

Master en Ingeniería Industrial
Universidad de Alcalá

Tecnología e Ingeniería Eléctrica

Curso Académico / 2018-2019
2º Cuatrimestre

Tema 2

*Líneas de transporte y
distribución de energía eléctrica*

Índice

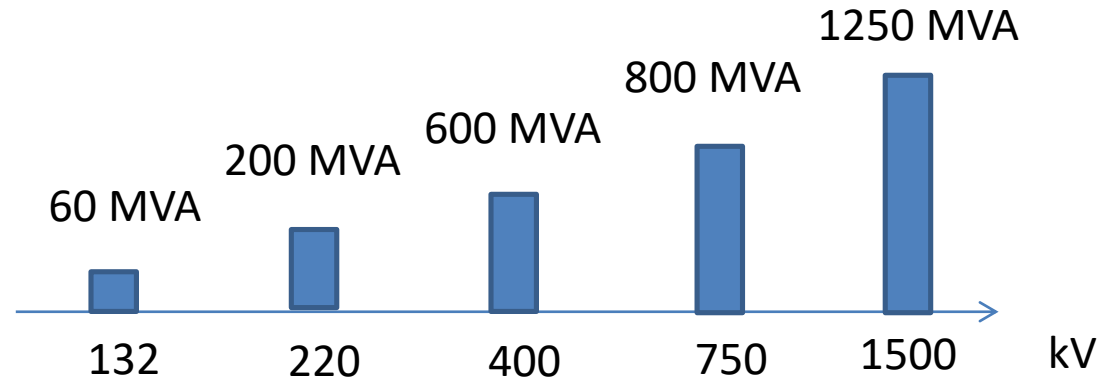
1. Introducción.
2. Constitución
Cables conductores: materiales, aisladores, herrajes, etc.
3. Características eléctricas
 1. Resistencia de la línea. Inductancia de la línea. Conductancia. Perditancia
 2. Efecto corona
4. Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución
5. Dimensionamiento eléctrico
 1. Líneas aéreas con cables desnudos
 2. Líneas subterráneas
 3. Líneas aéreas con cables aislados
6. Dimensionamiento mecánico
7. Reglamento de líneas de alta tensión
8. Proyecto

Introducción

- *Instalación que transmite **potencia (energía) eléctrica** entre dos puntos por medio de conductores y que opera a una **tensión mayor a 1 kV** con señal DC o AC sinusoidal de 50 Hertz. (RLAT)*
- **Elemento básico de los sistemas eléctricos de potencia cuya función es el transporte y la distribución de energía eléctrica entre dos puntos**



400 kV	600 MVA	500 km
220 kV	200 MVA	200 km
132 kV	60 MVA	100 km



Es mas caro transportar amperios que voltios

Instalación, características y montaje según RLAT

Introducción

Red de transporte de energía eléctrica



Líneas	Circuitos		Símbolo
	previstos	instalados	
En servicio	1	1	————
	2	1	-----
	2	2	-----
En construcción y programadas	1	1	- - - - -
	2	1	- - - - -
	2	2	⏏⏏⏏⏏
	2	2	⏏⏏⏏⏏

Cable subterráneo / submarino		Símbolo	
En servicio	previstos / instalados		
En servicio	1	1	●●●●●●
	2	2	●●●●●●
En construcción y programadas	1	1	—●—●—●—●—
	2	2	—●—●—●—●—

Subestaciones	
● En servicio	○ En construcción y programadas

Tensiones	
400 kV	66 kV
220 kV	<66 kV
132-110 kV	

Principales centrales		
▲ Térmica clásica	■ Eólica	■ Hidráulica
▼ Ciclo Combinado	◆ Nuclear	■ Hidroeléctrica

Nota: En el mapa peninsular, las líneas se representan simplificadas en las zonas de alta densidad de red.

Sistema peninsular



Transportamos la energía eléctrica en alta tensión a través de nuestra red, una red mallada, robusta y fiable que presenta unos índices de disponibilidad y calidad de servicio altamente satisfactorios.

Sistema canario

Sistema balear

Introducción. Clasificación

Según el valor de la tensión

Categoría de las Líneas	Tensión Nominal (U_n) kV	Tensión más elevada U_s kV
3ª	3	3,6
	6	7,2
	10	12
	15	17,5
	20*	24
2ª	30	36
	45	52
	66*	72,5
1ª	132*	145
Especial	220*	245
	400*	420

Según el tipo de tensión

- Líneas de alterna (HVAC)
- Líneas de continua (HVDC)

Según construcción

- Líneas aéreas, utilizadas sobre todo en transporte y distribución
- Líneas subterráneas, utilizadas sobre todo en distribución
- Líneas aéreas con cables unipolares aislados
- Barras rígidas desnudas sobre aisladores, utilizadas en subestaciones y centros de transformación

■ Línea trifásica



Fuente: Carlos Ramos Pérez

■ Línea doble



■ Línea doble + dos de tierra



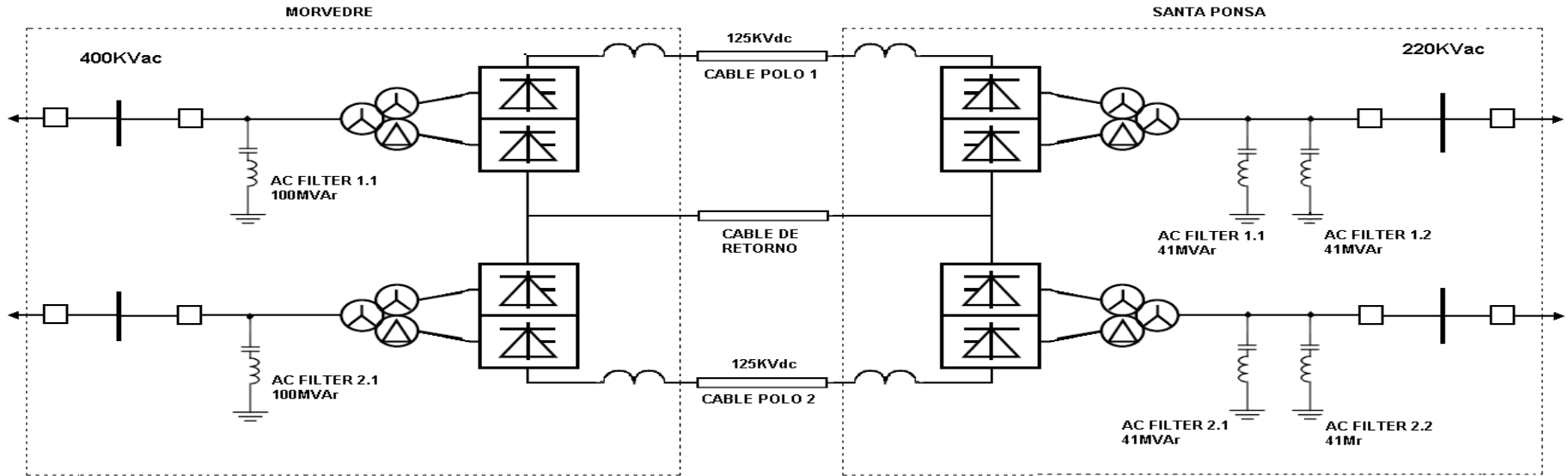
Fuente: Carlos Ramos Pérez

■ Línea duplex

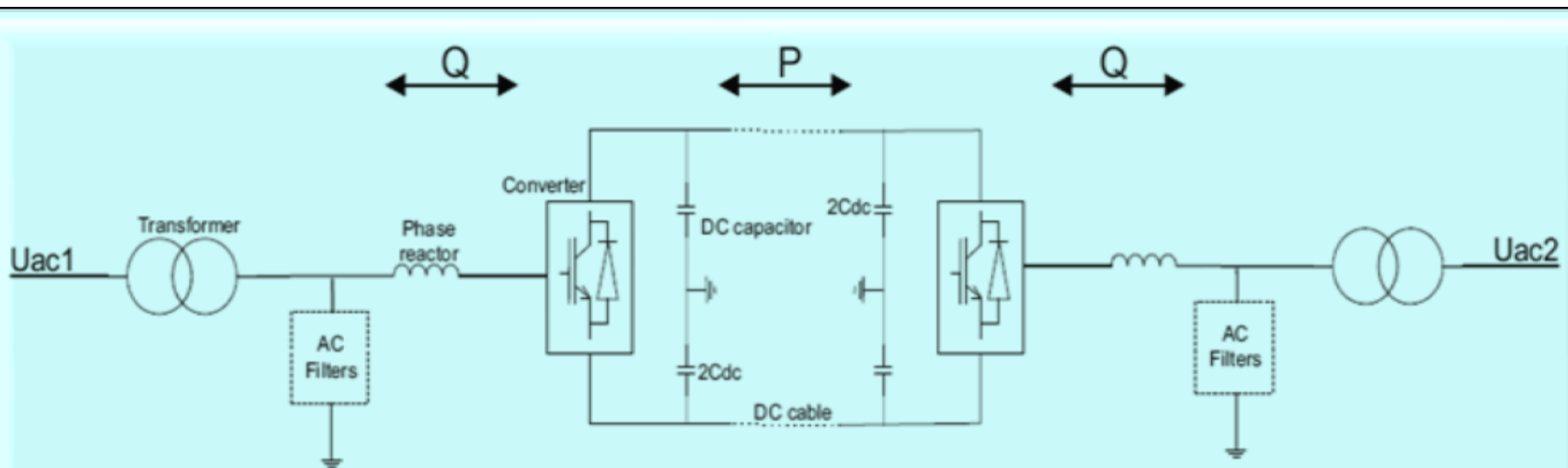


Introducción. Clasificación

Líneas de continua (HVDC- LLC)



Líneas de continua (HVDC-SVC)



Constitución de las líneas de transporte y distribución

Elementos (requisitos fijados por normas)

1. Conductores
 1. Desnudos
 2. Aislados
2. Cables de tierra o de protección
3. Aisladores
4. Estructuras de apoyo
5. Crucetas
6. Herrajes
7. Elementos de mando, maniobra y protección
Pararrayos, autoválvulas
8. Puesta a tierra

Constitución de las líneas de transporte y distribución

Cables conductores: materiales y composición

Reglamento LAT RD 223/2008

Representa del 30 al 35% del coste total de una línea

- **Las propiedades de los materiales:**
 - Conductividad adecuada
 - Carga de rotura a tracción suficiente
 - Resistente a la corrosión y agentes químicos
 - Precio asequible
- **Tipos**
 - Conductores desnudos (líneas aéreas)
 - Cables aislados (subterráneas)
 - Cables trenzados (aéreas)
 - Pletinas rígidas y barras (subestaciones)
- **Formas:**
 - Macizos, cables, especiales, mixtos u homogéneos

Diseñados, seleccionados y ensayados para cumplir con los requisitos:

- Eléctricos
- Mecánicos
- Telecomunicaciones y protección contra las vibraciones

Conductor

Cobre, aluminio, acero y sus aleaciones y combinaciones

Sección nominal mínima:

Cobre y sus aleaciones: 10 mm²

Acero galvanizado: 12,5 mm²

Carga de rotura mayor de 3500 N

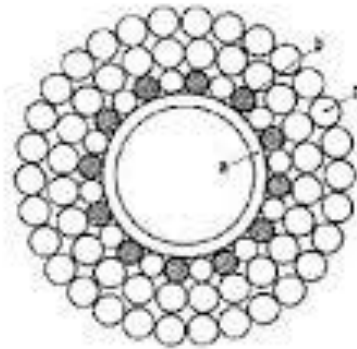
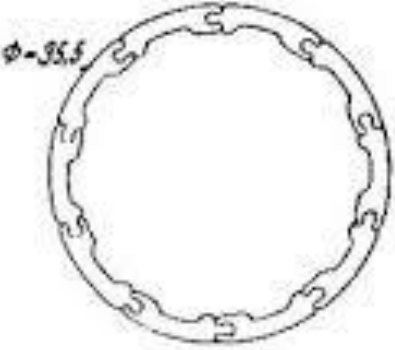
Constitución de las líneas de transporte y distribución

Cables conductores desnudos: materiales y composición

- **Conductores de aluminio (UNE-EN 50182)**
 - Hilos redondos o con forma trapezoidal + refuerzo de hilos de acero galvanizado o acero recubierto de aluminio
 - Temperatura de servicio: normal 85º, máxima 100º
 - Tipos:
 - AL1, ALx, AL1/STyz, ALx/STyz, AL1/SAyz, ALx/SAyz, AL1/ALx
 - Ej: 401AL1/28ST1A = 401 mm² de alambres de aluminio AL1 (aluminio duro + 28 mm² de alma de alambres de acero galvanizado ST1A con un recubrimiento de Zinc clase A)
- **Conductores de acero (UNE-EN 50182)**
 - Tipos
 - Acero galvanizado. Especificaciones: (UNE-EN 50189)
 - Acero recubierto de aluminio: UNE-EN 61232)
- **Conductores de cobre (UNE-EN 207015)**
 - Tipos
 - Cobre.
 - Aleación de cobre
- **Que contienen fibra óptica (UNE-EN 60794-4)**
 - Conductores de fase (OPPC,s)
 - Cables de tierra (OPGW,s)

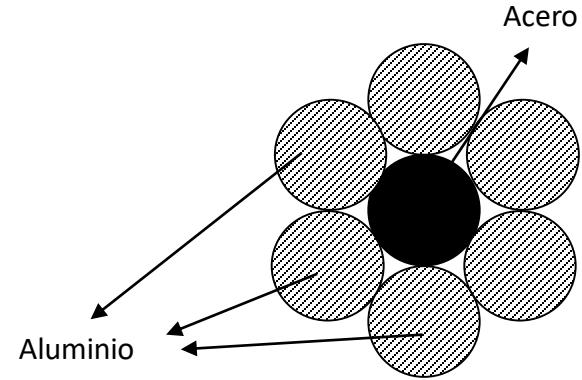
Constitución de las líneas de transporte y distribución

Cables conductores desnudos: materiales y composición



Conductor de aluminio-acero seleccionado para líneas de alta tensión, que presenta una cavidad central para obtener un diámetro externo más grande

- a - Espiral en conductor de acero
- b - Conductores de acero
- c - Conductores de aluminio



■ Cable desnudo aluminio



Fuente: <http://www.aralven.com>

■ Cable desnudo aluminio ACSR



Fuente: <http://www.aralven.com>

■ Cable desnudo cobre



Fuente: <http://www.aralven.com>

■ Cable fibra óptica submarino



Fuente: <http://www.nsw.com>

Densidad

$$\delta = \frac{\delta_{Al} S_{Al} + \delta_{Ac} S_{Ac}}{S_{Al} + S_{Ac}}$$

Módulo de elasticidad

$$E = \frac{E_{Al} S_{Al} + E_{Ac} S_{Ac}}{S_{Al} + S_{Ac}}$$

Constitución de las líneas de transporte y distribución

Cables desnudos: materiales y composición

■ Conductores tipo AL1/ST1

Tabla F.30

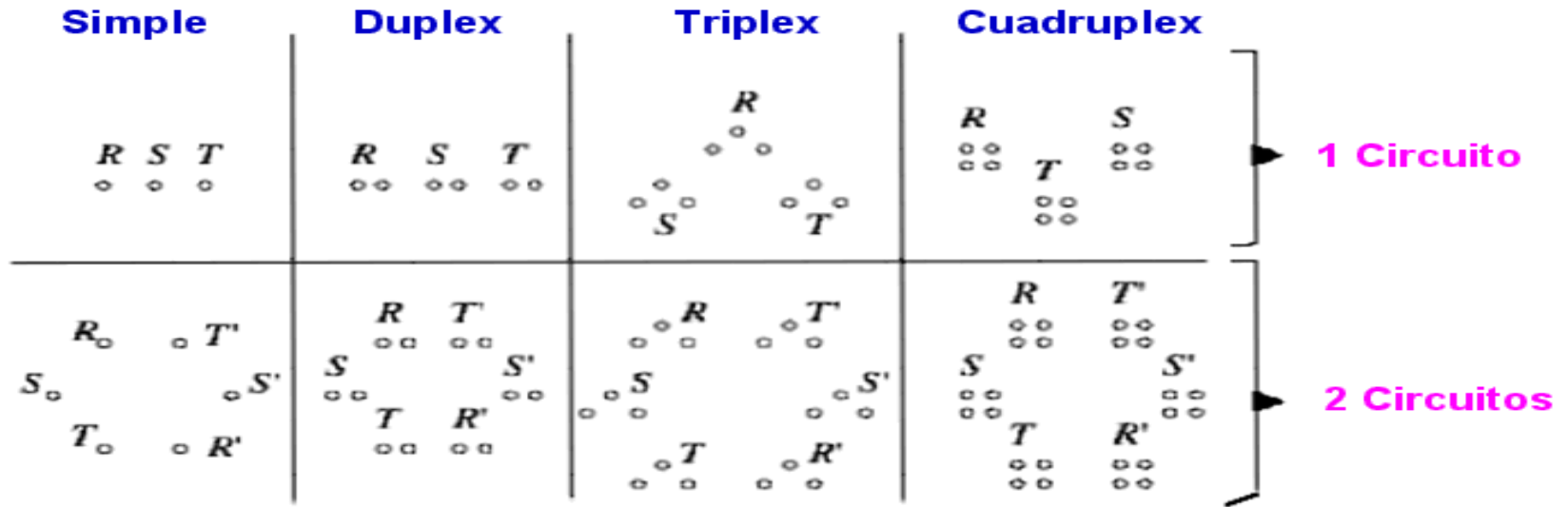
Características de los conductores de aluminio reforzado con acero utilizados en España – Tipo AL 1/ST 1A

Código	Código antiguo	Sección			Nº de alambres		Diámetro del alambre		Diámetro		Masa por unidad de longitud	Resistencia a la tracción asignada	Resistencia en c.c.
		Al	Acero	Total	Al	Acero	Alma	Conductor					
		mm ²	mm ²	mm ²					mm	mm			
27-AL 1/4-ST 1A	LA 30	26,7	4,45	31,1	6	1	2,38	2,38	2,38	7,14	107,8	9,74	1,073 6
47-AL 1/8-ST 1A	LA 56	46,8	7,79	54,6	6	1	3,15	3,15	3,15	9,45	188,8	16,29	0,612 9
67-AL 1/11-ST 1A	LA 78	67,3	11,2	78,6	6	1	3,78	3,78	3,78	11,3	271,8	23,12	0,425 6
94-AL 1/22-ST 1A	LA 110	94,2	22,0	116,2	30	7	2,00	2,00	6,00	14,0	432,5	43,17	0,306 7
119-AL 1/28-ST 1A	LA 145	119,3	27,8	147,1	30	7	2,25	2,25	6,75	15,8	547,4	54,03	0,242 3
147-AL 1/34-ST 1A	LA 180	147,3	34,4	181,6	30	7	2,50	2,50	7,50	17,5	675,8	64,94	0,196 3
242-AL 1/39-ST 1A	LA 280 HAWK	241,6	39,5	281,1	26	7	3,44	2,68	8,04	21,8	976,2	84,89	0,119 5
337-AL 1/44-ST 1A	LA 380 GULL	337,3	43,7	381,0	54	7	2,82	2,82	8,46	25,4	1 274,6	107,18	0,085 7
402-AL 1/52-ST 1A	LA 455 CONDOR	402,3	52,2	454,5	54	7	3,08	3,08	9,24	27,7	1 520,5	123,75	0,071 9
485-AL 1/63-ST 1A	LA 545 CARDINAL	484,5	62,8	547,3	54	7	3,38	3,38	10,1	30,4	1 831,1	149,04	0,059 7
565-AL 1/72-ST 1A	LA 635 FINCH	565,0	71,6	636,6	54	19	3,65	2,19	11,0	32,9	2 123,0	174,14	0,051 2

NOTA - La dirección de cableado de la capa externa es "a derecha" (Z).

Constitución de las líneas de transporte y distribución

Cables desnudos: materiales y composición



Empalmes y conexiones

- **Empalme:** asegura la continuidad eléctrica y mecánica
 - **Conexión:** asegura continuidad eléctrica con resistencia reducida
- Realización según RAT-ICT 07

Cables de tierra

Protección frente a descargas atmosféricas

- Pueden ser de acero
- Instalación, características y montaje según RAT-ICT 07

Constitución de las líneas de transporte y distribución

CLASIFICACIÓN DE LOS CABLES ELÉCTRICOS AISLADOS

a) Por su función:

a) Cables para el transporte de energía

b) Cables de control y para transmisión de señales codificadas

b) Por su tensión de servicio:

a) De muy baja tensión {menos de 50 V.}

b) Baja tensión (más de 50 V y hasta 1,1 kV.)

c) Media tensión (más de 1,1 kV. y hasta 35 kV.)

d) Alta tensión (más de 35 kV. y hasta 150 kV.)

e) Muy alta tensión (por encima de 150 kV.)

c) Por la naturaleza de sus componentes:

a) Con conductores de cobre o aluminio.

b) Aislados con plástico, goma o papel impregnado, armados, apantallados, etc.

d) Por sus aplicaciones específicas:

a) Para instalaciones interiores en edificios

b) Para redes de distribución de energía, urbanas o rurales

c) De señalización, telefonía, radiofrecuencia, etc.

d) Para minas, construcción naval, ferrocarriles, etc.

