

Transmisión y distribución de energía eléctrica (Tomo I)

Transmisión y distribución de energía eléctrica (Tomo I)

Conceptos de transmisión y distribución.
Modelación de líneas y redes

Diana Stella García Miranda
William Alfonso Riaño Maldonado





UD
Editorial

E2
ESPACIOS

© Universidad Distrital Francisco José de Caldas
© Facultad de Ingeniería
© Diana Stella García Miranda, William Alfonso Riaño Maldonado
Primera edición, abril de 2019
ISBN: 978-958-787-121-0

Dirección Sección de Publicaciones
Rubén Eliécer Carvajalino C.

Coordinación editorial
Edwin Pardo Salazar

Corrección de estilo
Margarita Mejía Umaña

Diagramación y montaje de carátula
Jorge Andrés Gutiérrez Urrego

Editorial UD
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Carrera 24 No. 34-37
Teléfono: 3239300 ext. 6202
Correo electrónico: publicaciones@udistrital.edu.co

García Miranda, Diana Stella.

Transmisión y distribución de energía eléctrica (tomo I) :
conceptos de transmisión y distribución modelación de líneas y
redes / Diana Stella García Miranda, William Alfonso Riaño
Maldonado. -- Bogotá : Editorial Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, 2019.

240 páginas ; 24 cm. -- (Colección espacios)

ISBN 978-958-787-121-0

1. Energía eléctrica 2. Distribución de energía eléctrica
3. Sistemas de energía eléctrica 4. Líneas eléctricas. I. Riaño
Maldonado, William Alfonso, autor. II. Tít. III. Serie.
333.7932 cd 22 ed.
A1629538

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

Todos los derechos reservados.

Esta obra no puede ser reproducida sin el permiso previo escrito de la
Sección de Publicaciones de la Universidad Distrital.

Hecho en Colombia

Contenido

Prólogo a los cuatro tomos	9
Presentación a los cuatro tomos	13
Conceptos de transmisión y distribución de energía eléctrica: una aproximación al caso colombiano	15
El sistema eléctrico de potencia	15
<i>Actividades en línea</i>	32
Datos históricos	32
<i>Actividades en línea</i>	63
Objetivos de la transmisión y distribución de energía eléctrica	63
<i>Actividades en línea</i>	65
<i>Cuestionario en línea</i>	66
<i>Notas</i>	
Representación de sistemas eléctricos	69
Diagrama unifilar	69
Diagrama de impedancias o de reactancias	90
Sistema por unidad	90
Componentes simétricas	93
Transformación delta-estrella	100
<i>Actividades en línea</i>	101
<i>Notas</i>	
Modelación de líneas y redes	103
Resistencia en serie	106
<i>Actividades en clase</i>	115
Reactancia inductiva en serie	115
<i>Actividades en clase</i>	132

Conductancia en derivación	135
<i>Actividades en clase</i>	138
Susceptancia capacitiva en derivación	138
Cables subterráneos	143
Utilización de tablas	145
Utilización de herramientas computacionales	166
<i>Actividades en clase</i>	171
Modelos eléctricos	171
Potencia característica o natural	187
<i>Actividades en clase</i>	188
Cargabilidad de una línea de transmisión	189
<i>Actividades en clase</i>	190
Parámetros de líneas de transmisión	190
<i>Cuestionario en línea</i>	193
<i>Notas</i>	
Características y operación de las líneas de transmisión	195
Potencia activa, reactiva y aparente	195
Analogías para la comprensión de los conceptos de operación de líneas de transmisión y sistemas de potencia	196
Relaciones entre la potencia activa, la potencia reactiva y la tensión en líneas de transmisión	215
Herramientas gráficas para la transferencia de potencia	218
<i>Actividades en clase</i>	223
Compensación de reactivos en líneas y control de voltaje	224
<i>Actividades en clase</i>	227
Ondas viajeras	227
<i>Actividades en línea</i>	231
<i>Notas</i>	
Prácticas y laboratorios propuestos	233
Normas de seguridad en el laboratorio	234
Prácticas propuestas	235
Referencias bibliográficas	239

Prólogo a los cuatro tomos

Los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica son parte indispensable de la evolución de la utilización masiva de la electricidad. Tienen un papel importante en el transporte de la potencia eléctrica desde los centros de producción (plantas eléctricas) hasta los centros de consumo (usuarios finales), y cumplen con una combinación tanto de conceptos (técnicos, económicos y ambientales) como de parámetros (calidad, continuidad, seguridad y eficiencia de suministro) en diversas áreas, como el análisis, el diseño, y el planeamiento, monitoreo y control de un sistema de potencia.

