

ÍNDICE

PRIMERA PARTE

Redes de distribución

CAPÍTULO I. — Distribución de la energía eléctrica

	<u>Págs.</u>
A. Conceptos generales.....	1
B. Distribuciones en serie y en derivación.....	2
C. Número de conductores de la distribución.....	3
1. Corriente continua.....	3
2. Corriente alterna monofásica.....	5
3. Corriente alterna trifásica.....	5
D. Sistema directo de distribución.....	7
1. Corriente continua con dos conductores.....	7
Regulación del voltaje.....	9
2. Corriente continua con tres conductores.....	13
Regulación del voltaje por el procedimiento de Dolivo-Dobrowolsky.....	14
Regulación del voltaje por el procedimiento de Elihu Thomson.....	16
Regulación por batería de acumuladores.....	17
Disposición de la regulación del voltaje en una central para distribución trifilar.....	17
3. Corriente alterna.....	19
E. Sistema indirecto de distribución.....	20
1. Corriente continua.....	20
2. Corriente alterna.....	22
3. Regulación del voltaje en la distribución indirecta.....	28
Compensadores síncronos.....	29
Potencia de los condensadores síncronos.....	34
Reguladores de inducción.....	38
Transformadores con regulación de escalones.....	45
Ejemplos relativos a la regulación del voltaje.....	60

CAPÍTULO II. — Construcción de las redes de distribución

A. Redes aéreas.....	68
1. Conductores.....	68
2. Aisladores.....	71
3. Ensayos de recepción de los aisladores.....	79
4. Soportes.....	92
5. Palomillas.....	94
6. Postes.....	98

	Págs.
Postes de madera.....	98
Postes de hormigón armado.....	100
Postes de hormigón precomprimido.....	105
Postes metálicos.....	105
7. Crucetas.....	110
8. Acometidas.....	112
9. Disposición de las líneas aéreas en las distribuciones.....	119
10. Puesta a tierra del hilo neutro.....	124
11. Montaje de las líneas.....	127
Conexiones aluminio-cobre.....	138
B. Redes subterráneas.....	144
1. Constitución de los cables subterráneos.....	144
Conductores.....	147
Aislantes.....	148
Tubo de plomo.....	148
Cable con revestimiento textil.....	148
Cables con armadura de cinta de hierro.....	149
Pruebas de recepción de los cables.....	149
Pruebas de tensión.....	150
Prueba de ionización.....	150
Resistencia de los conductores.....	151
Resistencia de aislamiento.....	151
Capacidad.....	151
Prueba de perforación.....	151
Prueba de plegadura.....	152
Prueba de duración.....	152
Prueba de tensión después de la colocación del cable.....	152
Suministro y garantías.....	152
Prescripciones del reglamento español.....	153
2. Colocación y tendido de los cables subterráneos.....	153
3. Accesorios de los cables. Empalmes.....	157
Cajas de derivación.....	162
Terminales.....	167
Cajas de distribución.....	170
4. Disposición de los cables en la distribución.....	171
5. Acometidas.....	173
C. Averías en las redes de distribución.....	174

CAPÍTULO III. — Cálculo de las redes de distribución

A. Cálculo eléctrico.....	185
a) Pérdida de tensión en los conductores.....	185
1. Corriente continua y distribución con dos hilos.....	185
Línea con cargas repartidas a lo largo de la misma.....	187
Arterias ramificadas.....	189
Círculo cerrado alimentado por un solo punto.....	191
2. Corriente continua y distribución con tres hilos.....	193
3. Corriente alterna.....	197
Corriente monofásica.....	198

	Págs.
Corriente alterna trifásica.....	204
Economía de cobre en las líneas trifásicas.....	207
4. Pérdida de tensión en las canalizaciones subterráneas.....	209
5. Pérdida de potencia más económica.....	215
6. Tensión más conveniente desde el punto de vista económico.....	221
b) Densidad de corriente en los conductores.....	223
c) Manera de proceder para el cálculo de una red de distribución.....	227
1. Conceptos generales.....	227
2. Corriente continua con dos conductores.....	230
3. Corriente continua con tres conductores.....	250
4. Corriente alterna.....	252
Cálculo de las secciones teniendo en cuenta la reactancia de la línea.....	253
Cálculo de las secciones para compensar el desequilibrio de carga en los puentes.....	260
Marcha que se seguirá en el cálculo de la red.....	266
Líneas de cuatro conductores.....	279
Líneas de dos conductores.....	280
Líneas de tres conductores (dos fases y neutro).....	280
Líneas de cuatro conductores (por el neutro no pasa corriente).....	280
Líneas de dos conductores.....	280
Líneas de dos fases y neutro.....	280
Instalación de líneas con conductores de hierro.....	283
Comparación económica entre las redes de corriente continua y corriente alterna.....	283
B. Cálculo mecánico.....	286
1. Esfuerzos a que se hallan sometidas las líneas aéreas.....	286
Conductores.....	286
Sobre superficies planas.....	288
Sobre superficies cilíndricas.....	288
Apoyos.....	288
Líneas de tensión inferior a 110 kV.....	293
Líneas de tensión igual o superior a 110 kV.....	293
Apoyos de alineación.....	293
Apoyos de varias clases.....	294
Tornillos y roblones.....	296
2. Cálculo mecánico de los conductores.....	297
3. Cálculo de los postes de madera.....	311
Tornapuntas y vientos.....	315
Postes de madera especiales.....	324
Cimentación de los postes de madera.....	326
4. Cálculo de los postes metálicos.....	329
Postes tubulares.....	329
Postes de celosía.....	329
Montante n.º 31.....	346
Riostra n.º 8.....	349
Riostra n.º 32.....	349
Unión de las riostras con los montantes.....	349
Juntas.....	350
Fundación del poste metálico.....	352
5. Cálculo de los postes de hormigón armado.....	353

