

ELC-30714
Líneas de Transmisión I

Introducción a los Sistemas de Transmisión

Prof. Francisco M. Gonzalez-Longatt

fglongatt@ieee.org

<http://www.giaelec.org/fglongatt/LT.htm>

1. Introduction (1)

- *La electricidad es una de las manifestaciones más contundentes y hermosa de la energía dentro de la naturaleza, y que en sí esta reviste una mayúscula importancia, para el hombre y en la evolución de la civilización moderna.*
- *El consumo de energía eléctrica es uno de los indicadores del desarrollo de las sociedades modernas junto con el grado de cobertura del servicio.*
- *El progreso económico de un país en vías de desarrollo, como Venezuela, marcha a la par de su capacidad para llevar la energía eléctrica a los puntos más remotos del territorio Nacional.*

1. Introduction (2)

- El suministrar energía eléctrica a un país requiere de un *proceso complejo, cuya tarea es efectuada por las empresas del sector eléctrico*; siendo el sector eléctrico en sí una estructura extensa, complicada, de singular importancia y con un alto nivel estratégico.
- La tarea de hacer llegar a todos los hogares y organizaciones un servicio de electricidad de *alta calidad, confiable y de bajo costo* se convierte en un *reto para todas las compañías que conforman el sector eléctrico*.

1. Introduction (3)

- Sin embargo, éste proceso es de complejidad creciente, en donde todas las situaciones estructurales y operativas ameritan estudios delicados, de manera que no se afecte los costos y la calidad del servicio; y es entonces donde surge la necesidad, e importancia de estudiar los grandes sistemas eléctricos.
- En particular, los *sistemas de transmisión de energía* es el subsistema de mayor extensión (aunque de menor costo) dentro del sector eléctrico.

1. Introduction (4)

- En el presente documento se muestra una breve introducción a los sistemas de potencia, con el objetivo de establecer la ubicación del sistema de transmisión de energía dentro de la compleja estructura del sistema de potencia; enunciando los conceptos más básicos sobre a estructura y operación de los sistemas de potencia.

2. Normalizacion (1)

Fuente: www.fondonorma.org.ve

- La Normalización es una actividad de conjunto, orientada por un compromiso de *alcanzar el consenso que equilibre las posibilidades del productor y las exigencias o necesidades del consumidor*.
- La Normalización establece con respecto a problemas actuales o potenciales, disposiciones dirigidas a la obtención del nivel óptimo de orden.
- La Normalización consiste en procesos de elaboración, edición y aplicación de normas.

2. Normalizacion (2)

Fuente: www.fondonorma.org.ve

- Una Norma es un documento técnico establecido por consenso que:
 1. Contiene especificaciones técnicas de aplicación voluntaria.
 2. Ha sido elaborado con la participación de las partes interesadas Fabricantes
 - Usuarios y consumidores
 - Centros de investigación y laboratorios
 - Universidades
 - Sector oficial
 - Asociaciones y colegios profesionales

2. Normalizacion (3)

Fuente: www.fondonorma.org.ve

3. Se basa en los resultados consolidados de la ciencia, la tecnología y la experiencia.
4. Provee para el uso común y repetitivo, reglas, directrices o características dirigidas a alcanzar el nivel óptimo de orden en un contexto dado.
5. Es aprobada por un organismo reconocido.
 - Las normas ofrecen un lenguaje común de comunicación entre las empresas, los usuarios y los consumidores, establecen un equilibrio socioeconómico entre los distintos agentes que participan en las transacciones comerciales, son la base de cualquier economía de mercado y, un patrón necesario de confianza entre cliente y proveedor.

2. Normalización (4)

Fuente: www.fondonorma.org.ve

Beneficios de la Normalización:

- Simplifica la elaboración de textos legales.
- Facilita el establecimiento de políticas de calidad, medioambientales y de seguridad.
- Mejora la calidad y aumenta la productividad.
- Facilita las ventas en los mercados internacionales.
- Mejora la economía en general.
- Previene las barreras comerciales.

2. Normalizacion (5)

Fuente: www.fondonorma.org.ve

Temas a Normalizar:

- Los temas a normalizar son tan amplios como la propia diversidad de productos o servicios.
- La normalización cubre cualquier material, componente, equipo, sistema, interfaz, protocolo, procedimiento, función, método o actividad.

