

## INDICE

<b>PARTE 1</b>	
Conceptos generales	1
<b>Capítulo 1</b>	
Tipos de aplicaciones de los instrumentos para medición	3
1.1 ¿Por qué estudiar los sistemas de medición?	3
1.2 Clasificación de los tipos de aplicaciones de la medición	5
1.3 Máquinas y procesos asistidos por computadora	8
1.4 Conclusión 8 Problemas	9
Bibliografía	11
<b>Capítulo 2</b>	
Configuraciones generalizadas y descripciones funcionales de los instrumentos de medición	12
2.1 Elementos funcionales de un instrumento	12
2.2 Transductores activos y pasivos	16
2.3 Modos analógico y digital de operación	17
2.4 Métodos de ajuste a cero y de deflexión	19
2.5 Configuración de entrada-salida de los instrumentos y sistemas de medición	20
Métodos de corrección para entradas de interferencia y modificadoras	23
2.6 Conclusión	33
Problemas	34
<b>Capítulo 3</b>	
Características generalizadas de desempeño o funcionamiento de los instrumentos	36
3.1 Introducción	36
3.2 Características estáticas y calibración estática	37
Significado de la calibración estática	37
Valor medido en comparación con el valor verdadero	38
Algunas estadísticas básicas	41
Curvas de calibración de mínimos cuadrados	49
Exactitud de la calibración en comparación con la exactitud instalada	54
Combinación de errores de los componentes en los cálculos de la exactitud total del sistema	59
Validación de la teoría mediante pruebas experimentales	64
Efecto del error de medición sobre las decisiones de control de calidad en la fabricación	65
Sensibilidad estática	68
Calibración y medición asistidos por computadora: regresión múltiple	69
Linealidad	76
Umbral mínimo de ruido, resolución, histéresis y espacio muerto	77
Legibilidad de la escala	81

Límites de la escala o alcance	81
Rigidez estática e impedancia de entrada generalizadas: efectos de carga	82
Conclusiones importantes sobre las características estáticas	92
3.3 Características dinámicas	92
Modelo matemático generalizado del sistema de medición	92
Métodos de simulación digital para el análisis de respuesta dinámica	94
Función de transferencia operacional	95
Función de transferencia senoidal	95
Instrumento de orden cero	97
Instrumento de primer orden	99
Respuesta a una entrada en escalón de los instrumentos de primer orden	102
Respuesta a una entrada en rampa de los instrumentos de primer orden	108
Respuesta de frecuencia de los instrumentos de primer orden	109
Respuesta al impulso de los instrumentos de primer orden	114
Instrumento de segundo orden	118
Respuesta a una entrada en escalón de los instrumentos de segundo orden	119
Respuesta a una entrada en rampa acotada de los instrumentos de segundo orden	120
Respuesta a una entrada a la rampa de los instrumentos de segundo orden	122
Respuesta de frecuencia de los instrumentos de segundo orden	122
Respuesta al impulso de los instrumentos de segundo orden	124
Elementos de tiempo muerto	125
Trazado de gráficas logarítmicas de las curvas de respuesta de frecuencia	128
Respuesta de una forma general de instrumento a una entrada periódica	134
Respuesta de una forma general de instrumento a una entrada transitoria	139
Espectros de frecuencia, de señales de amplitud modulada	148
Características de las señales aleatorias	159
Requisitos en la función de transferencia de los instrumentos para garantizar una medición exacta	174
Selección del sensor utilizando una simulación por computadora	179
Corrección numérica de datos dinámicos	181
Determinación experimental de los parámetros del sistema de medición	184
Efectos de carga en condiciones dinámicas	189
Problemas	192
Bibliografía	198