Estos libros han sido diseñados para complementar las clases del espacio académico código 231-Transporte de Energía¹, incluido en el proyecto curricular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; este espacio también es llamado Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica en otras universidades. Constituyen un esfuerzo por incorporar las nuevas tecnologías en la educación y lograr un avance en la forma en la que se adquiere el conocimiento: una construcción que trascienda el ejercicio memorístico y mnemotécnico de la escuela tradicional y dé lugar a un aprendizaje significativo que —de manera lúdica, activa y práctica— permita al estudiante establecer su propio saber, tener contacto con este y realizar interacciones cooperativas con sus iguales en la academia y en la profesión.

Al revisar los planes de estudio en las asignaturas propias del área de Ingeniería Aplicada en proyectos curriculares o carreras de electricidad en Colombia, se encuentra material bibliográfico limitado que aporte nuevos métodos de aprendizaje que permitan condensar y darle la importancia real a las habilidades que poseen las nuevas generaciones o a la preparación que deben afrontar de acuerdo a las nuevas realidades del mundo. Esto supone la transformación del concepto tradicional de educación, en el que la información es transmitida de profesor a alumno, para dar

1 La actividad de transporte de electricidad en Colombia está separada en actividades de transmisión y distribución. La primera consiste en el transporte de energía a voltajes mayores que 220 kV; y la segunda, a tensiones menores que estos.

paso al desarrollo del diálogo y la interacción con los contenidos escritos, gráficos y virtuales; así se refuerza la enseñanza en su estructura básica y se genera un vínculo estrecho entre los estudiantes, el material interactivo y el profesor.

Hoy en día, los estudiantes tienen conciencia del mundo; ansían adoptar ideas novedosas y probar nuevas tecnologías; buscan sobrepasar los límites de lo ya establecido, y formular nuevas hipótesis frente a la enseñanza, el aprendizaje y el conocimiento. Los medios de enseñanza que utilizan la tecnología actual resultan más flexibles y atractivos para los estudiantes que los tradicionales, como el pizarrón, el retroproyector o los equipos de video. Los medios de aprendizaje que se apoyan en el uso de *software*, hipertextos y equipos multimedia enriquecen el proceso de búsqueda y la comprensión de algoritmos o elementos; favorecen la formación de habilidades lógicas que motivan a los estudiantes; y proponen diferentes caminos de solución al presentar más de una respuesta. Todo esto genera en el estudiante un pensamiento crítico, reflexivo y científico, y lo lleva a pasar de un modelo unidimensional basado en la transmisión del conocimiento hacia uno de varias dimensiones: satisfacer las necesidades sociales y humanas de las personas; proyectarse al conocimiento para generarlo, ampliarlo y transmitirlo; y desarrollar nuevas metodologías y técnicas más acordes con la nueva era de la sociedad instruida. Estas dimensiones abren caminos de búsqueda para construir nuevas apuestas o escenarios, definir nuevos sentidos y reconocer elementos que sean de ayuda frente a los nuevos desafíos que se presentan en la ingeniería.

Por tanto, el objetivo fue elaborar varios libros que cumplieran los requisitos y cubrieran las necesidades de un texto práctico para la asignatura, que tiene como conocimientos previos la teoría de circuitos, de campos electromagnéticos, la generación de energía, la conversión electromagnética y las instalaciones eléctricas; por lo tanto, no profundizarán en algunas temáticas. Asimismo, es el punto de partida de espacios académicos como: sistemas de potencia, análisis de sistemas de distribución, aislamiento eléctrico, subestaciones eléctricas y protecciones eléctricas.

El material está dirigido principalmente al estudiante de Ingeniería Eléctrica. Se tienen en cuenta los avances en las aplicaciones de las actuales tecnologías, y las posibilidades de aprendizaje y evaluación que hagan posible el autoaprendizaje como parte de la metodología del trabajo autónomo y colaborativo, con recursos didácticos como proyectos finales propuestos, laboratorios y talleres, buscando experiencias de asombro y curiosidad en un entorno positivo de enseñanza y aprendizaje.

