

# Índice

<b>Prólogo a la primera edición española</b> .....	<b>5</b>
<b>Mi agradecimiento especial...</b> .....	<b>5</b>
<b>Prólogo a la Primera edición en la serie de publicaciones VDE 114 (= 8ª edición revisada)</b> .....	<b>6</b>
<b>Prólogo a la 7ª edición revisada y ampliada</b> .....	<b>7</b>
<b>Prólogo a la 6ª edición revisada</b> .....	<b>8</b>
<b>Prólogo a la 5ª edición revisada</b> .....	<b>8</b>
<b>Prólogo a la 4ª edición revisada</b> .....	<b>9</b>
<b>Prólogo a la 3ª edición revisada</b> .....	<b>9</b>
<b>Prólogo a la 1ª edición</b> .....	<b>10</b>
<b>1 Introducción</b> .....	<b>19</b>
<b>2 Protección de instalaciones y aparatos eléctricos</b> .....	<b>21</b>
2.1 Exigencias comunes para instalaciones y aparatos .....	21
2.1.1 Campo de aplicación .....	21
2.1.2 Principios para la protección contra descargas eléctricas .....	21
2.2 Elementos integrantes de las medidas de protección .....	22
2.2.1 Protección básica .....	22
2.2.2 Protección contra fallos .....	22
2.2.3 Medidas de protección intensificadas .....	22
2.3 Medidas de protección .....	23
2.4 Coordinación de los aparatos eléctricos y de las medidas de protección en instalaciones eléctricas .....	23
2.5 Condiciones especiales de manejo y mantenimiento .....	23
2.6 Medidas de protección y cumplimiento mediante disposiciones de protección .....	24
<b>3 Instalaciones eléctricas y medidas de protección</b> .....	<b>27</b>
3.1 Protección contra descargas eléctricas .....	27
3.1.1 Protección contra contacto directo y contra contacto indirecto .....	28
3.1.1.1 Protección por pequeñas tensiones: MBTS y MBTP .....	28
3.1.1.2 Disposición de los circuitos de corriente .....	29
3.1.1.3 Exigencias a los circuitos de corriente MBTS .....	30
3.1.1.4 Exigencias a circuitos de corriente MBTP .....	30
3.1.1.5 Protección mediante limitación de la corriente de contacto permanente y carga .....	31

3.1.2	Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones normales (Protección contra contacto directo o protección básica) . . . . .	31
3.1.3	Protección contra descargas eléctricas bajo condiciones de fallo (Protección contra contacto indirecto o protección contra defectos)	32
3.1.3.1	Toma de tierra y conductor de protección . . . . .	34
3.1.4	Compensación de potencial . . . . .	34
3.1.4.1	Compensación principal de potencial . . . . .	34
3.1.4.2	Compensación de potencial suplementaria . . . . .	35
3.2	Formas de sistemas . . . . .	35
3.3	Sistemas según la forma de la toma de tierra . . . . .	36
3.3.1	Sistema TN . . . . .	39
3.3.1.1	Medidas y dispositivos de protección en sistemas TN . . . . .	39
3.3.2	Sistemas TT . . . . .	39
3.3.2.1	Medidas y dispositivos de protección en sistemas TT . . . . .	39
3.3.3	Sistemas IT . . . . .	40
3.3.3.1	Medidas y dispositivos de protección en sistemas IT . . . . .	42
3.4	Medidas de protección en sistemas IT según DIN VDE 0100-410 (VDE 0100 parte 410):1997-01 . . . . .	42
3.5	Ejecución y eficacia de la compensación de potencial suplementaria . . . . .	50
3.6	Otras medidas de protección . . . . .	50
3.6.1	Protección mediante empleo de aparatos de la clase de protección II o mediante aislamiento similar . . . . .	51
3.6.2	Protección mediante recintos no conductores . . . . .	51
3.6.3	Protección mediante compensación de potencial local aislado de tierra . . . . .	51
3.6.4	Protección mediante separación de protección . . . . .	51
3.7	Aparatos para verificar las medidas de protección . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Sistemas IT sin toma de tierra, en ejecución aislada . . . . .</b>	<b>57</b>
4.1	Estructura de sistemas IT con compensación de potencial suplementaria y con vigilancia del aislamiento . . . . .	58
4.2	La compensación de potencial adicional en los sistemas IT . . . . .	61
4.2.1	Secciones mínimas para la compensación de potencial suplementaria . . . . .	62
4.3	Pruebas en sistemas IT según DIN VDE 0100-610 (VDE 0100 parte 610):1994-04 . . . . .	62
4.3.1	Pruebas de la eficacia de las medidas de protección en el primer fallo . . . . .	65
4.3.2	Comprobación de la eficacia de las medidas de protección en caso de un segundo fallo . . . . .	66
4.3.2.1	Sistema IT con compensación de potencial suplementaria y con dispositivos de vigilancia del aislamiento . . . . .	66

