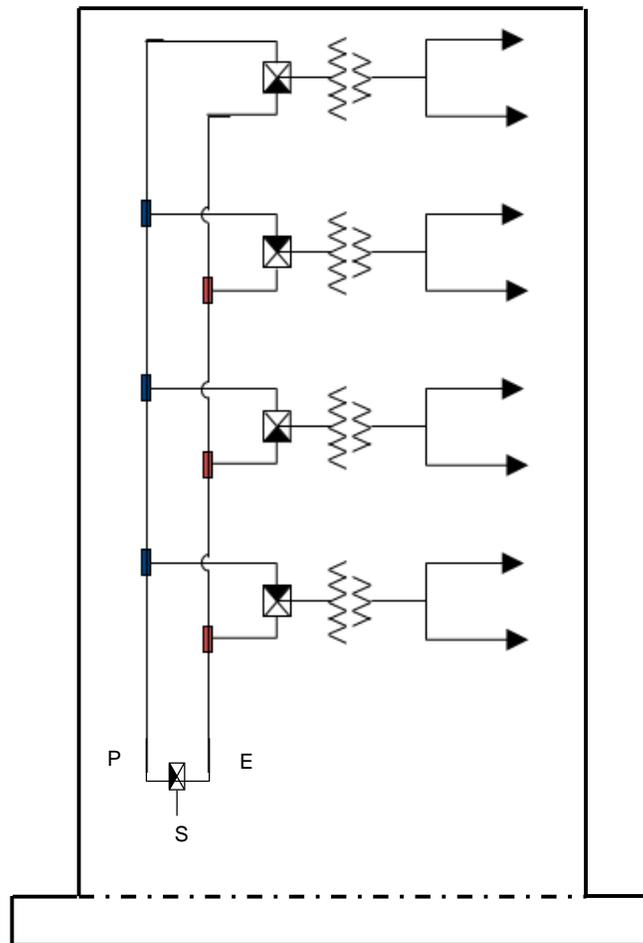
**Fig. 7.09, Varios usuarios en M.T. y en B.T.**

## 7.5 Sistema en derivación doble

En este diseño, dos circuitos de media tensión independientes se llevan al centro de carga y se conectan al transformador por medio de un dispositivo automático de transferencia. Uno de los circuitos recibe el nombre de preferente y el otro se conoce como alimentador emergente.

Esta es una estructura que proporciona un alto grado de confiabilidad en el servicio, ya que cuando un alimentador queda fuera de servicio, el otro llevará el total de la carga, mediante el cambio automático de alimentación a través de los interruptores de transferencia en media tensión.