Los libros están diseñados como una publicación interactiva; incluyen ilustraciones, fotografías, animaciones, y tablas para ayudar a visualizar los conceptos y elementos; asimismo, contienen cuestionarios y actividades para ayudar a la comprensión de conocimientos. Para acceder a todo ello se utiliza la plataforma Moodle,

de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, que contiene el material interactivo clasificado por temas (la numeración coincide con los tomos). Los libros también incluyen las actividades que se pueden realizar en los laboratorios de la Universidad Distrital y las pautas para los trabajos finales propuestos con acompañamiento dirigido. Se propenderá a cumplir con las siguientes afirmaciones:

Dímelo y se me olvidará...

Muéstramelo y me acordaré...

Involúcrame y lo entenderé...

Si lo vivo, nunca lo olvidaré...

“Lo que no puedes explicar de forma sencilla, es que no lo entiendes”.

No quisiéramos terminar sin agradecer a nuestros amigos, colegas, profesionales y egresados por su contribución a este trabajo. Un reconocimiento especial a las siguientes empresas:

- XM.
- Consultoría Colombiana (Fernando Anzola Espinosa, Mónica Pescador).
- Gamma Corona (Mauricio Montoya, Frank Escobar, Federico Vásquez).
- Ingeniería Internacional en Automatización y Control, IAC SAS (Fabio Rojas).
- Universidad Distrital (Claudia María Cardona Londoño, Danilo Rairán, Wilson Díaz Gamba, Alexander Narváez Cubillos, Mario Alberto Rodríguez Barrera, Julián Andrés Vargas).
- Y a todos los estudiantes del proyecto curricular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas que nos han dado la oportunidad de guiarlos en su proceso de formación.

Presentación a los cuatro tomos _____

El presente capítulo tiene como fin orientar al lector acerca del uso y el manejo de los libros, para lograr un mayor provecho.

Criterios para su realización

Didáctico. Los libros son una herramienta práctica cuyo uso orienta al lector en los conceptos y aplicaciones de la transmisión y distribución de energía eléctrica. Se ha tenido especial cuidado en la parte gráfica, ya que se considera esencial para la comprensión de los temas tratados; se procura que las figuras e ilustraciones ayuden al texto. También se emplean numerosas tablas técnicas, necesarias para el trabajo del estudiante.

Creativo. Los libros integran el conocimiento teórico y técnico para orientar de una manera creativa los conceptos básicos, la operación, y el diseño de la transmisión y distribución de energía eléctrica.

Innovador. Los libros presentan aspectos actuales teóricos y técnicos de la transmisión y distribución de energía eléctrica.

Actividades en línea

Las actividades y animaciones que complementan los cuatro tomos tienen licencia Creative Commons. Puede encontrarse en el aula virtual de la asignatura Transporte de Energía, en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (<https://ingenieria.udistrital.edu.co/>). Al utilizar dispositivos móviles, se puede acceder fácilmente a través del código QR (*Quick Response*). La contraseña para invitados del curso de Moodle es **Tesla-UD**.



Organización de los tomos

La organización de los tomos y del documento está en concordancia con el programa oficial (*syllabus*) de la asignatura Transporte de Energía (código 231) del Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas:

- **Tomo I. Conceptos de transmisión y distribución. Modelación de líneas y redes.**
En este documento, se hace una breve presentación de la estructura del sistema eléctrico de potencia, sus características y principales actividades. Se ofrecen algunos datos históricos de las redes eléctricas en Colombia y en el mundo. Además, se explican las representaciones y la modelación que se realiza a las líneas y redes.
- **Tomo II. Elementos de líneas y redes.**
En este tomo, se consideran las características y funciones de los elementos utilizados en líneas y redes, teniendo en cuenta la información técnica o de las páginas web de las empresas que los fabrican o utilizan.
- **Tomo III. Sistemas de transmisión.**
En el desarrollo de la profesión, el ingeniero eléctrico o electricista debe tener los conocimientos que le permitan el diseño y la operación de las líneas de transmisión, mostrando consideraciones de otras profesiones, como el tema ambiental y la cartografía.
- **Tomo IV. Sistemas de distribución.**
Hace unos años, los estudios de los sistemas de distribución se consideraban dentro de una pequeña rama de los estudios de potencia; en este documento, el tema se trata como una especialización con teoremas, problemas, planteamientos, programas y soluciones propias.