Constitución de las líneas de transporte y distribución

Cables aislados: materiales y composición

Los materiales cumplirán las normas y ensayos UNE incluidas en la ITC-LAT-02

Conductor

Cobre y aluminio

Aislamiento

PVC: Policloruro de vinilo

XLPE: Polietileno reticulado (termoestable)

EPR: Etileno-propileno (elastómero)

HEPR: Etileno-propileno de alta densidad

- **Apantallados**, protegidos contra la corrosión,

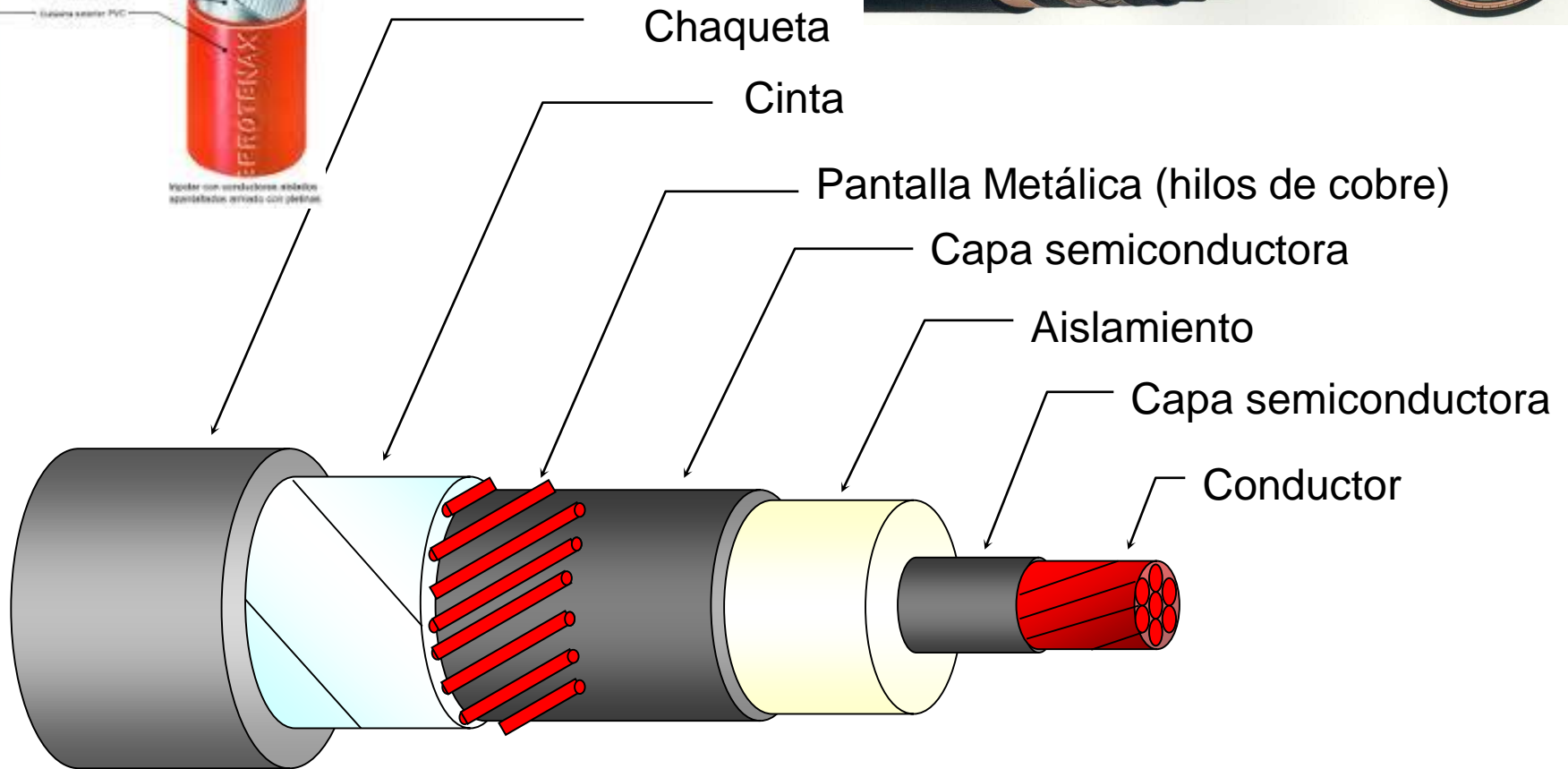
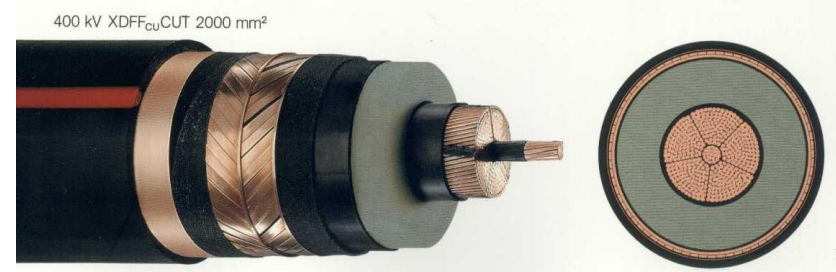
Unipolares o tripolares

Características eléctricas (fijadas por el reglamento y suministradas por los fabricantes)

- Tensiones asignadas del cable
- Temperatura del conductor en régimen nominal de servicio
- Temperatura en cortocircuito

Constitución de las líneas de transporte y distribución

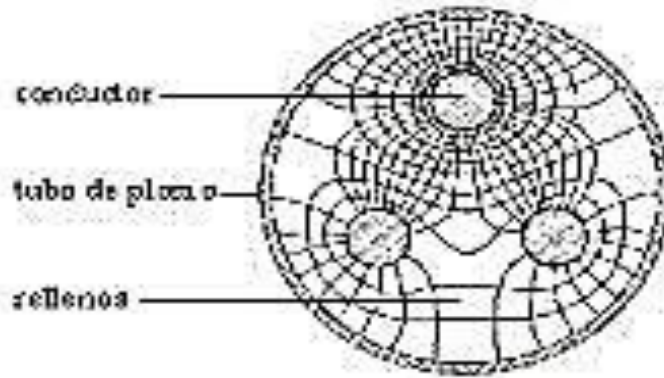
Cables aislados: materiales y composición



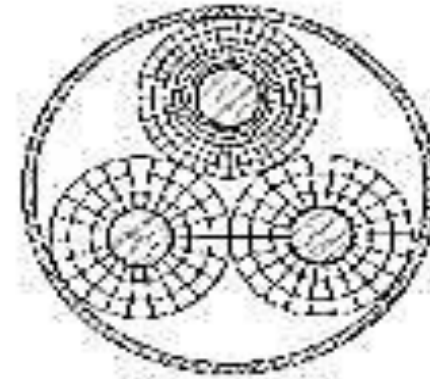
Tipo XLPE

Constitución de las líneas de transporte y distribución

Cables aislados: materiales y composición



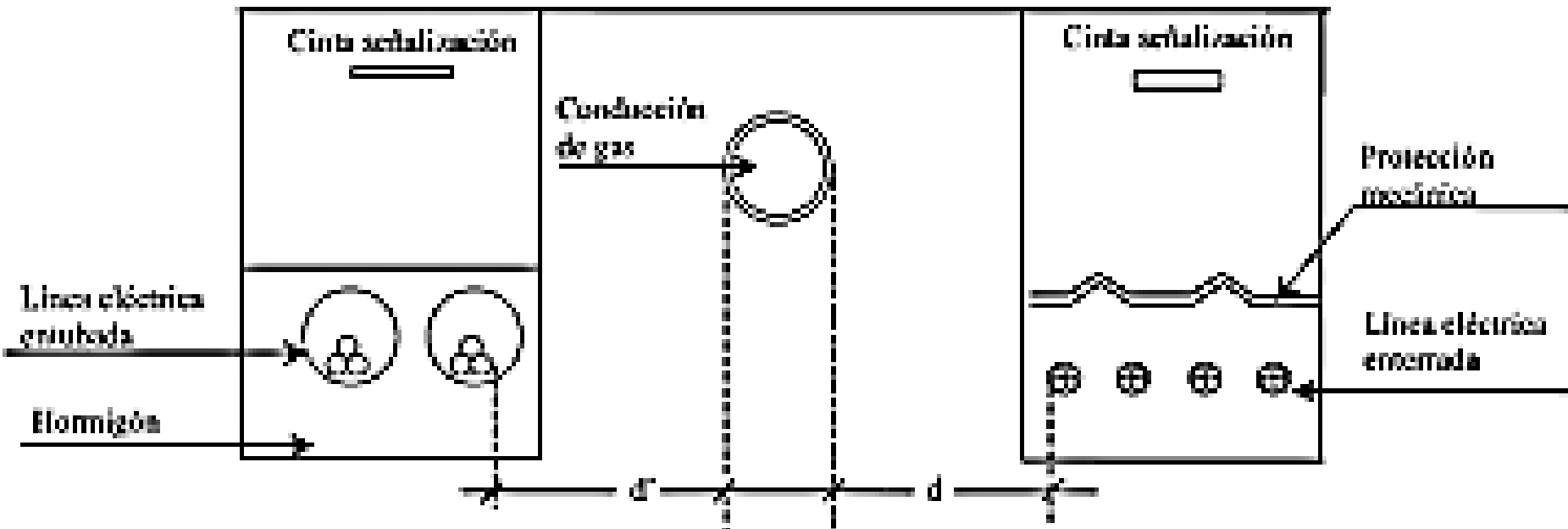
Cable de campo no radial



Cable de campo radial

SECCION

(Zona de ocupación de canalizaciones)



DATOS TÉCNICOS DEL CABLE AL EPROTENAX H COMPACT (NORMALIZADO POR IBERDROLA) AL HEPRZ1

CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES

1x sección conductor (Al)/sección pantalla (Cu) (mm ²)	Código	Ø Nominal aislamiento* (mm)	Espesor aislamiento (mm)	Ø Nominal exterior** (mm)	Espesor cubierta (mm)	Peso aproximado (kg/km)	Radio de curvatura estático (posición final) (mm)	Radio de curvatura dinámico (durante tendido) (mm)
12/20 kV								
1x50/16	20996806	18,1	4,5	25,8	2,5	780	387	516
1x95/16 (1)	20994668	20,9	4,3	28,6	2,7	960	429	572
1x150/16 (1)	20995788	23,8	4,3	32	3	1200	480	640
1x240/16 (1)	20995789	28	4,3	36	3	1600	540	720
1x400/16 (1)	20996809	33,2	4,3	41,3	3	2130	620	826
1x630/16	20034725	41,5	4,5	49,5	2,7	3130	743	990
18/30 kV								
1x95/25 (1)	20020826	25,7	6,7	34,4	3	1330	516	688
1x150/25 (1)	20996810	27,6	6,2	36,3	3	1500	545	726
1x240/25 (1)	20996811	31,8	6,2	40,4	3	1900	606	808
1x400/25 (1)	20996808	37	6,2	45,7	3	2550	686	914
1x630/25 (1)	20993046	45,3	6,4	53,4	3	3600	801	1068

(1) Secciones homologadas por la compañía Iberdrola

*Valores aproximados (sujetos a tolerancias propias de fabricación)

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

	12/20 kV	18/30 kV
Tensión nominal simple, U ₀ (kV)	12	18
Tensión nominal entre fases, U (kV)	20	30
Tensión máxima entre fases, U _m (kV)	24	36
Tensión a impulsos, U _p (kV)	125	170
Temperatura máxima admisible en el conductor en servicio permanente (°C)		105
Temperatura máxima admisible en el conductor en régimen de cortocircuito (°C)		250

1x sección conductor (Al)/sección pantalla (Cu) (mm ²)	Intensidad máxima admisible bajo tubo y enterrado* (A)	Intensidad máxima admisible directamente enterrado* (A)	Intensidad máxima admisible al aire*** (A)	Intensidad máxima de cortocircuito en el conductor durante 1 s (A)	Intensidad máxima de cortocircuito en la pantalla durante 1 s**** (A)	
					12/20 kV (part. 16 mm ²)	18/30 kV (part. 25 mm ²)
1x50/16	135	145	180	4700	3130	4630
1x95/16 (1)	200	215	275	8930	3130	4630
1x150/16 (1)	255	275	360	14100	3130	4630
1x240/16 (1)	345	365	495	22560	3130	4630
1x400/16 (1)	450	470	660	37600	3130	4630
1x630/16	590	615	905	59220	3130	4630

(1) Secciones homologadas por la compañía Iberdrola en 12/20 kV y 18/30 kV

(2) Sección homologada por la compañía Iberdrola en 18/30 kV

*Condiciones de instalación: una terna de cables enterrado a 1 m de profundidad, temperatura de terreno 25 °C y resistividad térmica 1,5 K·m/W

**Condiciones de instalación: una terna de cables al aire (a la sombra) a 40 °C

***Calculado de acuerdo con la norma IEC 60949

1x sección conductor (Al)/sección pantalla (Cu) (mm ²)	Resistencia del conductor a 20 °C (Ω/km)	Resistencia del conductor a T máx (105 °C) (Ω/km)	Reactancia inductiva (Ω/km)		Capacidad µF/km	
			12/20 kV	18/30 kV	12/20 kV	18/30 kV
1x50/16	0,641	0,861	0,132	0,217	0,147	0,147
1x95/16 (1)	0,320	0,430	0,118	0,129	0,283	0,204
1x150/16 (1)	0,206	0,277	0,110	0,118	0,333	0,250
1x240/16 (1)	0,125	0,168	0,102	0,109	0,435	0,301
1x400/16 (1)	0,008	0,105	0,096	0,102	0,501	0,367
1x630/16 (2)	0,047	0,0643	0,090	0,095	0,614	0,095

(1) Secciones homologadas por la compañía Iberdrola en 12/20 kV y 18/30 kV

(2) Sección homologada por la compañía Iberdrola en 18/30 kV

NOTA: valores obtenidos para una terna de cables al tresbolillo.

Constitución de las líneas de transporte y distribución

Cables aislados unipolares reunidos en haz

Se utilizan con tensiones hasta 30 kV en líneas aéreas

Materiales: Cu, Al, Al-Ac y sus aleaciones

Zonas:

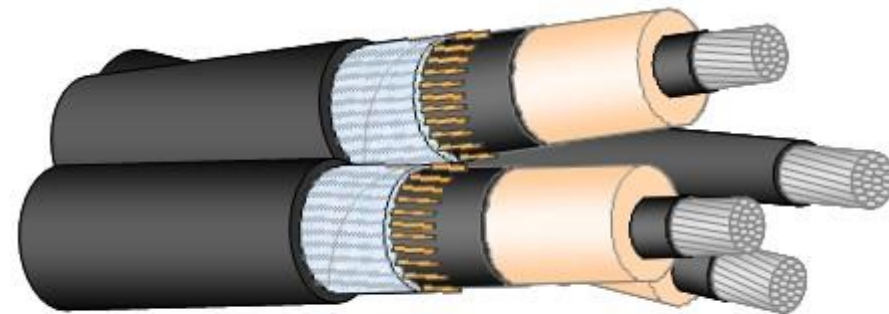
- a) *Zonas de bosques o de gran arbolado.*
- b) *Zonas no urbanas de elevada polución.*
- c) *Instalaciones provisionales de obras con proximidad de maquinaria móvil.*
- d) *Zonas de circulación en recintos de fábricas e instalaciones industriales.*
- e) *Instalaciones provisionales para zonas en curso de urbanización.*
- f) *Penetración en núcleos urbanos*

Se fabrican según normas UNE

Instalación y montaje según ITC-08 del RLAT



Los cables trenzados para MT se utilizan en redes tensadas



Al Epronret Haces (tres conductores unipolares aislados y fiador de acero)

Constitución de las líneas de transporte y distribución

Elección de los conductores

Determinación de la sección adecuada al transporte o distribución eléctrica en proyecto

Factores

Factores determinantes	Límite a considerar
Intensidad (A)	Térmico <ul style="list-style-type: none">• Régimen permanente• Régimen transitorio Económico (Ley de Kelvin)
Tensión (kV)	<ul style="list-style-type: none">• Efecto corona• Radiointerferencia
Intensidad y tensión (A y kV)	<ul style="list-style-type: none">• Regulación• Estabilidad

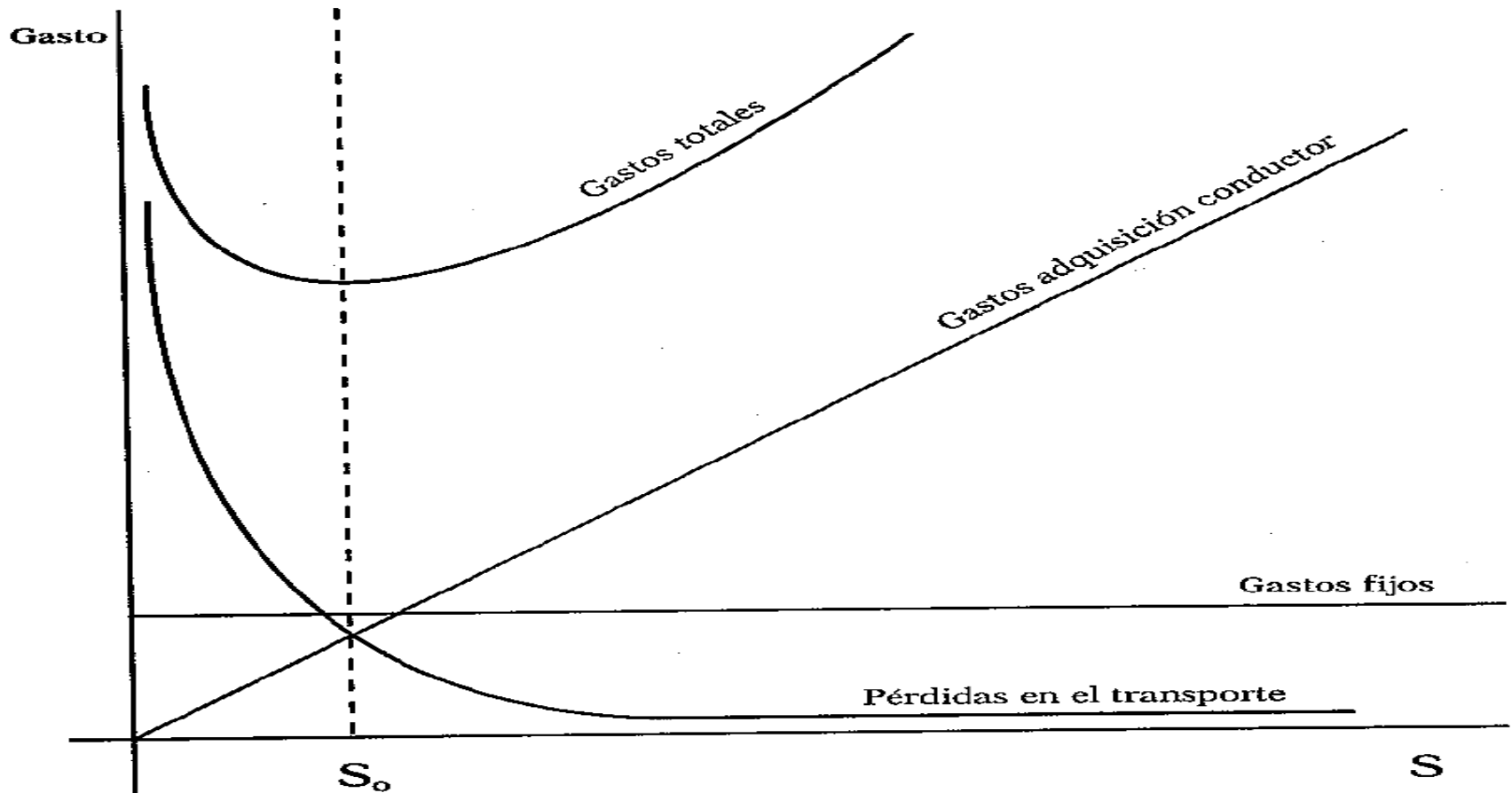
- **Límite térmico** de calentamiento de los conductores en régimen permanente y transitorio, La temperatura limita la capacidad de transporte. Vienen limitados por el reglamento y los fabricantes. Afectan: (temperatura, humedad, viento, etc.)
- **Límite económico** (fundamental para $V < 220$ kV). Existe una sección que hace el gasto el mínimo, gasto de transporte + gasto de generación mínimo.
- **Límite por regulación** es el menos importante se debe escoger una sección tal que sea del orden del 5 al 10%

Constitución de las líneas de transporte y distribución

Elección de los conductores

$$C (\text{€/año}) = A + B (\text{kW}) + D(\text{kWh})$$

Ley de Kelvin: En todo conductor de sección óptima se verifica que el gasto debido a su coste de adquisición es igual al gasto correspondiente a las pérdidas en el transporte



Constitución de las líneas de transporte y distribución

Los apoyos

Los apoyos que deben mantener los conductores a suficiente altura sobre tierra y adecuadamente distanciados entre sí.

- Auto soportadas o retenidas
- Postes de hormigón, madera, acero
- Torres en acero galvanizado (celosía)
- Estructuras
- Normalizados UNE-EN (RAT)

■ Apoyo en ángulo línea triplex



Fuente: <http://www.terna.it>

■ Paso de un río

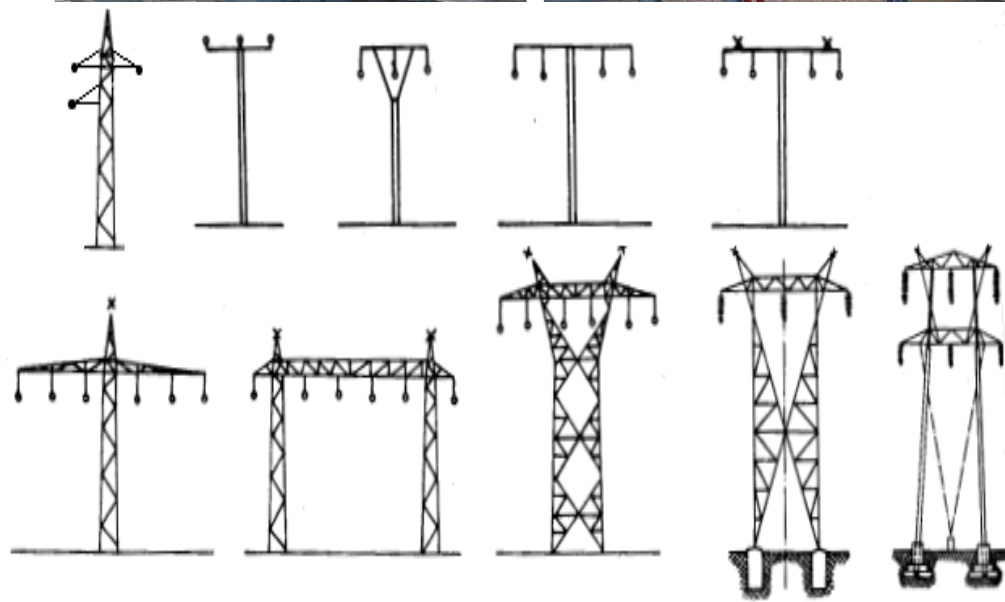


■ Pletina secundario trafo



Fuente: Máster Energías Renovables UCLM

■ Pletina secundario trafo II



Constitución de las líneas de transporte y distribución

- **Apoyos de alineación:** Su función es solamente soportar los conductores y cables de tierra; son empleados en las alineaciones rectas.
- **Apoyos de anclaje:** Su finalidad es proporcionar puntos firmes en la línea, que limiten e impidan la destrucción total de la misma cuando por cualquier causa se rompa un conductor o apoyo.
- **Apoyos de ángulo:** Empleados para sustentar los conductores y cables de tierra en los vértices o ángulos que forma la línea en su trazado. Además de las fuerzas propias de flexión, en esta clase de apoyos aparece la composición de las tensiones de cada dirección.
- **Apoyos de fin de línea:** Soportan las tensiones producidas por la línea; son su punto de anclaje de mayor resistencia.
- **Apoyos especiales:** Su función es diferente a las enumeradas anteriormente; pueden ser, por ejemplo, cruce sobre ferrocarril, vías fluviales, líneas de telecomunicación o una bifurcación, ...



Constitución de las líneas de transporte y distribución

TUBULARES
UNE 201718

APOYOS TUBULARES PARA LÍNEAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN

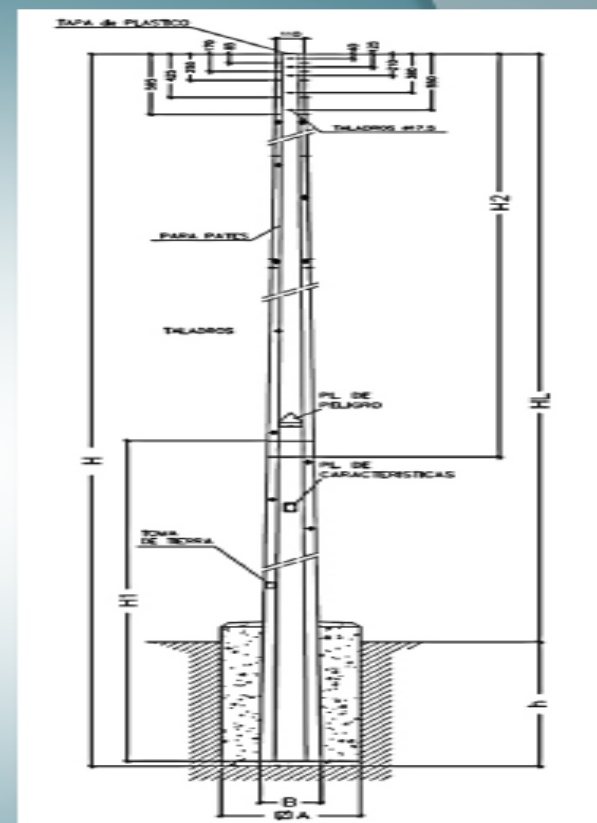


2.1 APOYO CH 160 E

CAPACIDAD MECÁNICA (daN)				
ESFUERZOS	DESCRIPCIÓN	CARGA A -0,25	CARGA A +0,75	COEF. DE SEGURIDAD
TRANSVERSAL (F)	ESFUERZO ÚTIL (SEGURIDAD NORMAL)	160	144	1,5
	ESFUERZO ÚTIL (SEGURIDAD REFORZADA)	128	115	1,875
TORSIÓN (T)	TIRO EN PUNTA DE CRUCETA DE 1,5 m	-	-	-
VERTICAL (V)	ESFUERZO VERTICAL ADMISIBLE Y SIMULTANEO CON LOS ANTERIORES	500	500	1,5 o 1,2

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS		
TIPO DE APOYO	CH 160 9E	CH 160 11E
h1 (mm)	9000	11000
h2 (mm)	-	-
H (mm)	9000	11000
ANCHO DE LA BASE (mm)	209	231
ANCHO DE COGOLLA (mm)	110	110
CONICIDAD mm/m	11	11
PESO (kg)	117	153

CIMENTACIONES			
TIPO DE APOYO		CH 160 9E	CH 160 9E
□A (m)		0,6	0,6
TERRENO FLOJO	h (m)	1,35	1,45
	VOL EXC (m³)	0,49	0,52
	VOL HOR (m³)	0,5	0,52
	ALTURA LIBRE	7,65	9,55
TERRENO NORMAL	h (m)	1,22	1,31
	VOL EXC (m³)	0,44	0,47
	VOL HOR (m³)	0,46	0,48
	ALTURA LIBRE	7,78	9,69
TERRENO FUERTE	h (m)	1,14	1,22
	VOL EXC (m³)	0,41	0,44
	VOL HOR (m³)	0,43	0,45
	ALTURA LIBRE	7,86	9,78

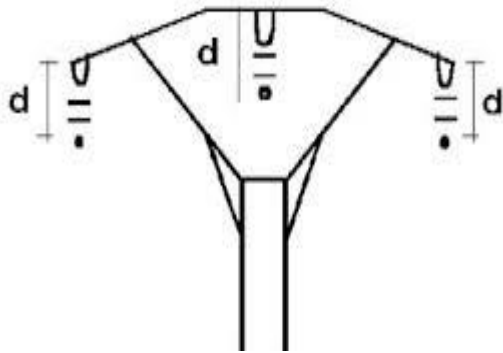


Constitución de las líneas de transporte y distribución

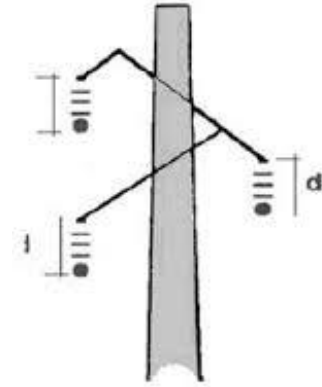
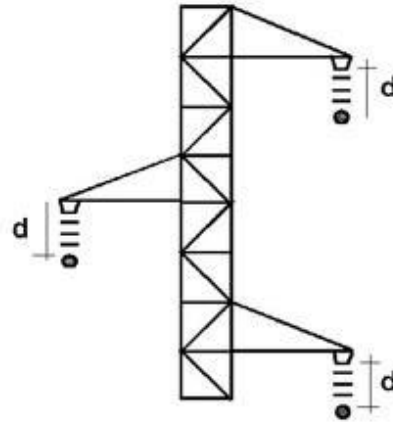
Crucetas

Son los brazos colocados en la punta cuya misión es separar los conductores entre si y entre tierra y entre si.