<b>PARTE 2</b>	
Dispositivos de medición	201
<b>Capítulo 4</b>	
Medición de movimiento y dimensiones	203
4.1 Introducción	203
4.2 Patrones fundamentales	203
4.3 Desplazamiento relativo: traslacional y rotacional	204
Calibración	204
Potenciómetros resistivos	208
Extensómetro de resistencia	216
Transformadores diferenciales	229
Sincros y resolvers	236
Detectores de reluctancia e inductancia variables	240
Transductores de no contacto de corrientes parásitas	244
Detectores de capacitancia	245
Transductores piezoeléctricos	255
Dispositivos electroópticos	262
Técnicas de generación de imágenes fotográficas y electrónicas	279
Técnicas de análisis de esfuerzo foto elástico, de recubrimiento frágil y de borde de Moiré	286
Transductor de desplazamiento a presión (boquilla de aleta)	288
Transductores digitales de desplazamiento (codificadores de traslación y de rotación)	293
Transductores ultrasónicos	300
4.4 Velocidad relativa: traslacional y rotacional	302
Calibración	302
Velocidad mediante diferenciación eléctrica de señales de voltaje de desplazamiento	303
Velocidad promedio a partir de $A_x$ y $A_L$ medidos	304
Sensor de velocidad angular con contrapesos (centrífugo) mecánico	305
Contadores y temporizadores de revoluciones mecánicos	307
Métodos de codificador tacómetro	307
Métodos basados en láser	309
Sensores de velocidad (microondas) de radar	309
Métodos estroboscópicos	310
Transductores de velocidad traslacional (Detectores de bobina móvil y de imán móvil)	312
Tacogeneradores de cd para medición de la velocidad rotatoria	312
Tacogeneradores de ca para medición de velocidad rotatoria	313
Tacómetro con copa de arrastre de corriente parásita	314
4.5 Mediciones de aceleración relativa	315
4.6 Detectores de desplazamiento sísmico (absoluto)	315
4.7 Detectores de velocidad sísmica (absoluta)	319
4.8 Detectores de aceleración sísmica (absoluta) (acelerómetros)	320

Acelerómetros tipo deflexión	321
Acelerómetros tipo balance nulo (servo)	329
Acelerómetros para navegación inercial	333
Carga mecánica de los acelerómetros en el objeto de prueba	334
Vibrómetros Doppler-láser	334
4.9 Calibración de detectores de vibración	335
4.10 Detectores de sacudida	338
4.11 Sensores de desplazamiento angular pendulares (referidos a la gravedad)	340
4.12 Sensores de desplazamiento y velocidad angular giroscópicos (absolutos)	343
4.13 Máquinas de medición por medio de coordenadas	357
4.14 Medición de acabado superficial	364
4.15 Visión por máquina	369
4.16 Sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés)	377
Problemas	379
Bibliografía	386
<b>Capítulo 5</b>	
Medición de fuerza, momento de torsión y potencia en la flecha	388
5.1 Patrones y calibración	388
5.2 Métodos básicos de medición de fuerza	390
5.3 Características de los transductores de fuerza elásticos	396
Transductores con extensómetros adheridos	401
Transductores basados en transformadores diferenciales	406
Transductores piezoeléctricos	406
Sistemas digitales de reluctancia variable oscilador de FM	409
Efectos de carga	410
5.4 Descomposición de fuerzas vectoriales y momentos en componentes rectangulares	410
5.5 Medición del par de torsión en flechas rotatorias	418
5.6 Medición de potencia en flechas (dinamómetros)	423
5.7 Medición de fuerza y par de torsión giroscópica	427
5.8 Transductores de fuerza de alambre vibratorio	427
Problemas	429
Bibliografía	432
<b>Capítulo 6</b>	
Medición de presión y sonido	433
6.1 Patrones y calibración	433
6.2 Métodos básicos de medición de presión	435
6.3 Medidores de peso muerto y manómetros	435
Dinámica del manómetro	441
6.4 Transductores elásticos	450
6.5 Transductores de cilindro vibratorio y otros transductores resonantes	463