Conceptos de transmisión y distribución de energía eléctrica: una aproximación al caso colombiano

La electricidad es una forma de energía final que ha cambiado esencialmente el progreso de la sociedad con sus múltiples propósitos, desarrollos y aplicaciones, para satisfacer las necesidades vitales o materiales del ser humano y generar nuevos servicios con el avance tecnológico. Es la forma de energía más importante que constituye la base de la sociedad moderna, y modificó formas de trabajo en la industria y el confort en los hogares.

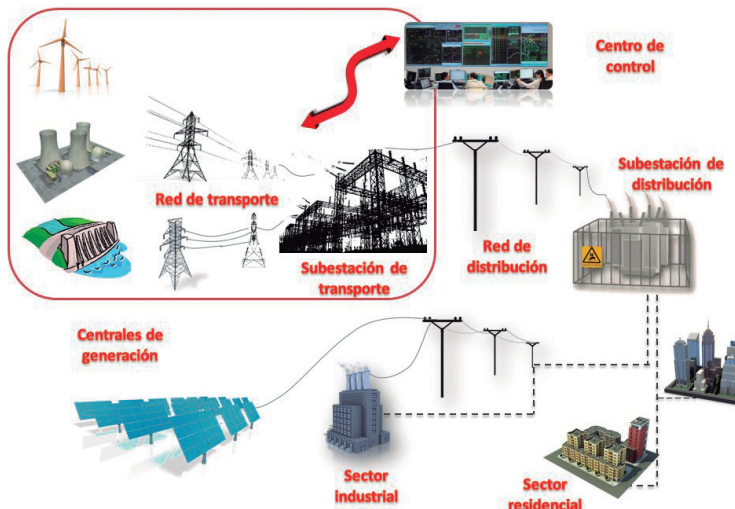
La energía eléctrica se caracteriza por ser fácil de medir y controlar. Es usada para varios propósitos: fuerza, iluminación, calefacción, comunicaciones y otras aplicaciones de la electrónica, como la informática y la automatización; pero presenta algunas dificultades, como su almacenamiento de manera eficiente, y el peligro por la alta corriente y la tensión eléctrica para los seres humanos.

El sistema eléctrico de potencia

El sistema eléctrico de potencia es un conjunto de instalaciones y equipos usados para producir, transportar y distribuir la energía eléctrica a los usuarios de una zona, ciudad, región, país o continente. Su función es abastecer a todos los usuarios con energía eléctrica en forma tan económica como sea posible, en la cantidad deseada, y con un nivel aceptable de calidad, seguridad y confiabilidad.

La estructura de un sistema de potencia es una empresa compleja que se puede subdividir en los siguientes subsistemas principales: generación, transformación, transmisión, distribución y utilización. En cada una de estas partes del sistema existen también elementos de protección, medición, maniobra, regulación, control y comunicaciones. La Figura 1 muestra los diferentes subsistemas y otras actividades necesarias para el funcionamiento del sistema de potencia.

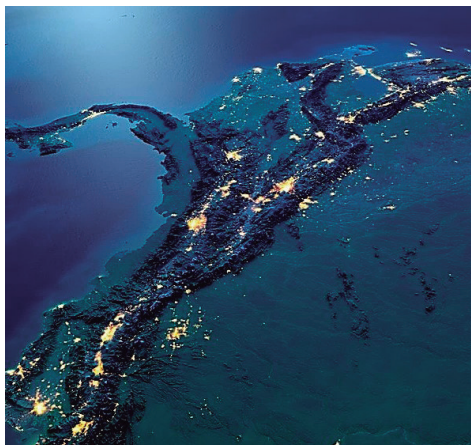
Figura 1. Cadena del sector eléctrico



Fuente: imágenes tomadas de [1] y [2]

En Colombia, desde el punto de vista eléctrico, se distinguen dos zonas específicas: el sistema interconectado nacional (SIN) (Figura 2) y las zonas no interconectadas (ZNI). La primera zona se caracteriza por concentrar la mayor parte de la demanda del país, y hace parte de las regiones geográficas: Andina, Pacífico y Caribe. La segunda zona hace alusión a lugares apartados del país con poca densidad de población y difícil acceso, como los departamentos de Amazonas, Vaupés, Vichada, Guainía, y San Andrés y Providencia.

