

Contenido

Capítulo 1

| | |
|--|----------|
| Introducción a la instrumentación electrónica | 1 |
| 1.1 Introducción | 1 |
| 1.1.1. Variables y señales..... | 2 |
| 1.1.2. La instrumentación electrónica en el control de procesos..... | 5 |
| 1.2 Sistemas de medida | 9 |
| 1.2.1. Funciones de un sistema de medida..... | 10 |
| 1.2.2. Sistemas de medida multicanal..... | 11 |
| 1.2.3. Arquitecturas de los sistemas de instrumentación..... | 13 |
| 1.3 Características estáticas | 15 |
| 1.3.1. Curva de calibración (<i>Static Transfer Function</i>)..... | 15 |
| 1.3.2. Errores: exactitud, veracidad y precisión | 20 |
| 1.3.3. Propagación de errores..... | 21 |
| 1.3.4. Calibración..... | 23 |
| 1.4 Características dinámicas | 25 |
| 1.4.1. Función de transferencia..... | 25 |
| 1.4.2. Caracterización de la función de transferencia..... | 28 |
| 1.4.3. Evaluación de la respuesta dinámica..... | 32 |

Capítulo 2

| | |
|--|-----------|
| Amplificación | 41 |
| 2.1 Conceptos generales..... | 41 |
| 2.1.1. Amplificar y modificar los valores de una señal..... | 46 |
| 2.1.2. Ruido generado..... | 46 |
| 2.1.3. Filtrado | 47 |
| 2.2 El amplificador operacional | 48 |
| 2.2.1. El amplificador operacional ideal | 48 |
| 2.2.2. El amplificador operacional realimentado en tensión | 51 |
| 2.2.3. Parámetros reales de los operacionales | 52 |
| 2.2.3.1. Características estáticas de los amplificadores operacionales | 55 |
| 2.2.3.2. Características dinámicas de los amplificadores operacionales..... | 76 |
| 2.2.3.3. Ruido interno..... | 86 |

Capítulo 3

| | |
|--|-----------|
| Circuitos amplificadores de uso en instrumentación | 99 |
| 3.1 Amplificadores de instrumentación..... | 99 |
| 3.1.1. Particularidades del amplificador de instrumentación | 100 |
| 3.1.2. Parámetros que caracterizan a un amplificador de instrumentación..... | 110 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.2 | Amplificadores aislados o de aislamiento | 115 |
| 3.2.1. | Tipos de amplificadores aislados | 116 |
| 3.2.2. | Parámetros característicos de los amplificadores de aislamiento | 120 |
| 3.2.3. | Aplicaciones de los amplificadores aislados | 123 |
| 3.3 | Amplificadores de transimpedancia y transconductancia | 123 |
| 3.3.1. | Amplificador de transimpedancia | 124 |
| 3.3.2. | Amplificador de transconductancia | 126 |
| 3.4 | Otros tipos de amplificadores | 128 |
| 3.4.1. | Amplificadores troceadores | 128 |
| 3.4.2. | Amplificadores logarítmicos | 130 |
| 3.5 | Algunos criterios de selección de amplificadores operacionales para instrumentación | 134 |
| 3.6 | Otras consideraciones en el diseño de circuitos con amplificadores operacionales | 136 |
| 3.6.1. | Circuitos basados en operacionales con resistencias reales | 137 |
| 3.6.2. | Circuitos integradores | 139 |
| 3.6.3. | Circuitos derivadores | 141 |

Capítulo 4

| | | |
|---------------------------------|--|-----|
| Filtros analógicos | 145 | |
| 4.1 | Introducción | 145 |
| 4.2 | Clasificación de filtros | 146 |
| 4.3 | Especificaciones de un filtro | 148 |
| 4.3.1. | Especificaciones frecuenciales | 148 |
| 4.3.2. | Especificaciones temporales | 150 |
| 4.4 | Aproximaciones matemáticas | 151 |
| 4.5 | Filtros pasivos RC | 156 |
| 4.6 | Filtros activos | 161 |
| 4.6.1. | Estructuras para la realización de filtros activos | 161 |
| 4.6.2. | Diseño de filtros paso bajo | 161 |
| 4.6.3. | Diseño de filtros paso alto | 169 |
| 4.6.4. | Diseño de filtros paso banda y rechazo de banda | 170 |
| 4.7 | Filtros activos de variables de estado | 173 |
| 4.8 | Filtros de capacidad conmutada | 175 |
| 4.9 | Selección de componentes | 179 |
| 4.10 | Programas de ayuda al diseño de filtros | 182 |
| 4.11 | Comparación de tecnologías de filtros | 183 |
| 4.12 | Aplicaciones de los filtros | 184 |