2. Normalizacion (6)

Fuente: www.fondonorma.org.ve

Tipos de Norma:

- Contexto de Aplicación:
 - Regionales.
 - Internacionales
- Aspectos de Aplicación:
 - Terminología
 - Ensayos
 - Productos
 - Servicios

2. Normalizacion (7)

Fuente: www.fondonorma.org.ve

Diferentes Estándares a Nivel Regional y Mundial Servicios

<i>Siglas</i>	<i>Significado</i>	<i>País</i>
<i>Estándares Europeos</i>		
CENELEC	European Committee for Electrotechnical	Comunidad Económica Europea
BS	British Standard	Reino Unido
DIN	Deutscher Institut für Normung	Alemania
IEE	Institute of Electrical Engineers	Reino Unido
CEI	Comitato Elettrotecnico Italiano	Italia
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker	Alemania
<i>Estándares Americanos</i>		
ANSI	American National Standards Institute	EE.UU.
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers	EE.UU.
ISA	Instrument Society of America	EE.UU.
UL	Underwriters Laboratories	EE.UU.
<i>Estándares Mundiales</i>		
IEC	International Electrotechnical Commission	



2. Normalizacion (8)

Fuente: www.fondonorma.org.ve

- En el caso particular de Venezuela, COVENIN, Comisión Venezolana de Normas Industriales en su Norma COVENIN 391, ha establecido las normas modernas que rigen la normalización de los sistemas eléctricos.
- Además CODELECTRA, Comité de Electricidad, quien junto a COVENIN son los organismos encargados de erigir normativas de seguridad en aspectos de sistemas eléctricos.
- En general, COVENIN adoptó muchas otras normas de un ámbito de aplicabilidad más extenso



3. Definición de Sistema de Potencia (1)

- *Institute of Electrical and Electronics Engineer [1]* define un sistema de Potencia como:
- “...una red formada por unidades generadoras eléctricas, cargas y/o líneas de transmisión de potencia, incluyendo el equipo asociado, conectado eléctricamente o mecánicamente a la red...”.

[1] IEEE, Power System Engineering Committee (1992). *Transactions on Power Apparatus and System*, July de 1992, pp. 1894-1898.

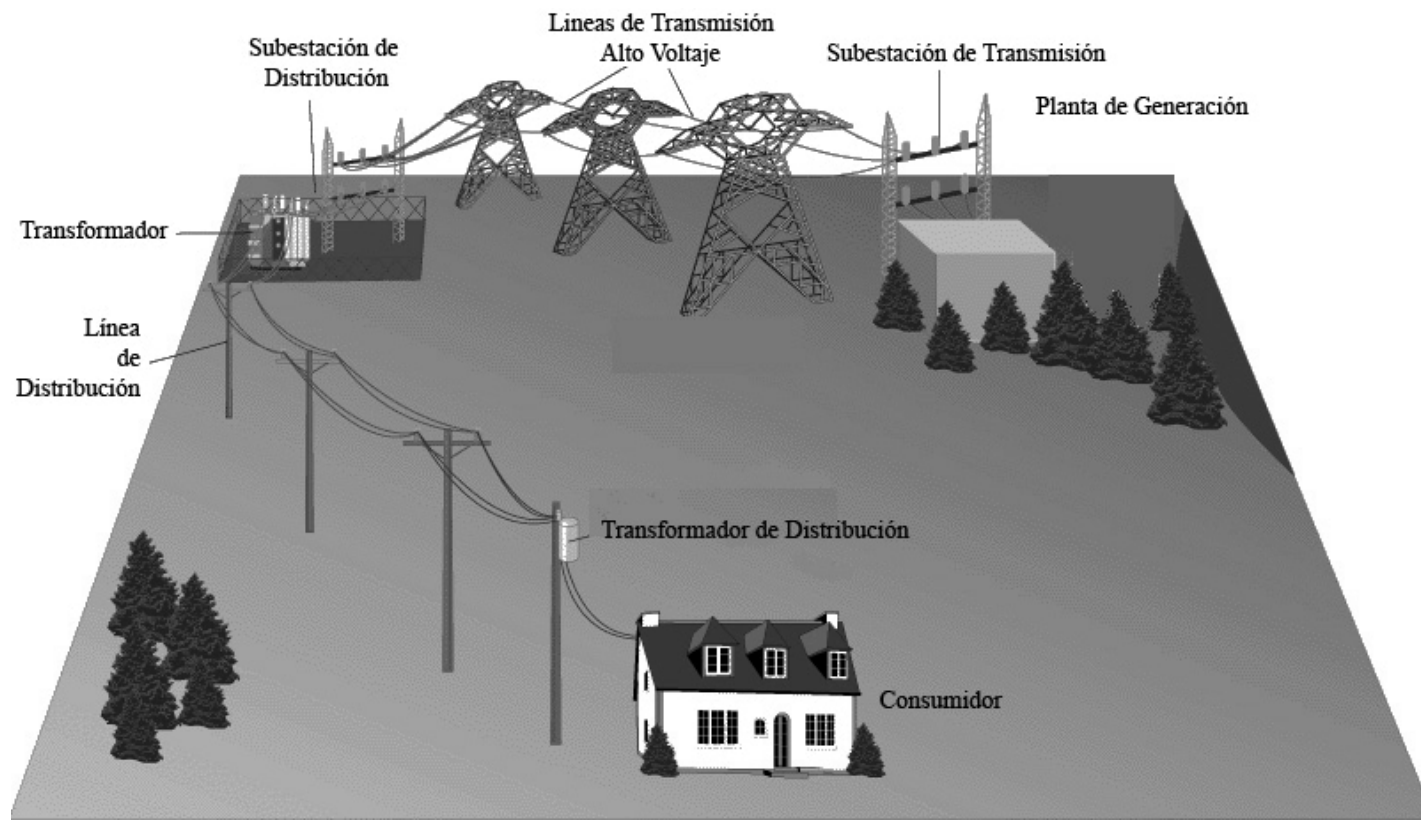
3. Definición de Sistema de Potencia (2)