Figura 2. Vista nocturna de Colombia



Fuente: imagen tomada de [3].

Para que los generadores y los consumidores del SIN puedan funcionar como un mercado eléctrico (actividades de compra y venta de energía eléctrica), existen agentes (Tabla 1) y operadores que reglamentan y controlan el adecuado funcionamiento del sistema, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Diagrama esquemático reducido del mercado eléctrico colombiano



Fuente: imagen tomada de [4].

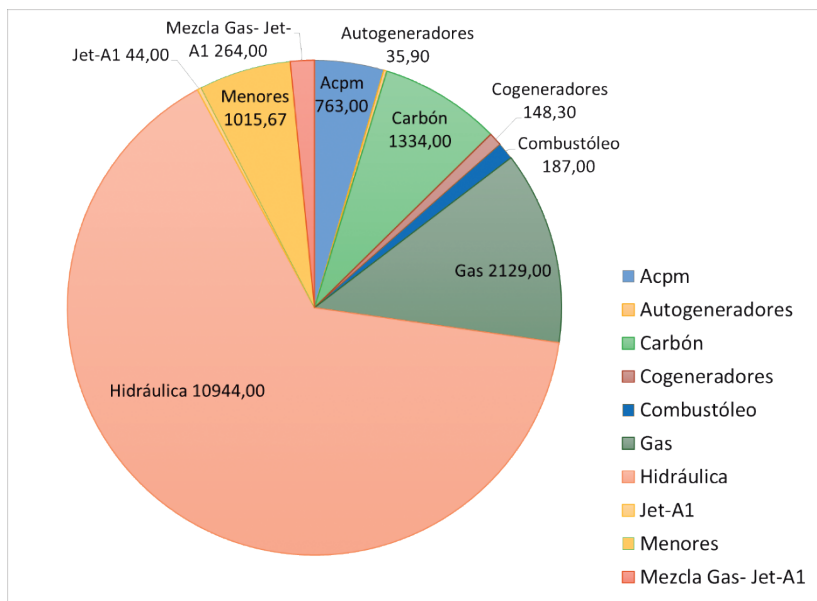
Tabla 1. Agentes del mercado eléctrico 2017

Actividad	Registrados
Generadores	73
Transmisores	16
Operadores de red	32
Comercializadores	108
Fronteras con usuarios regulados	10222
Fronteras con usuarios no regulados	5418
Fronteras de alumbrado público	356

Fuente: tomado de [5]

La generación de energía eléctrica es la transformación de una energía primaria en energía eléctrica. En Colombia, por tradición se utilizan las energías potencial y cinética del agua que circula por una turbina. También se usa la energía térmica del vapor en las turbinas, vapor liberado generalmente por combustibles fósiles (carbón, petróleo); otro portador de energía fósil es el gas, que se convierte en energía mecánica en las turbinas de la central. En la Figura 4, se indican la potencia instalada y el recurso asociado de las centrales generadoras del Sistema Interconectado en Colombia.

Figura 4. Capacidad neta del SIN (diciembre 31 de 2017)



Fuente: imagen tomada de [5]

Las energías primarias están evolucionando cada vez más y se integran directamente a los consumidores en lugar de conectarse a la red de transmisión, hecho que representa nuevos desafíos técnicos, económicos y regulatorios en relación con el suministro de energía. En la central de generación, el valor de la tensión eléctrica (en Colombia) es de 13.8 kV; por lo que en la subestación existe un transformador² para aumentar la tensión y reducir la corriente, y así poder transmitir a grandes distancias.