4.3.3	Aclaraciones a las verificaciones de sistemas IT según DIN VDE 0100-610 (VDE 0100 parte 610) . . . . .	66
4.4	Protección de cables y conductores en sistemas IT . . . . .	67
4.4.1	Protección en caso de cortocircuito . . . . .	68
4.4.2	Protección contra sobrecarga . . . . .	68
4.4.2.1	Renuncia a la protección contra sobrecarga . . . . .	69
4.4.3	Disposiciones especiales para sistemas IT . . . . .	69
4.4.4	Conexión de aparatos de vigilancia del aislamiento . . . . .	70
4.4.4.1	Acoplamiento y fusibles . . . . .	70
4.4.2.2	Suministro de tensión auxiliar y fusibles . . . . .	72
<b>5</b>	<b>Características y ventajas de los sistemas IT . . . . .</b>	<b>73</b>
5.1	Mayor seguridad de funcionamiento . . . . .	74
5.2	Mayor seguridad frente a incendios . . . . .	79
5.3	Mayor seguridad contra accidentes por limitación de las corrientes de contacto . . . . .	81
5.4	Mayor resistencia permitida de toma de tierra . . . . .	82
5.5	Anticipación en la información con sistemas IT . . . . .	83
<b>6</b>	<b>Aplicaciones de sistemas IT en recintos de uso médico . . . . .</b>	<b>89</b>
6.1	El concepto de seguridad en recintos de uso médico . . . . .	89
6.2	Sistemas IT en recintos de uso médico según DIN VDE 0100-710 (VDE 0100 parte 710):2002-11 . . . . .	90
6.2.1	Introducción . . . . .	93
6.2.2	Campo de aplicación . . . . .	93
6.3	Recintos de uso médico . . . . .	93
6.4	Sistemas IT . . . . .	96
6.4.1	Sistemas IT médicos . . . . .	96
6.4.2	Compensación de potencial suplementaria en sectores del grupo 2 . . . . .	96
6.4.3	Suministro de corriente para recintos de uso médico del grupo 2 . . . . .	97
6.4.4	Transformadores para el sistema IT . . . . .	97
6.5	Protección del sistema de conductores en recintos de uso médico del grupo 2 . . . . .	98
6.5.1	Protección en sistemas IT con vigilancia del aislamiento . . . . .	98
6.6	Dispositivo automático de conmutación en el distribuidor principal y en distribuidores para recintos de uso médico del grupo 2 . . . . .	101
6.6.1	Circuitos de corriente de cajas de enchufe en sistemas IT para recintos de uso médico del grupo 2 . . . . .	102
6.7	Verificación del sistema IT de uso médico . . . . .	103
6.7.1	Primera verificación . . . . .	103
6.7.2	Repetición de las pruebas . . . . .	104
6.8	Redes de suministro de corriente aisladas de tierra en hospitales y en recintos de uso médico en EE.UU . . . . .	104
6.8.1	Marco histórico . . . . .	104