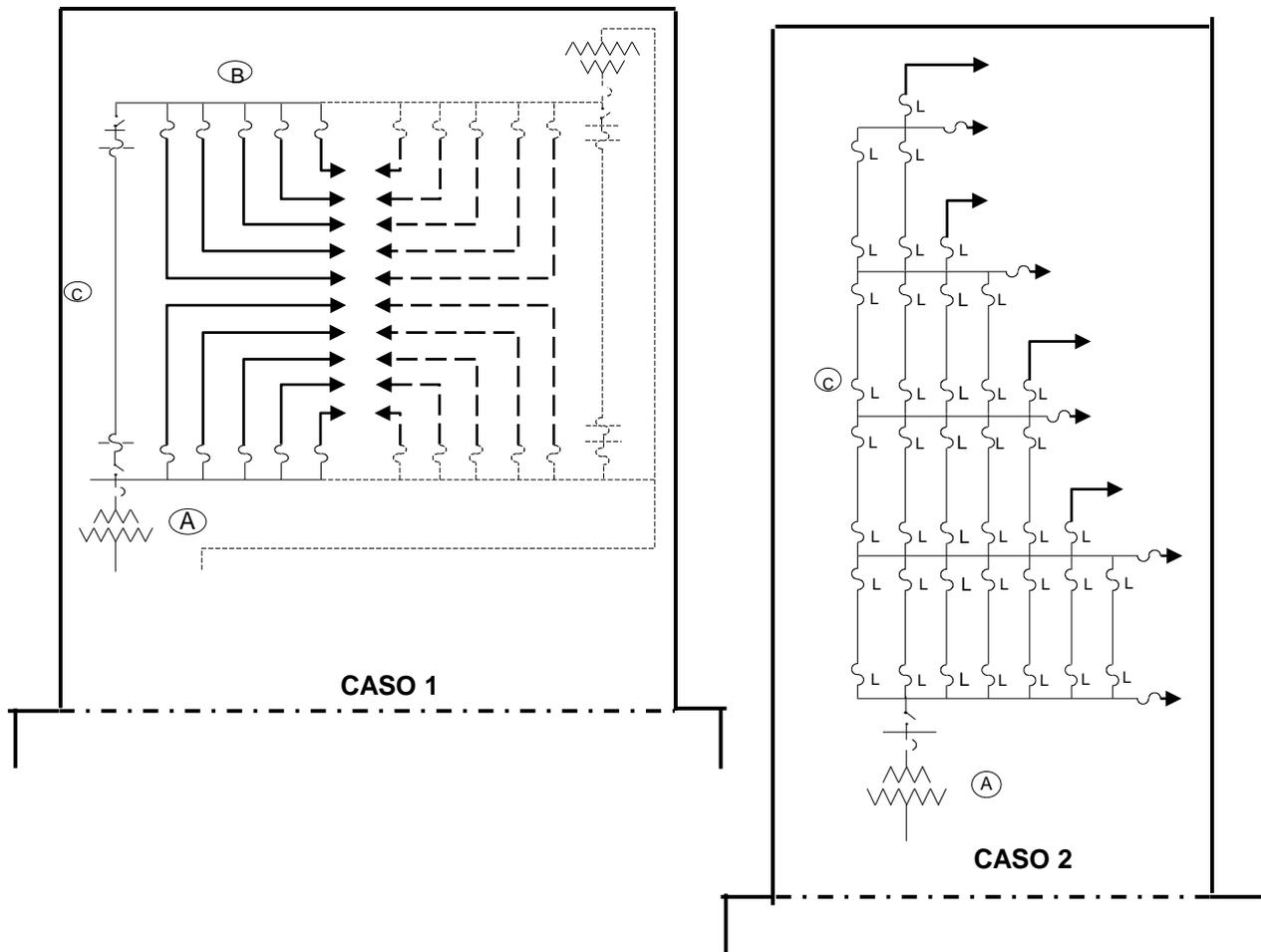


<b>CLAVE</b>	<b>CLAVE</b>
N.C. NORMALMENTE CERRADO	E - Emergente
N.A. NORMALMENTE ABIERTO	P - Preferente
	S - Servicio

Figura 7.10, Sistema en derivación doble para suministro de energía a edificios altos.

### 7.6 Mancha de red

Este sistema es uno de los más flexibles y confiables que existen. Su empleo se restringe a zonas de densidad de carga elevada, en las que ya se tiene una red automática subterránea implantada. Esta alternativa requiere para su implantación de un mínimo de dos alimentadores a los que se conectarán los transformadores de distribución y sus respectivos protectores de red, los cuales alimentarán un bus secundario común, energizado permanentemente.



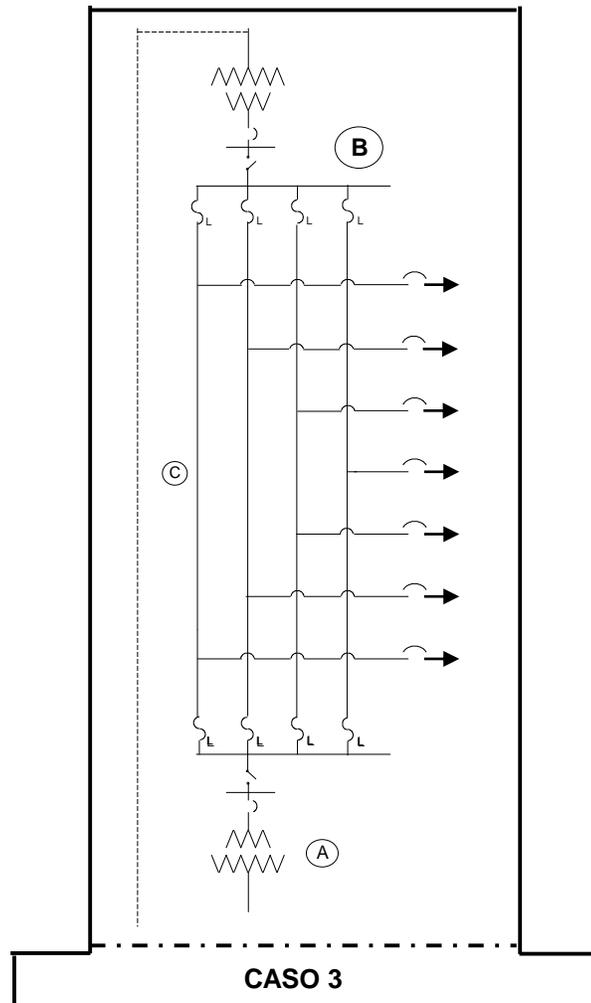


Fig. 7.11, Estructura de una mancha de red

**clave**

- (A)** Subestación y bus en la base del
- (B)** Bus en la parte superior del
- (C)** Malla de baja tensión
- L** Fusible Limitador
- ~** Fusible de potencia
- ⎓** Protector de red

## CAPÍTULO 8

### 8 Resultado y conclusiones

Actualmente existen grandes construcciones en nuestro país, sobre todo si se trata de un edificio de altura, es por ello que dependiendo de la estructura y diseño arquitectónico, incluyendo los acabados y el mobiliario, es necesario contar con un buen arreglo eléctrico. Además de establecer con el conjunto de cargas que corresponden a cada área específica de cada planta de la edificación, es necesario que tengan diversas subestaciones en sus diferentes niveles, formando el arreglo en anillo y un sistema de distribución vertical, pues así se logrará reducir al mínimo las caídas de tensión, ya que entre más niveles tenga el edificio es muy común encontrar cargas grandes, ya sean motores para elevadores, equipos de calefacción así como aire acondicionado.

