

Contenido

	Página
LISTA DE TABLAS	XIII
LISTA DE FIGURAS	XVII
PREFACIO	XXIII
Parte I Mediciones	1
Capítulo 1. Metrología	5
1.1. Introducción	5
1.2. Cubrimiento y categorías de la metrología	6
1.2.1. Metrología científica	6
1.2.2. Metrología industrial	7
1.2.3. Metrología legal	7
1.3. Organismos internacionales	8
1.4. Organismos nacionales	10
1.5. Conceptos básicos	11
1.5.1. Magnitud	11
1.5.2. Patrón	11
1.5.3. Unidad de medida	12
1.6. Sistemas de magnitudes y unidades	12
1.6.1. Magnitudes básicas	12
1.6.2. Magnitudes derivadas	13
1.6.3. Ecuación entre magnitudes	13
1.6.4. Dimensión de una magnitud	14
1.6.5. Unidad básica	14
1.6.6. Unidad derivada	15
1.6.7. Ecuación entre unidades	15
1.6.8. Coherencia de un sistema	15
1.7. Sistema internacional	15
1.7.1. Sistema Internacional de Magnitudes	17

1.7.2.	Sistema Internacional de Unidades	17
1.7.3.	Magnitudes y unidades básicas	18
1.7.4.	Constantes de referencia para las unidades del SI	18
1.7.5.	Definición de las unidades del SI	19
1.7.6.	Nombres castellanizados de algunas unidades	26
1.7.7.	Magnitudes SI derivadas	26
1.7.8.	Unidades SI derivadas	27
1.7.9.	Simplificación de la expresión de unidades	27
1.7.10.	Magnitudes ordinales	28
1.7.11.	Unidades para magnitudes de dimensión uno	29
1.8.	Unidades no pertenecientes al SI	29
1.8.1.	Unidades no-SI de uso permitido con el SI	30
1.8.2.	Unidades no-SI condicionalmente aceptadas	33
1.8.3.	Unidades no aceptadas para uso conjunto con unidades SI	33
1.8.4.	Algunas unidades no-SI de uso no aceptado	34
1.9.	Unidades para expresiones logarítmicas	35

Capítulo 2. Normas para el ISQ y el SI 37

2.1.	Introducción	37
2.2.	Elementos del valor de una magnitud	38
2.3.	Símbolos para las magnitudes	39
2.3.1.	Reglas para las magnitudes	39
2.4.	Simbología del valor numérico	40
2.4.1.	Reglas para el valor numérico	40
2.5.	Simbología en las unidades	41
2.5.1.	Reglas para las unidades	42
2.6.	Simbología para las constantes	43
2.6.1.	Reglas para las constantes	44
2.7.	Múltiplos y submúltiplos	44
2.7.1.	Múltiplos y submúltiplos decimales	44
2.7.2.	Múltiplos binarios	46
2.8.	Álgebra de magnitudes	48
2.8.1.	Ecuaciones entre magnitudes	48
2.8.2.	Ecuaciones entre unidades	49
2.8.3.	Ecuaciones entre valores numéricos	49
2.9.	Simbología matemática	52

2.9.1.	Variables y funciones	52
2.9.2.	Expresiones simbólicas	53
Capítulo 3.	La cadena de medición	59
3.1.	Introducción	59
3.2.	El proceso de medición	60
3.2.1.	La magnitud	60
3.2.2.	El patrón	61
3.2.3.	El valor numérico	61
3.2.4.	El sistema de medición	62
3.2.5.	La medición	62
3.2.6.	Indicación	62
3.2.7.	Incertidumbre de una medición	62
3.2.8.	Resultado de una medición	63
3.2.9.	Error de una medición	63
3.3.	Elementos de la cadena de medida	63
3.3.1.	La fuente	63
3.3.2.	El elemento primario	64
3.3.3.	El acondicionador	66
3.3.4.	El discretizador	67
3.3.5.	El emulador	67
3.3.6.	El indicador o visualizador	68
3.4.	Especificaciones de la cadena de medida	69
3.4.1.	Especificaciones asociadas al elemento primario	69
3.4.2.	Especificaciones asociadas a la capacidad	71
3.4.3.	Especificaciones asociadas a la calidad	72
3.4.4.	Especificaciones asociadas al ajuste y calibración	77
3.4.5.	Especificaciones generales	79
3.5.	Características dinámicas del sensor	79
3.5.1.	Sensor de orden cero	80
3.5.2.	Sensor de orden uno	81
Parte II	Instrumentación	87
Capítulo 4.	Modelo matemático del instrumento	91
4.1.	Introducción	91
4.2.	Modelo general de una etapa	92
4.3.	Primera etapa: sensor	93
4.4.	Segunda etapa: acondicionador	94