6.8.2	Exigencias NFPA actuales para las redes de suministro de corriente aisladas de tierra . . . . .	106
6.9	Entorno del paciente eléctricamente seguro . . . . .	108
6.9.1	Conceptos fundamentales sobre la corriente de derivación . . . . .	108
6.9.2	Interrupción del conductor de protección . . . . .	111
6.10	Red de suministro de corriente aislada de tierra . . . . .	111
6.11	Compensación de potencial . . . . .	113
6.12	Aparatos eléctricos en aplicaciones médicas según IEC TC 62A . . . . .	114
6.13	Seguridad eléctrica en recintos de uso médico según IEC 60364-7-710: 2002-11, Requirements for special installations or locations – Medical locations . . . . .	116
6.14	Desarrollo mundial de redes aisladas de tierra en recintos de uso médico . . . . .	118
<b>7</b>	<b>Aplicación de los sistemas IT . . . . .</b>	<b>123</b>
7.1	Los sistemas IT en la minería . . . . .	123
7.1.1	Técnicas de protección en la minería bajo tierra según DIN VDE 0118 (VDE 0118):2001-11 . . . . .	124
7.1.2	Protección contra corrientes peligrosas a través del cuerpo en la minería bajo tierra . . . . .	131
7.2	Sistemas IT y la vigilancia del aislamiento a bordo de buques . . . . .	132
7.2.1	Normas y disposiciones . . . . .	132
7.2.2	Formas de red autorizadas, tomando en consideración diversas normas . . . . .	133
7.2.3	Sistemas TN e IT en buques . . . . .	136
7.2.4	Sistemas IT en buques de la Marina Federal Alemana según BV 30 . . . . .	139
7.3	Sistemas IT con vigilancia del aislamiento en vehículos sobre raíles . . . . .	142
7.3.1	Ejemplos de aplicación para sistemas IT con vigilancia del aislamiento . . . . .	142
7.3.2	Campos de aplicación de sistemas IT con vigilancia del aislamiento . . . . .	142
7.3.3	Exigencias a los dispositivos de vigilancia del aislamiento . . . . .	143
7.3.4	Red de tensión continua con alimentación por baterías, orientada a la seguridad . . . . .	145
7.3.5	Convertidores en los circuitos principales de corriente . . . . .	146
7.4	Sistemas IT en vehículos eléctricos . . . . .	147
7.4.1	Medidas de seguridad en el vehículo . . . . .	150
7.4.2	Plantas de carga para vehículos eléctricos . . . . .	152
7.4.3	Norma internacional para estaciones de carga de vehículos eléctricos . . . . .	154
7.4.4	Aparatos de vigilancia del aislamiento según UL 2231 . . . . .	154