- . Por otra parte el diccionario de terminos eléctricos y electrónicos de la IEEE [1], define el sistema de potencia como:
- “*...las fuentes de potencia eléctrica, conductores y equipos requerido para suplir la potencia eléctrica ...*”

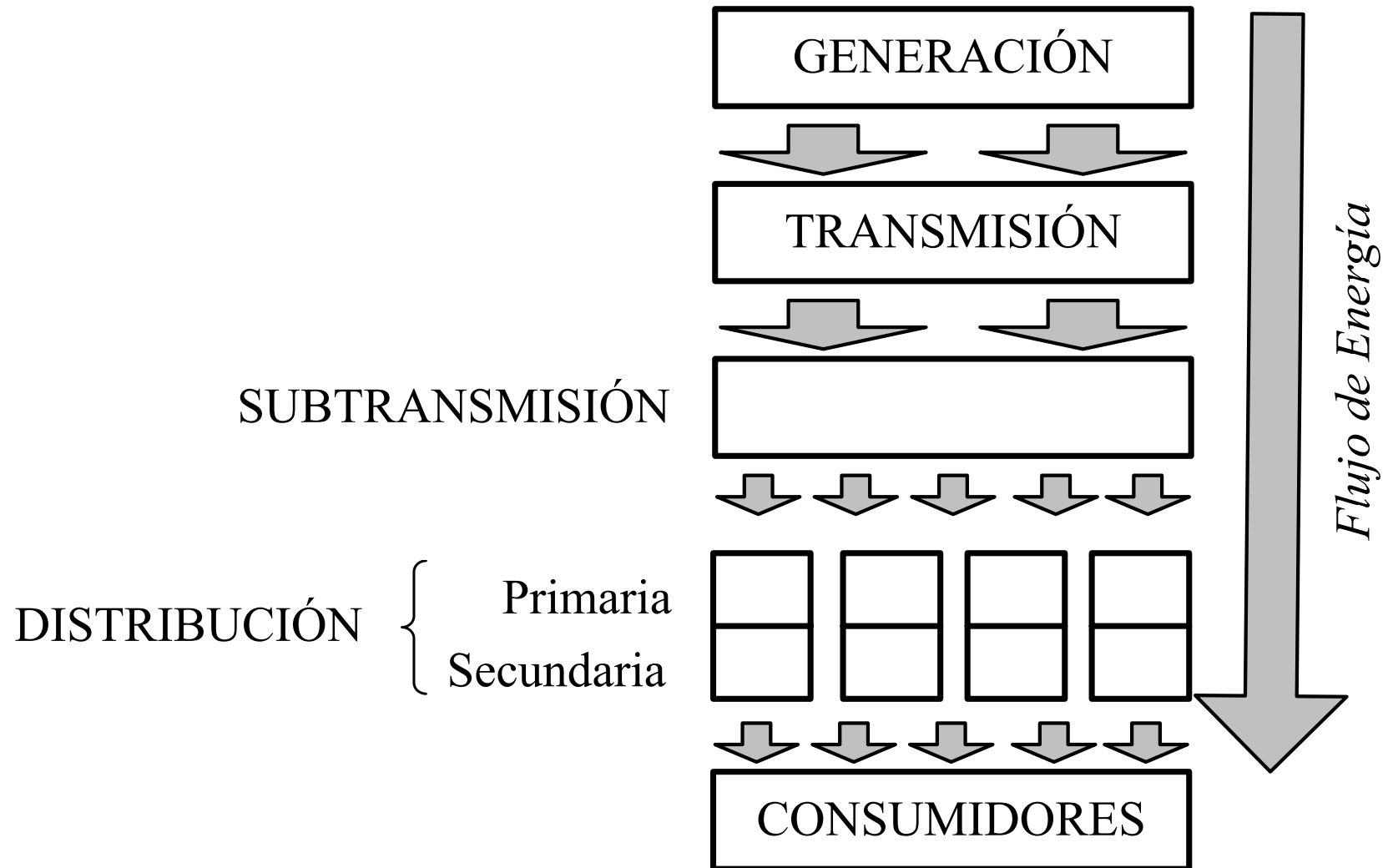
[1] *IEEE Standard Dictionary of Electrical & Electronic Terms*, ANSI-IEEE Standard 100-1984.

