

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN



La distribución de potencia eléctrica se hace generalmente por medio de cables trifásicos o líneas de transmisión. Los voltajes de trabajo se deciden por factores económicos, que están condicionados a la cantidad de potencia a transmitir. La evolución de las líneas de transmisión ha sido tendiente a:

1. Aumentar la confiabilidad.
2. Optimizar los diseños mecánicos y reducir pesos.
3. Reducir los niveles de ruido y radiointerferencia electromagnética.
4. Usar aislamientos sintéticos.
5. Incursionar en la transmisión hexafásica.
6. Compactar líneas e ir incrementando los niveles en los voltajes de transmisión.
7. Proteger el ambiente y promover el bienestar social.

1.1 DEFINICIÓN, OBJETIVO E IMPORTANCIA DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Es un grupo de conductores dispuestos paralelamente que transportan la energía eléctrica a elevados voltajes, y montados sobre soportes que proporcionan el aislamiento requerido entre conductores y entre conductores a tierra, los cuales reciben el nombre de estructuras de apoyo. Así mismo, conduce la energía a otras redes de potencia por medio de interconexiones.

El propósito de las líneas de transmisión es el de transferir la energía eléctrica de un centro de generación hasta un centro de consumo.

La razón por la cual se eleva el voltaje al cual trabajan las líneas de transmisión, es la reducción de pérdidas por calentamiento que se lleva a cabo en un conductor al circular por el una corriente eléctrica, la tensión más económica se obtiene aproximadamente en forma proporcional a la longitud de la línea.

Las líneas de transmisión se dividen principalmente en dos grandes categorías: las líneas aéreas y cables subterráneos, en el presente trabajo solo trataremos las líneas de transmisión aéreas.

La importancia de las líneas aéreas radica en el hecho de que las líneas y las subestaciones están entrelazadas entre sí, lo que permite que el sistema eléctrico nacional esté interconectado como una gran malla o red en la que todas las regiones del país pueden ayudarse mediante intercambios instantáneos de energía; de este modo, es posible atender a cualquier hora y en cualquier punto la demanda de electricidad de la población; lo antes mencionado facilita sacar de servicio alguna línea para darle algún tipo de mantenimiento o también cuando ocurre alguna falla sacando de servicio alguna línea sin dejar de alimentar algún punto demandante de energía eléctrica.

1.2 PRINCIPALES ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

Las líneas de transmisión aéreas están constituidas por conductores en aire apoyados en estructuras (torres) y sujetos por medio de aisladores. El aislamiento entre conductores lo proporciona el aire y el aislamiento entre conductores y tierra se obtiene por medio de las cadenas de aisladores.

Desde el punto de vista del proyecto de las líneas de transmisión, los principales elementos (componentes) a considerar son:

- | | |
|--|----------------|
| 1. Estructuras | 3. Aislamiento |
| 2. Conductores eléctricos y cables (hilos) de guarda | 4. Herrajes |

1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Podemos clasificar a las líneas de transmisión considerando dos aspectos: el voltaje de operación y la longitud.

Por el nivel de voltaje al que se transmite la potencia eléctrica, las líneas de transmisión se clasifican en México, como sigue (Especificación C.F.E. L0000-02), Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Niveles de tensión en México.

CLASIFICACIÓN	TENSIÓN	TENSIÓN NOMINAL EN KV.		
		PREFERENTE	RESTRINGIDA	CONGELADA
EXTRA ALTA TENSIÓN	≥ 230 KV	400		
		230		
ALTA TENSIÓN	< 230 KV > 35 KV	115	138	
		69	85	
MEDIA TENSIÓN	≤ 35 KV > 1 KV	34.5		20
		23		11.8
		13.8		6.9
				4.4
				2.4
BAJA TENSIÓN	≤ 1 KV	0.240		
		0.220		
		0.127		
		0.120		

En lo que respecta a su longitud, las líneas se dividen en cortas, medias y largas:

1. Líneas cortas.
Dentro de esta categoría están las líneas de transmisión de hasta 80 Km. (50 millas).
2. Líneas medias.
Se denominan líneas medias aquellas líneas de transmisión que tienen una longitud entre 80 y 240 Km. (50 a 150 millas).
3. Líneas largas.
Son líneas de transmisión que tienen una longitud superior a los 240 Km. (150 millas) y operan generalmente con valores altos de voltaje, del orden de 230 y 400 KV.