Capítulo 5

| | | |
|--|--|-----|
| Sensores potenciométricos | 191 | |
| 5.1 | Características generales | 191 |
| 5.2 | Parámetros característicos de los potenciómetros | 193 |
| 5.3 | Tipos de potenciómetros | 194 |
| 5.4 | Acondicionamiento de señal en potenciómetros | 198 |
| 5.5 | Errores debidos al cableado | 203 |

Capítulo 6

| | | |
|--|-----------------------------------|-----|
| Sensores de temperatura de resistencia metálica | 207 | |
| 6.1 | Características generales | 207 |
| 6.1.1. | Curvas de calibración | 208 |
| 6.1.2. | Modelo matemático de la RTD | 210 |

| | | |
|--|--|------------|
| 6.2 | Tipos de RTD. Comparación general | 210 |
| 6.3 | El autocalentamiento | 212 |
| 6.4 | Aplicaciones | 213 |
| 6.5 | Acondicionamiento de la señal..... | 213 |
| 6.5.1. | Puente de Wheatstone alimentado con tensión | 213 |
| 6.5.1.1. | Linealidad..... | 214 |
| 6.5.1.2. | Sensibilidad..... | 215 |
| 6.5.1.3. | Conexión remota del puente | 217 |
| 6.5.2. | Puente de Wheatstone alimentado por corriente | 220 |
| 6.5.2.1. | Linealidad..... | 220 |
| 6.5.2.2. | Sensibilidad..... | 221 |
| 6.5.3. | Otros circuitos acondicionadores para RTDs..... | 223 |
| | | |
| Capítulo 7 | | |
| Galgas extensométricas | | 227 |
| 7.1 | Principio de funcionamiento | 227 |
| 7.2 | Tipos de galgas extensométricas | 230 |
| 7.3 | Utilización de las galgas extensométricas | 232 |
| 7.4 | Circuitos de medida..... | 234 |
| 7.5 | Utilización de los circuitos de medida..... | 239 |
| 7.6 | Aplicaciones..... | 242 |
| 7.6.1. | Medida de estados de deformación..... | 242 |
| 7.6.2. | Medidas de otras variables con galgas extensométricas..... | 245 |
| | | |
| Capítulo 8 | | |
| Termistores y fotorresistencias | | 249 |
| 8.1 | Introducción | 249 |
| 8.2 | Termistores: NTCs | 249 |
| 8.2.1. | Característica R-T de una NTC..... | 251 |
| 8.2.2. | Aproximaciones de la característica resistencia-temperatura..... | 251 |
| 8.2.3. | La NTC como elemento de circuito..... | 252 |
| 8.2.4. | La NTC como sensor de temperatura..... | 254 |
| 8.2.5. | Otras aplicaciones de las NTCs | 258 |
| 8.3 | Termistores de coeficiente de temperatura positivo (PTCs)..... | 262 |
| 8.3.1. | Principio físico de funcionamiento | 262 |
| 8.3.2. | Características generales..... | 262 |
| 8.3.3. | Aplicaciones | 266 |
| 8.4 | Fotorresistencias (LDRs)..... | 268 |
| 8.4.1. | Principio de funcionamiento | 268 |
| 8.4.2. | Modelo de la LDR | 270 |
| 8.4.3. | Aplicaciones de la LDR..... | 271 |
| | | |
| Capítulo 9 | | |
| Otros sensores resistivos | | 277 |
| 9.1 | Sensores de gases de óxidos metálicos semiconductores | 277 |
| 9.2 | Magnetorresistencias..... | 281 |

Capítulo 10

| | |
|--|------------|
| Sensores capacitivos..... | 285 |
| 10.1 Introducción | 285 |
| 10.2 Variación de la capacidad en un condensador de placas paralelas | 287 |
| 10.2.1. Condensador simple..... | 287 |
| 10.2.2. Condensador diferencial | 287 |
| 10.3 Circuitos de medida..... | 289 |
| 10.3.1. Señal de excitación | 290 |
| 10.3.2. Amplificador de alterna | 290 |
| 10.3.3. Puentes de alterna | 291 |
| 10.3.4. Oscilador de frecuencia variable..... | 292 |
| 10.3.5. Demodulador síncrono..... | 292 |
| 10.3.6. Circuitos de capacidad conmutada..... | 293 |
| 10.4 Detectores de proximidad capacitivos..... | 295 |
| 10.5 Sensores capacitivos en silicio | 297 |