4.5.	Tercera etapa: discretizador	97
4.5.1.	Funcionamiento del conversor análogo digital	97
4.5.2.	Modelamiento del CAD	99
4.6.	Cuarta etapa: emulador	101
4.6.1.	Emulador de sensibilidad constante	102
4.6.2.	Resolución de un instrumento	103
 Capítulo 5. Acondicionamiento de sensores resistivos		107
5.1.	Introducción	107
5.2.	Acondicionamiento con fuente	108
5.3.	Acondicionamiento con fuente de voltaje	109
5.4.	Acondicionamiento con fuente de corriente	110
5.5.	Acondicionamiento potenciométrico	111
5.6.	Acondicionamiento con puente no lineal	113
5.7.	Acondicionamiento con puentes lineales	117
5.7.1.	Puente de un amplificador operacional	117
5.7.2.	Puente con dos AO	119
5.7.3.	Puente lineal de dos sensores	120
5.7.4.	Puente lineal de cuatro sensores	121
5.8.	Linealización	126
5.8.1.	Linealización en serie	126
5.8.2.	Linealización paralela	128
 Capítulo 6. Emulación de la medida		131
6.1.	Introducción	131
6.2.	Emulación analógica	133
6.2.1.	Emulación de una recta	133
6.2.2.	Emulación de una función segmentada	135
6.2.3.	Emulación de un polinomio	142
6.2.4.	Generador multifuncional	145
6.3.	Emulación digital	148
6.3.1.	Emulación de una función segmentada	148
6.3.2.	Emulación digital de un polinomio	150
6.3.3.	Emulación digital por tabulación	151
 Parte III Sensórica		159
 Capítulo 7. Ecuaciones empíricas		163
7.1.	Introducción	163
7.2.	Método de determinación de EE	165
7.3.	EE de funciones lineales	165

7.3.1.	Método de promedios	166
7.3.2.	Método de mínimos cuadrados	167
7.4.	EE de funciones no lineales	168
7.5.	Técnicas de linealización de datos	169
7.6.	Análisis de regresión	184
Capítulo 8. Sensores de temperatura		187
8.1.	Introducción	187
8.2.	Escala internacional de temperatura	189
8.3.	Escalas de temperatura	191
8.3.1.	Escala absoluta de kelvin	191
8.3.2.	Escala absoluta de Rankine	191
8.3.3.	Escala derivada de Celsius	192
8.3.4.	Escala derivada de Fahrenheit	192
8.3.5.	Equivalencias entre escalas	192
8.4.	Métodos de medición de temperatura	193
8.5.	Sensores resistivos	194
8.5.1.	Sensor resistivo de temperatura RTD	195
8.5.2.	Termistor NTC	201
8.5.3.	Termistor PTC	204
8.6.	Termopares	205
8.6.1.	Efectos termoeléctricos	206
8.6.2.	Modelo para el termopar de Seebeck	210
8.6.3.	Medición de la ftem de Seebeck	213
8.6.4.	Propiedades del modelo de Seebeck	214
8.6.5.	Tipos de termopares	217
8.6.6.	Modelos de trabajo	219
8.6.7.	Acondicionamiento de la referencia	223
8.6.8.	Compensación de unión fría	225
8.6.9.	Arreglos de termopares	228
8.6.10.	Cables de extensión y de compensación	230
8.6.11.	Tipos de unión y encapsulado	232
8.7.	Uniones semiconductoras	234
8.7.1.	Estudio del sistema básico	235
8.7.2.	Sensores integrados	238
8.8.	Autocalentamiento en sensores resistivos	241
8.8.1.	Ley de Ohm térmica	242
8.8.2.	Circuito térmico equivalente del proceso de medición	243