1.4 ESQUEMAS TÍPICOS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

Los componentes de los sistemas eléctricos de potencia están dispuestos de acuerdo con la modalidad del crecimiento de la carga en la zona que alimentan, pero su disposición puede ser modificada de tiempo en tiempo.

Los sistemas de transmisión de acuerdo a su conexión se pueden clasificar en: sistema troncal, sistema radial, sistema en anillo y sistema en red. En la representación de todos ellos se ha prescindido de los transformadores y de los interruptores necesarios. En cada uno de ellos, un solo generador alimenta a las cargas dispuestas.

1.4.1 Sistema Troncal. En este sistema un generador con una línea de calibre uniforme o variable alimenta varias cargas situadas a lo largo de una ruta.

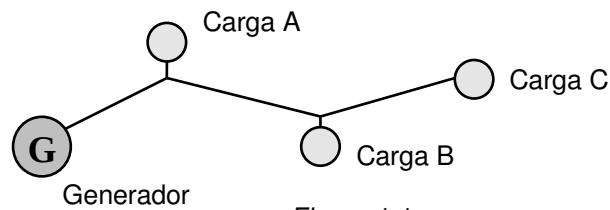


Figura 1.1

1.4.2 Sistema Radial. En este esquema un generador suministra energía a varias subestaciones y estas subestaciones dan servicio a sus respectivas cargas sin que exista conexión entre dichas subestaciones.

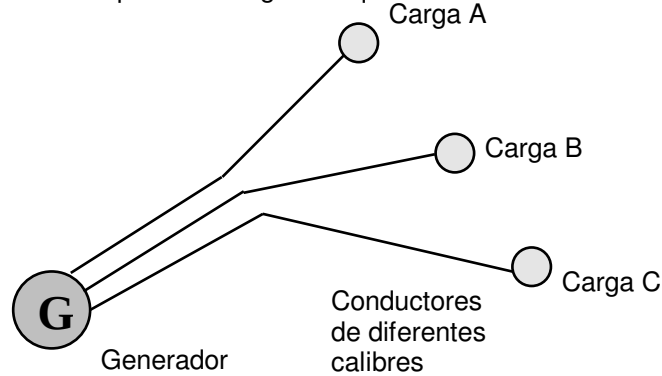


Figura 1.2

1.4.3 Sistema En Anillo. A esta conexión también se le conoce como sistema de lazo o malla. Del generador parte una línea que alimenta, una por una, todas las cargas, y regresa al propio generador, ya sea por la misma ruta (*figura a*), o por otra distinta (*figura b*); procurando que las cargas no estén conectadas del mismo lado del anillo, cuando el regreso se hace por la misma ruta.