Capítulo 11

| | |
|---|------------|
| Sensores inductivos..... | 305 |
| 11.1 Introducción | 305 |
| 11.2 Sensores inductivos básicos | 307 |
| 11.2.1. Sistemas con sensores inductivos | 307 |
| 11.2.2. Circuitos de medida | 309 |
| 11.2.3. Sistemas de medida con sensores inductivos | 311 |
| 11.3 El transformador diferencial lineal (LVDT)..... | 311 |
| 11.3.1. Descripción de funcionamiento | 311 |
| 11.3.2. Circuitos de medida | 312 |
| 11.3.3. Consideraciones prácticas en el diseño de circuitos con LVDT..... | 314 |
| 11.4 Otros sensores inductivos..... | 318 |

Capítulo 12

| | |
|--|------------|
| Sensores electromagnéticos..... | 325 |
| 12.1 Introducción | 325 |
| 12.2 Sensores electromagnéticos lineales..... | 326 |
| 12.3 Sensores electromagnéticos rotativos..... | 326 |
| 12.3.1. Sensores electromagnéticos rotativos de velocidad angular..... | 327 |
| 12.3.2. Sensores electromagnéticos rotativos de posición angular..... | 329 |

Capítulo 13

| | |
|---|------------|
| Termopares | 333 |
| 13.1 Principio de funcionamiento | 333 |
| 13.2 Tipos de termopares | 335 |
| 13.3 Curvas de calibración | 337 |
| 13.4 Efectos de las uniones parásitas | 341 |
| 13.5 Acondicionamiento de señal | 341 |

Capítulo 14

Sensores piezoeléctricos..... 347

- 14.1 Introducción 347
- 14.2 Comportamiento de los materiales piezoeléctricos 350
- 14.3 Los dispositivos piezoeléctricos como sensores..... 353
 - 14.3.1. Medida de fuerza, presión y aceleración..... 353
 - 14.3.2. Problemática de la utilización de sensores piezoeléctricos 355
- 14.4 Sensores de ultrasonidos 364
 - 14.4.1. Los ultrasonidos..... 365
 - 14.4.2. Técnicas de impulso-eco..... 365
 - 14.4.3. Aplicaciones de las técnicas de impulso-eco 370

Capítulo 15

Sensores piroeléctricos 377

- 15.1 Introducción 377
- 15.2 Principio de funcionamiento 377
- 15.3 Circuito equivalente de un sensor piroeléctrico 379
- 15.4 Acondicionamiento de señal 381
- 15.5 Aplicaciones 383

Capítulo 16

Sensores optoelectrónicos generadores de señal 387

- 16.1 Fotodiodos y fototransistores 387
 - 16.1.1. Principio de funcionamiento de los fotodiodos..... 390
 - 16.1.2. Tipos de fotodiodos 392
 - 16.1.3. Modelo eléctrico de un fotodiodo 393
 - 16.1.4. Características de los fotodiodos..... 397
 - 16.1.5. Acondicionamiento de fotodiodos 397
 - 16.1.5.1. Generalidades 399
 - 16.1.5.2. Amplificador corriente-tensión (amplificador de transimpedancia)..... 403
 - 16.1.5.3. Problemática del amplificador corriente-tensión 405
 - 16.1.6. Fototransistores..... 406
 - 16.1.7. Aplicaciones de fotodiodos y fototransistores 407
 - 16.1.7.1. Detectores de proximidad fotoeléctricos..... 408
 - 16.1.7.2. Codificadores ópticos (*optical encoders*)..... 411
 - 16.1.7.3. Sensores de color..... 411
 - 16.1.7.4. Detectores de humo y turbidímetros 412
 - 16.1.7.5. Espectrofotometría de absorción..... 413
- 16.2 Dispositivos de acoplamiento de carga (CCDs) 413
 - 16.2.1. Principio de funcionamiento 414
 - 16.2.1.1. Conversión de la luz a carga eléctrica..... 415
 - 16.2.1.2. Transferencia de las cargas 417
 - 16.2.1.3. Conversión de la carga a tensión (etapa de salida)..... 419
 - 16.2.2. Arquitecturas..... 421
 - 16.2.3. Características..... 422
 - 16.2.4. CCDs para detección de imágenes en color 423
- 16.3 Fotomultiplicadores..... 423
 - 16.3.1. Principio de funcionamiento 423
 - 16.3.2. Tipos de fotomultiplicadores 424
 - 16.3.3. Características..... 424