La red del sistema de potencia se crea mediante la interconexión de estas centrales de generación a través de las líneas de transmisión, ya que los usuarios pueden estar situados a cientos o miles de kilómetros. En Colombia, se utiliza un sistema de corriente alterna (AC, o CA, en español) de tres fases y frecuencia 60 Hz. Los generadores de la red están conectados en paralelo; cuando se tienen problemas técnicos en ellos, el suministro de energía se puede realizar con las otras centrales conectadas a la red, por lo que la tensión del sistema y la frecuencia tienden a tener valores

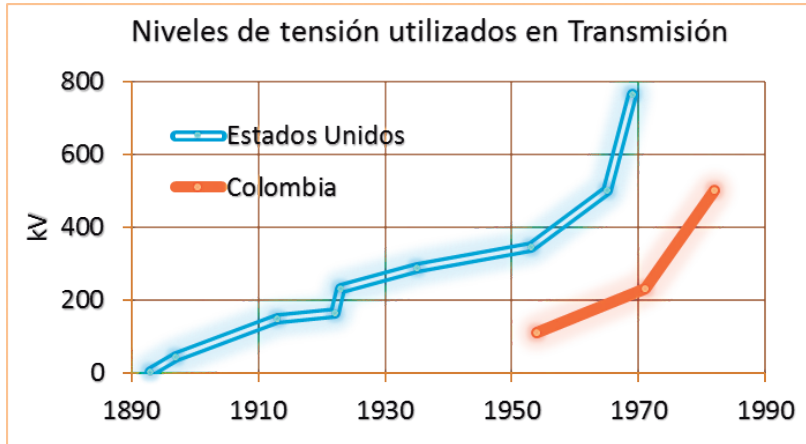
² En 1998, la empresa ABB presenta como innovación tecnológica el *powerformer*, generador que puede suministrar electricidad directamente a la red de alta tensión sin necesidad de transformadores. Este equipo puede generar a tensiones entre 20 kV y 400 kV, y utiliza ranuras profundas en los estatores en donde se insertan conductores XLPE de alta tensión que permiten la operación sin causar problemas de aislamiento. La información sobre el caso se encuentra en ABB, [En línea]. Available: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/c1256c290031524bc12567310024e1e4.aspx> y Modern Power Systems, mayo de 2002. [En línea]. Available: <http://www.modernpowersystems.com/>

fijos, independiente del grado de carga presente en el sistema. Sin embargo, el proceso debe ser observado y supervisado cuidadosamente en un centro de control, ya que puede dar lugar a inestabilidad y conducir a un colapso del sistema; este centro también interviene en la exportación o importación de energía, dependiendo de las necesidades de las áreas.

La industria del suministro de electricidad inició su actividad con la instalación de generadores localizados cerca de los puntos de consumo (generación distribuida)³. La generación fue planificada con el fin de satisfacer la demanda, con un cierto margen de reserva por razones de seguridad. Luego se continuó con la instalación de enormes plantas de generación, por lo general, cerca de las fuentes de energía primaria (las minas de carbón y los ríos). La necesidad de transportar grandes bloques de energía (teniendo grandes distancias involucradas) con las menores pérdidas posibles creó la necesidad de la alta tensión.

La potencia depende proporcionalmente de la tensión y la corriente; es decir que, para una misma potencia, la corriente será menor mientras mayor sea la tensión; para un conductor determinado, mientras menor sea la corriente, menores serán las pérdidas por efecto Joule. Por lo tanto, se transmite mayor energía usando conductores delgados y altas tensiones. En la Figura 5, se pueden observar los aumentos de los niveles de tensión en Estados Unidos y en Colombia.

Figura 5. Aumentos de la tensión en transmisión trifásica en Estados Unidos y Colombia



Fuente: datos tomados de [6] y [7].

3 La generación distribuida es un enfoque que emplea tecnologías de pequeña escala para producir electricidad cerca de los usuarios finales. Recientemente, las tecnologías de energía renovable, en especial la energía solar, se han convertido en una opción popular de la generación distribuida, y han cambiado la concepción del sistema de potencia, en donde la generación no es exclusiva en el primer escalón de la cadena y existe un flujo de potencia bidireccional en el sistema de distribución.

Los sistemas de transmisión tienen diferentes características que se pueden observar en su geografía y condiciones ambientales, debido a las distancias entre las centrales de generación y los puntos de consumo; asimismo, por el momento en que se construyeron las líneas de transmisión. Debido a estos aspectos, se encuentran diferentes tensiones en varias partes del país; por ejemplo: 110, 115, 138, 220, 230 o 500 kV. En el mundo, las tensiones eléctricas más altas utilizadas hasta el 2015 son las de 1200 kV AC para líneas de transmisión a través de Siberia y las de 800 kV DC (corriente continua) en China. La mayoría de los países europeos han adoptado los niveles de tensión recomendados por las normas IEC (*International Electrotechnical Commission*) (Tabla 2).