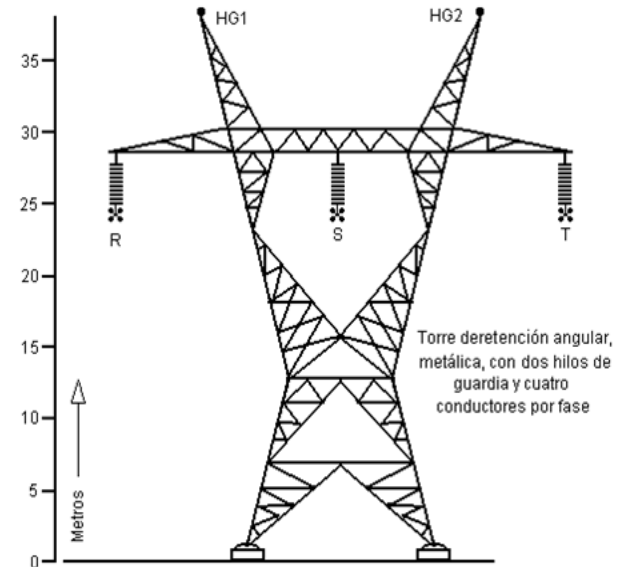
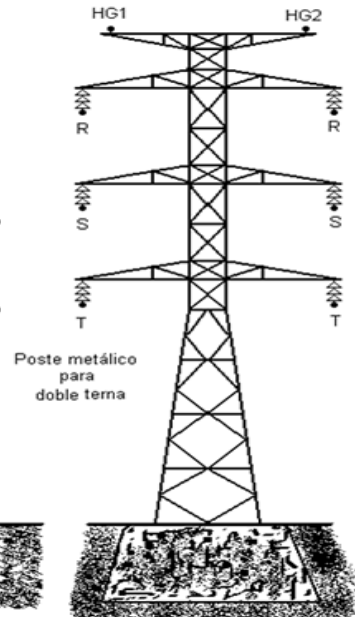
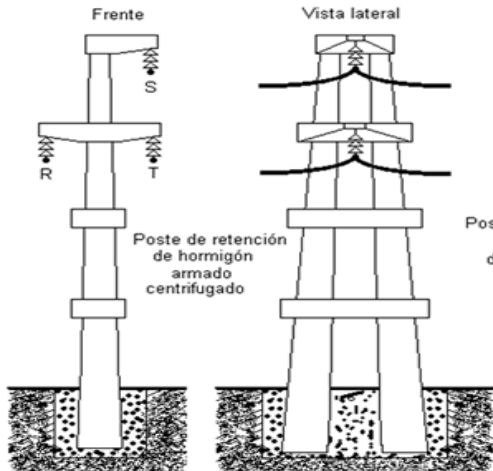
Bóveda



Celosía



Canadiense



Constitución de las líneas de transporte y distribución

Aisladores

Misión :

- Soportar la tensión entre conductor y tierra.
- Soportar la tensión mecánica del cable respecto del apoyo.

Propiedades

- Resistencia mecánica suficiente
- Ausencia de envejecimiento
- **Tensiones de perforación** suficientemente elevadas (fijadas por normas)
 - A frecuencia industrial
 - Impulso tipo rayo
- **Tensión de contorneo**

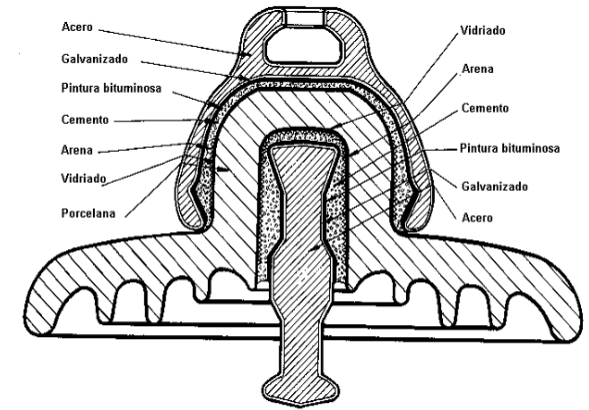
Materiales:

- Porcelana, vidrio, materiales sintéticos
- Normas UNE-EN (RAT)

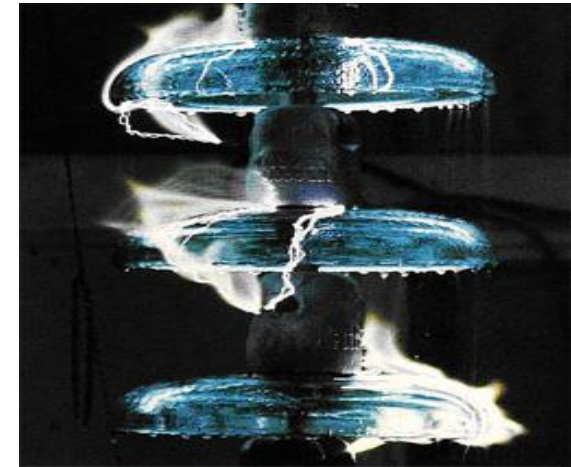
Tipos

Suspensión y rígidos

- **Tipo pin, poste, cadenas conformadas por unidades de suspensión**



Elemento de la cadena



Mecánicos

Inspección Visual
Medición de Dimensiones
De Rotura
Ciclo Térmico
Choque Térmico

ENSAYOS Químicos

Verificación de la Porosidad
Control de uniformidad del
revestimiento

Eléctricos

Tensión Resistida de Impulso
Tensión de Frecuencia
Industrial bajo lluvia
Electromecánico de Falla

Constitución de las líneas de transporte y distribución

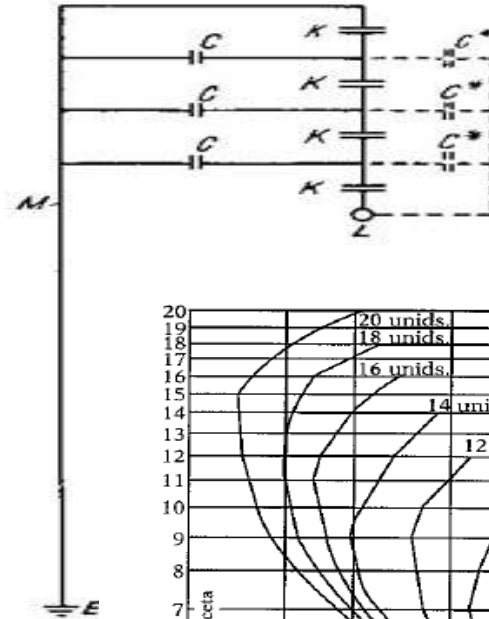
Aisladores: características

	FAPA	ANSCO
Diámetro	254mm±3%	254mm
Altura	150mm±3%	145mm
Tensión de Servicio	15kV	15kV
Tensión de contorneo (seco)	80kV	80kV
Tensión de contorneo bajo lluvia	50kV	50Kv
Tensión de perforación	120kV	120kV
Tensión de descarga con onda de impulso de 1/50 μs positiva de 1 elemento 10 elementos	120kV 900kV	120kV 945kV
Tensión de descarga con onda de impulso de 1/50 μs negativa de 1 elemento 10 elementos	150kV 990kV	150kV 930kV
Tensión de descarga en seco para cadena de 10 elementos	500kV	590kV
Tensión de descarga bajo lluvia para cadena de 10 elementos	360kV	415kV
Carga mínima de rotura	5500kg	5500kg
Carga permanente a la tracción	2000kg	
Peso neto de un aislador	5,8kg	6kg

Constitución de las líneas de transporte y distribución

Aisladores: características

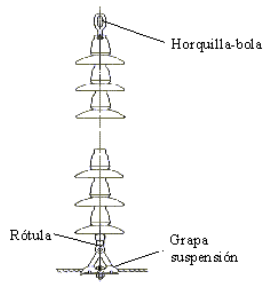
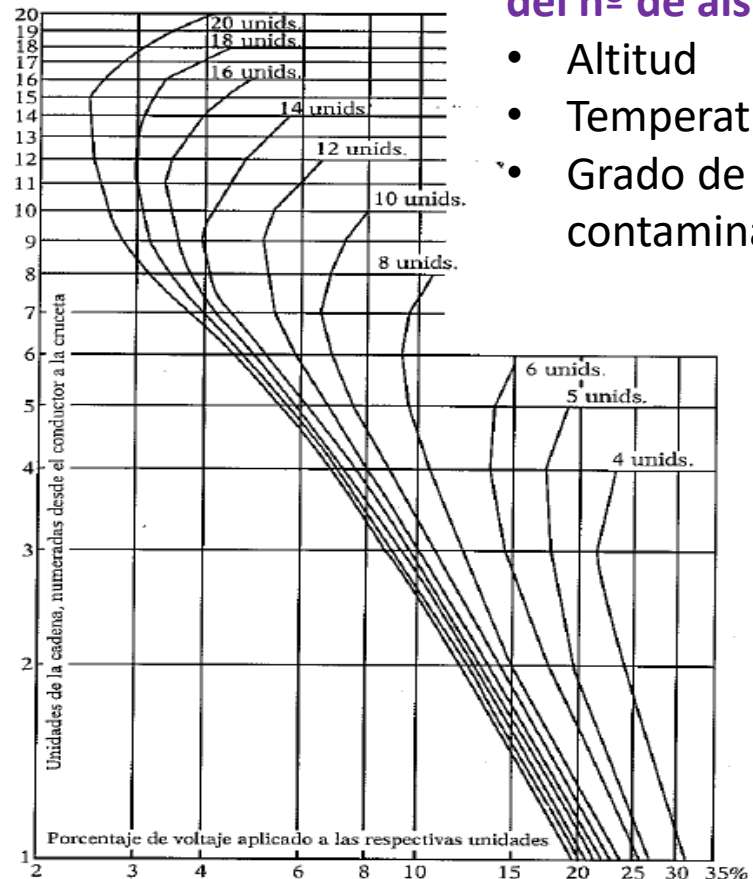
Distribución de la tensión en la cadena de aisladores



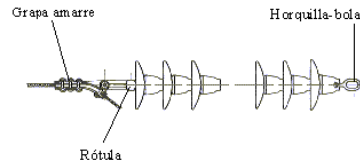
Distribución no lineal

Para la determinación del nº de aisladores

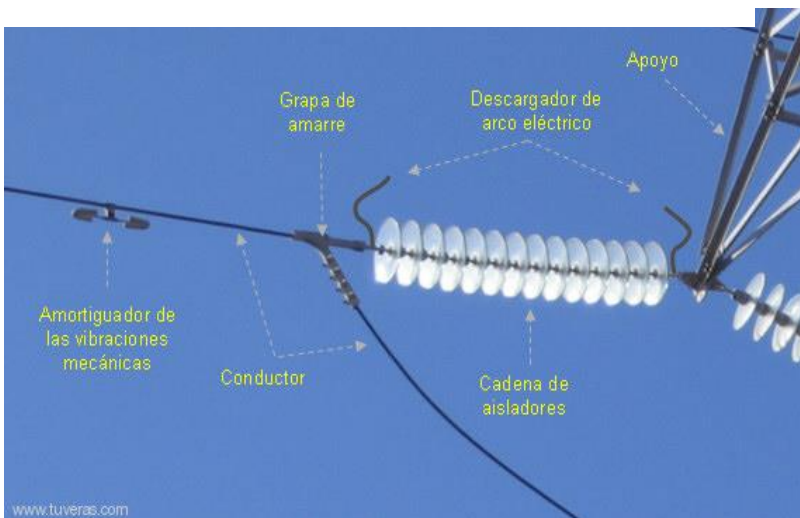
- Altitud
- Temperatura
- Grado de contaminación



Aislador en cadena de suspensión



Aislador en cadena de amarre

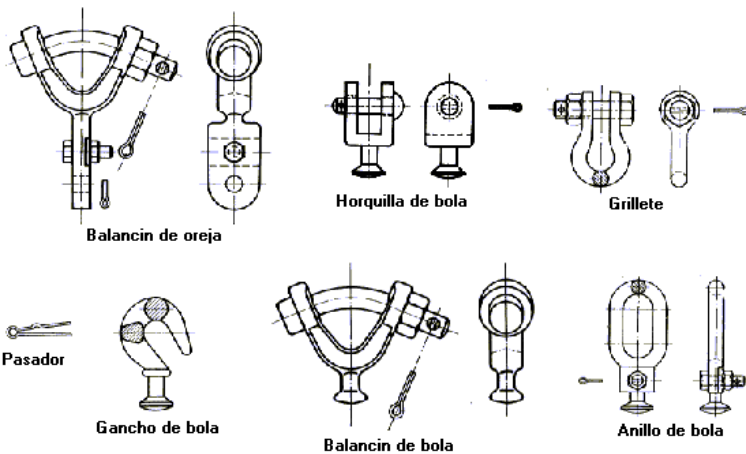


Constitución de las líneas de transporte y distribución

- Elementos: Herrajes



- Grapas para sujetar cables de fases y guarda
- Espaciadores para mantener separados los conductores de un haz
- Anillos para control de efecto corona
- Cuernos de arco
- Cables para retención o anclaje



Herrajes



Constitución de las líneas de transporte y distribución

- Cable de cobre desnudo
- Conectores cobre-cobre o bimetálicos
- Contrapesos
- Amortiguadores de vibraciones
- Empalmes y terminales monofásico y trifásicos para cables aislados
- Balizas para señalización aeronáutica
- Elementos: Obras Civiles



Líneas aéreas



- Cimentaciones
- Corredor o servidumbre (Right of way)



Líneas subterráneas



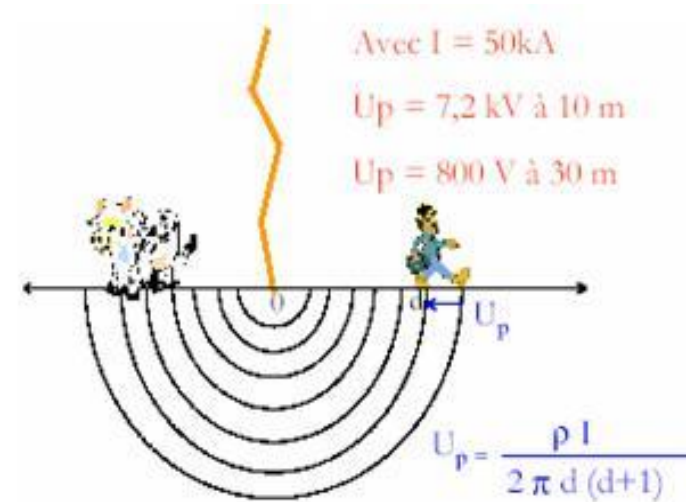
- Zanjas
- Cajas de inspección

Constitución de las líneas de transporte y distribución

Tomas de tierra

Misión:

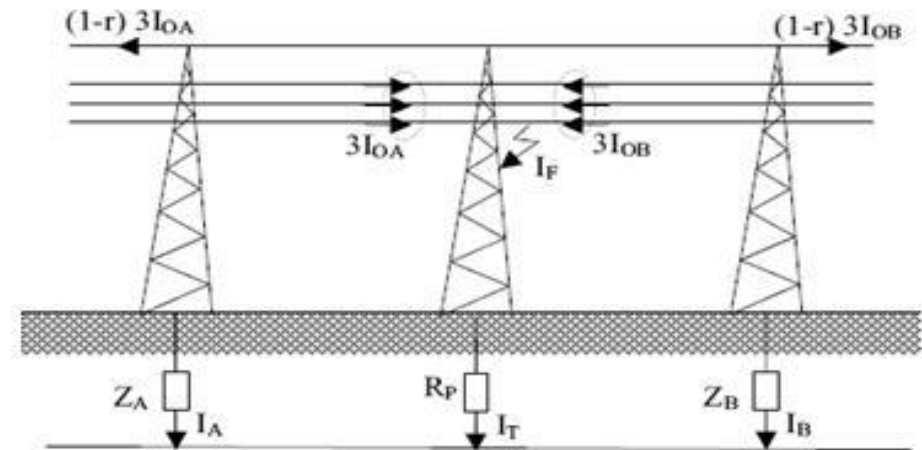
- Evacuar las descargas atmosféricas
 - Mantener la tensión nula en aquellos elementos que podamos tocar
 - Fijar el neutro en los sistemas de c.a.
 - Servir de conductor de retorno en sistemas de c.c. y c.a.
- Varillas de puesta a tierra en cobre o copperweld
 - Mallas de puesta a tierra
 - Pararrayos de línea



Corrientes de tierra



Impacto de rayo en cable de guarda



Tierra de referencia

Instalación cable de guarda en torretas

Características eléctricas

El comportamiento eléctrico de las líneas de transporte y distribución viene determinada por una serie de parámetros (primarios) que son función de:

- Longitud de la línea
- Tipo de conductor
- Espaciamiento entre conductores
- Intensidades de los conductores

Concentrados:

R, L, G y C

Distribuidos:

- **Inductancia** serie por metro (l)
- **Resistencia** serie por metro (r)
- **Capacidad** paralelo por metro (c)
- **Conductancia** paralelo por metro (g)

El parámetro más importante es la **inductancia** ya que limita la capacidad de transporte de energía.

Resistencia de líneas de transporte

- La **resistencia en CC** se calcula como: $R_{cc} = \rho \frac{l}{s} (\Omega)$
- Varía con la temperatura.

$$R_2 = R_1(1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1))$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T_0 + \theta_2}{T_0 + \theta_1}$$

– T_0 y α dependen del material

- La **resistencia efectiva** de un conductor se calcula $R_{CA} = \frac{P_p}{I^2} (\Omega)$

- Las diferencias entre la R_{cc} y la R_{ca} se deben a:

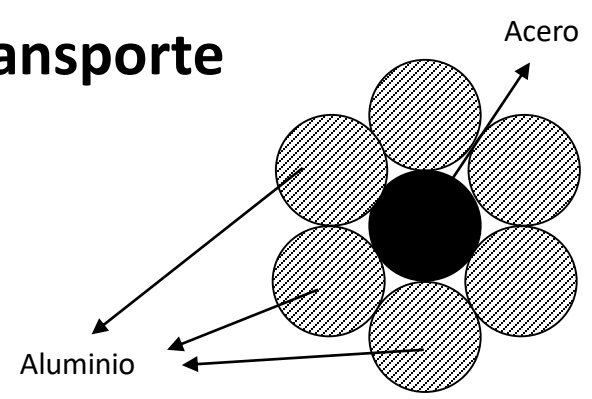
- **Longitud helicoidal** de los hilos (alambres). Es función de la capa que ocupan. Incrementan de un 1% a un 3% la R_{cc}
- **Frecuencia: Efecto Skin.** Incremento de la resistencia
- **Distancia a otros conductores y frecuencia de las intensidades de estos: Efecto Proximidad.** Es despreciable en los aéreos, puede ser importante en los aislados
- **Intensidad de la corriente en los conductores magnéticos**

- La resistencia efectiva se puede calcular con la siguiente expresión:

$$R_2 = R_{cc1} (1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1))(1 + K_s)(1 + K_p)$$

Resistencia de líneas de transporte

Los valores de resistencia se encuentran tabulados para los diferentes conductores en las condiciones normales de funcionamiento



Designación	Secciones			Numero de alambres		Proporción de acero-aluminio	Diámetros de los alambres		Diámetros		Masa lineal	Carga de rotura Densidad de corriente	Resistencia en C.C. Densidad de corriente	Módulo de elasticidad	Coeficiente de dilatación lineal	Reglamento		Código	
	AL1	ST1A	Total	AL1	ST1A		S/A	AL1	ST1A	Alma						Conductor	E		α
	mm ²	mm ²	mm ²	n°	n°		%	mm	Mm	mm				Mm	Kg/km	A/mm ²	A/mm ²		daN/mm ²
40-AL1/7-ST1A	40	6,7	46,7	6	1	17	2,91	2,91	2,91	8,74	162	3,82	3,82	7900	19,1	3,83	178,8	5463109	
63-AL1/11-ST1A	63	10,5	73,5	6	1	17	3,66	3,66	3,66	11	254	3,24	3,24	7900	19,1	3,27	240,77	5463113	
100-AL1/17-ST1A	100	16,7	116,7	6	1	17	4,61	4,61	4,61	13,8	404	2,76	2,76	7900	19,1	2,79	325	5463116	
160-AL1/26-ST1A	160	26,1	186,1	26	7	16	2,80	2,18	6,53	17,7	645	2,38	2,38	7500	18,9	2,38	443	5463122	
250-AL1/25-ST1A	250	24,6	274,6	22	7	10	3,80	2,11	6,34	21,6	881	2,12	2,12	6700	20,0	2,13	585,45	5463125	
250-AL1/41-ST1A	250	40,7	290,7	26	7	16	3,50	2,72	8,16	22,2	1008	2,02	2,02	7500	18,9	2,04	593,2	5463126	
400-AL1/28-ST1A	400	27,7	427,7	45	7	7	3,36	2,24	6,73	26,9	1320	1,85	1,85	6600	20,9	1,85	791	5463128	
400-AL1/52-ST1A	400	51,9	451,9	54	7	13	3,07	3,07	9,21	27,6	1510	1,76	1,76	6900	19,3	1,77	803	5463129	
500-AL1/35-ST1A	500	34,6	534,6	45	7	7	3,76	2,51	7,52	30,1	1650	1,69	1,69	6600	20,9	1,69	906	5463131	
500-AL1/65-ST1A	500	64,8	564,8	54	7	13	3,43	3,43	10,3	30,9	1888	1,60	1,60	6900	19,3	1,61	913	5463132	
630-AL1/44-ST1A	630	43,6	673,6	45	7	7	4,22	2,81	8,44	33,8	2079	1,49	1,49	6600	20,9	1,60	1078	5463134	
630-AL1/80-ST1A	630	79,8	709,8	54	19	13	3,85	2,31	11,6	34,7	2366	1,40	1,40	6700	19,4	1,56	1113	5463135	
800-AL1/67-ST1A	800	66,7	866,7	84	7	8	3,48	3,48	10,4	38,3	2733	1,23	1,23	6600	20,5	1,59	1382	5463137	
800-AL1/101-ST1A	800	101	901,0	54	19	13	4,34	2,61	13,0	39,1	3005	1,18	1,18	6700	19,4	1,56	1413	5463138	

Inductancia de líneas de transporte

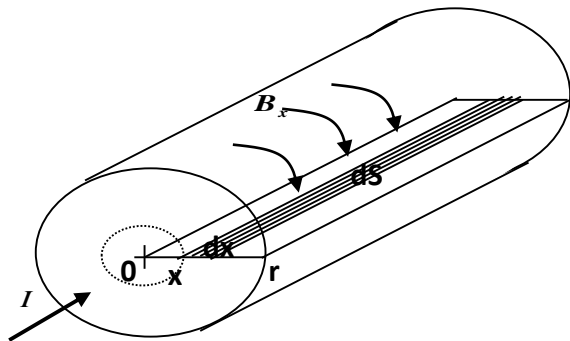
Una corriente eléctrica circulando a través de un conductor, crea un campo magnético en forma de lazos circulares que rodean al conductor, (**4ª ley de Maxwell**)

Si la corriente $i(t)$ es variable en el tiempo, el campo magnético también lo será y en cualquier circuito eléctrico que concatene una porción del flujo magnético se inducirá una tensión (**3ª ley de Maxwell**) dada por:

El flujo concatenado es proporcional a la corriente que lo crea, siendo la constante de proporcionalidad el denominado coeficiente de autoinducción L , que únicamente depende de la geometría del circuito.

