

# Índice de materias

|  | <u>Págs.</u> |
|--|--------------|
| <b>I. Generalidades sobre el suministro de energía eléctrica .....</b>                       | <b>1</b>     |
| <b>II. Centrales .....</b>   | <b>5</b>     |
| <b>A. Centrales térmicas .....</b>   | <b>5</b>     |
| a) Generalidades .....   | 5            |
| b) Rendimiento y valor económico .....   | 7            |
| c) Caldera de vapor .....  | 18           |
| d) Turbina de vapor .....  | 22           |
| e) Disposición general .....   | 26           |
| <b>B. Centrales hidráulicas .....</b>  | <b>29</b>    |
| a) Generalidades .....   | 29           |
| b) Turbinas .....  | 29           |
| c) Centrales hidráulicas de agua fluyente y de agua embalsada ..                             | 34           |
| <b>C. Influencia sobre las centrales eléctricas de la variación de consumo ..</b>            | <b>41</b>    |
| a) El factor de carga .....  | 41           |
| b) Influencia del tiempo de utilización sobre el precio de los kWh .....                     | 43           |
| c) Centrales de puntas y centrales de base .....   | 47           |
| <b>D. Comportamiento de las centrales en servicio .....</b>                                  | <b>50</b>    |
| a) Trabajo en común de distintas centrales .....   | 50           |
| b) Regulación de las máquinas en las centrales .....   | 58           |
| c) Sobre la inserción de máquinas y centrales y sobre la adecuada repartición de carga ..... | 67           |
| <b>III. Generadores trifásicos .....</b>   | <b>70</b>    |
| <b>A. Generalidades .....</b>  | <b>70</b>    |
| <b>B. Diagrama del turbogenerador .....</b>  | <b>73</b>    |
| <b>C. Diagrama del alternador con rotor de polos salientes .....</b>                         | <b>78</b>    |
| <b>D. Corriente de corto circuito y carga asimétrica del generador ..</b>                    | <b>82</b>    |
| a) Corriente de corto circuito de choque .....   | 82           |
| b) Carga asimétrica del generador .....  | 86           |
| c) Corriente de corto circuito permanente .....  | 87           |
| <b>E. Excitación de los generadores .....</b>  | <b>89</b>    |
| <b>F. Regulación automática de la tensión de los generadores .....</b>                       | <b>94</b>    |
| a) Reguladores Tirrill, de sectores rodantes y de aceite a presión ..                        | 94           |
| b) Amplificador transductor .....  | 100          |
| c) Excitación compuesta .....  | 105          |
| d) Excitación directa de la rueda polar por medio de rectificadores secos .....              | 107          |
| e) Excitación por rectificadores .....   | 108          |