Tabla 2. Tensiones recomendadas por Normas IEC (utilizadas en Europa)

Clasificación de tensión	Tensión nominal	Tensión máxima
>100, <1000 V	230/400	
	400/690	
>1 kV, < 35 kV	3	
	6	
	10	
	20	
	35	
>35 kV, < 245 kV	69	72.5
	115	123
	138	145
	230	245
>245 kV		362
		420
		550
		800
		1050
		1200

Fuente: tomado de [8].

Sin embargo, algunos países utilizan una combinación de antiguas y nuevas tensiones estándar. Los valores de las tensiones de los sistemas eléctricos utilizados en diferentes países se encuentran en la Tabla 3 y en la Tabla 4.

Tabla 3. Tensiones utilizadas en Norteamérica

Clase de tensión	Tensión del sistema		Tensión transformador (sin carga)	Tensión generador ¹	Tensión motor	Comentario
	Máxima	Nominal				
Baja tensión		120/208Y	208 primario		208	Monofásica en Canadá
			208Y/120 sec			
		240	240		220	
		480	480	480	460	
		600	600	600	575	
Media tensión		2400	2400	2400	2300	No recomendado
	4760	4160	4160	4160	4000	
					4160	Síncronos
	8250	7200	7200	7200	6900	No recomendado
	15000	13800	13800	13800	13200	
		25000	25000		13800	Síncronos
		27600	27600			
	38000	34500	34500			
	48300	44000	44000			Servicio público
	72500	69000	69000			Distribución
Alta tensión	145000	120000	120000			Transmisión
	170000	161000	161000			
	245000	230000	230000			
Extra alta tensión	362000	245000	245000			Transmisión
	550000	500000	500000			

¹ La tensión del generador mayor (15 a 24 kV) para máquinas grandes.**Fuente:** tomado de [8]

Tabla 4. Tensiones utilizadas en varios países diferentes a Europa y Norteamérica

País	Frecuencia (Hz)	Transmisión (kV)	Distribución (kV)	Utilización (V)
Afganistán	50	110	6, 15, 20, 33	220/380
Arabia Saudita	60	33, 69, 115, 132, 380	4.16, 11, 13.8	220/380, 240/415, 127/220
Argelia	50	30, 60, 90, 150, 220, 400	5.5, 10, 15, 20, 33	220/380
Argentina	50	27, 33, 66, 132, 145, 170, 220, 500	6.6, 13.2, 13.8, 27	220/380
Australia	50	22, 33, 66, 88, 110, 132, 220, 275, 330, 500	3.6, 7.2, 11, 22, 33	250/440, 240/415
Bahamas	60	33, 66	2.4, 7.2, 11	115/200, 120/208
Baréin	50, 60	66, 220	6.6, 11, 33	240/415
Bangladesh	50	33, 66, 132, 230	11, 33	230/400
Barbados	50	24.9	3.3, 11	110/190, 120/208
Brasil	60	24, 33, 44, 69, 88, 138, 230, 345, 440, 500, 750	2.4, 4.16, 6.6, 11.5, 13.2, 13.8	110/220, 220/440, 127/220, 220/380
Chile	50	23, 44, 66, 110, 154, 220, 500	3.3, 5, 6.0, 6.9, 12, 13.2	220/380
China	50	33, 60, 110, 220, 380, 420, 500	6, 10	127/220, 220/380
Colombia	60	34.5, 44, 57.5, 66, 110, 115, 138, 220, 230, 500	2.4, 4.16, 6.6, 7.2, 11.4, 13.8	110/220, 120/208, 120/240, 127/220, 440
Corea (norte)	60	66, 110, 220, 400	3.3, 6, 10	220/380
Corea (sur)	60	66, 154, 345	3.3, 6.6, 11, 13.2, 23, 33	100/200, 220/380, 440, 600
Costa de Marfil	50	30, 90, 220	5.5, 15	380/220
Costa Rica	60	24.9, 34.5, 69	13.2	120/208, 120/240, 127/220, 254/440
Cuba	60	33, 66, 110, 220	2.4, 4.16, 6.0, 6.3, 7.2, 13.2, 22	120/240, 231/400, 277/480, 440
Ecuador	60	24, 34.5, 46, 69, 115, 138, 230, 380	2.4, 4.16, 6.9, 13.8	120/208, 127/220