Inductancia de un solo conductor

Conductor rectilíneo de longitud infinita y no magnético



$$L_{\text{int}} = \frac{\mu_0}{8\pi} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$L_{\text{ext}} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{D_2}{D_1} \text{ H/m}$$

D = distancia del centro a un punto exterior

$$r' = r \cdot e^{-1/4} = 0,7788 r$$

$$\int_c H dl = I$$

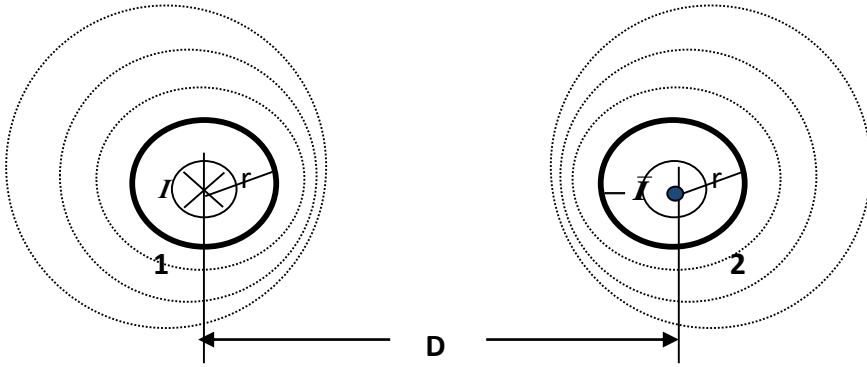
$$v(t) = \frac{d\phi(t)}{dt} = \frac{L d\phi di}{didt} = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$L = \frac{d\phi}{di} \text{ (H)}$$

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \text{ H/m}$$

Inductancia de líneas

Inductancia de línea compuesta por dos conductores



Para determinar la inductancia externa del conductor 1, debemos evaluar la integral anterior entre r y D, ya que más allá de D la corriente neta es cero por lo que no hay contribución neta al flujo magnético que concatena al circuito.

Supuestos:

- Conductores macizos.
- El efecto de la tierra sobre el campo magnético es insignificante.
- El diámetro de los conductores es mucho menor que D.

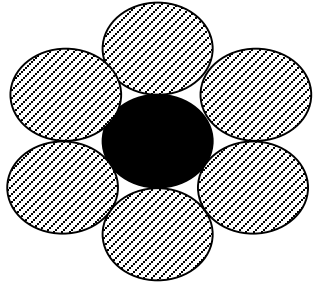
Por lo que la inductancia total es:

$$L = L_1 + L_2 = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{\sqrt{r'_1} \sqrt{r'_2}} = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \quad (\text{H/m})$$

$$r'_1 = r'_2 = r'$$

Inductancia de líneas

Conductor n (cables, alambres)



$$n = 3x^2 - 3x + 1$$

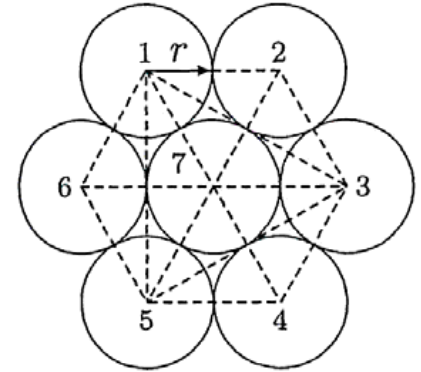
$$D = (2x - 1)d$$

$n = n^\circ$ de alambres del conductor

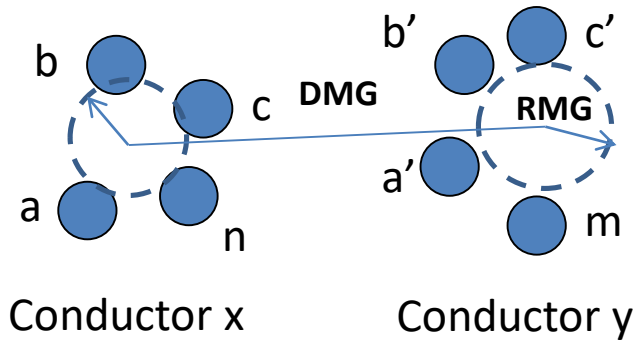
$x =$ número de capas

$d =$ diámetro de un alambre

$D =$ diámetro del conductor



Inductancia de líneas de conductores compuestos



$$L = L_x + L_y \quad D_{aa} = r_a'$$

$$L = L_x + L_y = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{\sqrt{D_{sx}} \sqrt{D_{sy}}} \text{ (H / m)}$$

$$L_x = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{\sqrt[mn]{(D_{aa} D_{ab} D_{ac} \dots D_{am})(D_{ba} D_{bb} D_{bc} \dots D_{bm}) \dots (D_{na} D_{nb} D_{nc} \dots D_{nm})}}{\sqrt[n^2]{(D_{aa} D_{ab} D_{ac} \dots D_{an})(D_{ba} D_{bb} D_{bc} \dots D_{bn}) \dots (D_{na} D_{nb} D_{nc} \dots D_{nn})}} \text{ H / m}$$

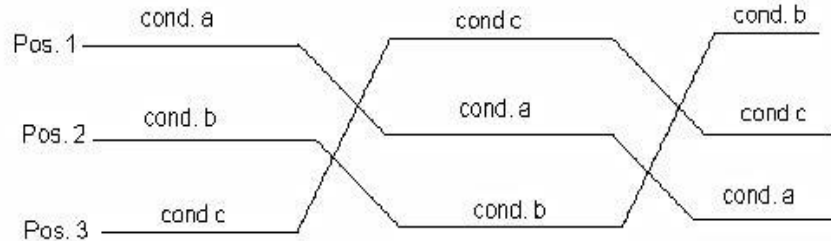
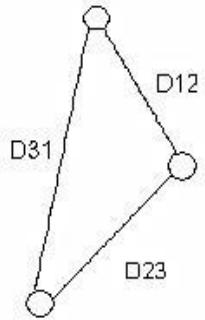
$$L_x = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{DMG}{RMG} \text{ (H / m)}$$

$$X_L = 0,0754 \ln \frac{DMG}{RMG} \text{ (\Omega / km)}$$

Los fabricantes de cables suelen dar estos valores

Inductancia de líneas

Inductancia de líneas trifásicas equilibradas

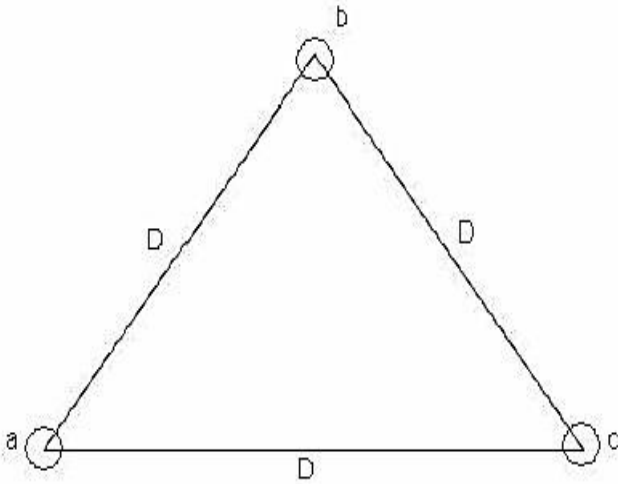


$$L_a = L_b = L_c$$

$$DMG = \sqrt[3]{D_{12}D_{13}D_{23}} = D_{eq}$$

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{DMG}{r'} \quad (H / m)$$

$$X_a = 0,0628 \ln \frac{DMG}{RMG} \quad (\Omega / km)$$



$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \quad (H / m)$$

$$X_a = 0,0628 \ln \frac{D}{RMG} \quad (\Omega / km)$$

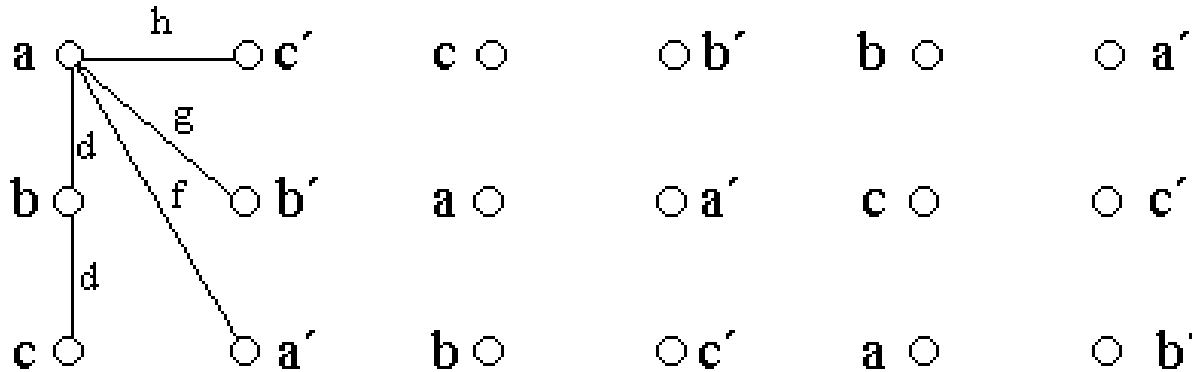
$$L_a = L_b = L_c$$

Inductancia de líneas

Líneas trifásicas con doble circuito

Son comunes estas disposiciones de doble circuito; aumentan la confiabilidad del sistema a un coste un poco mayor.

- La inductancia por fase debe ser baja:
 - a) La DMG lo mas baja posible
 - b) La RMG lo mas alta posible
- Los conductores individuales de cada fase lo mas alejados posible
- La distancia entre fases debe ser la mínima posible.



1er Tramo

2do Tramo

3er Tramo

Coefficiente de autoinducción de cada circuito

$h \gg d$

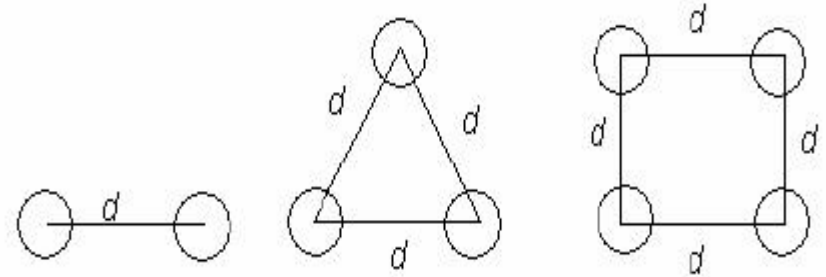
M tiende a cero

$$L = 1 \times 10^{-7} \ln \frac{3\sqrt{2}d}{r'} H / km$$

Inductancia de líneas

Inductancia de conductores agrupados

En voltajes extra altos (EAV), esto es, voltajes por arriba de los 230 kV el efecto corona y sus consecuentes pérdidas de potencia e interferencia en las comunicaciones pueden ser excesivas si el circuito solo tiene un conductor por fase



D_s es el radio ficticio de un conductor

$$D_s^b = \sqrt[4]{(D_s \times d)^2} = \sqrt{D_s \times d}$$

$$D_s^b = \sqrt[3]{(D_s \times d \times d)^3} = \sqrt[3]{D_s \times d^2}$$

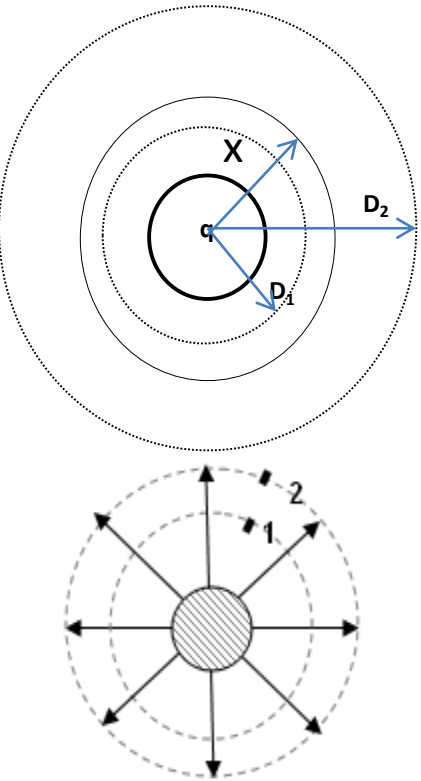
Si se denomina D_s^b el RMG de los conductores agrupados y el D_m el DMG de los conductores que individualmente componen el agrupamiento, se encuentra:

$$D_s^b = \sqrt[16]{(D_s \times d \times d \times \sqrt{2}d)^4} = 1.09 \sqrt[4]{D_s \times d^3}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{DMG}{RMG} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_s^b} \text{ (H / m)}$$

Capacitancia de las líneas de transporte

Conductor largo y recto:



Conductor infinitamente largo alejado de cualquier conductor incluida la tierra

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 x}$$

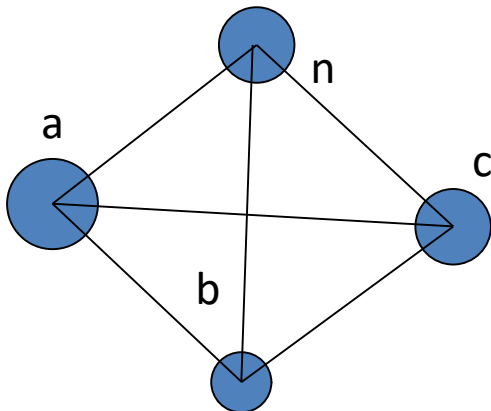
La diferencia de potencial entre dos cilindros desde la posición D_1 a D_2 se define como el trabajo necesario para mover una carga de un Coulomb desde D_2 a D_1 :

$$V_{12} = \int_{D_1}^{D_2} E \cdot dx = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{2\pi\epsilon_0 x} \cdot dx = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_2}{D_1}$$

ϵ_0 La constante dieléctrica del vacío, la que es igual a $8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m

q es la densidad de carga lineal (cul./m)

Diferencia de potencial entre dos conductores de un grupo de conductores en paralelo:

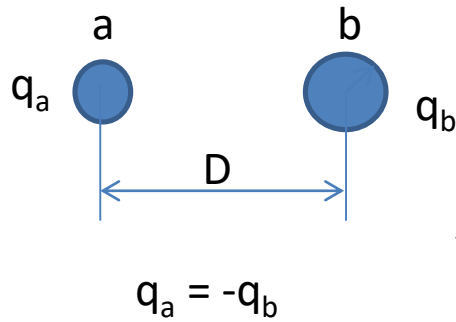


- Conductores suficientemente alejados de tierra
- Radios mucho menores que las distancias

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[q_a \ln \frac{D_{ab}}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D_{ba}} + q_c \ln \frac{D_{cb}}{D_{ca}} + \dots q_n \ln \frac{D_{nb}}{D_{na}} \right] V$$

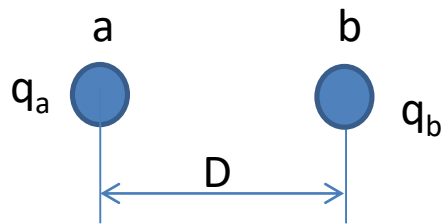
Capacitancia de las líneas de transporte

Capacidad de una línea de dos conductores



$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[q_a \ln \frac{D}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D} \right] V$$

$$V_{ab} = \frac{q_a}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D^2}{r_a r_b} V \quad C_{ab} = \frac{q_a}{V_{ab}} = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D}{\sqrt{r_a r_b}}} = \frac{0,0121}{\log \frac{D}{\sqrt{r_a r_b}}} \mu F / km$$



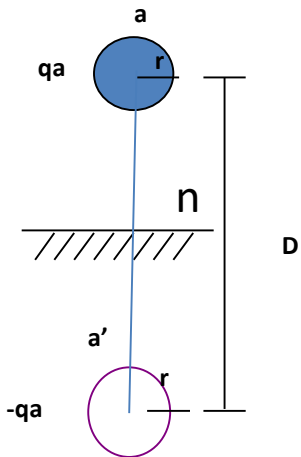
$$I_c = j\omega C_{ab} V_{ab} \text{ A/km}$$

Si $r_a = r_b = r$

$$C_{ab} = \frac{0,0121}{\log \frac{D}{r}} \mu F / km$$

Aplicándolo al sistema a-a', tenemos que, considerando el conductor a aislado, la diferencia de potencial entre el conductor a y a' es:

$$C_{an} = 2C_{ab} = \frac{0,0242}{\log \frac{D}{r}} \mu F / km$$

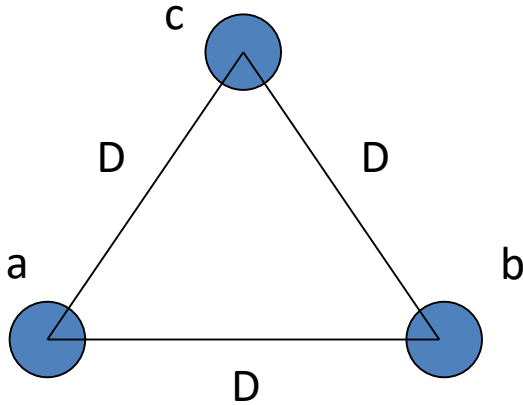


El valor de la **capacitancia** por fase y por Km es:

$$X_C = 1/\omega C_{an}$$

Conductancia o perditancia de las líneas de transporte

Capacidad de una línea trifásica con espaciamento equilateral



$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[q_a \ln \frac{D}{r} + q_b \ln \frac{r}{D} + q_c \ln \frac{D}{D} \right]$$

$$V_{ac} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[q_a \ln \frac{D}{r} + q_b \ln \frac{D}{D} + q_c \ln \frac{r}{D} \right]$$

$$V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[2q_a \ln \frac{D}{r} + (q_b + q_c) \ln \frac{r}{D} \right]$$

$$0 = q_a + q_b + q_c$$

$$V_{ab} + V_{ac} = 3V_{an}$$

$$V_{an} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} q_a \ln \frac{D}{r}$$

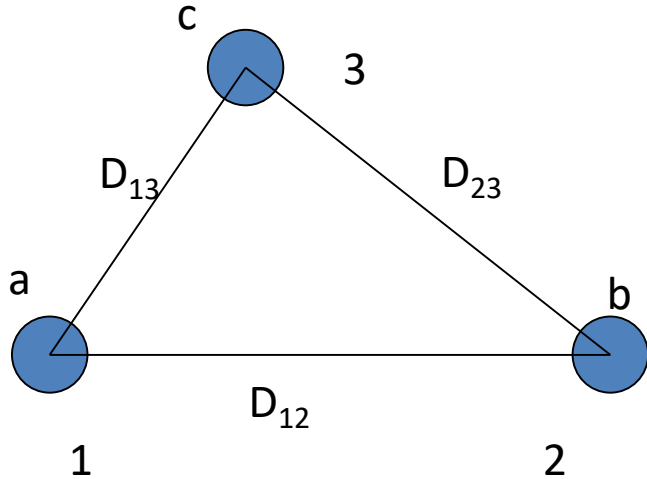
$$C_{an} = \frac{q_a}{V_{an}} = \frac{0.0242}{\log\left(\frac{D}{r}\right)} \mu F / Km$$

$$I_a = j\omega C_{an} V_{an} \text{ A/km}$$

Capacitancia de las líneas de transporte

Capacidad de una línea trifásica con espaciamiento asimétrico

Si se hace transposición



$$C_{an} = \frac{0.0242}{\log\left(\frac{D_{eq}}{r}\right)} \mu F / Km$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} D_{13} D_{23}}$$

- Utilizando el método de las imágenes se observa que el efecto de la tierra es aumentar la capacidad C_n . Si la $h \gg D$ es despreciable el efecto
- También se pueden calcular las capacidades línea a línea C_{ab}

Método GMD (modificado)

Este método de puede utilizar para calcular capacidades de líneas trifásicas en general

- Capacidades: r
- Coeficiente de autoinducción: $r' = 0,7788r$

Conductancia de las líneas de transporte

Es debida a la corriente entre conductores y tierra debida al aislamiento no perfecto

$$p = GV^2 \text{ (kW / km)}$$

$$G = \frac{I}{V} \text{ (siemens)}$$

p es la pérdida de potencia en cada fase de la línea, en un circuito trifásico será 3p.

- G varía mucho según el grado de humedad.
- Con tiempo seco y bien aislada es prácticamente nula.
- G es difícil de calcular.

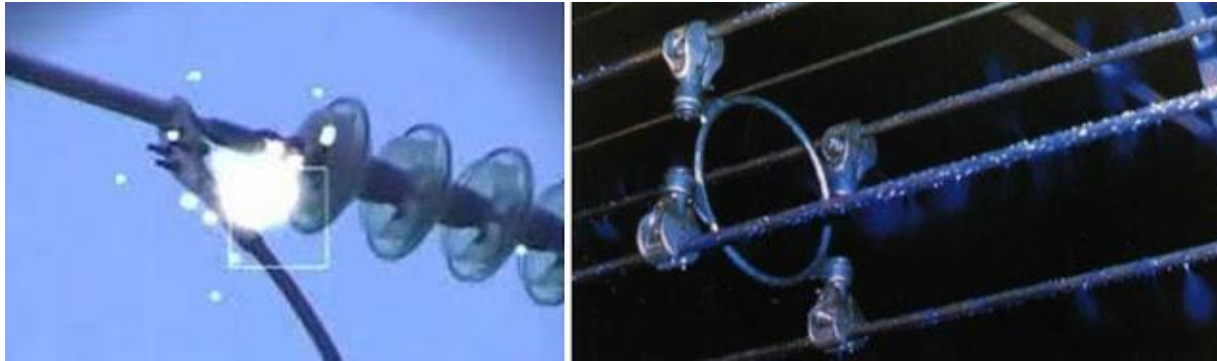
Es función de:

- Tipo de aisladores
- nº de éstos por cadena
- Del tipo de apoyos, de la tensión de línea
- Condiciones metereológicas

Tiempo	p (w)	Conductancia (G)
Seco	1 a 3	1 a 10×10^{-8} S/km
Húmedo	5 a 20	30×10^{-8} S/km

Efecto corona

- Es una descarga, en ocasiones luminosa, debida a la **ionización** del gas que rodea a un conductor en el cual existe un **gradiente de potencial** superior a un determinado valor.
- El **Efecto Corona**, es un fenómeno que se presenta cuando se eleva el potencial de un conductor en el aire hasta valores que sobrepasan la rigidez dieléctrica del aire que rodea al conductor. La forma de apreciar el efecto corona es por luminiscencia o penachos azulados que aparecen alrededor del conductor, como se puede apreciar a continuación



Efectos

- Generación de [luz](#).
- [Ruido](#) audible.
- Ruido de radio (interferencias en radio y TV)
- [Vibración](#) resultante del viento eléctrico.
- Deterioro de los materiales como consecuencia de un bombardeo de [iones](#).
- Generación de [ozono](#), óxidos de [nitrógeno](#) y la presencia de humedad, [ácido nítrico](#).
- Disipación de la [energía](#).