| | | |
|---------|---------------------------------|-----|
| 16.3.4. | Alimentación..... | 425 |
| 16.3.5. | Acondicionamiento de señal..... | 426 |
| 16.3.6. | Aplicaciones..... | 427 |

Capítulo 17

| | | |
|-------------------------------------|---|-----|
| Sensores de efecto Hall..... | 431 | |
| 17.1 | El efecto Hall..... | 431 |
| 17.2 | Sensores Hall de salida lineal..... | 433 |
| 17.3 | Sensores Hall de salida digital..... | 436 |
| 17.4 | Modos de operación..... | 438 |
| 17.5 | Dispositivos de medida basados en el efecto Hall..... | 440 |
| 17.6 | Ejemplos de aplicaciones..... | 442 |

Capítulo 18

| | | |
|-------------------------------------|---|-----|
| Otros tipos de sensores..... | 451 | |
| 18.1 | Sensores de fibra óptica..... | 451 |
| 18.1.1. | Fundamentos de la fibra óptica..... | 451 |
| 18.1.2. | Clasificación de los sensores de fibra óptica..... | 456 |
| 18.1.3. | Sensores de fibra óptica basados en modulación de amplitud..... | 457 |
| 18.1.4. | Sensores de fibra óptica basados en modulación de fase..... | 461 |
| 18.2 | Biosensores..... | 464 |
| 18.2.1. | Introducción..... | 465 |
| 18.2.2. | Tipos de biosensores..... | 466 |

Capítulo 19

| | | |
|---|--|-----|
| Criterios para la selección de sensores..... | 473 | |
| 19.1 | Medida de la temperatura..... | 473 |
| 19.1.1. | Introducción..... | 473 |
| 19.1.2. | RTD vs termopar..... | 474 |
| 19.1.3. | NTC vs sensores de silicio..... | 477 |
| 19.1.4. | Sensores de radiación..... | 478 |
| 19.2 | Medida de las principales variables mecánicas..... | 481 |
| 19.2.1. | Medida de presencia y proximidad..... | 482 |
| 19.2.2. | Medida de la posición..... | 486 |
| 19.2.3. | Medida de la velocidad..... | 493 |
| 19.2.4. | Medida de la aceleración y de la vibración..... | 496 |
| 19.2.5. | Medida de fuerza y de peso..... | 498 |
| 19.2.6. | Medida de la presión..... | 501 |
| 19.2.7. | Medida del flujo..... | 507 |
| 19.2.8. | Medida del nivel..... | 513 |
| 19.3 | Medida de magnitudes eléctricas..... | 519 |
| 19.3.1. | Resistencia <i>shunt</i> | 519 |
| 19.3.2. | Transformador de intensidad..... | 521 |
| 19.3.3. | Sensores de efecto Hall..... | 523 |
| 19.3.4. | Sensores magnetorresistivos..... | 526 |
| 19.3.5. | Sensores de fibra óptica..... | 528 |
| 19.4 | Medida de magnitudes ópticas..... | 530 |
| 19.4.1. | Sistemas de medida de radiación óptica..... | 530 |
| 19.4.2. | Sensores ópticos..... | 532 |