	Págs.
Postes de hormigón centrifugado.....	359
Postes de hormigón precomprimido.....	361
Cálculo mecánico. a) Características del apoyo.....	364
b) Método de cálculo y coeficientes de seguridad adoptados.....	365
c) Momento solicitante.....	365
d) Coeficientes de seguridad del apoyo.....	366
6. Cálculo de las palomillas.....	368
Palomillas de alineación.....	368
Palomillas de ángulo.....	369
Palomilla de final de línea.....	370
Palomilla de bandera.....	371
Palomillas con tornapuntas.....	372
7. Cálculo de los soportes.....	373
Soportes de alineación.....	373
Soportes de ángulo.....	373
Soporte de amarre.....	374
Cálculo de los soportes.....	374
8. Cálculo de las crucetas.....	377

SEGUNDA PARTE

Líneas de alta tensión

CAPÍTULO IV. — Elementos de las líneas

Generalidades.....	381
A. Conductores para líneas de muy alta tensión.....	382
1. Conductores empleados para estas líneas.....	382
2. Balanceo.....	383
3. Vibraciones.....	384
4. Conductores bifilares.....	385
5. Coeficiente de elasticidad y dilatación de los cables mixtos de aluminio-acero.....	386
6. Cables de tierra.....	388
7. Aisladores y herrajes.....	389
B. Apoyos de las líneas.....	394
1. Construcción.....	394
2. Apoyos de ángulo.....	400
3. Apoyos sometidos a esfuerzos de torsión.....	401

CAPÍTULO V. — Cálculo eléctrico de las líneas de alta tensión

A. Características de las líneas.....	405
1. Resistencia.....	405
2. Inductancia.....	405
3. Capacidad.....	406
4. Perditancia.....	406
5. Impedancia.....	406

	Págs.
6. Admitancia.....	407
7. Transposición de los conductores.....	408
8. Efecto corona.....	408
9. Tensión crítica disruptiva.....	409
10. Tensión crítica visual.....	409
B. Funcionamiento de la línea.....	411
1. Fórmulas fundamentales.....	411
2. Fórmulas aproximadas.....	412
3. Influencia de los transformadores, elevadores y reductores.....	417
4. Funcionamiento de la línea con compensación por medio de condensadores síncronos.....	418
C. Nivel del aislamiento eléctrico de una línea aérea contra descargas atmosféricas..	424

CAPÍTULO VI. — Cálculo mecánico de los conductores, cimentaciones y apoyos de las líneas de alta tensión

A. Conductores y cables de tierra.....	433
1. Curva de equilibrio.....	433
2. Tensado de los conductores para su montura cuando se trata de líneas provistas de aisladores de cadena.....	435
3. Cálculo de la resistencia mecánica del conductor.....	436
4. Replanteo de los apoyos.....	440
5. Cables de tierra.....	441
6. Separación entre conductores.....	443
7. Puesta a tierra de los apoyos metálicos.....	445
B. Cimentación de los apoyos.....	448
1. Método suizo establecido por la Comisión, para la revisión de las prescripciones federales suizas.....	448
2. Características de los terrenos.....	453
3. Método francés o de Valensi.....	454
4. Cimentaciones fraccionadas.....	455
5. Tiro límite.....	459
C. Cálculo general de los apoyos.....	461
1. Empleo de los apoyos.....	461
2. Cálculo de la resistencia mecánica de los apoyos.....	465
D. Cálculo de los apoyos de pórtico.....	478
1. Características.....	478
2. Empleo del apoyo.....	480
3. Hipótesis de cargas.....	486
a) Cálculo gráfico de los apoyos de pórtico.....	481
1. Diagramas de esfuerzos.....	481
2. Coeficientes del cuadro general.....	490
3. Cuadro general de cálculo.....	495
4. Cimentación.....	497
b) Cálculo analítico de la resistencia mecánica de un apoyo de pórtico..	501
1. Aplicación del método de los momentos.....	501
Apoyo de alineación.....	502
2. Esfuerzos a considerar en este apoyo de alineación.....	503
3. Línea a 380 kV de Saltos del Sil, S. A.	531