Efecto corona

Tensión crítica disruptiva

$$V_c = 21,2 \cdot \delta \cdot r \cdot \ln \frac{DMG}{RMG} \cdot n \cdot k_r \cdot k_m \cdot k_g$$

- V_c es el **valor de tensión crítica** disruptiva en kV.
- δ es el factor de densidad del aire.
- r es el radio del conductor en centímetros.
- DMG es la distancia media geométrica entre fases.
- RMG es el radio medio geométrico.
- n es el número de conductores por fase.
- k_r es el coeficiente de rugosidad del conductor empleado, cuyo valor suele ser:
 - 1 para conductores nuevos.
 - 0,98 - 0,93 para conductores viejos (con protuberancias).
 - 0,87 - 0,83 para cables formados por hilos.
- k_m es el coeficiente medioambiental, cuyo valor suele ser:
 - 1 cuando el aire es seco.
 - 0,8 para aire húmedo o contaminado.
- k_g es el factor de cableado

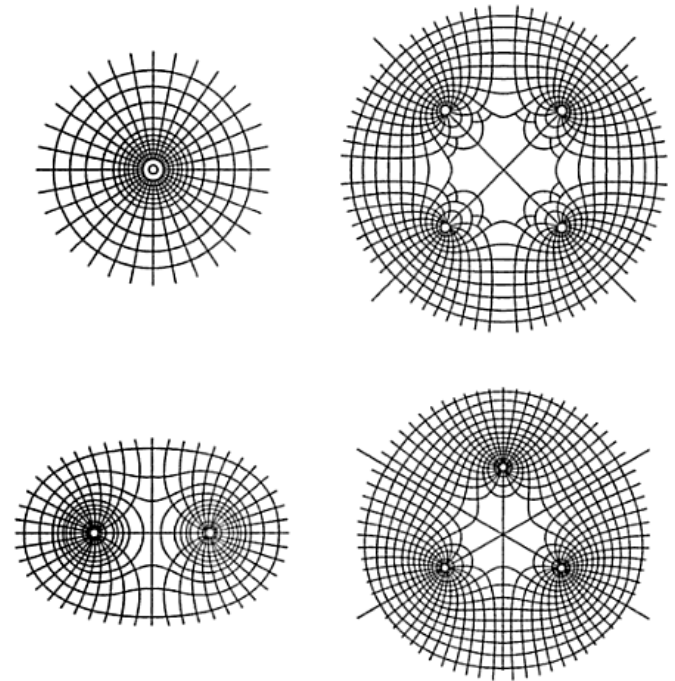


FIGURA 3.31. LÍNEAS DE CAMPO Y POTENCIAL PARA UNO, DOS, TRES Y CUATRO CONDUCTORES POR FASE RESPECTIVAMENTE.

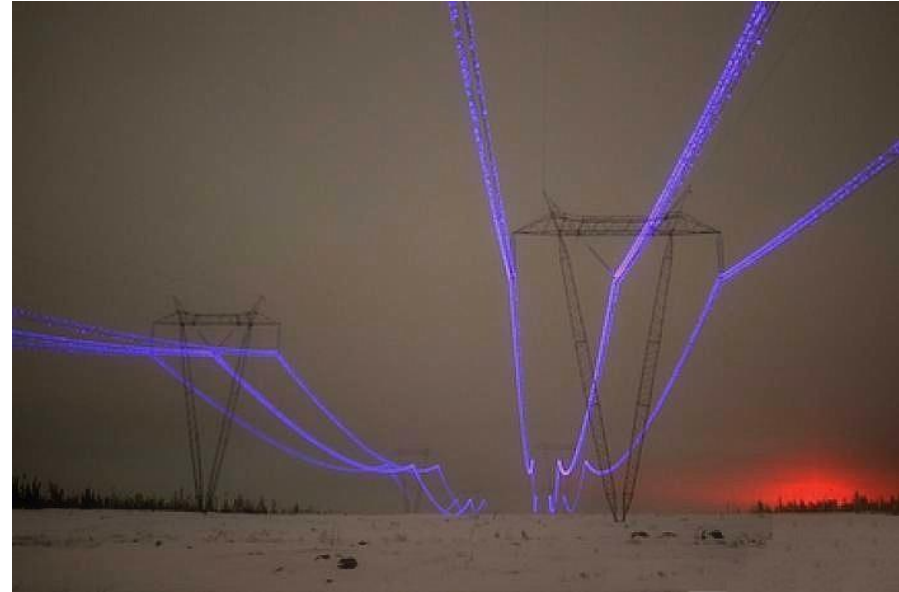
$$\delta = \frac{273 + 20}{273 + T} \cdot \frac{P}{760}$$

Efecto corona

Pérdida de potencia

$$P_c = \frac{244}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{RMG}{DMG}} (V_s - V_c)^2 \cdot 10^{-5}$$

- P_c es la pérdida de potencia en kW/km.
- δ es el factor de densidad del aire.
- f es la frecuencia de la línea en Hz
- DMG es la distancia media geométrica entre fases.
- RMG es el radio medio geométrico.
- V_s es el valor de la tensión fase-neutro (o tensión simple) en kV.
- V_c es el valor de tensión crítica disruptiva en kV

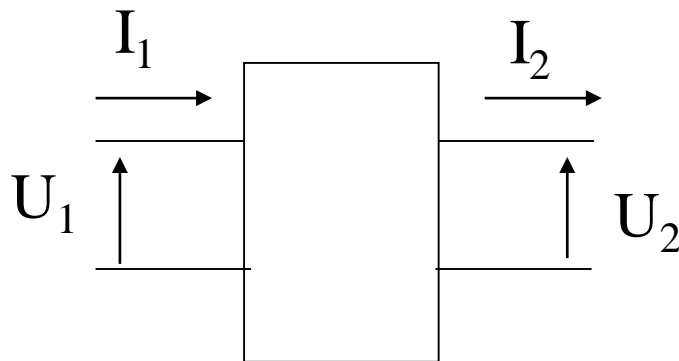
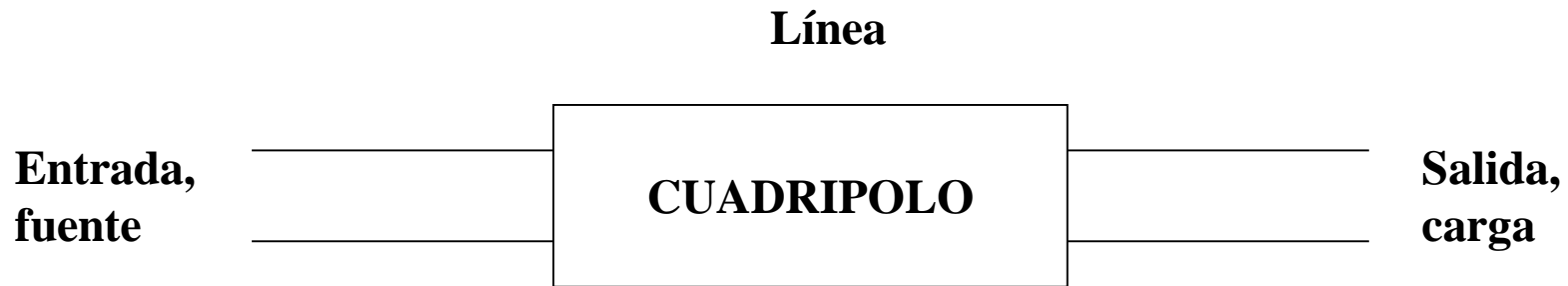


La aparición del efecto corona es función del campo superficial (kV/m), del radio del conductor y de la densidad del aire (Peek)

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Los integrantes pasivos de una red eléctrica se pueden representar por:

- ❑ **Cuadripolos** o redes de dos puertas: transformadores, líneas, etc.
- ❑ **Dipolos** o redes de una puerta: cargas pasivas, simples impedancias, etc.





$$\begin{cases} V_1 = AV_2 + BI_2 \\ I_1 = CV_2 + DI_2 \end{cases}$$


$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Las **constantes auxiliares** de la línea **A, B, C y D** son números complejos y se llaman **parámetros de transmisión**

Lineal  Parámetros eléctricos son independientes de la carga eléctrica y de la corriente eléctrica. Sólo dependen de la geometría de montaje de los conductores y del tamaño y tipo de conductor.

Pasiva  No es fuente de energía eléctrica

Bilateral  Parámetros eléctricos son los mismos vistos desde cualquier par de terminales.

$$AD - BC = 1$$

$$A = D$$

Solo se necesitan 3 parámetros para que quede determinado el cuadripolo

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

Es invertible

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D & -B \\ -C & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix}$$

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Representación de una red trifásica mediante cuadripolos

- En una red trifásica equilibrada, las impedancias que aparecen en las distintas fases son iguales entre sí.
- La representación de una única fase es suficiente para describir la red.
- Cuando se representa una red trifásica por un cuadripolo se está trabajando por fase.
- Los 2 terminales de cada lado del cuadripolo son una fase y el neutro del sistema (las tensiones son la simples (estrella) y las corrientes son de línea).

El funcionamiento de un cuadripolo queda totalmente determinado si sus terminales están conectadas a determinadas tensiones, desfasadas entre sí en un determinado ángulo.

$$\begin{cases} \mathbf{V}_1 = \mathbf{A}\mathbf{V}_2 + \mathbf{B}\mathbf{I}_2 \\ \mathbf{I}_1 = \mathbf{C}\mathbf{V}_2 + \mathbf{D}\mathbf{I}_2 \end{cases}$$

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

- **Línea corta**

- Longitud menor de 100 km
- Parámetros concentrados
- Capacitancia despreciable

- **Línea media**

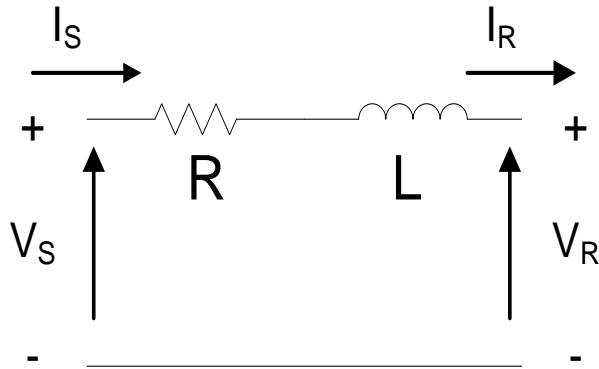
- Longitud mayor que 100 km y menor que 240 km
- Parámetros concentrados
- Capacitancia no despreciable

- **Línea larga**

- Longitud mayor que 240 km
- Parámetros concentrados sólo en casos especiales y para longitudes menores de 320 km
- **Parámetros distribuidos**

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Línea corta (menor 100 km)



$$|V_S| \cong |V_R| + |I|(R \cos \phi_R + X_L \text{sen} \phi_R)$$

Regulación de tensión

$$\text{Regulacion} = \frac{|V_{R0}| - |V_{RL}|}{|V_{RL}|} \times 100$$

$$Z = R + j\omega L$$

$$I_S = I_R = I$$

$$V_S = V_R + ZI_R$$

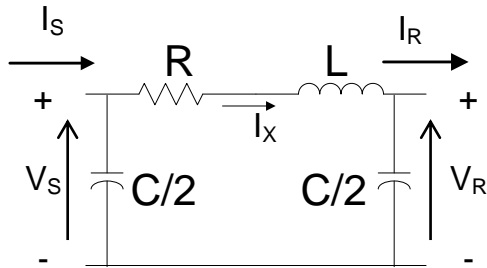
$$\text{Regulacion} = \frac{|V_S| - |V_R|}{|V_R|} \times 100$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\text{Regulacion} = \frac{|I|(R \cos \phi_R + X_L \text{sen} \phi_R)}{|V_R|} \times 100$$

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Línea media mayor que 100 km y menor que 250 km



Modelo π

$$Z = R + jwL \quad Y = jwC$$

$$V_S = V_R + Z \cdot I_X$$

$$I_X = I_R + V_R \left(\frac{Y}{2} \right)$$

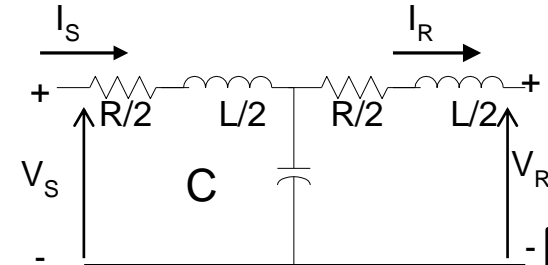
$$V_S = V_R + Z \left(I_R + \frac{V_R Y}{2} \right) = \left(\frac{ZY}{2} + 1 \right) V_R + Z I_R$$

$$I_S = I_X + V_S \frac{Y}{2} = V_R Y \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) + \left(\frac{ZY}{2} + 1 \right) I_R$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

donde

$$A = D = 1 + \frac{ZY}{2} \quad B = Z \quad C = Y \left(1 + \frac{ZY}{4} \right)$$



Modelo T

$$Z = R + jwL \quad Y = jwC$$

$$V_c = V_R + I_R \frac{Z}{2}$$

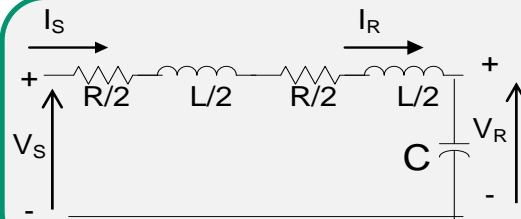
$$I_S = I_R + Y V_c$$

$$V_S = V_c + I_s \frac{Z}{2}$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

donde

$$A = D = 1 + \frac{ZY}{2} \quad B = Z \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) \quad C = Y$$



$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + YZ & Z \\ Y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Línea larga

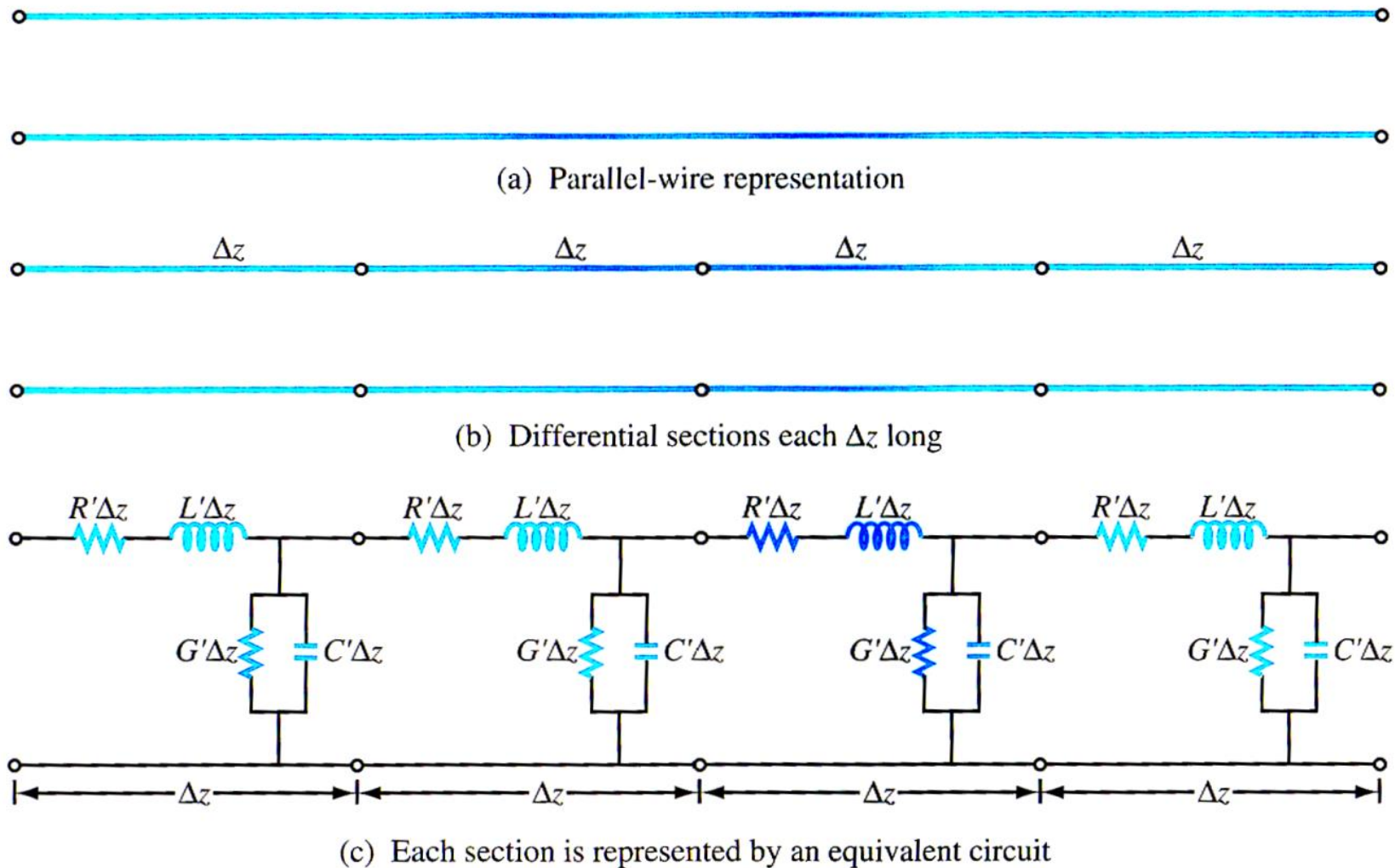


Figure 2-6: Regardless of its actual shape, a TEM transmission line is represented by the parallel-wire configuration shown in (a). To analyze the voltage and current relations, the line is subdivided into small differential sections (b), each of which is then represented by an equivalent circuit (c).

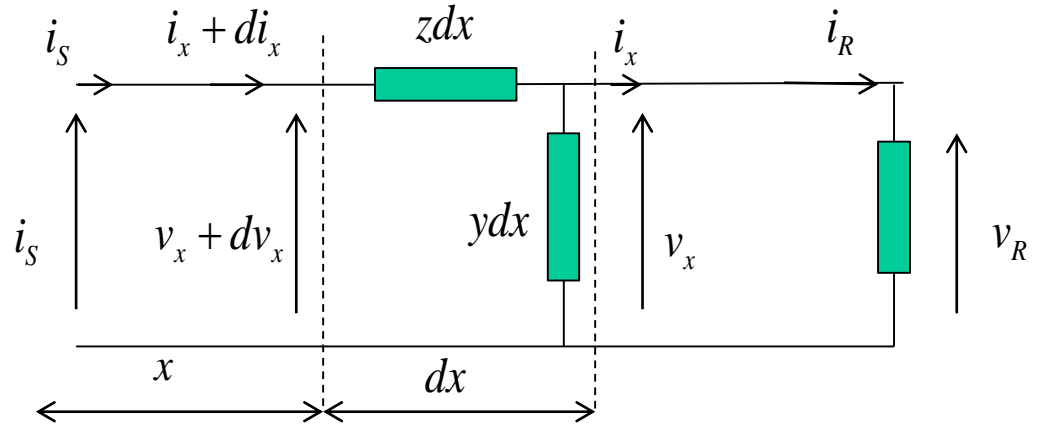
Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Línea larga

Supuesto régimen variable

$$v = f(x, t)$$

$$i = f(x, t)$$



$$dv = irdx + L \frac{\partial i}{\partial t} dx$$

$$di = vgdx + C \frac{\partial v}{\partial t} dx$$

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = rgv + (rC + Lg) \frac{\partial v}{\partial t} + LC \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = rgi + (rC + Lg) \frac{\partial i}{\partial t} + LC \frac{\partial^2 i}{\partial t^2}$$

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Línea larga

Supuesto régimen permanente sinusoidal

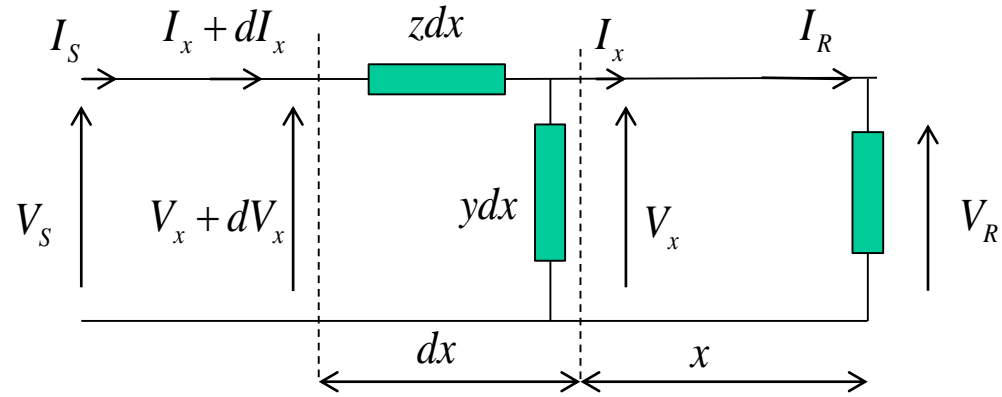
$$dV_x = I_x z dx$$

$$dI_x = V_x y dx$$

$$\frac{d^2 V_x}{dx^2} = yz V_x$$

$$\gamma = \sqrt{yz}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{z}{y}}$$



$$V_x = V_R \operatorname{ch} \gamma x + I_R Z_0 \operatorname{sh} \gamma x$$

$$I_x = \frac{V_R}{Z_0} \operatorname{sh} \gamma x + I_R \operatorname{ch} \gamma x$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{ch} \gamma l & Z_0 \operatorname{sh} \gamma l \\ \frac{1}{Z_0} \operatorname{sh} \gamma l & \operatorname{ch} \gamma l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$V_x = C_1 e^{\gamma x} + C_2 e^{-\gamma x} = \left(\frac{V_R + Z_0 I_R}{2} \right) e^{\gamma x} + \left(\frac{V_R - Z_0 I_R}{2} \right) e^{-\gamma x}$$

$$I_x = \frac{C_1}{Z_0} e^{\gamma x} - \frac{C_2}{Z_0} e^{-\gamma x} = \left(\frac{V_R / Z_0 + I_R}{2} \right) e^{\gamma x} - \left(\frac{V_R / Z_0 - I_R}{2} \right) e^{-\gamma x}$$