7.4.4.1	UL 2231-1 Exigencias generales . . . . .	155
<b>8</b>	<b>Resistencia del aislamiento . . . . .</b>	<b>161</b>
8.1	Primera norma de seguridad en el año 1883 en Alemania . . . . .	162
8.2	Un asunto complicado . . . . .	162
8.3	Definición según VDE . . . . .	163
8.4	Magnitudes de influencia . . . . .	164
8.5	Medición del aislamiento y vigilancia . . . . .	165
8.5.1	Medición en redes sin tensión . . . . .	165
8.5.2	Mediciones de corriente diferencial en sistemas TN y TT . . . . .	166
8.5.3	Valor absoluto vigilado permanentemente en sistemas IT . . . . .	166
8.6	Vigilancia completa en sistemas IT . . . . .	168
<b>9</b>	<b>Riesgos para las personas por las corrientes a través del cuerpo . . . . .</b>	<b>171</b>
9.1	DIN VDE V 0140-479 (VDE V 0140 parte 479):1996-02 sobre los efectos de la corriente eléctrica sobre los hombres . . . . .	172
9.1.1	Resistencias del cuerpo . . . . .	173
9.2	Campos de acción para corriente alterna 15 Hz hasta 100 Hz . . . . .	174
9.3	Conocimientos fundamentales de la electropatología . . . . .	176
9.4	Consecuencias para medidas de protección contra corrientes peligrosas a través del cuerpo . . . . .	177
9.5	Accidentes causados por la corriente eléctrica . . . . .	179
<b>10</b>	<b>Normas de aparatos para equipos de vigilancia del aislamiento . . . . .</b>	<b>183</b>
10.1	Aparatos de vigilancia del aislamiento según DIN EN 61557-8 (VDE 0413 parte 8):1998-05 . . . . .	183
10.2	Insulation monitoring devices según IEC 60364-5-53 ed. 3.1:2002-06 . . . . .	184
10.3	Equipos de vigilancia del aislamiento según DIN VDE 0100-530/A1 . . . . .	186
10.4	Aparatos de vigilancia del aislamiento según la norma americana ASTM F 1207-89 . . . . .	187
10.5	Aparatos de vigilancia del aislamiento según la norma americana ASTM F 1134-88 . . . . .	187
10.6	Aparatos de vigilancia del aislamiento según la norma americana ASTM F 1669M-96 . . . . .	187
10.7	Diferencia entre aparatos de vigilancia del aislamiento y aparatos de vigilancia de corriente diferencial según IEC SC 23E . . . . .	188
10.8	Dispositivos para detección de fallos de aislamiento en sistemas IT . . . . .	189
<b>11</b>	<b>Realización metrológica de aparatos de vigilancia del aislamiento y de vigilantes de cortocircuito a tierra . . . . .</b>	<b>193</b>

11.1	Vigilancia del aislamiento en sistemas IT de corriente alterna o de corriente trifásica . . . . .	193
11.1.1	Medición de fallos de aislamiento óhmicos . . . . .	193
11.1.2	Medición de la impedancia de derivación . . . . .	196
11.2	Redes de tensión alterna con rectificadores o tiristores conectados directamente . . . . .	197
11.2.1	Procedimiento de medida con etapa de inversión . . . . .	197
11.2.2	Procedimiento de medida mediante superposición de impulsos . . . . .	199
11.3	Redes de tensión continua . . . . .	201
11.3.1	Procedimiento de medida de asimetría . . . . .	201
11.3.2	Procedimiento de medida mediante superposición de impulsos . . . . .	203
11.4	Procedimiento de medida de aplicación universal en sistemas IT de tensión alterna y continua . . . . .	204
11.4.1	Procedimiento de medida AMP controlado por microcontrolador para empleo universal en sistemas IT de tensión alterna y continua . . . . .	205
11.4.2	Procedimiento de medida de código de frecuencia controlado por microcontrolador para sistemas IT con influencia extrema de perturbaciones . . . . .	206
11.5	Dispositivo de detección y búsqueda de fallos de aislamiento en sistemas IT de tensión alterna y continua . . . . .	208
11.5.1	Disposiciones y normas para la búsqueda de fallos de aislamiento . . . . .	209
11.5.2	Dispositivos fijos de búsqueda de fallos de aislamiento para sistemas IT de tensión continua . . . . .	210
11.5.3	Dispositivos de búsqueda de fallos de aislamiento para sistemas IT de tensión alterna y continua . . . . .	211
11.5.4	Dispositivos portátiles de búsqueda de fallos de aislamiento para sistemas IT de tensión alterna, corriente trifásica y tensión continua . . . . .	214
11.6	Resumen final . . . . .	215
<b>12</b>	<b>Elección de los valores de respuesta para los aparatos de vigilancia del aislamiento . . . . .</b>	<b>217</b>
12.1	Ajuste del valor de respuesta para valores óhmicos de aislamiento . . . . .	217
12.2	Ajuste del valor de respuesta en circuitos auxiliares de corriente . . . . .	221
12.3	Tiempo de respuesta de los aparatos de vigilancia del aislamiento . . . . .	222
<b>13</b>	<b>Definiciones de la vigilancia del aislamiento . . . . .</b>	<b>225</b>
13.1	Definiciones según IEC 61557-8:1997-02 . . . . .	225
<b>14</b>	<b>Física de los sistemas IT . . . . .</b>	<b>231</b>
14.1	Corrientes de derivación en sistemas IT . . . . .	231
14.1.1	Cálculo de las corrientes de derivación en sistemas IT . . . . .	232