CAPÍTULO VII. — Redacción de los proyectos de las líneas y construcción de las mismas

	Págs.
A. Estudio del proyecto.....	533
B. Presentación de proyectos y su tramitación.....	535
C. Construcción de las líneas.....	535
1. Cimentaciones de hormigón en masa.....	535
2. Alzamiento del apoyo.....	536
3. Desarrollo de los conductores.....	537
4. Regulación de los conductores.....	538
5. Temperatura del conductor.....	539
6. Tensado de los conductores.....	540
7. Pintura de los apoyos.....	543

APÉNDICES

Presentación de los proyectos

I. Tramitación de los proyectos de redes de distribución.....	545
II. Prescripciones reglamentarias sobre las líneas eléctricas.....	558
Real Orden de 17 de abril de 1923.....	574
III. Estudios y proyectos de líneas eléctricas.....	577
IV. Líneas de comunicación.....	586
V. Normas para la redacción de los documentos que comprenden los proyectos de las redes de distribución.....	591
Documento n.º 1. — Memoria.....	601
a) Objeto y utilidad del proyecto.....	601
b) Descripción del proyecto.....	601
c) Cables subterráneos.....	602
d) Estaciones transformadoras secundarias.....	603
e) Líneas de alta tensión.....	604
f) Red de distribución de alta tensión.....	605
g) Cálculo de la red de baja tensión.....	605
h) Cálculo de la red de alta tensión.....	608
i) Cálculo de las líneas aéreas de alta tensión.....	610
j) Cálculo mecánico de los conductores.....	611
k) Cálculo de los postes de la línea de alta tensión.....	613
l) Palomillas.....	616
Relación de propietarios afectados por el paso de las líneas de alta tensión.....	619
Documento número 2. — Planos.....	621
Planos : Hoja n.º 1.....	623
Planos : Hoja n.º 2.....	625
Planos : Hoja n.º 3.....	627
Planos : Hoja n.º 4.....	629
Documento número 3. — Presupuestos.....	631
Presupuesto de la red de distribución.....	633
Presupuesto de las obras en terrenos de dominio público.....	635

	Págs.
Documento número 4. — Tarifas y condiciones de aplicación.....	637
VI. Presupuestos de construcción de las redes de distribución.....	641
A. Conductores.....	641
B. Aisladores.....	641
C. Construcción metálica.....	641
D. Postes de madera.....	642
E. Postes de hormigón armado y de hormigón precomprimido.....	642
F. Montura.....	643
G. Modelo de pliego de condiciones para la colocación de cables subterráneos.....	644
1) Extensión de los trabajos.....	644
2) Trabajos secundarios.....	644
3) Principio y realización de los trabajos.....	645
4) Condiciones de pago.....	646
5) Relevación de trabajos.....	646
6) Garantías.....	646
7) Rescisión y traspaso del contrato.....	647
8) Gastos de timbre.....	647
H. Aclaraciones complementarias.....	647
VII. Tablas de precios y datos usuales.....	649
VIII. Apéndice: Novedades en los aislamientos de los conductores con aislantes sintéticos.....	654
1. Cables Butiltenax.....	655
2. Cajas terminales para interior.....	658
3. Empalmes.....	659
4. Empalmes de cables armados.....	660
5. Cables Butilneo.....	661
7. Otros tipos de cables para líneas de baja tensión.....	661

T A B L A S

Tabla I. — Ejemplo de valores correspondientes a diversas cargas de una estación transformadora.....	31
Tabla II. — Valores correspondientes a la estación transformadora de la tabla anterior, empleando un compensador síncrono.....	32
Tabla III. — Características de los metales para conductores.....	70
Tabla IV. — Características de los aisladores de cadena «Hescho».....	76
Tabla V. — Características de los aisladores tipo «Motor» de la casa «Hescho».....	78
Tabla VI. — Distancias explosivas para diferentes tensiones.....	82
Tabla VII. — Valores de la densidad relativa del aire en función de la altura barométrica H (en mm) y de la temperatura t en grados centígrados.....	83
Tabla VIII. — Coeficiente de corrección para la tensión de perforación.....	83
Tabla IX. — Características de ensayo de los aisladores instalados al aire.....	89
Tabla X. — Sección normal y formación del cable.....	148
Tabla XI. — Diámetro externo del plomo.....	149
Tabla XII. — Espesor de la protección y revestimiento de los cables.....	149
Tabla XIII. — Prueba de tensión para cables de un solo conductor.....	150