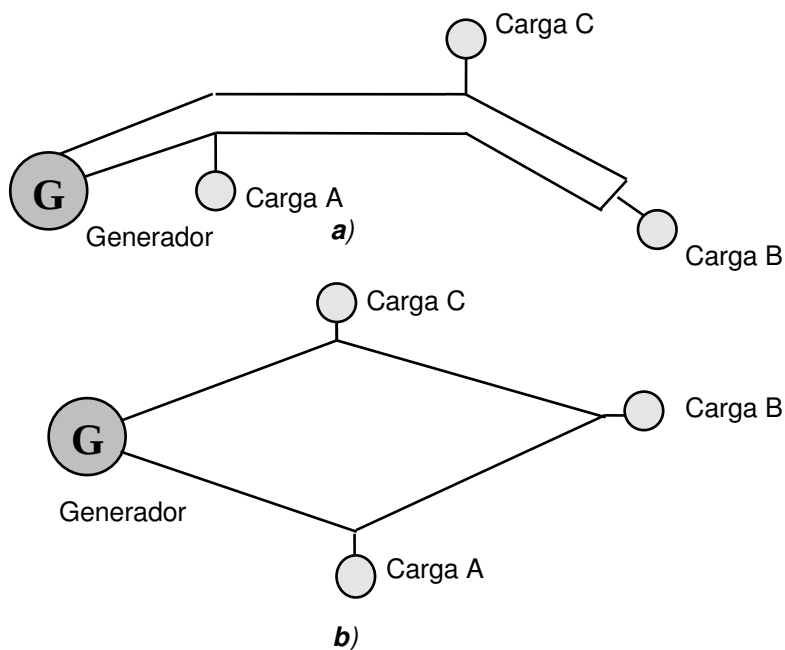


Figura 1.3

1.4.4 Sistema En Red. En este sistema cada carga o circuito tiene dos o más circuitos de alimentación. Por ejemplo: si en la figura del sistema radial, se lleva un cable directo de la carga A a la carga B, de la B a la C;

el sistema se convierte en red; si en la figura b se lleva un cable directo del generador a la carga B, el sistema en anillo se convierte en red.

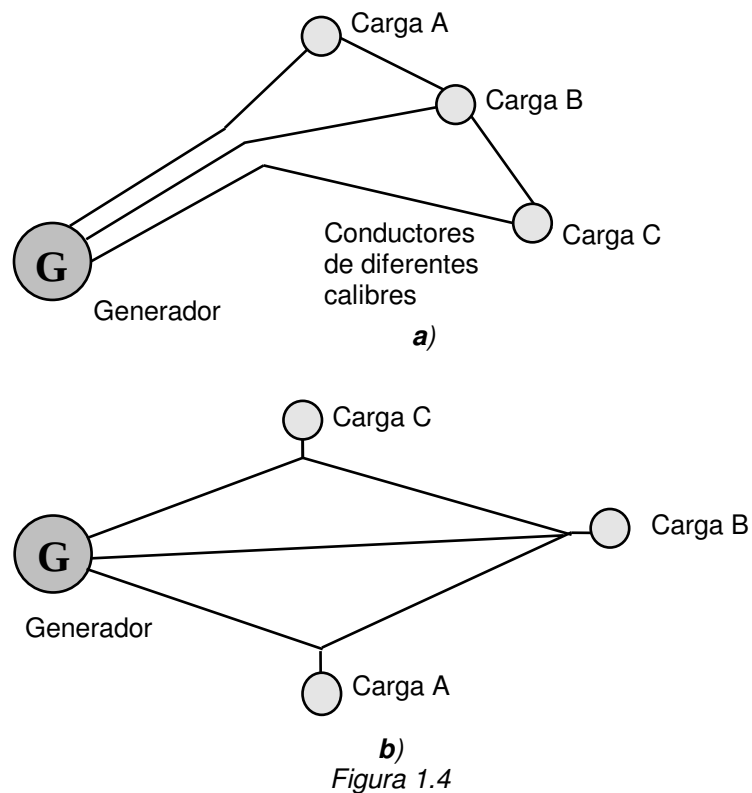


TABLA 1.2 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE CADA SISTEMA
PROPIEDADES COMPARATIVAS

CONCEPTO	SISTEMAS			
	TRONCAL	RADIAL	ANILLO	RED
TENSIÓN UNIFORME EN LAS CARGAS	NO	SI	NO	ALGO
SEGURIDAD CONTRA INTERRUPCIÓN DE LÍNEAS	NO	NO	SI	SI
LAS VARIACIONES DE UNA CARGA AFECTAN LA TENSIÓN DE OTRAS	SI	NO	POCO	MUY POCO
ES POSIBLE REDUCIR LA CARGA TOTAL DESDE LA GENERACIÓN	NO	SI	NO	NO
ES POSIBLE COMPROBAR EL CONSUMO DESDE LA GENERADORA	NO	SI	NO	NO
ES POSIBLE AUMENTAR RECEPTORAS SIN ALTERAR TENSIÓN	NO	SI	ALGO	SI
CLASE DE PROTECCIÓN CONTRA FALLAS DE AISLAMIENTO	SIMPLE	SIMPLE	COMPLICADA	MUY COMPLICADA
ES POSIBLE REGULAR				