14.1.2	Determinación de las capacidades de derivación en una red desconectada .....	233
14.1.3	Determinación de las capacidades de derivación durante el funcionamiento .....	234
14.2	Relación de tensión en sistemas IT de tensión alterna .....	235
14.3	Sobretensiones en sistemas IT de tensión alterna y trifásica .....	237
14.3.1	Fuentes de las sobretensiones .....	238
14.3.2	Procesos de compensación en un fallo de aislamiento unipolar ...	239
14.3.3	Elevaciones estacionarias de la tensión .....	240
14.3.4	Derivación a tierra intermitente .....	241
14.3.5	Fallos de aislamiento en el sistema de alimentación .....	242
14.3.6	Conexión de inductancias .....	242
14.3.7	Conexión de conductores y condensadores .....	242
14.3.8	Resonancias y armónicos superiores .....	243
14.3.9	Sobreelevaciones de la tensión en caso de desconexión por cortocircuito .....	243
14.4	El sistema IT y el segundo fallo .....	244
14.4.1	Posibilidades de fallos en un sistema IT de tensión alterna .....	246
<b>15</b>	<b>Lo que debe saberse sobre sistemas IT .....</b>	<b>249</b>
15.1	La historia de la red de suministro de corriente aislada de tierra ...	249
15.2	La historia del sistema de conductor de protección y de la vigilancia del aislamiento .....	257
15.3	Utilización, a nivel mundial, de sistemas IT aislados de tierra con vigilancia del aislamiento .....	267
15.3.1	Sistemas IT en Francia .....	267
15.3.1.1	Clasificación de las normas .....	267
15.3.1.2	Peculiaridades técnicas .....	268
15.3.2	Sistemas IT en el Reino Unido .....	269
15.3.3	Sistemas IT en la República Checa .....	269
15.3.4	Sistema IT en Bulgaria .....	270
15.3.5	Sistemas IT en Dinamarca .....	271
15.3.6	Sistemas IT en los Estados Unidos de América .....	271
15.3.7	Sistemas IT en Hungría .....	272
15.3.8	Sistemas IT en Bélgica .....	273
15.4	Primeras normas de aparatos para la vigilancia del aislamiento ...	274
15.4.1	Aparatos de vigilancia del aislamiento para vigilancia de redes de tensión alterna según DIN VDE 0413 parte 2 .....	274
15.4.2	Aparatos de vigilancia del aislamiento para redes de tensión continua con circuitos de corriente alterna unidos galvánicamente o redes de tensión continua según VDE 0413 parte 8 .....	274
15.4.3	Aparatos de vigilancia del aislamiento según la norma francesa UTE C 63-080/10.90 .....	275

15.5	Sistemas IT y la vigilancia del aislamiento en recintos de uso médico según DIN VDE 0107 – Resumen histórico . . . . .	275
16	<b>Disposiciones y textos de normas sobre el sistema IT . . . . .</b>	<b>281</b>
17	<b>Normas de Referencia . . . . .</b>	<b>301</b>
18	<b>Abreviaturas utilizadas . . . . .</b>	<b>309</b>
19	<b>Indice de figuras . . . . .</b>	<b>311</b>
20	<b>Indice de términos técnicos . . . . .</b>	<b>317</b>