| | | |
|---|--|------------|
| Capítulo 20 | | |
| Introducción a la transmisión de señal | | 537 |
| 20.1 La transmisión..... | | 537 |
| 20.1.1 Medios de transmisión..... | | 538 |
| 20.1.1.1 Medios de transmisión guiados..... | | 539 |
| 20.1.1.2 Medios no guiados..... | | 546 |
| 20.1.2 Codificación de la información..... | | 549 |
| 20.2 Telemedida..... | | 550 |
| 20.3 Bucles de tensión y bucles de corriente..... | | 551 |
| 20.3.1 Bucles de tensión..... | | 551 |
| 20.3.2 Bucles de corriente..... | | 555 |
| 20.3.3 Conversión V/I..... | | 559 |
| 20.3.4 Conversión I/V..... | | 562 |
| 20.3.5 Consideraciones prácticas sobre los bucles de corriente..... | | 563 |
| Capítulo 21 | | |
| Modulación y demodulación | | 567 |
| 21.1 Modulación con portadora analógica y moduladora analógica..... | | 569 |
| 21.1.1 Modulación AM..... | | 569 |
| 21.1.2 Modulación FM..... | | 573 |
| 21.1.3 Modulación PM..... | | 576 |
| 21.2 Modulación con portadora analógica y moduladora digital..... | | 577 |
| 21.2.1 Modulación ASK..... | | 577 |
| 21.2.2 Modulación FSK..... | | 580 |
| 21.2.3 Modulación PSK..... | | 583 |
| 21.3 Modulaciones con portadora digital y moduladora analógica..... | | 586 |
| Capítulo 22 | | |
| Variables muestreadas | | 591 |
| 22.1 Introducción..... | | 591 |
| 22.2 Variables analógicas, digitales y muestreadas..... | | 591 |
| 22.3 Teorema del muestreo..... | | 592 |
| 22.3.1 El problema del solapamiento o <i>aliasing</i> | | 596 |
| 22.3.2 Selección de la frecuencia de muestreo..... | | 597 |
| 22.3.3 Limitaciones..... | | 598 |
| 22.4 Variables submuestreadas..... | | 601 |
| 22.5 Reconstrucción de señales a partir de muestras..... | | 601 |
| 22.6 Muestreo y retención..... | | 603 |
| 22.6.1 El modo muestreo..... | | 603 |
| 22.6.2 El modo retención..... | | 604 |
| 22.6.3 La transición del modo muestreo al modo retención..... | | 605 |
| 22.6.4 Circuitos prácticos de muestreo y retención..... | | 607 |
| 22.7 Multiplexación de señales analógicas..... | | 609 |
| 22.7.1 La multiplexación y la frecuencia de muestreo..... | | 611 |
| Capítulo 23 | | |
| Conversión entre variables analógicas y digitales..... | | 617 |
| 23.1 Cuantificación..... | | 617 |
| 23.2 Codificación..... | | 621 |
| 23.2.1 Códigos binarios unipolares..... | | 621 |
| 23.2.2 Códigos binarios bipolares..... | | 622 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 23.3 | Conversión Digital-Analógica..... | 624 |
| 23.3.1. | Características de la conversión D/A..... | 625 |
| 23.3.1.1. | Características estáticas..... | 625 |
| 23.3.1.2. | Características dinámicas..... | 626 |
| 23.3.1.3. | Errores en los convertidores D/A..... | 628 |
| 23.3.2. | Tipos de convertidores D/A..... | 631 |
| 23.3.2.1. | Convertidores de elementos ponderados en binario..... | 631 |
| 23.3.2.2. | Convertidores de código de termómetro..... | 634 |
| 23.3.2.3. | Convertidores de redes escalera (<i>ladder</i>)..... | 637 |
| 23.3.2.4. | Convertidores de tensiones o corrientes segmentadas..... | 639 |
| 23.3.2.5. | Convertidores Sigma-Delta..... | 641 |
| 23.3.3. | Estructuras de la entrada en los circuitos integrados. Circuitos múltiples..... | 642 |
| 23.3.3.1. | Estructuras de la entrada..... | 642 |
| 23.3.3.2. | Convertidores múltiples..... | 643 |
| 23.3.4. | Comparación y criterios de selección..... | 643 |
| 23.4 | Conversión Analógica-Digital..... | 644 |
| 23.4.1. | Características de la conversión A/D..... | 645 |
| 23.4.1.1. | Características estáticas..... | 645 |
| 23.4.1.2. | Características dinámicas..... | 648 |
| 23.4.1.3. | Errores en los convertidores A/D..... | 649 |
| 23.4.2. | Tipos de convertidores..... | 654 |
| 23.4.2.1. | Convertidores directos..... | 654 |
| 23.4.2.2. | Convertidores indirectos..... | 659 |
| 23.4.3. | Comparación y criterios de selección..... | 669 |

Capítulo 24

Procesadores digitales de señal 673

| | | |
|---------|--|-----|
| 24.1 | Microprocesadores, microcontroladores y DSP..... | 673 |
| 24.2 | Procesamiento de la información..... | 692 |
| 24.3 | Comunicación hombre-máquina..... | 693 |
| 24.3.1. | Presentación de la información..... | 693 |
| 24.4 | Sensores inteligentes..... | 700 |