	Págs.
Tabla XIV. — Prueba de tensión para cables de varios conductores.	150
Tabla XV. — Prueba de perforación para cables de un conductor.	151
Tabla XVI. — Prueba de perforación para cables de varios conductores	152
Tabla XVII. — Constante dieléctrica y resistencia de los aislantes para cables	211
Tabla XVIII. — Características de algunos cables subterráneos ...	211
Tabla XIX. — Importe (ptas.) de la anualidad para amortizar un capital de 100 pesetas.....	216
Tabla XX. — Cargas máximas en amperios; secciones y pesos máximos admitidos para conductores unipolares aislados con textiles y goma.....	225
Tabla XXI. — Diámetro interior mínimo, en mm, de tubos con forro aislante y de acero, en función del número y sección de los conductores que han de alojarse en ellos.....	225
Tabla XXII. — Carga permanente, en amperios, para cables subterráneos aislados con papel impregnado.....	226
Tabla XXIII. — Relación k entre las caídas de tensión de una red con reactancia y sin ella	255
Tabla XXIV. — Secciones de los conductores de corriente alterna.	258
Tabla XXV. — Resistencia e inductancia de los cables subterráneos.	260
Tabla XXVI. — Rendimiento y factor de potencia de los motores trifásicos.....	267
Tabla XXVII. — Factores para calcular los postes de cambio de dirección.....	290
Tabla XXVIII. — Diámetro reglamentario de los postes de madera.	292
Tabla XXIX. — Hipótesis reglamentarias para calcular los distintos tipos de apoyos.....	295
Tabla XXX. — Características de conductores de diversa naturaleza y de los cables de bronce, hierro y acero...	301
Tabla XXXI. — Valores de A y B correspondientes a los materiales de la tabla anterior.....	302
Tabla XXXII. — Talud natural de las tierras.....	322
Tabla XXXIII. — Valores del coeficiente ω para tener en cuenta el pandeo.....	348
Tabla XXXIV. — Cálculo del momento de inercia ficticio.....	357
Tabla XXXV. — Soportes rectos	375
Tabla XXXVI. — Soportes curvos.....	376
Tabla XXXVII. — Características de los cables de aluminio-acero llamados tipos «Standard» equivalentes a tipos métricos de cable de cobre	383
Tabla XXXVIII. — Tensión de contorneamiento en kilovoltios y a la frecuencia industrial.....	392
Tabla XXXIX. — Presión atmosférica correspondiente a diversas alturas sobre el nivel del mar, en condiciones meteorológicas ordinarias y para $t = 0^\circ$	409
Tabla XL. — Valores de las flechas.....	439
Tabla XLI. — Flechas para vanos de 225 a 375 m, a distintas temperaturas y sin sobrecarga.....	440

	Págs.
Tabla XLII. — Coeficientes de la Comisión suiza para los diversos terrenos.....	453
Tabla XLIII. — Coeficientes para los diversos terrenos.....	455
Tabla XLIV. — Ensayos sobre fundaciones prismáticas Sulzberger..	459
Tabla XLV. — Valores en grados del ángulo β adoptados por la Comisión suiza.....	461
Tabla XLVI. — Coeficiente de la fórmula de Tetmajer.....	495
Tabla XLVII. — Cálculo del apoyo de alineación.....	496
Tabla XLVIII. — Apoyo de alineación.....	504
Tabla XLIX. — Precios base de los conductores Pirelli que se utilizan en las redes de distribución y en las acometidas.....	650
Tabla L. — Ángulos de lados iguales.....	651
Tabla LI. — Ángulos de lados desiguales.....	652
Tabla LII. — Hierros de te.....	652
Tabla LIII. — Tornillos y roblones.....	652
Tabla LIV. — Viguetas laminadas.....	653
Tabla LV. — Hierros de \square	653
Tabla LVI. — Carriles Vignole... ..	653
Tabla LVII. — Arandelas para tornillos.....	654
Tabla LVIII. — Hierros planos.....	654
Tabla LIX. — Redondos y cuadrados.....	654
Tabla LX. — Carga permanente de los cables «Butilténax».....	657
Tabla LXI. — Coeficiente de corrección de la carga para cables con muy poca equidistancia	658
Tabla LXII. — Carga que admiten los cables con aislamiento de cloruro de polivinilo	662
Tabla LXIII. — Carga que admiten los cables con aislamiento de cloruro de polivinilo, con separación de 7 cm entre sí	662

ERRORES ADVERTIDOS

Página 300, línea 9; dice... $\frac{\delta^2 \times s^2 \times 10^{-6}}{t_1^2 \times 5^2}$..., léase $\frac{\delta^2 \times s^2 \times 10^{-6}}{t_1^2 \times s^2}$

Página 551, líneas —19, —18; dice... es preciso... se procedía..., léase... era preciso se procediese...