Capítulo 9. Sensores ópticos	255
9.1. Introducción	255
9.1.1. Sensibilidad del ojo humano	256
9.1.2. Regiones espectrales	258
9.1.3. Fotometría	258
9.1.4. Fuentes luminosas	266
9.2. La fotoconducción	268
9.2.1. Efecto fotoeléctrico	269
9.3. Celda fotoconductoras	272
9.3.1. Materiales y sus características	272
9.3.2. Especificaciones y modelo eléctrico	272
9.4. Fotodiodo	275
9.4.1. Análisis en la unión PN	275
9.4.2. Curva característica	277
9.4.3. Parámetros y modelo eléctrico	278
9.4.4. Parámetros ópticos	279
9.4.5. Fotodiodo PIN	282
9.4.6. Modos de trabajo del fotodiodo	283
9.4.7. Materiales y tipos de fotodiodos	287
9.4.8. Acondicionamiento	287
9.5. Fototransistor	289
9.5.1. Estructura y funcionamiento	289
9.5.2. Características	290
9.6. Tubo fotomultiplicador	291
9.6.1. La ventana	292
9.6.2. El fotocátodo	293
9.6.3. El multiplicador electrónico	295
9.6.4. Acondicionamiento del TFM	299
9.6.5. Acople de la carga	300
9.7. Multiplicador electrónico sCEM	303
9.7.1. Estructura	304
9.7.2. Parámetros	305
9.7.3. Modos de operación	307
Capítulo 10. Sensores de presión	309
10.1. Generalidades	309
10.1.1. Tipos de medidas de presión	310
10.1.2. Unidades	310
10.2. Propiedades de los fluidos	312
10.2.1. Presión total en líquidos	313
10.2.2. Presión total en gases	313
10.3. Sensores para alta presión	313
10.3.1. Cuerpos de prueba	314

10.3.2.	Detección del desplazamiento o la deformación	315
10.4.	Sensores para vacío	321
10.4.1.	Propiedades de los gases	321
10.4.2.	Sensores por deformación	323
10.4.3.	Sensores por conductividad térmica	323
10.4.4.	Sensores por ionización	327
Capítulo 11.	Sensores de flujo	331
11.1.	Principios de dinámica de fluidos	331
11.1.1.	Conservación de la masa	332
11.1.2.	Tipos de flujo	332
11.1.3.	Energía de un fluido en movimiento	334
11.1.4.	Teorema de Bernoulli	335
11.2.	Métodos de medida	337
11.3.	Flujómetros por presión diferencial	337
11.3.1.	La placa orificio	338
11.3.2.	Tubo Venturi	340
11.3.3.	La tobera o boquilla	340
11.4.	Flujómetros de área variable	341
11.4.1.	El rotámetro	341
11.4.2.	La compuerta o veleta	344
11.5.	Medidores de flujo-masa	345
11.5.1.	Flujómetro de masa térmico	345
11.5.2.	Flujómetro por efecto coriolis	347
11.6.	Flujómetros de ultrasonido	349
11.6.1.	Flujómetro de tiempo de tránsito	349
11.7.	Flujómetros magnéticos	351
Referencias		353
Apéndices		357
Apéndice A. Ejercicios		357
A.1.	Ejercicios sobre metrología	360
A.2.	Ejercicios sobre expresiones matemáticas	365
A.3.	Ejercicios sobre especificaciones	371
A.4.	Ejercicios sobre análisis y diseño	378
A.5.	Ejercicios sobre acondicionamiento	382
A.6.	Ejercicios sobre ecuaciones empíricas	388
A.7.	Ejercicios sobre emulación	393
A.8.	Ejercicios sobre sensores de temperatura	398
A.9.	Ejercicios sobre sensores ópticos	405

A.10. Ejercicios sobre sensores de presión	410
A.11. Ejercicios sobre sensores de flujo	413
Índice analítico	417