LA TENSIÓN EN TODAS LAS CARGAS	ALGO	SI	ALGO	NO
VOLUMEN DE METAL EMPLEADO	MEDIANO	MENOR	MEDIANO	MÁXIMO
INTENSIDAD DE LAS FALLAS	MEDIANA	MÍNIMA	GRANDE	MÁXIMA

De la tabla anterior se observa que el sistema que tiene menos inconvenientes es el de tipo radial, quedando abajo en el punto número 2, (SEGURIDAD CONTRA INTERRUPCIONES DE LÍNEA). Para solucionar este inconveniente se ha empleado lo siguiente:

1.4.5 Duplicación de circuitos para cada carga.

La substitución de un circuito por otro puede ser automática (por falta de voltaje) y los circuitos deben estar provistos de interruptores o fusibles capaces de desconectar el circuito averiado, esta solución puede ser muy buena, pero el inconveniente que presenta es muy costosa.

Es posible proyectar cada uno de los circuitos para la mitad de la carga total, con la mitad del volumen de metal que sería necesario para un solo alimentador, pero con suficiente capacidad térmica para conducir en emergencia toda la carga. El costo ya no sería tanto por el conductor, sino por las estructuras de apoyo que soportan los conductores, como pueden ser: aisladores, crucetas, etc. y dependiendo de la importancia de la carga será la conexión y desconexión de la carga.

Para reducir al mínimo la caída de potencial exagerada que se produce cuando se transmite toda la carga por un sólo circuito de capacidad 50% se ha recurrido al dispositivo llamado “TORRES DE SEPARADORES”.

A continuación se da un ejemplo de como funcionan las torres de separadores (Fig. 1.5):

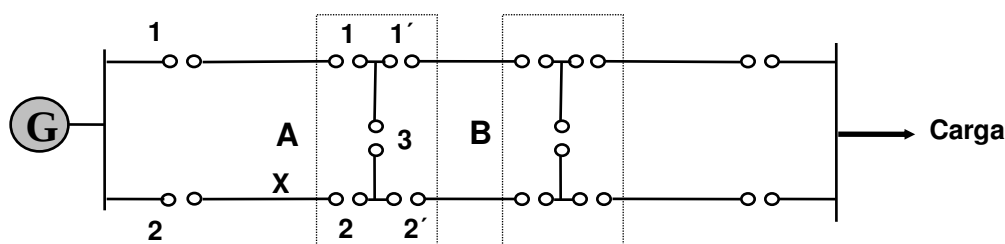


Figura 1.5 Funcionamiento de las torres de separadores.

Si ocupando las dos líneas la caída total es de 9% por ejemplo, al ocurrir una falla; sin las torres se desconectaría una línea, quedando conectada una línea por lo que la caída de emergencia subiría a 18%. Con la ayuda de las torres, la caída subirá a 6% en el tramo de falla y quedará de 3% en cada uno de los restantes, haciendo un total de 12%.

1.5 PRESENTE DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN MÉXICO.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) cuenta con plantas importantes instaladas en todo el País. Al cierre del mes de septiembre la CFE contó con una capacidad efectiva instalada para generar energía eléctrica de 45,871.92* Megawatts (MW), de los cuales: 8,250.90 MW son de productores independientes (termoeléctricas), 10,269.58 MW son de hidroeléctricas, 22,424.89 MW corresponden a las termoeléctricas de CFE, 2,600 MW a carboeléctricas, 959.50 MW a geotermoeléctricas, 1,364.88 a la nucleoeletrica y 2.18 a la eoloeletrica.

Para tener una idea más clara de la capacidad instalada actualmente consideremos que en 1927 se generaban 630 MW.