3. Definición de Sistema de Potencia (3)

- *Red eléctrica de potencia que se encarga de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica, hasta los consumidores.*



3. Definición de Sistema de Potencia (4)



3. Definición de Sistema de Potencia (5)

- Las tareas de un sistema de potencia son realizadas por cada una de las mayores empresas que prestan el servicio de electricidad (*Electric-Utility*).
- A nivel mundial las empresas de suministro de electricidad son tanto de *capital público* como *privado*.
- En países como EE.UU. Reino Unido, Argentina, Perú entre otros, las empresas con *capital privado total*.
- En el caso particular de Venezuela, el servicio suministro de energía eléctrica efectuado por empresas de naturaleza *pública y privada*.

3. Definición de Sistema de Potencia (6)

- El *Sistema Eléctrico Nacional* (SEN) lo conforman 18 empresas eléctricas públicas y privadas, todas agrupadas en una organización denominada la *Cámara Venezolana de la Industria Eléctrica* (CAVEINEL).
- CAVEINEL tiene por objetivo ejercer la representación institucional de sus afiliados y velar por los intereses generales de la industria eléctrica y su personal, en armonía con los intereses de la colectividad.

3. Definición de Sistema de Potencia (7)

- Empresas públicas:

- CADAFE con cinco empresas filiales (Eleoriente, Elecentro, Eleoccidente, CADELA y SEMDA),
- EDELCA,
- ENELVEN,
- ENELCO y
- ENELBAR.

- Empresas privadas:

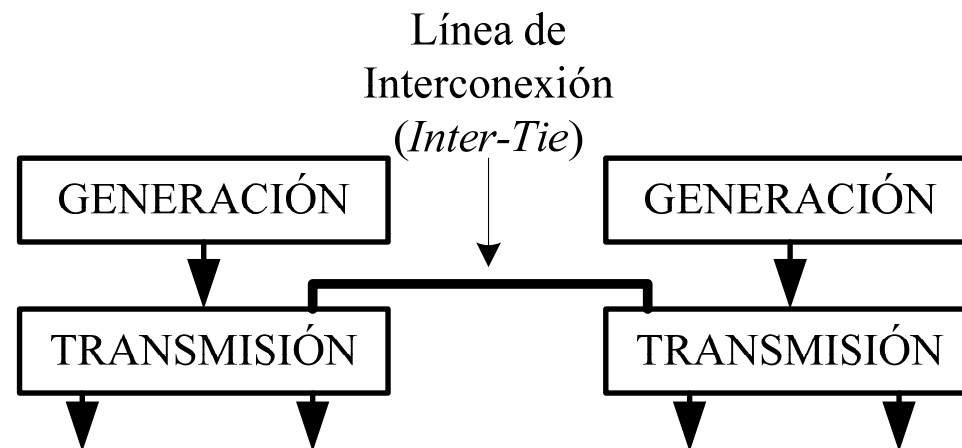
- La Electricidad de Caracas con sus empresas filiales (CALEV, ELEGGUA y CALEY)
- ELEBOL,
- CALIFE,
- ELEVAl y
- SENECA.