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

$$\phi_1 = \text{fase}(V_R + Z_0 I_R)$$

$$\phi_2 = \text{fase}(V_R - Z_0 I_R)$$

$$V_x(x,t) = \text{Re} \sqrt{2} \left(\left| \frac{V_R + Z_0 I_R}{2} \right| \right) e^{\alpha x} e^{j(\omega t + \beta x + \phi_1)} + \text{Re} \sqrt{2} \left(\left| \frac{V_R - Z_0 I_R}{2} \right| \right) e^{-\alpha x} e^{-j(\omega t - \beta x + \phi_2)}$$

$$V_x(x,t) = V_{x1}(x,t) + V_{x2}(x,t)$$

$$V_{x1}(x,t) = \sqrt{2} \left(\left| \frac{V_R + Z_0 I_R}{2} \right| \right) e^{\alpha x} \cos(\omega t + \beta x + \phi_1)$$

$$V_{x2}(x,t) = \sqrt{2} \left(\left| \frac{V_R - Z_0 I_R}{2} \right| \right) e^{-\alpha x} \cos(\omega t - \beta x + \phi_2)$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \text{ (m)}$$

$$v = \lambda f$$

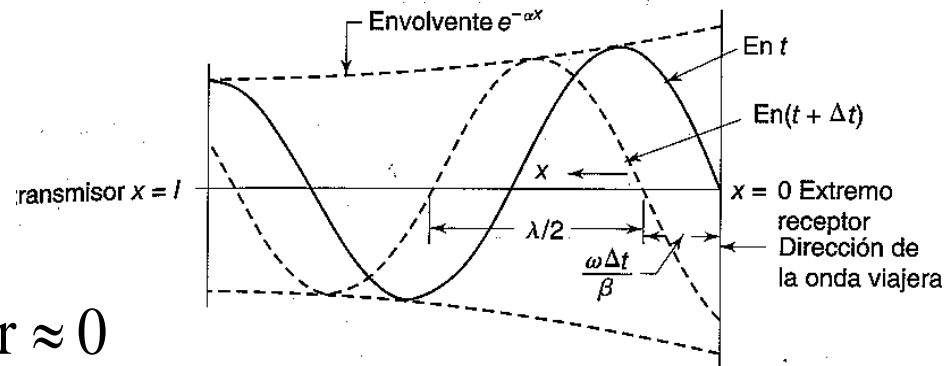
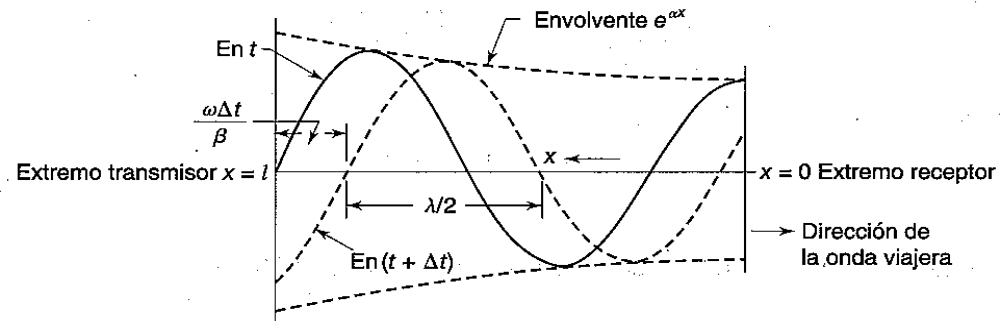
Si $g \approx 0$ y $r \ll \omega L$

Si $g \approx 0$ y $r \approx 0$

$$\alpha \approx \frac{r}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$\beta \approx \omega \sqrt{LC}$$

$$v = \lambda f = \frac{1}{\sqrt{LC}} \cong \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \approx 300000 \text{ km/s} \quad \lambda = 6000 \text{ km}$$



Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

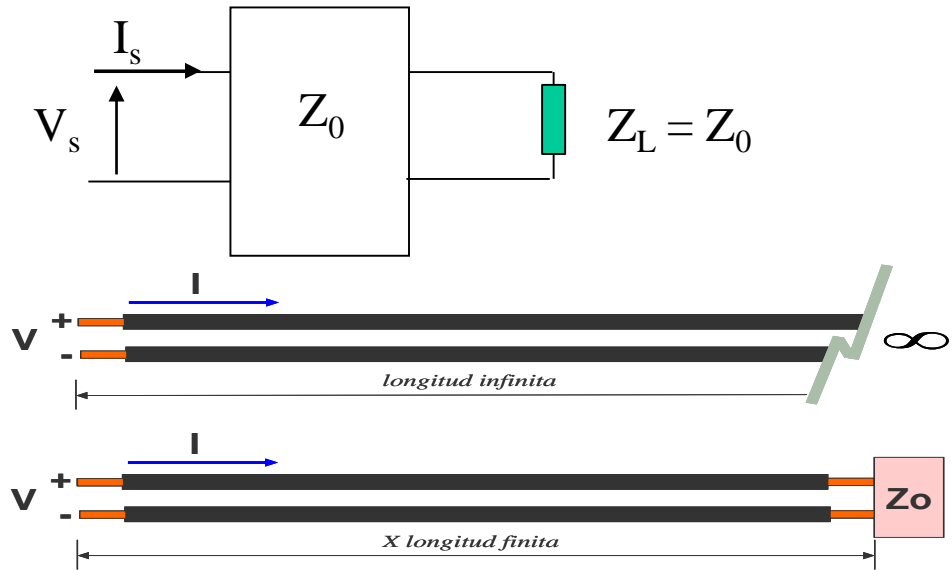
Impedancia característica de la línea

La **impedancia característica** de una línea de transmisión es el valor de la relación entre el voltaje y la corriente en la línea si ésta es de longitud infinita o tiene conectada en su terminal una impedancia igual a su impedancia característica. Depende de sus parámetros eléctricos.

$$Z_0 = \frac{V_s}{I_s}$$

$$Z_0 = f(r, L, C, g, \omega)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{r + j\omega L}{g + j\omega C}}$$



Si r y g son muy pequeñas (línea de bajas pérdidas) o la frecuencia es muy grande:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

La **impedancia característica** es una cantidad constante, sin depender de la frecuencia de la señal que se propague por la línea

Líneas aéreas $Z_0 = 400 \div 800 \Omega$

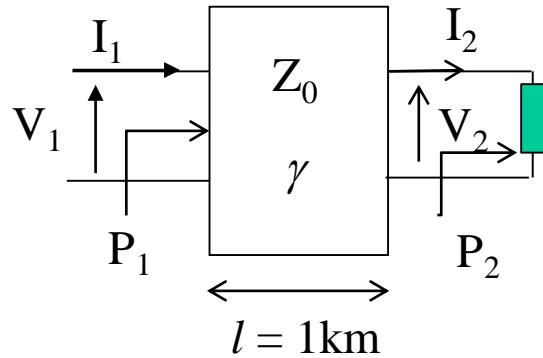
Líneas subterráneas $Z_0 = 40 \div 80 \Omega$

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Constante de propagación de una línea

Cuando la línea está cargada con su impedancia característica $Z_L = Z_0$

Constante de propagación γ de una línea (por km)



$$Z_L = Z_0$$

$$\gamma = \ln \frac{V_1}{V_2} = \ln \frac{I_1}{I_2} \quad e^{2\gamma} = \frac{V_1}{V_2} \frac{I_1}{I_2}$$

$$\gamma = f(r, L, C, g, \omega)$$

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

$$\alpha = \ln \frac{|V_1|}{|V_2|} = \ln \frac{|I_1|}{|I_2|}$$

α = constante de atenuación (nepers/km)

β = constante de desfase (rad/km) (0 a -15°) en líneas aéreas

$$\beta = \phi_{V_1} - \phi_{V_2} = \phi_{I_1} - \phi_{I_2}$$

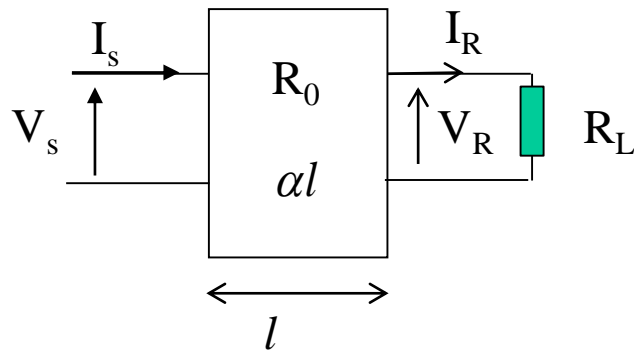
También se verifica que por km:

$$\alpha = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2}$$

Si la línea no tiene pérdidas $\alpha = 0$

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Línea de larga en corriente continua



$$\frac{d^2 V_x}{dx^2} = gr V_x$$

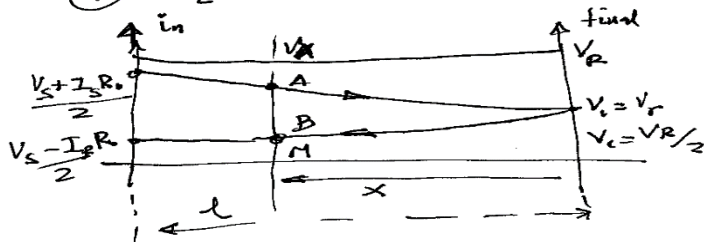
$$V_x = \left(\frac{V_R + R_0 I_R}{2} \right) e^{\alpha x} + \left(\frac{V_R - R_0 I_R}{2} \right) e^{-\alpha x}$$

$$I_x = \frac{I_R + V_R/R_0}{2} e^{\alpha x} + \frac{I_R - V_R/R_0}{2} e^{-\alpha x}$$

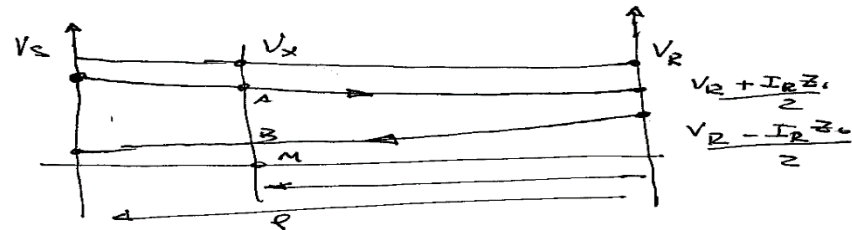
$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch } \alpha l & R_0 \text{sh } \alpha l \\ \frac{1}{R_0} \text{sh } \alpha l & \text{ch } \alpha l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

Casos

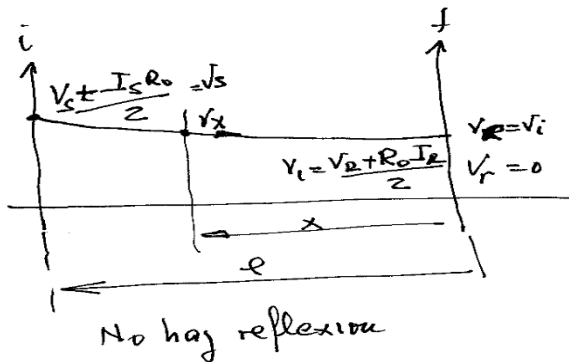
① $R_L = \infty$ (circuito abierto, vacío)



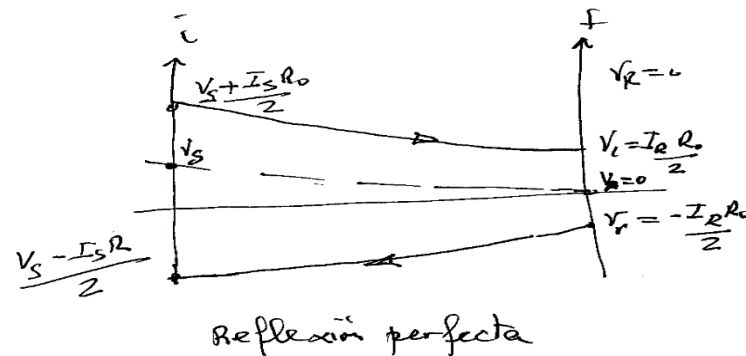
② Línea $R_L \neq R_0$ $R_L > R_0$



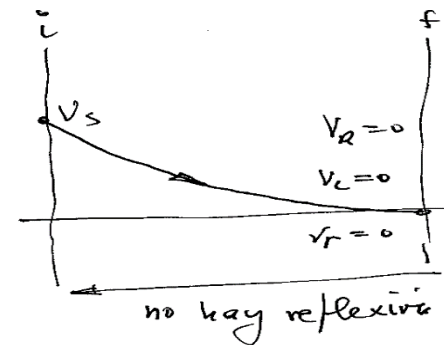
③ Línea $R_L = R_0$ (adaptado)



④ Línea EN CORTO ($R_L = 0$)

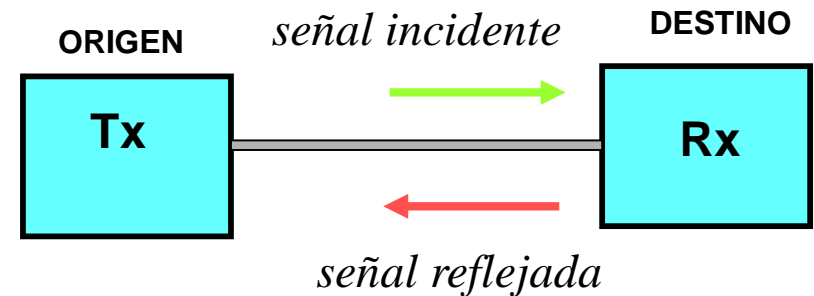
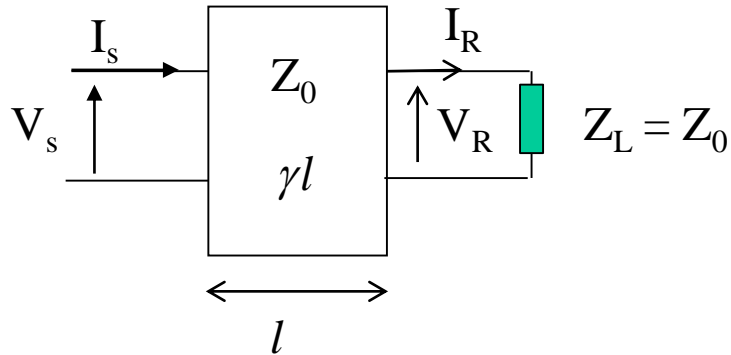


⑤ Línea de longitud ∞



Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Señales Reflejadas en una Línea

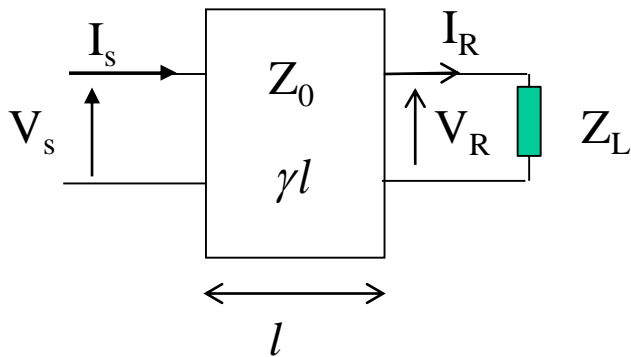


- Al final de una línea de transmisión se encuentra conectado un dispositivo (receptor, impedancia de carga, etc.) cuyo valor de impedancia de entrada, Z_L , puede ser igual o diferente al valor de la impedancia característica de la línea de transmisión (Z_0).
- Si Z_L es igual a Z_0 , toda la energía contenida en la señal se transfiere al dispositivo que se encuentra conectado en su extremo. Si Z_L es diferente a Z_0 parte de la energía es transferida a la carga y parte regresa a la línea.
- Bajo ciertas circunstancias toda la energía puede ser reflejada, hacia la línea.

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Potencia Reflejada en una Línea

El módulo de la tensión reflejada, depende de la diferencia entre la impedancia característica de la línea, Z_0 y la impedancia que esta tenga conectada en su extremo final, Z_L :



$$\rho = \frac{V_{reflejado}}{V_{incidente}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \text{coeficiente de reflexion}$$

Al existir reflexiones en la línea, la potencia que se refleja está dada por:

$$P_{reflejada} = \rho^2 P_{incidente}$$

Mientras que la potencia que si se transmite hasta la carga es:

$$P_{transmitid} = (1 - \rho^2) P_{incidente}$$

Modelo eléctrico de las líneas de transporte y distribución

Atenuación de la Potencia por Desacoplo

La diferencia entre la impedancia característica de la línea, Z_0 , y la impedancia que esta tenga conectada en su extremo final, Z_L , denominada también como desacoplo de impedancias, origina por lo tanto una pérdida de potencia.

La atenuación sufrida por el desacoplo es:

$$a = \frac{P_{transmitida}}{P_{incidente}} = (1 - \rho^2) \qquad a_{dB} = -10 \log(1 - \rho^2)$$

Efectos de la Reflexión de Potencia en una Línea

- *La potencia reflejada viaja en dirección hacia el transmisor, fuente de la señal, con riesgo de hacerla disipar mayor energía que para la cual está diseñado.*
- *A lo largo de la línea se suman las señales que inciden hacia la carga y las señales que se reflejan, produciendo una señal resultante cuya forma de onda presenta deformidades, distorsión.*
- *La potencia que es reflejada no es entregada a la carga, lo cual origina una pérdida adicional a la sufrida por la señal al propagarse por la línea.*

Cálculos eléctricos en líneas aéreas de A.T.

Régimen eléctrico de funcionamiento

- Se realizarán los **cálculos eléctricos** de la línea para los distintos regímenes de funcionamiento previstos, poniéndose claramente de manifiesto los **parámetros eléctricos de la línea, las intensidades máximas, caídas de tensión y pérdidas de potencia.**

Capacidad de la corriente en los conductores

- Se adoptará el sistema de cálculo conveniente entre los expuestos y se seguirán los condicionamientos exigidos para el mejor funcionamiento de la línea.

Densidad admisible

- Las densidades de corriente máximas en régimen permanente no sobrepasarán los valores señalados en la tabla
- Para los demás conductores (cableados y de otro tipo) se seguirá la **ITC-07 LAT**

Intensidad máxima admisible

Se realizará un estudio de corrientes bajo distintas condiciones y se reflejará en el proyecto

Se seguirán las instrucciones de la **ITC-07 LAT**

Sección nominal mm ²	Densidad de corriente A/mm ²		
	Cobre	Aluminio	Aleación de aluminio
10	8,75		
15	7,60	6,00	5,60
25	6,35	5,00	4,65
35	5,75	4,55	4,25
50	5,10	4,00	3,70
70	4,50	3,55	3,30
95	4,05	3,20	3,00
125	3,70	2,90	2,70
160	3,40	2,70	2,50
200	3,20	2,50	2,30
250	2,90	2,30	2,15
300	2,75	2,15	2,00
400	2,50	1,95	1,80
500	2,30	1,80	1,70
600	2,10	1,65	1,55

Cálculos eléctricos en líneas aéreas de A.T.

Intensidad de cortocircuito

La línea aérea **deberá ser diseñada y construida**, para resistir sin dañarse los efectos mecánicos y térmicos, debidos a las intensidades de cortocircuito recogidas en las especificaciones del proyecto

El cortocircuito puede ser:

- **trifásico**
- **fase a fase**
- **fase simple a tierra**
- **fase doble a tierra**

Los valores típicos para la **duración de un cortocircuito**, a tener en cuenta para el diseño son:

- conductores de fase y cables de tierra 0,5 s
- herrajes y accesorios de línea 1,0 s

- El proyectista deberá tener en cuenta **la duración real**, la cual depende del tiempo de respuesta del sistema de protección de la línea aérea, **que puede ser más larga o corta** que los valores típicos anteriormente indicados
- Los métodos de cálculo de las corrientes de cortocircuito en las redes trifásicas de corriente alterna se dan en la norma **UNE-EN 60909** y los métodos de cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito son dados en la norma **UNE-EN 60865-1**
- Alternativamente, se pueden recoger otros métodos de cálculo en las especificaciones del proyecto.

Cálculos eléctricos en líneas aéreas de A.T.

Efecto corona y perturbaciones radioeléctricas (LAT)

- **Será preceptiva** la comprobación del comportamiento de los conductores al efecto corona en las líneas de **tensión nominal superior a 66 kV**
- Asimismo, en aquellas líneas de tensión nominal entre **30 kV y 66 kV**, ambas inclusive, que puedan estar próximas al límite inferior de dicho efecto, deberá realizarse la citada comprobación
- El **proyectista justificará**, con arreglo a los conocimientos de la técnica, los límites de los valores de la intensidad del campo en conductores, así como en sus accesorios, herrajes y aisladores que puedan ser admitidos en función de la densidad y proximidad de los servicios que puedan ser perturbados en la zona atravesada por la línea
- Comprobación de las **pérdidas por el efecto corona**

Cálculos eléctricos en líneas aéreas de A.T.

Coordinación de aislamiento LAT

- La coordinación de aislamiento **comprende la selección de la rigidez dieléctrica de los materiales**, en función de las tensiones que pueden aparecer en la red a la cual estos materiales están destinados y teniendo en cuenta las condiciones ambientales y las características de los dispositivos de protección disponibles.
- **La rigidez dieléctrica de los materiales se considera aquí en el sentido de nivel de aislamiento normalizado.**
- Los principios y reglas de la coordinación de aislamiento son descritos en las normas **UNE-EN 60071-1** y **UNE-EN 60071-2**. El procedimiento para la coordinación de aislamiento consiste en la selección de un conjunto de tensiones soportadas normalizadas, las cuales caracterizan el nivel aislamiento.
- **Los niveles de aislamiento normalizados mínimos correspondientes a la tensión más elevada de la línea, tal como ésta ha sido definida en el apartado 1.2 de esta instrucción, serán los reflejados en las tablas 12 y 13.**
- Estas tablas especifican las tensiones soportadas normalizadas U_w para las gamas I y II. En ambas tablas, las tensiones soportadas normalizadas están agrupadas en niveles de aislamiento normalizados asociados a los valores de la tensión más elevada del material U_m .

Tabla 12. Niveles de aislamiento normalizados para la gama I (1 kV ≤ 245 kV)

Tensión más elevada para el material U _m kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada de corta duración a frecuencia industrial kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada los impulsos tipo rayo kV(valor de cresta)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52	95	250
72,5	140	325
123	(185) 230	450 550
145	(185) 230 275	(450) 550 650
170	(230) 275 325	(550) 650 750
245	(275) (325) 360 395 460	(650) (750) 850 950 1 050

Tabla 13. Niveles de aislamiento normalizados para la gama II (U_m > 245 kV)

Tensión más elevada para el material U _m kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo maniobra			Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo rayo (NOTA 2) KV (valor de cresta)
	Aislamiento longitudinal (nota 1) kV (valor de cresta)	Fase-tierra kV (valor de cresta)	Entre fases (relación al valor de creta fase-tierra)	
420	850	850	1,60	1 050 1 175
	950	950	1,50	1 175 1 300
	950	1 050	1,50	1 300 1 425

Cálculos eléctricos en líneas aéreas de A.T.

Coordinación de aislamiento LAT

- En la **gama I**, las tensiones soportadas normalizadas incluyen la tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial y la tensión soportada a impulso tipo rayo. En la **gama II**, las tensiones soportadas normalizadas incluyen la tensión soportada a impulso tipo maniobra y la tensión soportada a impulso tipo rayo.
- Para otros valores de la tensión más elevada que no coincidan con los reflejados en la tabla se seguirá lo indicado en las Normas **UNE-EN 60071-1 y UNE-EN 60071-2**.
- En el caso de proyectarse líneas a una tensión superior a las incluidas en esta tabla, para la fijación de los niveles de aislamiento se deberá seguir lo indicado en las normas UNE-EN 60071-1 y UNE-EN 60071-2.
- **La tensión permanente a frecuencia industrial y las sobretensiones temporales determinan la longitud mínima necesaria de la cadena de aisladores. La forma de los aisladores se seleccionará en función del grado de polución en la zona por donde discurre la línea.**
- **En redes con neutro puesto directamente a tierra, con factores de defecto a tierra de 1,3 y menores, es normalmente suficiente diseñar los aisladores para que resistan la tensión fase a tierra más elevada de la red.** Para coeficientes de falta a tierra más altos, y especialmente en redes con neutro aislado o puestos a tierra mediante bobina de compensación, puede ser necesario considerar las sobretensiones temporales.
- La tensión soportada de coordinación para las tensiones permanentes a frecuencia industrial es igual a la tensión más elevada de la red para aislamiento entre fases e igual a esa misma tensión dividida por raíz de tres para el aislamiento fase a tierra.
- La tensión soportada de coordinación de corta duración a frecuencia industrial es igual a la sobretensión temporal representativa, siempre que se utilice un método determinista para el estudio de coordinación de aislamiento según norma **UNE-EN 60071-2**.

Cálculos eléctricos en redes subterráneas de A.T.

Determinación del conductor a utilizar es necesario determinar:

- **Tipo de Cable**

Tipo de aislante, precio, etc.

- **Tensión nominal del cable:** La tensión nominal de un cable de MT se indica con las tensiones U_0/U , siendo U_0 la tensión entre una fase y la envoltura metálica o tierra, U la tensión entre las fases de un sistema trifásico. La determinación se realiza según la Categoría de la Red.