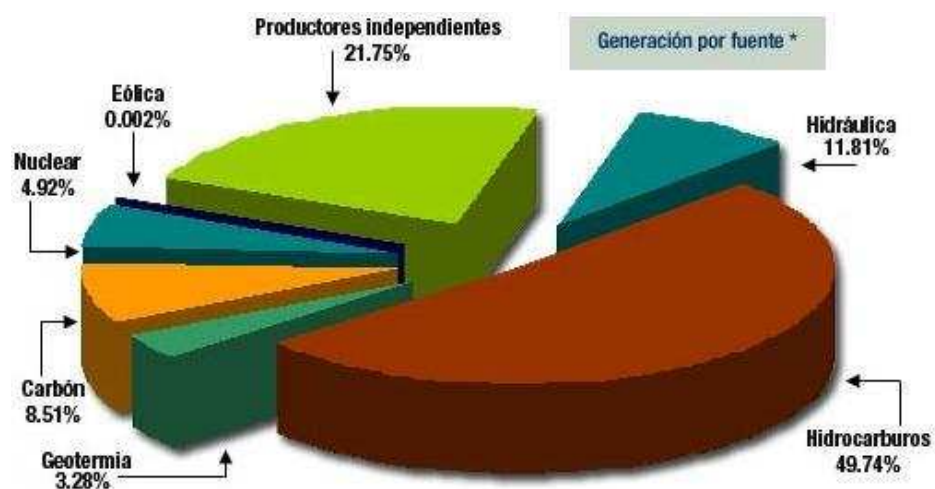


Fig. 1.6 Generación por fuente.

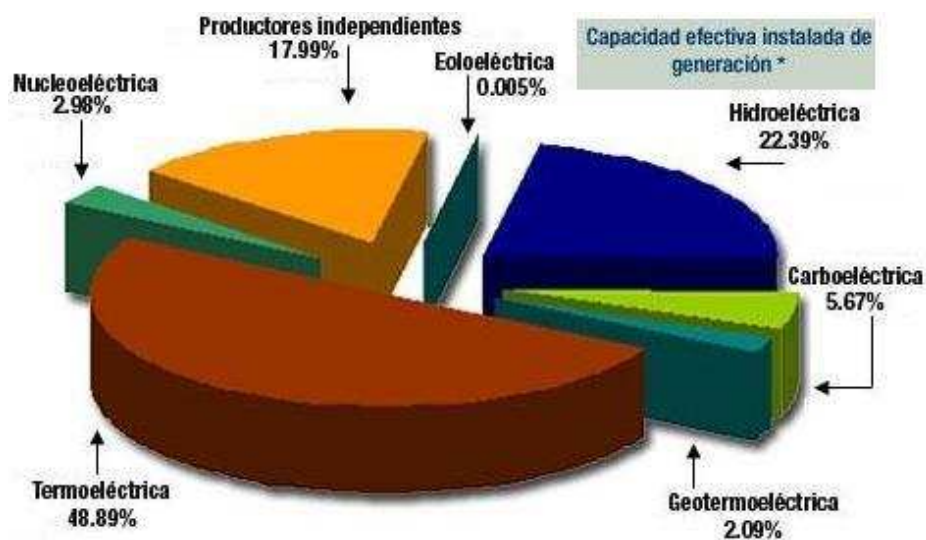


Fig. 1.7 Capacidad efectiva instalada de generación.

1.5.1 Desarrollo de la capacidad instalada y de la generación.

La generación de electricidad en México ha ido en aumento, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005*
Capacidad (MW)	CFE	34,384	34,839	35,385	36,236	36,855	36,971	38,422	37,621
	PIE's	-	-	484	1,455	3,495	6,756	7,265	8,251
	Total	34,384	34,839	35,869	37,691	40,350	43,727	45,687	45,872
Generación (TWh)	CFE	168.98	179.07	190.00	190.88	177.05	169.32	159.53	127.93
	PIE's	-	-	1.21	4.04	21.83	31.62	45.86	35.55
	Total	168.98	179.07	191.21	194.92	198.88	200.94	205.39	163.48

*Incluye 17 centrales de Productores Independientes de Energía (PIE), las cuales aparecen en el apartado de Centrales Generadoras. Información a septiembre de 2005.