3. Definición de Sistema de Potencia (8)

- Los sistemas de potencia son estructuras complejas y extensas, y debido a múltiples factores (estratégicos, económicos, etc.) no operan de manera aislada, sino que por el contrario, se encuentran relacionados entre sí, constituyendo lo que se denomina un *Sistema Interconectado (Power-Pool)*.
- Un sistema interconectado son *dos o más sistemas de potencia que se encuentran conectados eléctricamente entre sí*, los cuales son planificados y operados de manera poder suministrar la energía de manera más confiable y económica a sus cargas y consumidores, combinando, con los planes de expansión, mejora y mantenimiento de cada sistema, con el objetivo de lograr crecer a la par de la carga.

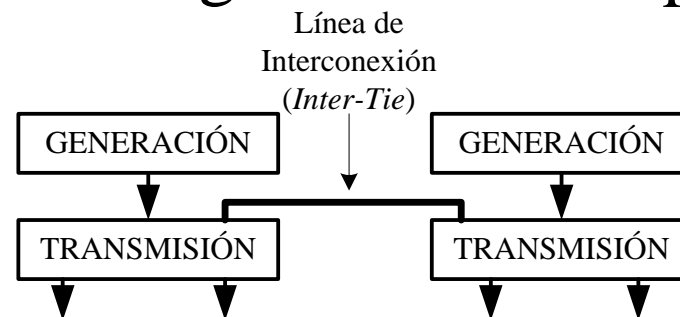
3. Definición de Sistema de Potencia (9)

- Los sistemas de potencia son estructuras complejas y extensas, y debido a múltiples factores (estratégicos, económicos, etc.) no operan de manera aislada, sino que por el contrario, se encuentran relacionados entre sí, constituyendo lo que se denomina un *Sistema Interconectado (Power-Pool)*.