|  | Págs.      |
|--|------------|
| G. Oscilaciones pendulares de las máquinas sincrónicas en las redes ..                         | 109        |
| a) Generalidades .....   | 109        |
| b) La sincronización y los movimientos pendulares que trae consigo .....                       | 114        |
| c) Oscilaciones pendulares de los generadores, debidas a las variaciones de carga .....        | 116        |
| H. Generadores asincrónicos .....  | 124        |
| <b>IV. Transformadores .....</b>   | <b>126</b> |
| A. Generalidades .....   | 126        |
| B. El transformador como elemento de un circuito .....   | 136        |
| a) Transformador de dos arrollamientos .....   | 136        |
| b) Transformador de tres arrollamientos .....  | 142        |
| c) Impedancias homopolares o de secuencia cero .....   | 146        |
| C. Autotransformadores .....   | 147        |
| a) Generalidades .....   | 147        |
| b) Determinación de la potencia propia .....   | 148        |
| c) Tensión de corto circuito .....   | 149        |
| d) Comparación entre los transformadores ordinarios y los autotransformadores .....            | 151        |
| D. Refrigeración de los transformadores .....  | 153        |
| E. Transformadores con interruptores escalonados (transformadores de regulación) .....         | 156        |
| F. Acoplamiento en paralelo y calentamiento de los transformadores .....                       | 160        |
| G. Transformadores transversales .....   | 164        |
| <b>V. Protección de los generadores .....</b>  | <b>166</b> |
| A. Generalidades .....   | 166        |
| B. Aparatos de disparo y relevadores .....   | 167        |
| C. Protección contra la sobreintensidad .....  | 171        |
| D. Protección contra la sobrecarga .....   | 172        |
| E. Protección contra contactos entre fases .....   | 173        |
| F. Protección contra contactos entre espiras .....   | 176        |
| G. Protección del estator contra el contacto a tierra .....                                    | 177        |
| H. Protección contra el aumento de tensión .....   | 185        |
| I. Protección del rotor contra el contacto a tierra .....                                      | 186        |
| K. Protección contra cargas asimétricas .....  | 187        |
| L. Protección de las turbinas .....  | 187        |
| M. Desexcitación rápida .....  | 190        |
| N. Dispositivo para la comprobación de los relevadores .....                                   | 193        |
| <b>VI. Protección de los transformadores .....</b>   | <b>195</b> |
| A. Generalidades .....   | 195        |
| B. Protección contra la sobretensión .....   | 195        |
| C. Protección contra la sobreintensidad y la sobrecarga .....                                  | 196        |
| D. Protección Buchholz .....   | 196        |
| E. Protección diferencial .....  | 198        |
| <b>VII. Conexiones de las centrales eléctricas y de las estaciones de transformación .....</b> | <b>205</b> |
| <b>VIII. Instalaciones para consumo propio de las centrales eléctricas .....</b>               | <b>213</b> |
| <b>IX. Conductores aislados y cables .....</b>   | <b>223</b> |
| A. Conductores aislados .....  | 223        |

|  | Págs.      |
|--|------------|
| B. Cables .....  | 228        |
| a) Cables para corriente fuerte .....  | 228        |
| b) Cables para teleaccionamiento y telecomunicación .....  | 252        |
| C. Manguitos terminales y de empalme para cables .....   | 253        |
| <b>X. Líneas aéreas .....</b>  | <b>259</b> |
| A. Generalidades .....   | 259        |
| B. Vibraciones de los cables .....   | 275        |
| C. Aisladores para líneas aéreas .....   | 278        |
| D. Mástiles y colocación en ellos de líneas aéreas .....   | 287        |
| E. Determinación de la luz más favorable para los vanos .....  | 297        |
| F. Calentamiento de los cables aéreos .....  | 298        |
| <b>XI. Cortacircuitos (fusibles) .....</b>   | <b>300</b> |
| <b>XII. Interruptores .....</b>  | <b>307</b> |
| A. Separadores .....   | 307        |
| B. Interruptores de gran potencia .....  | 311        |
| a) Generalidades .....   | 311        |
| b) Interruptores de aire .....   | 318        |
| c) Interruptores de aceite .....   | 323        |
| d) Interruptores de expansión a base de agua .....   | 326        |
| e) Interruptores de pequeño volumen de aceite .....  | 329        |
| f) Interruptores de aire comprimido .....  | 330        |
| g) Interruptor SF <sub>6</sub> .....   | 337        |
| C. Seccionadores de carga .....  | 338        |
| <b>XIII. Transformadores de medida .....</b>   | <b>339</b> |
| A. Transformadores de intensidad .....   | 339        |
| B. Transformadores de tensión .....  | 347        |
| <b>XIV. Instalaciones de distribución .....</b>  | <b>352</b> |
| A. Generalidades .....   | 352        |
| B. Instalaciones de distribución en edificios .....  | 352        |
| C. Instalaciones de distribución al aire libre .....   | 366        |
| D. Puestos de mando de la distribución .....   | 369        |
| E. Esquema sinóptico .....   | 370        |
| F. Esquema de conexiones luminoso .....  | 379        |
| <b>XV. Técnica de la comunicación y del mando a distancia para el servicio de suministro eléctrico .....</b> | <b>380</b> |
| A. Canales de transmisión .....  | 381        |
| a) Canales de baja frecuencia a través de conducciones alámbricas .....                                      | 381        |
| b) Canales de corrientes portadoras .....  | 382        |
| c) Transmisión inalámbrica .....   | 386        |
| d) Elección de la técnica apropiada .....  | 386        |
| B. Telefonía .....   | 387        |
| C. Escritura a distancia .....   | 388        |
| D. Telemetría .....  | 388        |
| a) Métodos de intensidad a base de corriente continua .....  | 388        |
| b) Método de la frecuencia de impulsos .....   | 389        |
| c) Método de las variaciones de frecuencia .....   | 392        |
| d) Métodos del intervalo entre impulsos, o métodos de la duración de los mismos .....                        | 394        |
| e) Transmisión telemétrica digital circunscrita no analógica .....   | 395        |