Las principales centrales generadoras de energía eléctrica en operación en México son:

- **Centrales Hidroeléctricas**

- | | |
|--|--|
| 1. Manuel Torres Moreno
Ubicación: Chicoasén, Chiapas
Capacidad de generación: 2,400 MW | 4. Central Hidroeléctrica "La Angostura"
Ubicación: V. Carranza, Chiapas
Capacidad de generación: 900 MW |
| 2. Central Hidroeléctrica "Mal Paso"
Ubicación: Tecpatán, Chiapas
Capacidad de generación: 1,080 MW | 5. Carlos Ramírez Ulloa (El caracol)
Ubicación: Apaxtla, Guerrero
Capacidad de generación: 600 MW |
| 3. Central Hidroeléctrica "El Infiernillo"
Ubicación: La Unión, Guerrero
Capacidad de generación: 1,012 MW | 6. Central Hidroeléctrica "Aguamilpa"
Ubicación: Tepic, Nayarit
Capacidad de generación: 960 MW |

- **Centrales Termoeléctricas**

- | | |
|---|---|
| 1. Central Termoeléctrica "Puerto Libertad"
Ubicación: Pitiquito, Sonora
Capacidad de generación: 632 MW | 4. Central Termoeléctrica "Salamanca"
Ubicación: Salamanca, Guanajuato
Capacidad de generación: 866 MW |
| 2. Central Termoeléctrica "Gral. Manuel Álvarez Moreno"
Ubicación: Manzanillo, Colima
Capacidad de generación: 1,200 MW | 5. Central Termoeléctrica "Altamira"
Ubicación: Altamira, Tamaulipas
Capacidad de generación: 800 MW |
| 3. Central Termoeléctrica "Francisco Pérez Ríos"
Ubicación: Tula, Hidalgo
Capacidad de generación: 1,500 MW | 6. Central Termoeléctrica "Pdte. Adolfo López Mateos"
Ubicación: Tuxpan, Veracruz
Capacidad de generación: 2,100 MW |

- **Plantas Nucleoeléctricas**

- | |
|--|
| 1. Central Nucleoeléctrica "Laguna Verde"
Ubicación : Alto Lucero, Ver.
Capacidad de generación : 1 365 MW |
|--|

- **Centrales de Ciclo Combinado**

- | | |
|---|---|
| 1. Central Presidente Juárez"
Ubicación: Rosarito, BajaCalifornia
Capacidad de generación: 496 MW | 3. Central "El Sauz"
Ubicación: Pedro Escobedo, Querétaro
Capacidad de generación: 601 MW |
| 2. Central "Samalayuca II"
Ubicación: Cd. Juárez, Chihuahua
Capacidad de generación: 522 MW | 4. Central "Dos Bocas"
Ubicación: Medellín, Veracruz
Capacidad de generación: 452 MW |

En lo que respecta a plantas maremotrices, eólicas y solares, se encuentran aún en periodos de investigación y experimentación.

La energía generada por estas plantas es administrada por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), que es el organismo que regula la participación de cada una de las unidades generadoras instaladas en el país, para satisfacer la demanda en un momento dado y permitiendo de esta manera la utilización óptima de los recursos de que disponen los sistemas eléctricos a través de 49,000 Km. de red nacional de transmisión, en voltajes que van de 115 a 400 KV., principalmente.

1.6 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA EN MÉXICO

Para el proceso de transmisión de energía eléctrica, en nuestro País, la red de transmisión y subtransmisión es atendida por la Subdirección de Transmisión y Control de la Comisión Federal de Electricidad en México, en las tensiones de 115 a 400 KV, mediante 9 Subgerencias Regionales de Transmisión, las cuales se enumeran a continuación incluyendo las entidades federativas con que cuenta cada una:

1. Subgerencia Regional de Transmisión Baja California:

- Baja California Norte
- Baja California Sur
- Sonora

2. Subgerencia Regional de Transmisión Noroeste

- Durango
- Sinaloa
- Sonora

3. Subgerencia Regional de Transmisión Norte

- Chihuahua
- Coahuila
- Durango
- Nuevo León
- Zacatecas

4. Subgerencia Regional de Transmisión Noreste

- Coahuila
- Nuevo León
- Tamaulipas

5. Subgerencia Regional de Transmisión Occidente

- Aguascalientes
- Colima
- Guerrero
- Guanajuato
- Jalisco
- Edo. de México
- Michoacán
- Nayarit
- San Luis Potosí
- Zacatecas