6.6 Efectos dinámicos de volúmenes y tubería de conexión	465
Sistemas líquidos extremadamente amortiguados de acción lenta	465
Sistemas líquidos moderadamente amortiguados de acción rápida	467
Sistemas de gas en los que el volumen del tubo es una fracción pequeña del volumen de la cámara	471
Sistemas de gas en los que el volumen del tubo es comparable al volumen de cámara	473
Sonda de presión de línea infinita	474
Conclusión	474
6.7 Pruebas dinámicas de sistemas de medición de presión	475
6.8 Medición de alta presión	479
6.9 Medición de baja presión (vacío)	481
Medidores de diafragma	483
Medidor McLeod	484
Medidor Knudsen	485
Medidores de transferencia de la cantidad de movimiento (viscosidad)	486
Medidor de conductividad térmica	486
Medidores de ionización	488
Técnica del doble medidor	491
6.10 Medición del sonido	491
Medidor de nivel de sonido	491
Micrófonos	494
Respuesta a presión de un micrófono de capacitor	497
Intensidad acústica	507
Emisión acústica	509
6.11 Sistemas multiplexores de señales de presión	509
6.12 Temas especiales	512
Distribución de la presión	512
Protección contra sobrepresión de medidores y transductores	513
Problemas	513
Bibliografía	517
<b>Capítulo 7</b>	
Medición de flujo	518
7.1 Velocidad, magnitud y dirección del flujo local	518
Visualización del flujo	518
Magnitud de la velocidad determinada con un tubo Pitot estático	521
Dirección de la velocidad con un tubo de derivación, una aspa pivotada y una esfera servo controlada	529
Indicador de vector de viento dinámico	533
Anemómetros de alambre y de película calientes	535
Sensores de velocidad de tubo de choque de película caliente	548
Anemómetro Doppler con láser de exploración (WA, por sus siglas en inglés)	548
7.2 Gasto volumétrico bruto	552

Calibración y patrones	553
Medidores de área constante y caída de presión variable (Medidores de "obstrucción" )	555
Tubos de Pitot promediadores	567
Medidores de área variable y caída de presión constante (Rotámetros)	568
Medidores de turbina	570
Medidores de desplazamiento positivo	575
Bombas dosificadoras	577
Medidores de flujo electromagnéticos	577
Medidores de fuerza de arrastre	581
Medidores de flujo ultrasónicos	582
Medidores de eyección de vórtices	588
Temas diversos	590
7.3 Gasto másico bruto	591
Medidor de flujo volumétrico más medición de densidad	591
Medidores de flujo másico directos	596
Problemas	603
Bibliografía	606
<b>Capítulo 8</b>	
Medición de temperatura y flujo de calor	608
8.1 Patrones y calibración	608
8.2 Métodos de expansión térmica	614
Termómetros bimetalicos	615
Termómetros de líquido en vidrio	616
Termómetros de presión	618
8.3 Sensores termoeléctricos (termopares)	619
Termopares comunes	627
Consideraciones sobre uniones de referencia	628
Materiales. configuraciones y técnicas especiales	630
8.4 Sensores de resistencia eléctrica	639
Sensores conductores (termómetros de resistencia)	639
Sensores de semiconductor en masa (termistores)	644
8.5 Sensores de semiconductor de unión	648
8.6 Termómetros digitales	650
8.7 Métodos de radiación	652
Fundamentos de la radiación	653
Detectores de radiación: térmicos y fotónicos	659
Termómetros de radiación de banda ancha (CD) no recortada	669
Termómetros de radiación de banda ancha (CA) interrumpida (recortada)	673
Termómetros de radiación de banda selectiva (fotónicos) recortada (CA)	674
Termómetros de radiación de balanceo nulo automático	678
Termómetros de radiación de brillantez monocromática	

(pirómetros ópticos)	678
Termómetros de radiación de dos colores	681
Termómetro de radiación de fibra óptica con punta de cuerpo negro	682
Medición de temperatura fluoróptica	684
Sistema de formación de imágenes infrarrojas	685
8.8 Problemas de medición de temperatura en el flujo de fluidos	688
Error por conducción	688
Error por radiación	691
Efectos de la velocidad	694
Compensación dinámica de los sensores de temperatura	700
8.10 Sensores del flujo de calor	701
Sensores tipo trozo de metal (calorímetros)	701
Sensores de estado estacionario o asintóticos (medidor Gardon)	705
Consideraciones sobre aplicación	706
Problemas	707
Bibliografía	708
<b>Capítulo 9</b>	
Mediciones varias	710
9.1 Medición de tiempo, frecuencia y ángulo de fase	710
9.2 Nivel de líquido	717
9.3 Humedad	723
9.4 Composición química	725
9.5 Medición de corriente y potencia	726
9.6 Uso de "observadores" para medir variables inaccesibles en un sistema físico	730
9.7 Combinación de sensores (filtrado complementario)	741
Medición de ángulo absoluto	743
Problemas	747
Bibliografía	748
<b>PARTE 3</b>	
Manipulación, transmisión y registro de datos	749
<b>Capítulo 10</b>	
Dispositivos para manipulación, cálculo y compensación	751
10.1 Circuitos puente	751
10.2 Amplificadores	757
Amplificadores operacionales	757
Amplificadores para instrumentación	763
Amplificadores de transconductancia y de transimpedancia	766
Problemas de ruido, blindaje y puesta a tierra	767
Amplificadores con interruptor periódico, estabilizados por interruptor periódico y de portadora	769
Amplificadores de carga y convertidores de impedancia	771
Observaciones importantes y conclusiones	775
10.3 Filtros	775