|  | Págs.      |
|--|------------|
| E. Regulación a distancia .....  | 396        |
| F. Telecontrol .....   | 396        |
| a) Telecontrol unifilar .....  | 398        |
| b) Telecontrol bifilar con conductores comunes adicionales .....   | 399        |
| c) Telecontrol bifilar sin conductor común adicional .....   | 401        |
| d) Telecontrol por sistema de selectores .....   | 403        |
| e) Telecontrol multiplex de frecuencia de tono .....   | 406        |
| f) Telecontrol codificado por impulsos electrónicos .....  | 409        |
| G. Control circular a base de la frecuencia de tono .....  | 409        |
| H. Acoplamiento de disparo entre relevadores rápidos de distancia en los extremos de una sección protegida .....                           | 412        |
| <b>XVI. Perturbaciones en la red .....</b>   | <b>414</b> |
| A. Perturbaciones debidas a los cortos circuitos .....   | 414        |
| B. Protección de las redes contra los cortos circuitos .....   | 415        |
| a) Protección de las redes de baja tensión .....   | 416        |
| b) Protección de las redes de alta tensión .....   | 417        |
| 1. Generalidades .....   | 417        |
| 2. Protección con relevadores normales de tiempo .....   | 421        |
| 3. Protección por medio de relevadores de distancia .....  | 426        |
| a) Protección de impedancia por relevador único, con inclusión del doble contacto a tierra .....   | 428        |
| β) Características .....   | 433        |
| γ) Protección de conductancia (SSW) .....  | 437        |
| δ) Relevador de distancia rápido .....   | 439        |
| e) Relevador de impedancia con campo giratorio .....   | 440        |
| 4. Recapitulación de los sistemas con escalonamiento de tiempo .....   | 442        |
| 5. Protección por comparación de corrientes .....  | 443        |
| 6. Protección comparativa de dirección .....   | 445        |
| 7. Reconexión después de corto circuito .....  | 448        |
| C. Contacto o descarga a tierra en las líneas .....  | 451        |
| a) Naturaleza del contacto o descarga a tierra y su compensación .....   | 451        |
| b) Señalización del contacto a tierra .....  | 458        |
| D. Toma de tierra del centro de estrella en redes de alta tensión .....  | 464        |
| E. Sobretensiones y protección contra las mismas en las redes eléctricas .....   | 466        |
| F. Ondas armónicas en las redes de alta tensión .....  | 475        |
| G. Coordinación de los aislamientos .....  | 482        |
| <b>XVII. Cálculo de las redes eléctricas .....</b>   | <b>488</b> |
| A. Línea con alimentación unilateral .....   | 488        |
| B. Líneas alimentadas bilateralmente .....   | 493        |
| C. Repartición de las cargas de la red sobre los nudos .....   | 495        |
| D. Cálculo de las redes en forma de estrella .....   | 496        |
| E. Transformaciones de las redes .....   | 498        |
| F. Determinación de las secciones de las líneas ramificadas .....  | 503        |
| G. Cálculo y determinación de las secciones de las líneas según el método de corte .....   | 507        |
| H. Cálculo de la caída de tensión en corriente trifásica, tomando en consideración de un modo aproximado la inductancia y el desfase ..... | 509        |
| I. Redes de mallas de baja tensión .....   | 511        |
| J. Cálculo de la inductancia y capacidad de las redes .....  | 514        |
| a) Generalidades .....   | 514        |