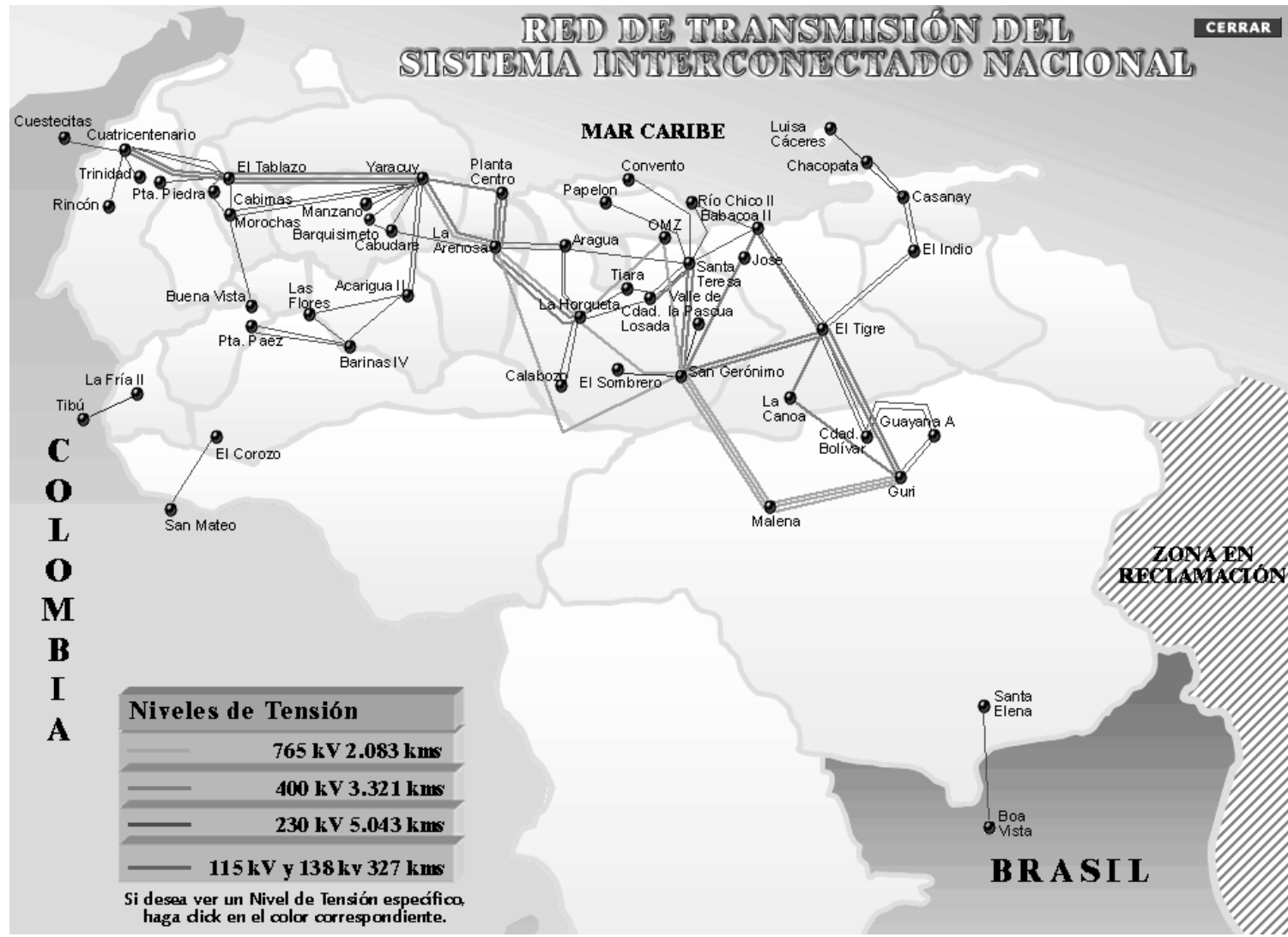


3. Definición de Sistema de Potencia (10)

- Un sistema interconectado son *dos o más sistemas de potencia que se encuentran conectados eléctricamente entre sí*, los cuales son planificados y operados de manera poder suministrar la energía de manera más confiable y económica a sus cargas y consumidores, combinando, con los planes de expansión, mejora y mantenimiento de cada sistema, con el objetivo de lograr crecer a la par de la carga.



3. Definición de Sistema de Potencia (11)



4. Elementos de un SP (1)

- El *sistema de generación* es la parte básica del sistema de potencia, esta se encarga de entregar la energía eléctrica al sistema, esto a partir de la transformación de distintos tipos de energía primaria.
- Existen muchas y muy variadas formas de generar energía eléctrica, pero de acuerdo a su forma primaria de energía se pueden distinguir los siguientes tipos:
 - Térmica,
 - Hidráulica,
 - Nuclear,
 - Solar,
 - Eólica,
 - Geotérmica,
 - Magneto-Hidrodinámica,
 - Maremotrices.

4. Elementos de un SP (2)

- Las *líneas de transmisión* constituyen los eslabones de conexión entre las centrales generadoras y las redes de distribución y conduce a otras redes de potencia por medio de interconexiones. La misión del sistema de transmisión es transportar grandes bloques de energía desde los centros de generación a los puntos del sistema, interconectar las diferentes centrales y/o diferentes sistemas de potencia.
- Las líneas de transmisión son los elementos físicamente más extensos del sistema de potencia y poseen un gran número de ventajas:
 - Permite producir la energía eléctrica en forma más económica.
 - Se logra disminuir la capacidad de reserva y reserva rodante.
 - Permiten mejorar la contabilidad del sistema de potencia.

4. Elementos de un SP (3)

- Las líneas de transmisión operan a niveles de voltaje elevados, esencialmente se debe al hecho que al duplicar la tensión de operación se cuadriplica la potencia que se puede transmitir.
- *Por ejemplo si se quisiera transmitir una potencia de 2000 MWatt a una distancia de 400 Km. se necesitarían aproximadamente 45 líneas de 115 kV, 15 líneas de 230 kV, 4 líneas de 380 kV, 2 líneas de 500 kV, o una líneas de 700 kV, se debe recordar que el número de líneas no es el único factor a estudiar para transportar energía eléctrica.*

$$S = \frac{V^2}{Z}$$

4. Elementos de un SP (4)

- El sistema de 400 y 765 kV son considerados dentro de los sistemas de Extra Alta Tensión (EAT o EHV: *Extra High Voltaje*) y son de relativamente reciente implantación en el país 1968 y 1986 respectivamente.

