

# Contenido

## Capítulo 1

<b>Introducción a la instrumentación electrónica .....</b>	<b>1</b>
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

<b>Amplificación .....</b>	<b>41</b>
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

<b>Circuitos amplificadores de uso en instrumentación .....</b>	<b>99</b>
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
<b>Capítulo 4</b>		
<b>Filtros analógicos .....</b>		
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
<b>Capítulo 5</b>		
<b>Sensores potenciométricos .....</b>		
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
<b>Capítulo 6</b>		
<b>Sensores de temperatura de resistencia metálica .....</b>		
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**

<b>Galgas extensométricas .....</b>		
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**

<b>Termistores y fotorresistencias .....</b>		
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**

<b>Otros sensores resistivos .....</b>		
9.1	Sensores de gases de óxidos metálicos semiconductores .....	277
9.2	Magnetorresistencias .....	281

<b>Capítulo 10</b>	<b>285</b>
<b>Sensores capacitivos.....</b>	<b>285</b>
10.1 Introducción.....	287
10.2 Variación de la capacidad en un condensador de placas paralelas.....	287
10.2.1. Condensador simple.....	287
10.2.2. Condensador diferencial.....	289
10.3 Circuitos de medida.....	290
10.3.1. Señal de excitación.....	290
10.3.2. Amplificador de alterna.....	291
10.3.3. Puentes de alterna.....	292
10.3.4. Oscilador de frecuencia variable.....	292
10.3.5. Demodulador síncrono.....	293
10.3.6. Circuitos de capacidad conmutada.....	295
10.4 Detectores de proximidad capacitivos.....	297
10.5 Sensores capacitivos en silicio.....	297
<b>Capítulo 11</b>	<b>305</b>
<b>Sensores inductivos.....</b>	<b>305</b>
11.1 Introducción.....	307
11.2 Sensores inductivos básicos.....	307
11.2.1. Sistemas con sensores inductivos.....	309
11.2.2. Circuitos de medida.....	311
11.2.3. Sistemas de medida con sensores inductivos.....	311
11.3 El transformador diferencial lineal (LVDT).....	311
11.3.1. Descripción de funcionamiento.....	312
11.3.2. Circuitos de medida.....	314
11.3.3. Consideraciones prácticas en el diseño de circuitos con LVDT.....	318
11.4 Otros sensores inductivos.....	318
<b>Capítulo 12</b>	<b>325</b>
<b>Sensores electromagnéticos.....</b>	<b>325</b>
12.1 Introducción.....	326
12.2 Sensores electromagnéticos lineales.....	326
12.3 Sensores electromagnéticos rotativos.....	327
12.3.1. Sensores electromagnéticos rotativos de velocidad angular.....	329
12.3.2. Sensores electromagnéticos rotativos de posición angular.....	329
<b>Capítulo 13</b>	<b>333</b>
<b>Termopares.....</b>	<b>333</b>
13.1 Principio de funcionamiento.....	335
13.2 Tipos de termopares.....	337
13.3 Curvas de calibración.....	341
13.4 Efectos de las uniones parásitas.....	341
13.5 Acondicionamiento de señal.....	341

<b>Capítulo 14</b>	<b>347</b>
<b>Sensores piezoeléctricos.....</b>	<b>347</b>
14.1 Introducción.....	350
14.2 Comportamiento de los materiales piezoeléctricos.....	353
14.3 Los dispositivos piezoeléctricos como sensores.....	353
14.3.1. Medida de fuerza, presión y aceleración.....	355
14.3.2. Problemática de la utilización de sensores piezoeléctricos.....	364
14.4 Sensores de ultrasonidos.....	365
14.4.1. Los ultrasonidos.....	365
14.4.2. Técnicas de pulso-eco.....	370
14.4.3. Aplicaciones de las técnicas de pulso-eco.....	370
<b>Capítulo 15</b>	<b>377</b>
<b>Sensores piroeléctricos.....</b>	<b>377</b>
15.1 Introducción.....	377
15.2 Principio de funcionamiento.....	379
15.3 Circuito equivalente de un sensor piroeléctrico.....	381
15.4 Acondicionamiento de señal.....	383
15.5 Aplicaciones.....	383
<b>Capítulo 16</b>	<b>387</b>
<b>Sensores optoelectrónicos generadores de señal.....</b>	<b>387</b>
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 ( <i>optical encoders</i> ).....	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



INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRÓNICA

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.	Conexión de las masas y alimentaciones.....	773
29.1.2.	Problemática de la conexión a tierra.....	775
29.1.2.1.	Bucles de tierra.....	781
29.1.2.2.	Punto de conexión a tierra.....	783
29.2	Minimización de interferencias debidas a acoplamientos inductivos.....	784
29.3	Minimización de interferencias debidas a acoplamientos capacitivos.....	786
29.3.1.	Guardas activas.....	789
29.4	Minimización de interferencias radiadas. Pantallas.....	791
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**

<b>Seguridad en los sistemas de instrumentación .....</b>	<b>823</b>
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
 <b>Bibliografía y referencias.....</b>	 <b>839</b>
 <b>Índice alfabético.....</b>	 <b>853</b>