- **Sección:**

- **Intensidad nominal permanente**
- **I_{cc} máxima** que soporta el cable
- **Intensidad máxima de cortocircuito I_{cc} defecto Fase - Tierra** que soporta el fleje del cable.
- **Caída de tensión**
- **Pérdida de potencia**

Tabla 1. Tensiones nominales normalizadas

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED (U_n) kV	TENSIÓN MAS ELEVADA DE LA RED (U_s) kV
3	3,6
6	7,2
10	12
15	17,5
20*	24
25	30
30	36
45	52
66*	72,5
110	123
132*	145
150	170
220*	245
400*	420

Cálculos eléctricos en redes subterráneas de A.T.

Categorías de la Red

En función del sistema de protecciones **por faltas a tierra** las redes se clasifican en las siguientes categorías:

- **Categoría A:** Categoría en la que los defectos a tierra se eliminan tan rápidamente como sea posible y en cualquier caso antes de 1 minuto.
- **Categoría B:** Esta categoría comprende las redes que, en caso de defecto, solo funcionan con una fase a tierra durante un tiempo limitado. Generalmente la duración de este funcionamiento no debería exceder de 1 hora, pero podrá admitirse una duración mayor cuando se especifique en la norma particular del tipo de cable considerado.
- **Nota** - En una red en la que un defecto a tierra no se elimina automática y rápidamente, los esfuerzos dieléctricos suplementarios soportados por el aislamiento de los cables durante la duración del defecto, reducen la vida de los mismos en una cierta proporción. Si se prevé que una red va a funcionar frecuentemente con un defecto permanente, puede ser recomendable clasificar dicha red dentro de la categoría C siguiente.
- **Categoría C:** Esta categoría comprende todas las demás redes.

Tabla 2. Niveles de aislamiento de los cables y sus accesorios

Tensión nominal de la red U_n	Tensión más elevada de la red U_s kV	Categoría de la red	Características mínimas del cable y accesorios	
			$U_o/U \text{ ó } U_o$ kV	U_p kV
3	3,6	A-B	1,8/3	45
		C	3,6/6	60
6	7,2	A-B		
		C		
10	12	A-B	8,7/15	95
		C		
15	17,5	A-B	12/20	125
		C		
20	24	A-B	15/25	145
		C		
25	30	A-B	18/30	170
		C		
30	36	A-B	26/45	250
		C		
45	52	A-B		
66	72,5	A-B	36	(1)
110	123	A-B	64	(1)
132	145	A-B	76	(1)
150	170	A-B	87	(1)
220	245	A-B	127	(1)
400	420	A-B	220	(1)

1) El nivel de aislamiento a impulsos tipo rayo se determinará conforme a los criterios de coordinación de aislamiento establecidos en la norma UNE-EN 60071-1.

Cálculos eléctricos en redes subterráneas de A.T.

Donde:

Se definen las siguientes **Tensiones propias del cable y sus accesorios**.

- U_o = **tensión nominal eficaz a frecuencia industrial**, entre cada conductor y la pantalla o la cubierta, para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.
- U = **tensión nominal eficaz a frecuencia industrial**, entre dos conductores cualquiera, para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.
- U_p = **valor de cresta de la tensión soportada a los impulsos de tipo rayo**, aplicada entre cada conductor y la pantalla o la cubierta, para el que se han diseñado el cable y sus accesorios.
- U_m = **tensión máxima eficaz a frecuencia industrial**, entre fases, que podrá soportar en forma permanente el cable aislado, y que definirá la clase de tensión del cable

Cálculos eléctricos en redes subterráneas de A.T.

INTENSIDADES ADMISIBLES

- En el **momento de la selección** hay que considerar criterios que garanticen una vida satisfactoria a los cables eléctricos sometidos a los efectos térmicos producidos por la circulación de corrientes de valores iguales a las capacidades de conducción de corriente respectivas, durante períodos prolongados en **servicio normal**.
- Otras consideraciones:
 - Protección contra choques eléctricos (por contacto directo e indirecto),
 - Protección contra efectos térmicos,
 - Protección contra sobre corrientes,
 - Caída de tensión, así como las temperaturas límites para los terminales de equipamientos a los cuales los conductores son conectados.
- Para **el cálculo de la capacidad de corriente de un cable**, se seguirán en general los métodos reconocidos por las norma **UNE 21144** y por la **ITC LAT 06**
- Para esto, se considerará en el **Proyecto** el método de instalación a implementar en el montaje que se disponga para la instalación.

Cálculos eléctricos en redes subterráneas de A.T.

INTENSIDADES ADMISIBLES

- Para el cálculo de la capacidad de corriente de un cable, se seguirán en general los métodos reconocidos por la norma **UNE 21144**
- Para esto, se considerará en el Proyecto el método de instalación a implementar en el montaje que se disponga para la instalación
- La corriente transportada por cualquier conductor durante períodos prolongados en funcionamiento normal, debe ser tal que no se sobrepase la temperatura **máxima en servicio continuo** indicada en para cada tipo de conductor (**PVC, HEPR, EPR, XLPE**)
- La capacidad de conducción de corriente debe ser determinada de acuerdo a los criterios de las normas referidas anteriormente. En cada caso deberá considerarse las características de carga y, para los cables subterráneos, la resistividad térmica del suelo.
- La **capacidad de corriente escogida**, deberá ser ajustada con los valores de corrección que sean necesarios aplicar en la instalación a considerar.

Cálculos eléctricos en redes subterráneas de A.T.

Tabla 5. Cables aislados con aislamiento seco Temperatura máxima, en ° C, asignada al conductor

Tipo de aislamiento seco	Condiciones	
	Servicio Permanente θ_s	Cortocircuito θ_{cc} ($t \leq 5$ s)
Policloruro de vinilo (PVC)* $S \leq 300 \text{ mm}^2$ $S > 300 \text{ mm}^2$	70	160
	70	140
Polietileno reticulado(XLPE)	90	250
Etileno Propileno (EPR)	90	250
Etileno Propileno de alto módulo (HEPR)	105 para $U_o/U \leq 18/30 \text{ kV}$ 90 para $U_o/U > 18/30 \text{ kV}$	250

* Solo para instalaciones de tensión asignada hasta 6 kV

Cálculos eléctricos en redes subterráneas de A.T.

CONDICIONES DEL ENTORNO DE LA INSTALACIÓN

Temperatura ambiente

- El valor de la temperatura a utilizar es el de la temperatura del medio circundante cuando el cable o conductor considerado no esté cargado (corriente nula).
- Las **temperaturas normales** a considerar para el cálculo de la capacidad de corriente del cable son :
 - - Para cable **enterrado directamente en el suelo o en conductos enterrados: 25 °C**
 - - Para cualquier otra forma de instalación: **30 °C**
- Estos valores deberán ser **corregidos** adecuadamente de acuerdo a las condiciones particulares de la instalación donde sean utilizados, siguiendo los criterios de norma, y cuando estos no existan, los criterios garantizados por el fabricante del cable.
- Se deberán tener en consideración **otras fuentes de calor cercanas** que puedan afectar la capacidad de corriente del cable, como ser instalaciones de calefacción, etc.

Cálculos eléctricos en redes subterráneas de A.T.

CONDICIONES DEL ENTORNO DE LA INSTALACIÓN

Resistividad térmica del terreno

- El cálculo de la capacidad de corriente de los cables, se realizará en condiciones normales, teniendo en cuenta un valor de la resistividad térmica del terreno de **1,5 °K.m/W**. Se deberá ajustar éste valor de acuerdo a las condiciones propias de cada instalación, siguiendo los valores sugeridos por norma.

Proximidad con otros circuitos.

- **Agrupamiento de circuitos.** Los factores de corrección especificados en las normas, son aplicables a grupos de cables con la misma temperatura máxima para servicio continuo. Para grupos conteniendo cables con diferentes temperaturas máximas para servicio continuo, la capacidad de conducción de corriente de todos los cables del grupo debe ser basada en la menor de las temperaturas máximas para servicio continuo de cualquier cable del grupo, afectada por el factor de corrección adecuado.
- **Conductores en paralelo.** Cuando dos o más conductores son utilizados en paralelo sobre una misma fase o polaridad, deben tomarse medidas que garanticen que la corriente se reparta igualmente entre ellos.
- **Variaciones de las condiciones de instalación dentro de un mismo recorrido.**
- Cuando los conductores y cables son instalados en un recorrido, a lo largo del cual las condiciones de disipación del calor varían, las capacidades de conducción de corriente deben ser determinadas para el sector del recorrido que presenta las condiciones más desfavorables.

Cálculos eléctricos en redes subterráneas de A.T.

A los efectos de determinar la intensidad máxima admisible, se considerará una instalación tipo con cables de aislamiento seco hasta 18/30 kV formada por un terno de cables unipolares directamente enterrado en toda su longitud a 1 metro de profundidad (medido hasta la parte superior del cable), en un terreno de resistividad térmica media de 1,5 K.m/W, con una temperatura ambiente del terreno a dicha profundidad de 25 °C y con una temperatura del aire ambiente de 40 °C.

Tabla 6. Intensidades máximas admisibles (A) en servicio permanente y con corriente alterna. Cables unipolares aislados de hasta 18/30 kV directamente enterrados

Sección (mm ²)	EPR		XLPE		HEPR	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
25	125	96	130	100	135	105
35	145	115	155	120	160	125
50	175	135	180	140	190	145
70	215	165	225	170	235	180
95	255	200	265	205	280	215
120	290	225	300	235	320	245
150	325	255	340	260	360	275
185	370	285	380	295	405	315
240	425	335	440	345	470	365
300	480	375	490	390	530	410
400	540	430	560	445	600	470

Para condiciones de instalación enterrada diferentes de las indicadas antes se emplean los factores de corrección indicados en las tablas 7 a 23 del RLAT ITC- 06

Cálculos eléctricos en redes subterráneas de A.T.

Elección por Intensidad de cortocircuito

ITC-LAT 06 - LÍNEAS SUBTERRÁNEAS CON CABLES AISLADOS

Máximas intensidades de cortocircuito admisibles en los conductores

De acuerdo con el contenido de la norma **UNE 21192**, la intensidad del cortocircuito admisible en un cable (I_{cc}) es función del tiempo de duración del cortocircuito (t_{cc}), de acuerdo con la expresión:

$$I_{cc}^2 t_{cc} = K_1 S^2 \ln \frac{\beta + \theta_f}{\beta + \theta_i}$$

$K_1 = 226$ para el Cu y 148 para el Al;

$\beta = 234,5$ para el Cu y 228 para el aluminio;

θ_f = la temperatura máxima de cortocircuito (250 °C) y

θ_i = la temperatura del conductor antes de iniciarse el cortocircuito (90 °C en el XLPE y en el EPR y 105 °C en el HEPR).

Teniendo en cuenta que una buena parte de los términos de la expresión anterior son constantes, ésta puede ponerse como:

$$I_{cc} / S = K \sqrt{t_{cc}}$$

En el cálculo se ha considerado que todo el calor desprendido durante el proceso es absorbido por los conductores.

Cálculos eléctricos en redes subterráneas de A.T.

Elección por Intensidad de cortocircuito

Tabla 25. Densidad máxima admisible de corriente de cortocircuito, en A/mm², para conductores de cobre

* $\Delta\theta$ es la diferencia entre la temperatura de servicio permanente y la temperatura de cortocircuito.

Tipo de aislamiento	$\Delta\theta^*$ (K)	Duración del cortocircuito, t_{cc} , en segundos									
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
PVC: sección $\leq 300 \text{ mm}^2$	90	363	257	210	162	148	115	93	81	72	66
sección $> 300 \text{ mm}^2$	70	325	229	187	145	132	102	83	72	65	59
XLPE, EPR y HEPR $U_0/U > 18/30 \text{ kV}$	160	452	319	261	202	184	143	116	101	90	82
HEPR $U_0/U \leq 18/30 \text{ kV}$	145	426	301	246	190	174	135	110	95	85	78

Tabla 26. Densidad máxima admisible de corriente de cortocircuito, en A/mm², para conductores de aluminio

* $\Delta\theta$ es la diferencia entre la temperatura de servicio permanente y la temperatura de cortocircuito.

Tipo de aislamiento	$\Delta\theta^*$ (K)	Duración del cortocircuito, t_{cc} , en segundos									
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
PVC: sección $\leq 300 \text{ mm}^2$	90	240	170	138	107	98	76	62	53	48	43
sección $> 300 \text{ mm}^2$	70	215	152	124	96	87	68	55	48	43	39
XLPE, EPR y HEPR	160	298	211	172	133	122	94	77	66	59	54
HEPR $U_0/U \leq 18/30 \text{ kV}$	145	281	199	162	126	115	89	73	63	56	51

Cálculos eléctricos en redes subterráneas de A.T.

Intensidades de cortocircuito máximas admisibles en las pantallas de cables de aislamiento seco

- Las intensidades de cortocircuito máximas admisible en las pantallas de los cables de aislamiento seco varían de forma notable con el diseño del cable. Esta variación depende del tipo de cubierta, del diámetro de los hilos de pantalla, de la colocación de estos hilos, etc. Por este motivo no puede usarse una tabla general única.
- El cálculo será realizado siguiendo la norma **UNE 211003**, aplicando el método indicado en la Norma **UNE 21192**.
- Los valores obtenidos no dependerán del tipo de aislamiento, ya que en el cálculo intervienen sólo las capas exteriores de la pantalla. La norma UNE 211435 no será de aplicación para estos cálculos.
- El dimensionamiento mínimo de la pantalla será tal que permita el paso de una intensidad mínima de **1000 A** durante **1 segundo**.

Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Objetivo:

Asegurar el buen funcionamiento mecánico y a la vez eléctrico bajo las peores condiciones atmosféricas (hipótesis de cálculo)

Acciones a considerar:

- Cargas normales (peso de los elementos)
- Sobrecargas (condiciones atmosféricas desfavorables)
 - Hielo
 - Temperatura
 - Viento

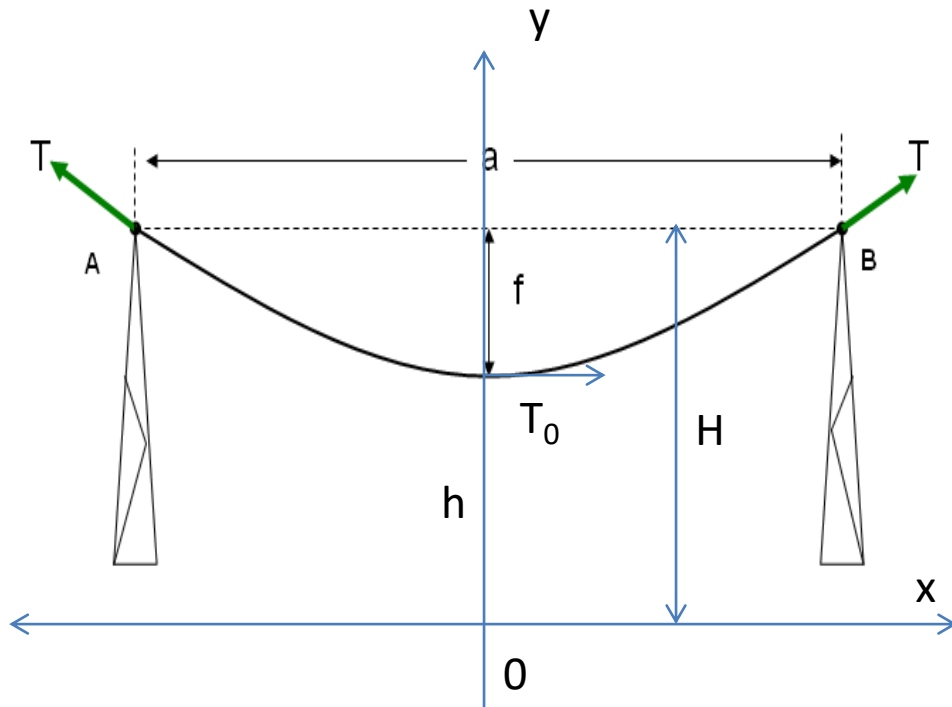
Consiste en:

- *Cálculo mecánico de conductores*
 - Tabla de cálculo mecánico
 - Tabla de tendido
 - Parábolas de tendido
- *Cálculo de resistencia mecánica y estabilidad de apoyos*
- Elección de las crucetas
- Cálculo de contrapesos
- Cálculo de resistencia mecánica de aisladores y herrajes
- *Cimentaciones*

En todo momento hay que seguir las prescripciones del RAT-ITC-07

Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Cálculo mecánico del conductor



Hilo pesante, extensible, flexible, y dilatante

Cálculo mecánico:

- Estático
- Dinámico: vibraciones

f = flecha (m)

a = vano (m)

T₀ = esfuerzo o fuerza de tracción (kg)

p = peso del conductor (kg/m)

L = longitud del cable del vano **a**

Vanos > 800 m curva catenaria

$$y = h \cosh\left(\frac{x}{h}\right) \quad f = H - h = h \left(\cosh \frac{a}{2h} - 1 \right)$$

$$l = h \sinh\left(\frac{x}{h}\right) \quad h = T_0 / p \quad T = py$$

Vanos < 800 m aproximación parabólica

$$y = h + \frac{x^2}{2h} \quad f = \frac{a^2 p}{8T_0}$$

$$l = x + \frac{x^3}{6h^2} \quad L = 2l = a + \frac{a^3}{24h^2}$$

Consideramos: $T \cong T_0$

Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Ecuación de cambio de condiciones

- Cálculo de la tensión y la flecha cuando se pasa de un estado 1 (temperatura, tensión y carga) a un estado 2 (temperatura, tensión y carga)
- Hay que determinar la tensión y flecha del conductor en el a la temperatura de tendido para que al variar las condiciones atmosféricas en condiciones desfavorables no superen lo impuesto por el RAT-ICT-06
- La variación de la longitud en el vaso se debe a:
 - Cambio de temperatura (dilatación térmica)
 - Cambio de tensión (alargamiento elástico)

p = peso del conductor (kg/m)

L = longitud del cable del vano **a** (m)

m = coeficiente de sobrecarga

w = peso del cable (kg/m/mm²)

E = módulo de Young (kg/mm²)

α = coeficiente de dilatación lineal (K⁻¹)

θ₁ **θ₂** temperaturas

σ₁ y **σ₂** = tensiones del cable (kg/mm²)

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} = \frac{a^2}{24} \left(\frac{\omega_2^2}{\sigma_2^2} - \frac{\omega_1^2}{\sigma_1^2} \right)$$

$$p_2 = m_2 p$$

$$p_1 = m_1 p$$

$$f_2 = \frac{a^2 p m_2}{8 T_2}$$

$$\sigma_2^2 (\sigma_2 + A) = B$$

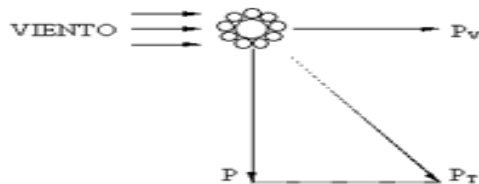
$$A = \alpha E (\theta_2 - \theta_1) - \sigma_1 + \frac{a^2 m_1^2 \omega^2 E}{24 \sigma_1^2}$$

$$B = \frac{a^2 m_2^2 \omega^2 E}{24}$$

Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Cálculo mecánico del conductor (sobrecargas)

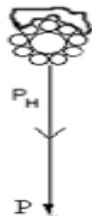
Acción del viento



$$P_T = \sqrt{P^2 + P_V^2}$$

FUERZA DEL VIENTO POR UNIDAD DE LONGITUD	
DIAMETRO	P_V (kg/m) D (mm.)
$D \leq 16$ mm.	$P_V = 0,06 D$
$D > 16$ mm.	$P_V = 0,05 D$

Acción del hielo

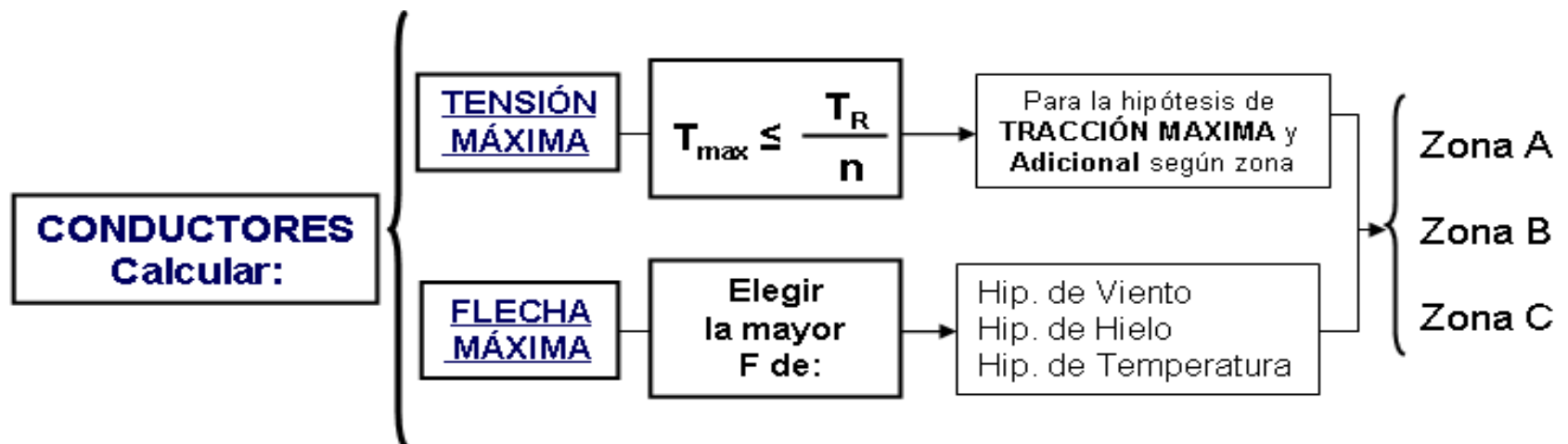


$$P_T = P + P_H$$

PESO DEL HIELO POR UNIDAD DE LONGITUD	
ZONA	P_H (kg/m) D (mm)
B	$P_H = 0,18 \sqrt{D}$
C	$P_H = 0,36 \sqrt{D}$

Acción de la temperatura

Debido a los cambios de temperatura, el conductor se dilata o se contrae. Esto origina variaciones en la tensión y en la flecha que ha de tenerse en cuenta



Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Condiciones de las hipótesis que limitan la tracción máxima admisible

ZONA A	0 a 499 m. de altitud
ZONA B	500 a 1000 m. de altitud
ZONA C	Más de 1000 m. de altitud

ZONA A			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción máxima viento	-5	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 120 ó 140 km/h según la tensión de línea	No se aplica

ZONA B			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción máxima viento	-10	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 120 ó 140 km/h según la tensión de línea	No se aplica
Tracción máxima de hielo	-15	No se aplica	Según el apartado 3.1.3
Tracción máxima hielo + viento (1)	-15	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 60 km/h	Según el apartado 3.1.3.

ZONA C			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción máxima viento	-15	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 120 ó 140 km/h según la tensión de línea	No se aplica
Tracción máxima de hielo	-20	No se aplica	Según el apartado 3.1.3
Tracción máxima hielo + viento (1)	-20	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 60 km/h	Según el apartado 3.1.3.

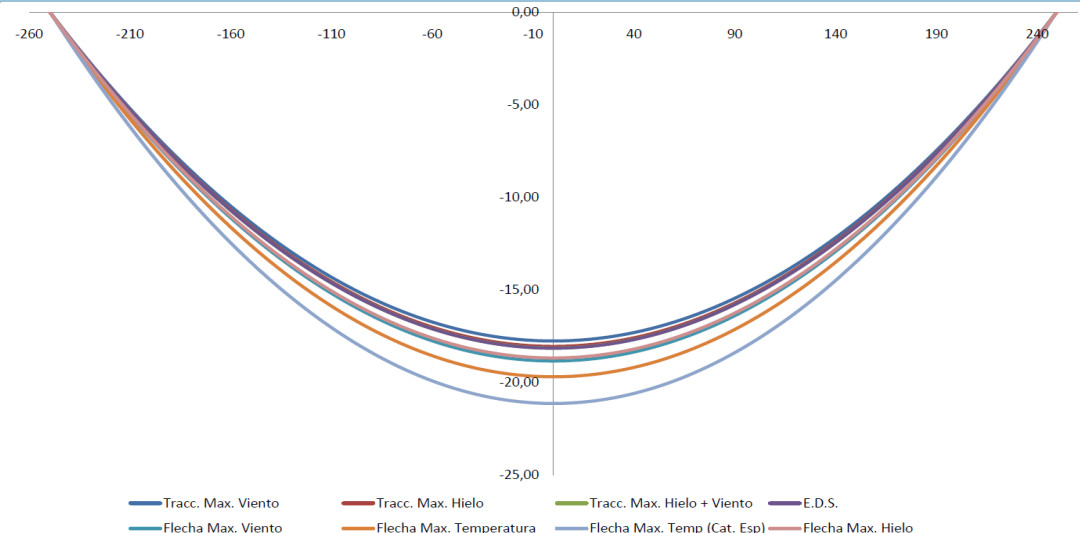
Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Para aplicar la ecuación del cambio de condiciones necesitamos una serie de datos básicos que quedarán definidos una vez elegido el **conductor**.