|  | Págs.      |
|--|------------|
| b) Cálculo de la inductancia de las líneas .....   | 515        |
| 1. Líneas monofásicas .....  | 518        |
| 2. Línea trifásica simétrica .....   | 519        |
| 3. Sistema trifásico asimétrico, pero con transposiciones .....  | 519        |
| 4. Línea trifásica doble uniformemente transpuesta .....   | 520        |
| 5. Línea trifásica doble con transposición especial .....  | 522        |
| 6. Inductancia de un circuito con vuelta de la corriente por tierra .....  | 522        |
| c) Cálculo de las capacidades de las líneas .....  | 524        |
| 1. Cálculo de la capacidad de una línea para corriente trifásica con conductores transpuestos .....                                  | 527        |
| 2. Cálculo de las capacidades de una línea doble para corriente trifásica con transposiciones .....                                  | 529        |
| 3. Líneas de corriente trifásica con cable de tierra .....   | 531        |
| 4. Línea trifásica con varios cables de tierra .....   | 532        |
| 5. Generalidades sobre el cálculo de las capacidades de las líneas .....   | 533        |
| d) Pérdidas adicionales y efecto corona en las líneas de alta tensión .....  | 534        |
| <b>K. Cálculo de las redes de corriente alterna tomando en consideración la inductancia .....</b>                                    | <b>537</b> |
| a) Líneas con distribución de corriente dada .....   | 537        |
| b) Líneas con distribución de corriente a determinar .....   | 539        |
| 1. Cálculo complejo .....  | 539        |
| 2. Cálculo de tramos alimentados por sus dos extremos .....  | 543        |
| c) Modo de tener en cuenta la capacidad de la línea .....  | 545        |
| d) Cálculo de líneas utilizando las corrientes activas y reactivas de los consumidores .....   | 546        |
| e) Pérdidas en una línea de transporte .....   | 549        |
| f) Influencia sobre las pérdidas, de una adecuada distribución de la carga en tramos bilateralmente alimentados .....                | 550        |
| g) Empleo de condensadores o bien de compensadores de fase para mantener reducidas la caída de tensión y las pérdidas en línea ..... | 551        |
| L. Cálculo de la sección de línea más económica .....  | 554        |
| M. Cálculo de la tensión de una línea de transporte .....  | 558        |
| N. Líneas anulares .....   | 560        |
| O. Reunión de varios grandes suministros para un consorcio económico .....   | 563        |
| P. Línea de alta sin caída de tensión .....  | 569        |
| a) Sin tener en cuenta la resistencia de la línea .....  | 569        |
| b) Teniendo en cuenta la resistencia de la línea .....   | 573        |
| Q. Líneas de gran longitud .....   | 576        |
| R. Estabilidad de las líneas .....   | 589        |
| S. Posibilidades del transporte a base de corriente continua de alta tensión .....   | 597        |
| <b>XVIII. Cálculo de las corrientes de corto circuito .....</b>  | <b>605</b> |
| A. Cálculo de la corriente de corto circuito de choque .....   | 605        |
| B. Cálculo de la corriente de corto circuito permanente .....  | 609        |
| a) Corto circuito tripolar .....   | 609        |
| b) Corto circuito bipolar .....  | 611        |
| C. Cálculo de las corrientes de corto circuito en redes de configuración complicada .....  | 613        |
| D. Cálculo de las fuerzas desarrolladas por el corto circuito .....  | 614        |
| E. Resistencia térmica para el caso de corto circuito .....  | 615        |
| <b>XIX. Componentes simétricas .....</b>   | <b>620</b> |

|   | Págs. |
|---|-------|
| <b>XX. Calentamiento de las máquinas y aparatos</b> .....                               | 626   |
| <b>XXI. Peligros de la corriente eléctrica y consiguientes medidas de protección</b> .. | 633   |
| 1. Aislamiento protector, 636. — 2. Tensiones pequeñas, 637. —                          |       |
| 3. Separación protectora, 637. — 4. Neutralización, 638. — 5. Toma                      |       |
| de tierra protectora, 641. — 6. Sistema de línea protectora, 644. —                     |       |
| 7. Conexión protectora contra tensión de avería, 645. — 8. Conexión                     |       |
| protectora contra intensidad de avería, 646.  |       |
| <b>BIBLIOGRAFÍA REFERENTE A CADA UNO DE LOS CAPÍTULO DE LA OBRA</b> ...                 | 656   |
| <b>ÍNDICE ALFABÉTICO</b> .....  | 665   |