Filtros pasabajas	776
Filtros pasaaltos	781
Filtros pasabanda	781
Filtros supresores de banda	781
Filtros digitales	783
Un filtro pasabanda hidráulico para un transductor oceanográfico	786
Filtros mecánicos para acelerómetros	786
Filtrado por promedio estadístico	787
10.4 Integración y diferenciación	788
Integración	789
Diferenciación	791
10.5 Compensación dinámica	797
10.6 Sistemas de posicionamiento	802
10.7 Adición y sustracción	810
10.8 Multiplicación y división	812
10.9 Generación de funciones y linealización	815
10.10 Modulación y desmodulación de amplitud	818
10.11 Convertidores de voltaje a frecuencia y de frecuencia a voltaje	819
10.12 Convertidores analógico a digital y digital a analógico; amplificadores de muestreo y retención	820
10.13 Analizadores de señales y de sistemas (analizadores de espectro)	923
Problemas	832
Bibliografía	834
<b>Capítulo 11</b>	
Transmisión de datos y conectividad de los instrumentos	835
11.1 Transmisión por cable de señales analógicas de voltaje (tensión) y de corriente	835
11.2 Transmisión de datos digitales por cable	839
11.3 Transmisión de datos por fibra óptica	840
11.4 Radiotelemetría	841
11.5 Transmisión neumática	846
11.6 Sincrosistemas repetidores de posición	847
11.7 Transformadores de anillos colectores y rotatorios	848
11.8 Conectividad de los instrumentos	850
11.9 Almacenamiento de datos con reproducción retrasada (una alternativa para la transmisión de datos)	854
Problemas	854
Bibliografía	855
<b>Capítulo 12</b>	
Aparatos indicadores y registradores de voltaje	856
12.1 Patrones y calibración	856
12.2 Voltímetros analógicos y potenciómetros	856
12.3 Voltímetros y multímetros digitales	863



12.4 Registradores electromecánicos XT y XY del tipo de servomecanismo	864
12.5 Registradores de matriz térmica y sistemas de adquisición de datos	868
12.6 Osciloscopios y presentaciones visuales de rayos catódicos, analógicos y digitales, y presentaciones visuales de panel plano y cristal líquido	869
12.7 Instrumentos virtuales	874
12.8 Grabadoras/reproductoras de cinta magnética y de disco	875
Bibliografía	880
<b>Capítulo 13</b>	
Sistemas de adquisición de datos para computadoras personales	881
13.1 Características esenciales de las tarjetas de adquisición de datos	882
13.2 El software de adquisición y procesamiento de datos DASYLAB	883
Los módulos funcionales de DASYLAB 883 Lista y descripción breve de los módulos funcionales	884
13.3 Ejemplo número uno de simulación de DASYLAB	887
Simulación de las señales del sensor y su registro en función del tiempo	888
Detención de un experimento en un tiempo seleccionado	890
Opciones del registrador de gráficas	890
Producción de tablas o listas	890
Medidores analógicos y digitales	891
Algunas operaciones sencillas de procesamiento de datos	891
Integración y diferenciación	892
13.4 Ejemplo número dos de simulación de DASYLAB	892
Ejecución de la demostración	896
13.5 Ejemplo número tres de simulación de DASYLAB	897
Ejecución de la demostración	901
13.6 Un experimento sencillo del mundo real usando DASYLAB	903
<b>Capítulo 14</b>	
Sistemas de medición aplicados a la micro y nanotecnología	912
14.1 Sensores de microescala	913
14.2 Sistemas de posicionamiento por micromovimiento	916
14.3 Instrumentos detectores de partículas y tecnología de cuarto limpio	923
14.4 Mediciones de presión parcial en procesos al vacío	932
14.5 Sistemas de levitación magnética para transportadores de obleas	942
14.6 Microscopio de sonda de exploración	948
Bibliografía	955
Índice	957