Longitud de las Líneas de Transmisión y la Red Troncal de Transmisión por nivel de Voltaje en Venezuela (2005)

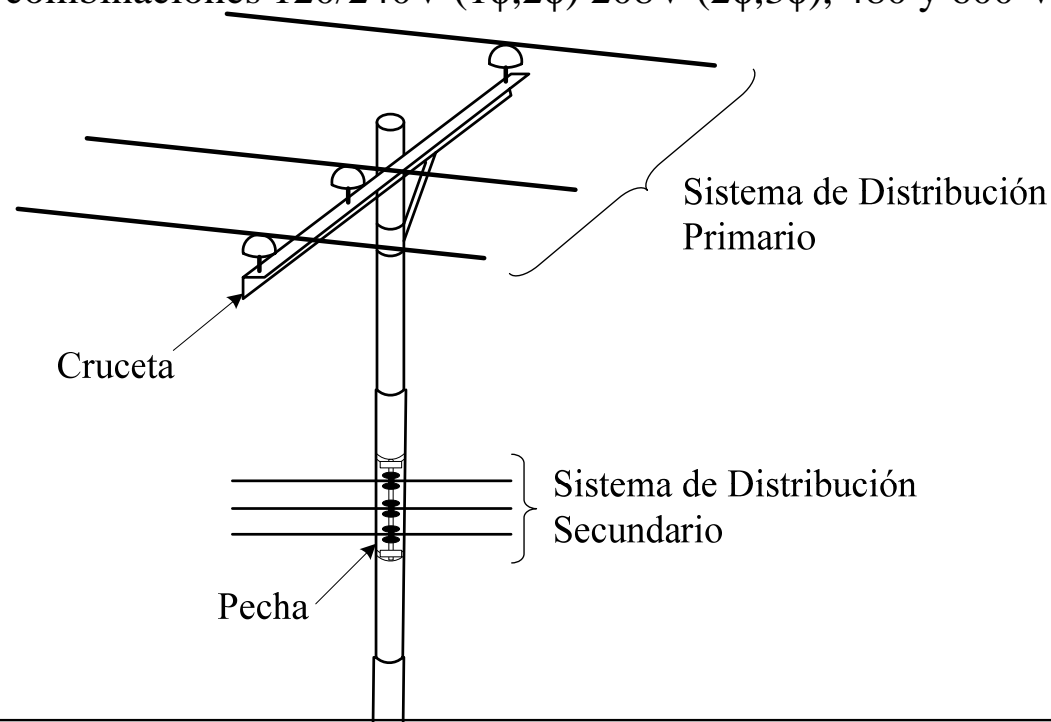
<i>Nivel de Voltaje (kV)</i>	<i>Longitud R.T.T. (Km.)</i>	<i>Totales (Km.)</i>
115	306	10.401
230	3.940	5.606
400	3.906	4.190
765	2.083	2.803

4. Elementos de un SP (5)

- El sistema de distribución es el último sub-sistema dentro de los sistemas de potencia antes de llegar a los consumidores. Esta parte del sistema de potencia esta compuesto de líneas y dispositivos para distribuir la energía eléctrica hasta los usuarios. Estos pasos de transformación dan lugar a las diferentes etapas del sistema de distribución. Dentro del sistema de distribución se distinguen dos grandes niveles bien diferenciados:
 - *Sistema de Distribución Primaria.*
 - *Sistema de Distribución Secundario.*

4. Elementos de un SP (6)

- *Distribución Primaria:* que trabaja con niveles de tensión y potencia moderados. En Venezuela los niveles de tensión suelen ser: 24 kV (ELECAR) 13.8 kV (CADAFE y sus comercializadoras) 6.9 kV (ELECAR y empresas petroleras) y 4.16 kV (empresas del sector petrolero).
- *Distribución Secundario:* Esta parte del sistema de potencia corresponde a los menores niveles de potencia y tensión. Estando más cerca del consumidor promedio (residencial). En Venezuela es común que las empresas eléctricas suministren potencia en cuatro niveles de tensión básicos y sus combinaciones 120/240V (1 ϕ ,2 ϕ) 208V (2 ϕ ,3 ϕ), 480 y 600 V (3 ϕ).



4. Elementos de un SP (6)

- El *sistema de sub-transmisión* posee características muy similares del sistema de distribución, pero manejan mayor potencia (5 – 50 MVA) y se diferencian en que alimentan a un cierto número de subestaciones de distribución, los niveles de voltaje utilizados en Venezuela suelen ser: 69 kV, 34.5 kV, y 24 kV.
- El sistema de sub-transmisión se diferencia al de transmisión, debido a que el primero no realiza interconexiones entre sistemas de potencias o centrales de generación.