País	Frecuencia (Hz)	Transmisión (kV)	Distribución (kV)	Utilización (V)
Egipto	50	33, 66, 132, 220, 500	3, 6, 10, 11, 33	400, 380/220
Etiopía	50	45, 132, 220	15, 33	380/220
Federación de Emiratos Árabes	50	132, 220	6.6, 11, 33	220/380, 240/415
Filipinas	60	34.5, 69, 115, 138, 230, 500	2.4, 3.3, 4.16, 4.8, 6.24, 13.8, 23, 34.5	110/220, 440
Ghana	50	33, 161	3.3, 6.6, 11	380/220
Haití	50, 60		7.2, 12.5	110/220, 220/380
Honduras	60	34.5, 69, 138, 230	2.4, 4.16, 6.6, 13.8	110/220, 127/220
India	50	33, 66, 132, 220, 400	3.3, 6.6, 11	242/420
Indonesia	50	20, 69, 150, 500	6, 20	127/220, 220/380
Irán	50	66, 132, 230, 400	6, 11, 20, 33	220/380
Iraq	50	33, 66, 132, 400	(3.3), (6.6), 11, 33	220/380
Israel	50	33, 110, 161, 380	6.3, 12.6, 22	220/380
Jamaica	50	66	2.2, 3.3, 11	110/220, 440
Japón	50, 60	33, 66, 77, 110, 138, 154, 187, 220, 275, 500	3.3, 6.6, 11, 13.8, 22, 33	100/200, 400, 110/220, 440
Jordania	50	33, 66, 132, 230, 400	6.6, 11, 20	220/380
Kenia	50	66, 132, 275	3.3, 11, 33	415/240
Kuwait	50	33, 132, 300	3.3, 6.6, 11	240/415
Libano	50	33, 66, 150, 230	5.5, 6, 11, 20	110/190, 220/380
Liberia	60	24.5, 69	12.5	120/240, 120/208
Libia	50	33, 66, 150, 220, 400	6, 10	380/220
Malasia	50	33, 132, 275	6.6, 11, 22	230/400

Continúa

País	Frecuencia (Hz)	Transmisión (kV)	Distribución (kV)	Utilización (V)
Marruecos	50	60, 72.5, 150, 220	5.5, 6, 20, 22	220/380
México	60	23, 34.5, 69, 85, 115, 230, 400	2.4, 4.16, 6.6, 13.8	120/208, 120/240, 127/220
Mongolia	50	110, 220	6, 10	220/380
Nigeria	50	66, 132, 330	3.3, 6.6, 11, 33	415/240
Nueva Zelanda	50	22, 33, 50, 66, 110, 220	3.3, 6.6, 11, 22, 33	230/400
Pakistán	50	33, 66, 132, 230, 500	6.6, 11	230/400
Panamá	60	34.5, 115, 230	2.4, 4.16, 13.8	110/220, 120/240
Qatar	50	66, 132	6.6, 11, 33	240/415
República Dominicana	60	34.5, 69, (138)	4.16	110/220
Singapur	50	66, 230	6.6, 11, 22	230/400
Suráfrica	50	88, 132, 220, 275, 400	3.3, 6.6, 11, 22, 33, 44, 66	550, 500, 380/220
Sri Lanka	50	33, 66, 132	3.3, 11	230/400
Sudán	50	66, 110, 220	6.6, 11, 33	415/240
Siria	50	66, 230, 400	6, 6.6, 11, 20	115/220, 220/380
Taiwán	60	69, 161, 345	3.3, 6.6, 11, 22, 33	110/220, 220/380
Tailandia	50	69, 115, 132, 230, 500	3.3, 11, 22, 33	220/380
Trinidad	60	33, 66, 132	2.3, 4, 12, 13.8	110/220, 115/230, 230/400
Túnez	50	30, 90, 150	10, 15, 22, 30	380/220
Turquía	50	66, 154, 380	6.3, 10, 20, 34.5	220/380, 110/190
Venezuela	60	34.5, 69, 115, 138, 230, 400	2.4, 4.16, 4.8, 6.6, 8.3, 12.4, 13.8, 24	120/208, 120/240, 240/480
Vietnam	50	66, 132, 230	6.6, 13.2, 15, 35	220/380

Fuente: tomado y ajustado de [8]