La elección del conductor se hace en **función de las características eléctricas de la línea**, y casi nunca atendiendo a las necesidades mecánicas.

Inmediatamente **después elegiremos el vano**, teniendo presente que cuanto mayor sea el vano las flechas resultantes serán **mayores y por tanto también la altura de los postes que sustentarán la línea**.

CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCTORES													
CABLE DE ALEACIÓN DE ALUMINIO TIPO AI-AI 50 CON AISLADOR RÍGIDO (Electrificación Rural)													
T = tensión máxima en daN	Viento.....80x9,12x10 ⁻³ =0,730 daN/m			Sección.....50 mm ²			Mod. Elast.....6000 daN/mm ²			Tensión rotura.....1425 daN			
F = flecha en m	Tens.máx.admisib.....45 % R			Diámetro.....9,12 mm			Coefic. dilat.....23 x 10 ⁻⁶ 1/°C			Peso cable.....0,136 daN/m			
Vano (m)	-10 °C			10 °C + Viento			E D S (15 °C)			50 °C		Parámetros	
	T	%	F	T	%	T	%	F	T	F	Fmáx	Fmin	
60	405	28,45	0,15	410	28,76	242	16,98	0,25	90	0,68	660	2978	
70	402	28,22	0,21	435	30,54	242	16,98	0,34	98	0,85	723	2956	
80	399	27,97	0,27	460	32,26	242	16,98	0,45	106	1,02	781	2934	
90	395	27,69	0,35	483	33,92	242	16,98	0,57	114	1,21	835	2904	
100	390	27,38	0,44	506	35,51	242	16,98	0,70	120	1,41	886	2868	
110	386	27,06	0,53	528	37,04	242	16,98	0,85	127	1,62	932	2838	
120	381	26,71	0,64	549	38,51	242	16,98	1,01	133	1,85	976	2801	
130	375	26,35	0,77	569	39,94	242	16,98	1,19	138	2,08	1016	2757	
140	370	25,98	0,90	589	41,31	242	16,98	1,38	143	2,32	1055	2721	
150	365	25,60	1,05	607	42,63	242	16,98	1,58	148	2,58	1090	2684	
160	359	25,20	1,21	626	43,91	242	16,98	1,80	153	2,85	1124	2640	
170	349	24,52	1,41	641	44,98	239	16,78	2,06	156	3,15	1146	2566	
180	313	21,94	1,76	641	44,98	219	15,39	2,51	151	3,65	1110	2301	
190	280	19,67	2,19	641	44,98	203	14,27	3,02	147	4,18	1080	2059	
200	253	17,76	2,69	641	44,98	191	13,38	3,57	144	4,74	1055	1860	
210	231	16,21	3,25	641	44,98	180	12,67	4,16	141	5,33	1035	1699	
220	213	14,98	3,86	641	44,98	172	12,01	4,78	138	5,95	1017	1566	
230	200	14,01	4,51	641	44,98	166	11,63	5,43	136	6,60	1002	1468	



Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Vano ideal de regulación

Puesto que en un tramo de línea constituido por una serie de apoyos de alineación, limitada por dos de anclaje, las cadenas de suspensión (verticales) no pueden absorber las diferencias de tensado, debidas a las distintas longitudes de los vanos, deberemos admitir que las tensiones de los cables, iguales en todos los vanos, varíen como lo haría el de un vano teórico que le llamaremos "**Vano ideal de regulación**".

- Es necesario, por consiguiente, que las tablas de tendido de los distintos vanos tengan una misma tensión para cada valor de la temperatura, siendo la variación de la flecha quien compense las diferencias de longitud de los vanos.
- Tal tensión variará, como se ha dicho antes, si lo hace la temperatura, las condiciones meteorológicas, las sobrecargas, etc., **pero en todo momento deberá tener un valor uniforme a lo largo del tramo.**
- El vano ideal de regulación a_r puede calcularse mediante la fórmula siguiente:

$$a_r = \sqrt{\frac{a_1^3 + a_2^3 + a_3^3 + \dots + a_n^3}{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}}$$

Como la tensión en la serie de vanos que integran la alineación es igual en todos ellos, tendremos que la flecha "incógnita" para cada uno de los distintos vanos, será:

$$f_r = \frac{a_r^2 P}{8T} \quad f_i = \frac{a_i^2 P}{8T}$$

Dividiendo estas dos igualdades, resulta:

$$f_i = \frac{a_i^2}{a_r^2} * f_r$$

Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Tabla de tendido

Tabla de tendido calculada para una cable Al-Ac con las siguientes características:

- Cable Gaviota
- Zona B;
Coeficiente de seguridad 2,5
- Seis vanos de 265, 270, 283, 290, 304, 310 m.

Inicialmente calcularemos el vano ideal de regulación para estos seis vanos, que resultará ser de 288m. Seguidamente calcularemos la tensión más desfavorable según las hipótesis reglamentarias, y con ella la tabla de tendido correspondiente

		Longitud de los vanos -- Flechas						
t. (°C)	Tensión	265	270	283	288	290	304	310
Regulación	2899,3	3,86	4,01	4,41	4,56	4,63	5,08	5,29
5	2787,7	4,02	4,17	4,58	4,75	4,81	5,29	5,50
10	2683,3	4,17	4,33	4,76	4,93	5,00	5,49	5,71
15	2585,9	4,33	4,50	4,94	5,12	5,19	5,70	5,93
20	2495,0	4,49	4,66	5,12	5,30	5,38	5,91	6,14
25	2410,1	4,65	4,82	5,30	5,49	5,57	6,12	6,36
30	2331,0	4,81	4,99	5,48	5,68	5,76	6,32	6,58
35	2257,2	4,96	5,15	5,70	5,86	5,94	6,53	6,79
40	2188,3	5,12	5,31	5,84	6,05	6,13	6,74	7,01
45	2123,8	5,27	5,48	6,02	6,23	6,32	6,94	7,22
50	2063,6	5,43	5,64	6,19	6,41	6,50	7,14	7,43

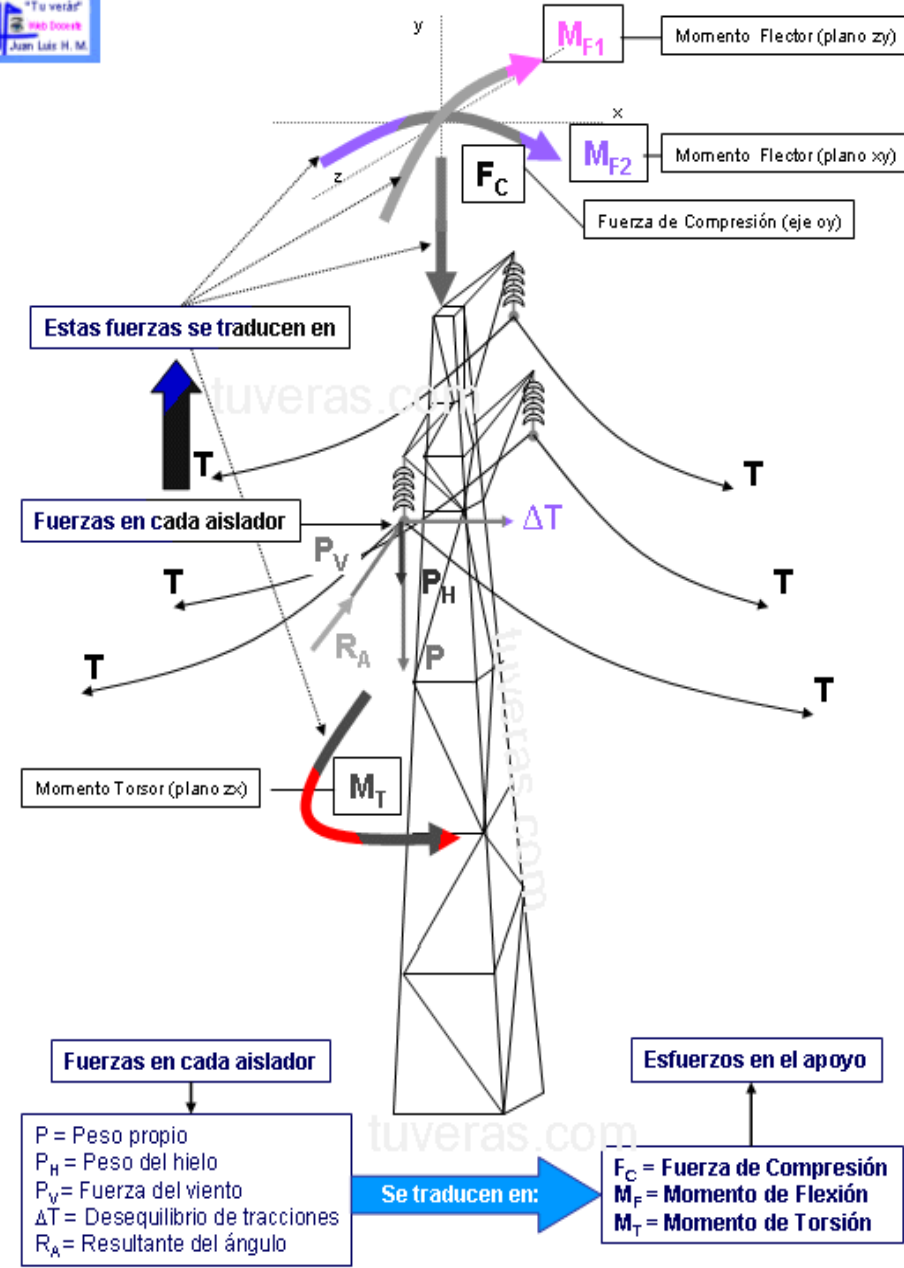
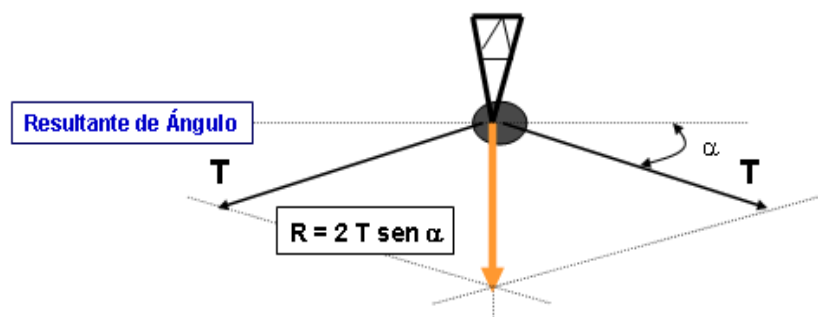
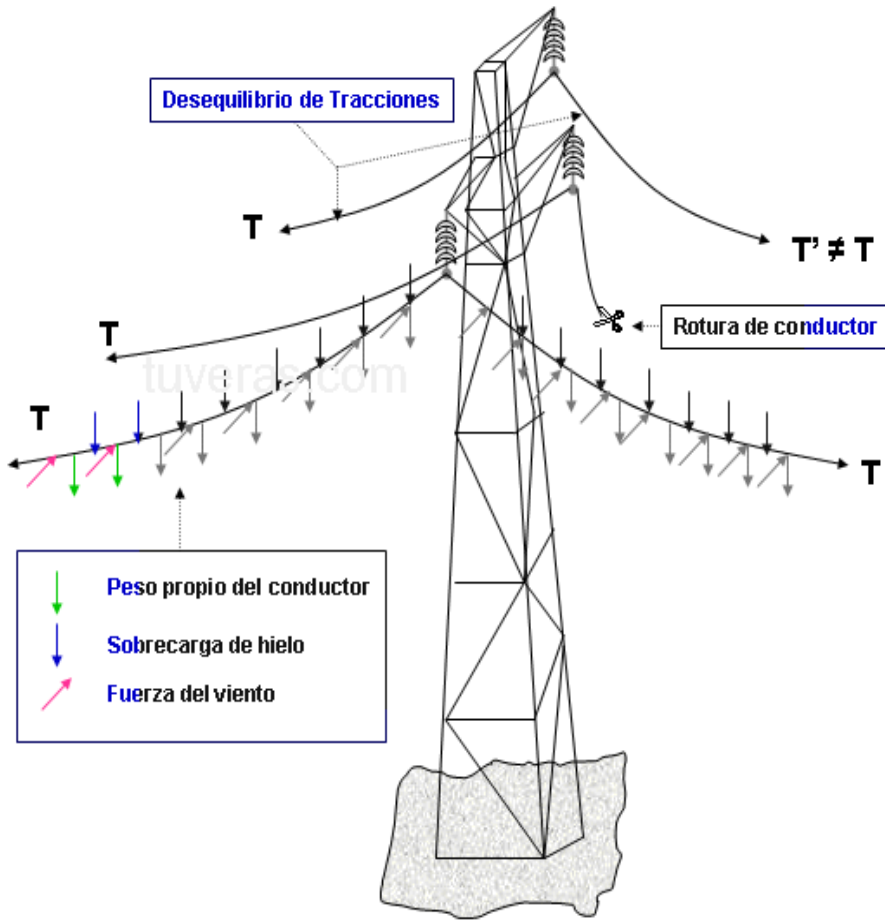
Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Cálculo mecánico de apoyos y crucetas

- **Soportar los esfuerzos mecánicos** producidos por los cables y demás componentes
- Soportar las acciones mecánicas debidas a la **condiciones atmosféricas**
- **Asegurar el aislamiento** eléctrico entre cables y entre cables y tierra
- Asegurar las **distancias mínimas de seguridad** entre:
 - Cruzamientos
 - Distancias en el apoyo
 - Distancias:
 - ❖ Al terreno, caminos, sendas y a cursos de agua no navegables
 - ❖ Carreteras
 - ❖ Ferrocarriles
 - ❖ Edificios
 - ❖ Ríos navegables y
 - ❖ Otras líneas, etc.
- *Estas distancias están fijadas por el R.L.A.T. y dependen de la tensión nominal de línea.*

Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Cálculo mecánico de apoyos



Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Hipótesis de cálculo

- Las diferentes hipótesis que se tendrán en cuenta en el cálculo de los apoyos serán las que se especifican en las tablas de la ITC-07 del LAT 5, 6, 7 y 8 según el *tipo de apoyo*.
- En el caso de los **apoyos especiales**, se considerarán las distintas acciones **definidas en el apartado 3.1**, que pueden corresponderles de acuerdo con su función, combinadas en unas hipótesis definidas con los mismos criterios utilizados en las hipótesis de los apoyos normales.
- En las líneas de **tensión nominal hasta 66 kV**, en los apoyos de alineación y de ángulo con cadenas de aislamiento de suspensión y amarre con conductores de carga mínima de rotura inferior a **6600 daN**, se puede prescindir de la consideración de la **cuarta hipótesis**, cuando en la línea se verifiquen simultáneamente las siguientes condiciones:
 - Que los **conductores y cables de tierra tengan un coeficiente de seguridad de 3 como mínimo**.
 - Que el **coeficiente de seguridad de los apoyos y cimentaciones en la hipótesis tercera sea el correspondiente a las hipótesis normales**.
 - Que se instalen apoyos de anclaje cada 3 kilómetros como máximo.

Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Hipótesis de cálculo mecánico de apoyos

Tabla 5. APOYOS DE LÍNEAS SITUADAS EN ZONA A (I)

TIPO DE APOYO	TIPO DE ESFUERZO	1ª HIPÓTESIS (Viento)	3ª HIPÓTESIS (Desequilibrio de tracciones)	4ª HIPÓTESIS (Rotura de conductores)
Suspensión de Alineación ◦ Suspensión de Ángulo	V	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.		
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: <ul style="list-style-type: none"> - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	
	L	No aplica.	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.1)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.1)
Amarre de Alineación ◦ Amarre de Ángulo	V	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.		
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) para una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: <ul style="list-style-type: none"> - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	
	L	No aplica	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.2)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.2)

Para la determinación de las tensiones de los conductores y cables de tierra se considerarán sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea y a la temperatura de -5 °C.

V = Esfuerzo vertical

L = Esfuerzo longitudinal

T = Esfuerzo transversal

Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Cálculo mecánico de cimentaciones

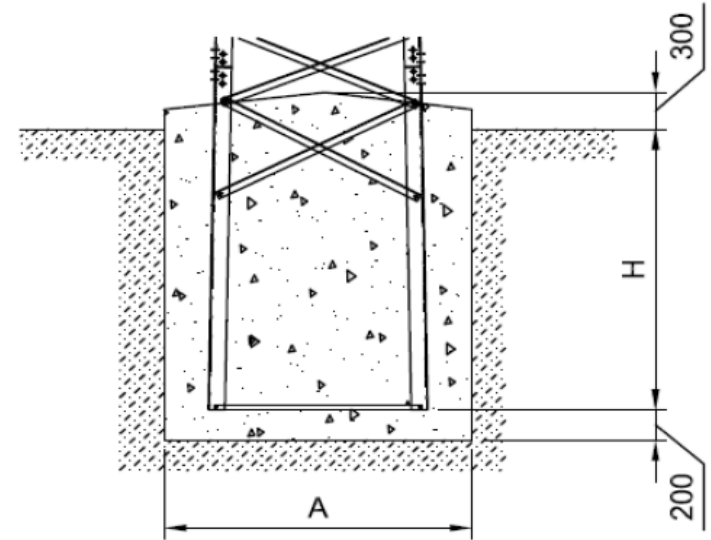
- Bloques de hormigón en cada para pata
- Características según RAT ITC -07
- Deben de absorber las cargas de compresión y arranque que el apoyo transmite al suelo
- **Calculo basado en el método del talud natural o ángulo de arrastre de tierras**
 - Coeficiente de seguridad: 1,5 hipótesis normales
 - Coeficiente de seguridad: 1,2 hipótesis anormales

Comprobación de:

- Arranque
- Compresión
- Adherencia entre anclaje y cimentación

Método SULZBERGER

- Tener en cuenta las características del terreno
- Tener en cuenta las cimentaciones recomendadas por los fabricantes de apoyos



HAMBURGO 11	ALT.	K=8			K=12			K=16		
		a	h	Vol (m ³)	a	h	Vol (m ³)	a	h	Vol (m ³)
	2T	1,80	3,45	11,18	1,80	2,95	9,56	1,80	2,60	8,42
	2TA	1,90	3,55	12,82	1,90	3,05	11,01	1,90	2,70	9,75
	3T	2,00	3,70	14,80	2,00	3,20	12,80	2,00	2,85	11,40
	3TA	2,05	3,80	15,97	2,05	3,30	13,87	2,05	2,95	12,40
	4T	2,20	3,90	18,88	2,20	3,35	16,21	2,20	3,00	14,52
	4TA	2,25	3,95	20,00	2,25	3,40	17,21	2,25	3,05	15,44
	5T	2,35	4,05	22,37	2,35	3,50	19,33	2,35	3,15	17,40
	5TA	2,45	4,05	24,31	2,45	3,55	21,31	2,45	3,15	18,91
	6T	2,50	4,15	25,94	2,50	3,60	22,50	2,50	3,30	20,63
	6TA	2,60	4,20	28,39	2,60	3,65	24,67	2,60	3,30	22,31
	7T	2,70	4,25	30,98	2,70	3,65	26,61	2,70	3,35	24,42
	7TA	2,80	4,30	33,71	2,80	3,70	29,01	2,80	3,35	26,26

Cálculos mecánicos en líneas aéreas de A.T.

Cálculos mecánicos LAT

- Ningún conductor o cable de tierra tendrá una carga de rotura inferior a **1.200 kg** en líneas de 1ª y 2ª categoría, ni inferior a 1.000 kg en líneas de 3ª categoría
- En los apoyos **que limitan los vanos de seguridad reforzada y en los contiguos no se reducirán bajo ningún concepto los niveles de aislamiento y distancias entre conductores y entre éstos y apoyos**, respecto al resto de la línea.
- Las **C.S. de cimentaciones, apoyos y crucetas**, en el caso de hipótesis normales, deberán ser un 25 por 100 superiores a los establecidos para la línea en los artículos 30 y 31.
- Las **grapas de fijación** del conductor a las cadenas de suspensión deberán ser antideslizantes.
- La fijación de los conductores al apoyo deberá ser realizada en la forma siguiente:
 - **Aislador rígido.**

Se colocarán dos aisladores por conductor, de forma transversal. Uno sobre el conductor y otro sobre el otro puente, extendiéndose sobre ambos lados.
 - **Aislador de cadena.**
 - Dos cadenas horizontales de amarre por conductor
 - Cadena de suspensión doble o con una cadena sencilla de suspensión. Coeficiente de seguridad 1.25

R. L. A. T.

REAL DECRETO 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias (ITC-LAT 01 a 09)

- Se hacía necesario un nuevo reglamento que afrontara los cambios tecnológicos (Anterior reglamento de 1968 Dec. 3151/1968)
- Inclusión de los requisitos administrativos
- Criterio unificado para los instaladores similar al REBT del 2002
- Carné profesional de alta Tensión
- Los requisitos son regulados por el Artículo 19 y con más detalle por la ITC-LAT 03

Objetivos del Reglamento

Los objetivos fundamentales de este Reglamento Líneas de Alta Tensión son:

- **Proteger las personas y la integridad** y funcionalidad de los bienes que pueden resultar afectados por las mismas.
- Lograr la **necesaria regularidad en el suministro** de energía eléctrica a los consumidores y usuarios de energía eléctrica.
- **Facilitar desde la fase de proyecto** de las líneas su adaptación a los futuros aumentos de carga racionalmente previsibles.

ÍNDICE DE INSTRUCCIONES TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS

Capítulo I

Disposiciones generales.

Artículos 1-14

Capítulo II

Disposiciones específicas aplicables a líneas propiedad de empresas de Transporte y Distribución de Energía Eléctrica.

Artículos 15-19

Capítulo III

Disposiciones específicas aplicables a líneas que no sean propiedad de Empresas de Transporte y Distribución de Energía Eléctrica

Artículos 20-21

- **itc-lat 01** terminología
- **itc-lat 02** normas y especificaciones técnicas
- **itc-lat 03** instaladores autorizados y empresas instaladoras autorizadas para líneas de alta tensión
- **itc-lat 04** documentación y puesta en servicio de las líneas de alta tensión
- **itc-lat 05** verificaciones e inspecciones
- **itc-lat 06** líneas subterráneas con cables aislados
- **itc-lat 07** líneas aéreas con cables desnudos
- **itc-lat 08** líneas aéreas con cables unipolares aislados reunidos en haz o con conductores recubiertos
- **itc-lat 09** anteproyectos y proyectos

La memoria del proyecto

Itc - lat 09 anteproyectos y proyectos

Finalidad

El proyecto de ejecución de una línea de alta tensión tiene por finalidad la tramitación de la correspondiente autorización por parte del órgano competente de la Administración y sirve, asimismo, como documento básico para la realización de la obra. Por ello, contendrá los datos necesarios para que la instalación quede definida técnica y económicamente, de forma tal que pueda ser ejecutada bajo la dirección de un técnico competente, igual o distinto al autor del mismo

Documentos que comprende

El proyecto de ejecución constará, en general, de los documentos siguientes:

- a) Memoria;
- b) Pliego de condiciones técnicas
- c) Presupuesto
- d) Planos
- e) Estudio de seguridad y salud.

Para la tramitación de la autorización administrativa, no será exigible la presentación del pliego de condiciones técnicas

Proyecto de una Línea de A.T.

DIAGRAMA SECUENCIAL DE UN PROYECTO DE LINEA ELECTRICA M.A.T.