Capítulo 25

Sistemas de adquisición de datos 707

| | | |
|---------|--|-----|
| 25.1 | Introducción a los sistemas de adquisición de datos (SAD)..... | 707 |
| 25.2 | Configuraciones de un sistema de adquisición de datos..... | 708 |
| 25.2.1. | Tarjetas de adquisición de datos..... | 709 |
| 25.3 | Buses de instrumentos..... | 716 |
| 25.3.1. | El bus GPIB..... | 717 |
| 25.3.2. | Bus VXI..... | 721 |

Capítulo 26

Buses de campo 725

| | | |
|------|--|-----|
| 26.1 | Introducción: conceptos previos..... | 725 |
| 26.2 | Características de las redes de control..... | 729 |
| 26.3 | Buses de campo..... | 732 |

| | |
|---|------------|
| Capítulo 27 | |
| Software de instrumentación | 741 |
| 27.1 Instrumentos digitales | 741 |
| 27.2 Software de instrumentación | 741 |
| | |
| Capítulo 28 | |
| Interferencias electromagnéticas | 747 |
| 28.1 Introducción | 747 |
| 28.1.1. Definiciones | 747 |
| 28.1.2. Desde la fuente a la víctima | 749 |
| 28.1.3. Normativa | 752 |
| 28.2 Fuentes de interferencias | 752 |
| 28.2.1. Sistemas y componentes sin transitorios | 753 |
| 28.2.2. Sistemas y componentes con transitorios | 755 |
| 28.2.3. Sistemas generadores de arcos | 756 |
| 28.2.4. Otras fuentes de interferencias | 758 |
| 28.3 Acoplamiento de fuentes de interferencias | 759 |
| 28.3.1. Acoplamientos conductivos | 759 |
| 28.3.2. Acoplamientos no conductivos | 763 |
| 28.4 Minimización de los efectos de las interferencias | 770 |
| | |
| Capítulo 29 | |
| Cableado y apantallado | 773 |
| 29.1 Minimización de interferencias conductivas | 773 |
| 29.1.1. Conexionado de las masas y alimentaciones | 773 |
| 29.1.2. Problemática de la conexión a tierra | 775 |
| 29.1.2.1. Bucles de tierra | 775 |
| 29.1.2.2. Punto de conexión a tierra | 781 |
| 29.2 Minimización de interferencias debidas a acoplamientos inductivos | 783 |
| 29.3 Minimización de interferencias debidas a acoplamientos capacitivos | 784 |
| 29.3.1. Guardas activas | 786 |
| 29.4 Minimización de interferencias radiadas. Pantallas | 789 |
| 29.4.1. Pantallas para campos cercanos | 791 |
| | |
| Capítulo 30 | |
| Las tarjetas de circuito impreso | 797 |
| 30.1 Aspectos generales en el diseño de circuitos electrónicos y normativa | 797 |
| 30.2 Tarjetas de circuito impreso. Tecnologías | 801 |
| 30.3 Consideraciones de diseño de los circuitos impresos para sistemas de instrumentación | 803 |
| 30.3.1. Las alimentaciones y la masa | 805 |
| 30.3.2. Las pistas de señal | 810 |
| 30.3.2.1. Trazado de pistas para señales referidas a masa | 810 |
| 30.3.2.2. Pistas para señales diferenciales | 818 |
| 30.4 ¿Qué debemos tener en cuenta? | 820 |

Capítulo 31

| | |
|---|----------------|
| Seguridad en los sistemas de instrumentación | 823 |
| 31.1 La puesta a tierra | 823 |
| 31.2 Seguridad en atmósferas explosivas | 826 |
| 31.2.1. Métodos de protección..... | 828 |
| 31.2.2. Seguridad intrínseca..... | 829 |
| 31.2.2.1. Riesgo de inflamación debido a chispas | 829 |
| 31.2.2.2. Riesgo de inflamación debido a temperaturas elevadas | 833 |
| 31.2.2.3. Interfaz entre circuitos de seguridad intrínseca y circuitos sin seguridad intrínseca ... | 833 |
| 31.2.2.4. La puesta a tierra | 835 |
| 31.2.2.5. Certificación | 836 |
| Bibliografía y referencias..... | 839 |
| Índice alfabético..... | 853 |