6. Subgerencia Regional de Transmisión Central

- Guerrero
- Guanajuato
- Hidalgo
- Edo. de México
- Michoacán
- Morelos
- Puebla
- Querétaro
- Tlaxcala
- Veracruz
- Distrito Federal

7. Subgerencia Regional de Transmisión Oriente

- Oaxaca
- Puebla
- Tamaulipas
- Tlaxcala
- Veracruz
- San Luis Potosí
- Edo. de México

8. Subgerencia Regional de Transmisión Sureste

- Campeche
- Chiapas
- Oaxaca
- Tabasco
- Veracruz

9. Subgerencia Regional de Transmisión Peninsular

- Campeche
- Quintana Roo
- Yucatán

1.6.1 Transmisión.

La red de transmisión considera los niveles de tensión de 400, 230 y 161 KV.

Al finalizar septiembre del año de 2005, esta red alcanzó una longitud de 45,362 Km., las cuales están distribuidas de la siguiente manera.

Nivel de tensión (KV)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
400	11,337	11,908	12,249	12,399	13,165	13,695	14,504	15,998	17,790	17,890
230	18,878	19,374	20,292	21,224	21,598	22,645	24,060	24,773	25,687	26,997
161	456	456	456	456	508	508	646	470	475	475
150	445	66	66	0	0	0	0	0	0	0
Total	31,116	31,804	33,063	34,079	35,271	36,848	39,210	41,241	43,952	45,362

1.6.2 Transformación.

La transformación es el proceso que permite, utilizando subestaciones eléctricas, cambiar las características de la electricidad (voltaje y corriente) para facilitar su transmisión y distribución. Ésta ha crecido en paralelo al desarrollo de la red de transmisión y distribución, contando a septiembre de 2005 con 172,243 MVA, de los cuales 77.09 % corresponde a subestaciones de transmisión y el restante 22.91% a subestaciones de distribución.

Capacidad en subestaciones (MVA)

Tipo de subestación	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Transmisión	90.9	94.5	98.4	104.5	107.8	113.5	119.7	125.0	128.8	132.8
Distribución	26.2	27.1	28.2	29.8	31.6	33.0	36.2	37.7	38.7	39.5
Total	117.1	121.6	126.6	134.3	139.4	146.5	155.9	162.7	167.5	172.3

1.6.3 Distribución.

La red de distribución está integrada por las líneas de subtransmisión con niveles de tensión de 138, 115, 85, y 69 KV.; así como, las de distribución en niveles de 34.5, 23, 13.8, 6.6, 4.16 y 2.4 KV y baja tensión. A septiembre de 2005 la longitud de estas líneas fue de 45,511 Km. y 595,110 Km., respectivamente.

Longitud de las líneas de distribución (Miles de Km.)

Nivel de tensión (KV)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005***
Subtransmisión										
138	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3	1.4
115	30.3	30.9	32.3	34.1	34.9	36.1	38.0	38.7	40.1	40.8
85	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
69	3.6	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2
Subtotal	35.3	35.7	37.1	38.8	39.6	40.7	42.6	43.6	44.9	45.5
Distribución										
34.5	54.8	55.6	57.1	58.9	60.3	61.7	62.7	63.6	64.7	65.9
23	20.5	22.0	22.7	23.3	23.7	24.6	25.8	26.3	27.4	27.8
13.8	211.5	219.2	226.9	233.2	239.7	246.3	251.7	257.4	264.5	268.4
6.6*	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Baja tensión	196.9	205.9	208.7	211.9	215.3	221.0	222.1	225.1	230.2	232.5
Subtotal	484.5	503.5	516.1	528.1	539.7	554.3	563.0	573.2	587.5	595.1
Total de Líneas	519.8	539.3	553.3	566.9	579.3	595.1	605.7	616.8	632.4	640.6
Total CFE**	550.9	571.1	586.3	601.0	614.6	632.0	644.9	658.0	676.4	686.0

* Incluye tensiones de 4.16 y 2.4 KV

** El total incluye líneas de transmisión

*** Cifras a septiembre de 2005

En los mapas de la República Mexicana siguientes se pueden observar; la red troncal del Sistema Eléctrico Nacional de Líneas de Transmisión y la localización de las líneas de 400, 230 y 115 KV así como algunas de las principales termoeléctricas (*Figura 1.8*) y las 9 Subgerencias Regionales de Transmisión (*Figura 1.9*).