En esos cuartos destinados a contener a las subestaciones se encuentran elementos de control, tableros de distribución (que es un elemento indispensable para la distribución de la energía eléctrica en todas las secciones del edificio, que a su vez contienen interruptores, tanto para controlar como para proteger los circuitos) además cuentan con fuentes de potencia interrumpible tipo UPS (United Power System, que son dispositivos utilizados para las áreas más importantes del edificio, con ellos se logra que la energía eléctrica no se interrumpa y permanezca constante).

Es por ello que dependiendo del número de pisos de un edificio, es necesario distribuir con precisión las subestaciones entre sus pisos superiores, ya que todo dependerá de la carga demandada.

Las subestaciones se alojarán en diferentes pisos del edificio, (planta baja o sótano, así como pisos superiores) estas subestaciones convertirán el voltaje en media tensión a baja tensión, para así distribuir la energía eléctrica a los usuarios.

Este cuarto eléctrico deberá de contar con un sistema de puesta a tierra, incluyendo la malla de tierra (estas instalaciones son de verdadera importancia ya que sostienen la seguridad de los sistemas y deben de ser instalados de la mejor

forma y ser supervisados o probados de manera frecuente para saber que se encuentra sobre los valores aceptables).

Es importante mencionar que los edificios elevados deben limitar las interrupciones de servicio a diez segundos o menos. Por lo tanto, se necesita tener transferencia automática para proteger la carga contra la pérdida de la fuente de la empresa suministradora. Muchas instalaciones podrán utilizar tableros de distribución para transferencia automática en todas las cargas del interior del edificio. Por cuestiones económicas, las empresas grandes pueden elegir instalar transferencia automática únicamente en las cargas críticas. El equipo con seccionador/fusible generalmente se utiliza para esta aplicación y tiene componentes estándares diseñados para este uso.

## 9 Referencias

- ✚ Viqueira Landa Jacinto. (1970). Redes Eléctricas, Primera Parte. México, D.F.: UNAM, Primera Edición.
- ✚ Kaoru Ishikawa, (1997). ¿Qué es el control total de calidad?, La Modalidad Japonesa. Bogotá: Norma.
- ✚ CFE. (2014). CFE y la electricidad en México. 2014, de CFE Sitio web: <http://www.cfe.gob.mx/>
- ✚ Calderón, L. R. (1995). La Importancia de la Calidad de la Energía en Redes Eléctricas de Suministro Estratégico. 1995, de Informática e Ingeniería Integral, INININ Sitio web: <http://ininin.com.mx/>
- ✚ Roberto Espinoza y Lara. (Julio 1990). Sistemas Eléctricos de Distribución. México, D.F.: UNAM, Tercera Edición.
- ✚ Enríquez Harper Alberto.(1995). El Estudio de la calidad de la Energía en los sistemas Eléctricos. México: Noriega Editores.
- ✚ Enríquez Harper Alberto.(1995). El Estudio de la calidad de la Energía en los sistemas Eléctricos. México: Noriega Editores.
- ✚ José Raul Martín. (2000). Diseño de Subestaciones Eléctricas. México: UNAM, FI.
- ✚ Enríquez Harper Gilberto. (1996). Elementos de Subestaciones Eléctricas. México: Limusa.
- ✚ Schneider Electric. (2008). Guía de Diseño de Instalaciones Eléctricas. España: Schneider.
- ✚ CFE. (2000). Manual de mantenimiento a equipo eléctrico. 2000, de CFE Sitio web: <http://www.cfe.gob.mx/>

- ✚ García Franco Gonzalo A.. (1995). Manual de Procedimientos de Mantenimiento Eléctrico a Subestaciones eléctricas de potencia. México: ESIME.
- ✚ Gilberto Enriquez Harper. (2004). El ABC de las Instalaciones Eléctricas Residenciales. México, DF: Limusa.
- ✚ Neagu Bratu Serban. (1995). Instalaciones eléctricas, conceptos básicos y Diseño. México, D.F.: Alfaomega.

### **Normas de referencia:**

- ✚ Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- ✚ Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- ✚ NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones eléctricas (utilización).
- ✚ Ley Federal de Metrología y Normalización y su Reglamento.
- ✚ NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida.
- ✚ NORMA Oficial Mexicana NOM-001-STPS-2008