La Subgerencia de Transmisión Oriente se extiende a lo largo del Golfo de México. Las instalaciones que atiende abarcan desde el sur de Tamaulipas, y casi la totalidad de Veracruz; así mismo, comprende porciones de los estados de San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala, Edo. de México, Puebla y Oaxaca. Esta subgerencia ocupa una posición estratégica para el sistema interconectado nacional, ya que es una de las que se encarga de la operación de las líneas troncales de 400 KV, las cuales son la columna vertebral de dicho sistema.

La Subgerencia Regional de Transmisión Oriente está conformada por 7 zonas de transmisión, que son:

1. Tampico
2. Poza Rica
3. Teziutlán
4. Orizaba

5. Veracruz
6. Temascal
7. Coatzacoalcos

En la Subgerencia Regional de Transmisión Oriente se trabaja con 4 niveles de voltaje para la transmisión de Potencia, siendo los siguientes:

1. 115 KV
2. 161 KV
3. 230 KV
4. 400 KV

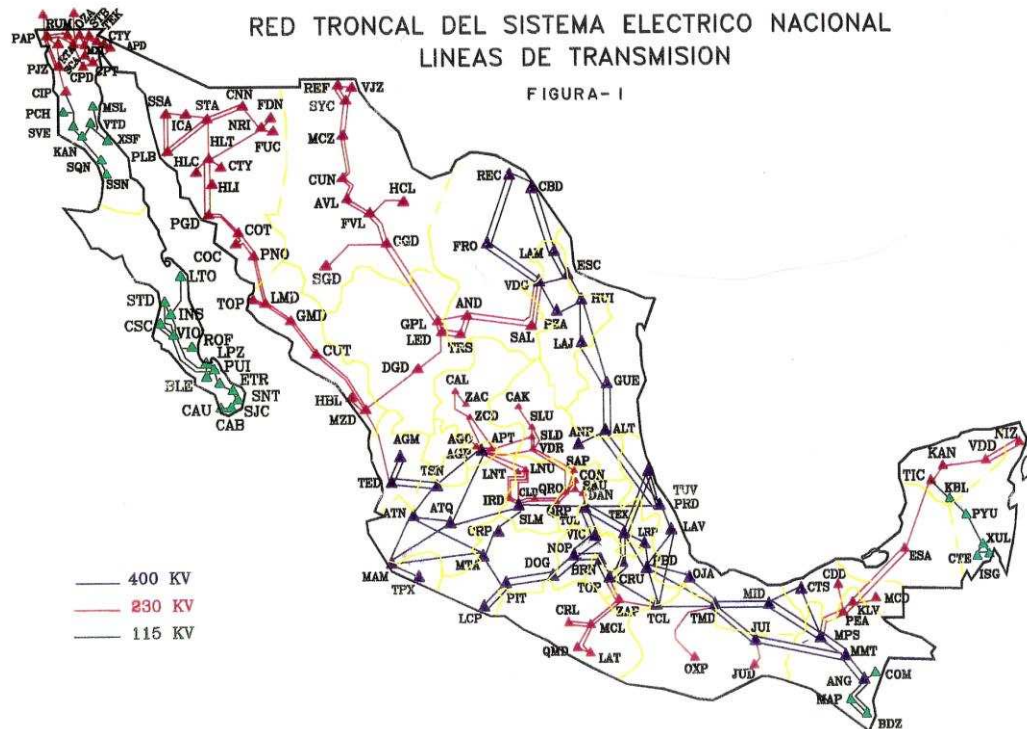


Fig. 1.8 Sistema Eléctrico Nacional de Líneas de Transmisión.



Fig. 1.9 Subgerencias Regionales de Transmisión.

CAPÍTULO 2

-PARÁMETROS DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN-