

INDICE

Prologo a la séptima edición	XVII
Prologo	XVIII
Capítulo 1	
Generalidades	1
1.1. Introducción	
1.2. Definiciones en control	3
1.2.1. Campo de medida (range)	
1.2.2. Alcance (span)	
1.2.3. Error	4
1.2.4. Incertidumbre de la medida (uncertainty)	5
1.2.5. Exactitud	7
1.2.6. Precisión (accuracy)	
1.2.7. Zona muerta (dead zone o dead band)	9
1.2.8. Sensibilidad (sensitivity)	
1.2.9. Repetibilidad (repeatability)	10
1.2.10. Histéresis (hysteresis)	
1.2.11 Otros términos	11
1.2.12. Ejemplos generales de características de instrumentos	13
1.3. Clases de instrumentos	14
1.3.1. En función del instrumento	15
1.3.2. En función de variable de proceso	
1.3.3. Código de identificación de instrumentos	21
1.3.3.1. Resumen norma ISA-S5.1-84 (R 1992)	22
1.3.3.2. Resumen norma ISA-S5.2-76 (R 1992)	46
1.3.3.3. Resumen norma ISA-S5.3-1983	50
1.3.3.4. Resumen norma ISA-S5.4-1991	55
1.3.3.5. Resumen norma ISA-S5.5-1995	57
1.3.3.6. Normas DIN e ISO	58
Capítulo 2	
Transmisores	61
2.1. Generalidades	
2.2. Transmisores neumáticos	62
2.3. Transmisores electrónicos	63
2.4. Transmisores digitales	64
2.4.1. Ventajas e inconvenientes	66
2.5. Comunicaciones	69
2.6. Tabla comparativa de trasmisores	85
Capítulo 3	
Medidas de presión	89
3.1. Unidades y clases de presión	
3.2. Elementos mecánicos	91
3.3. Elementos electromecánicos	95
3.4. Elementos eléctricos de vacío	100
Capítulo 4	
Medidas de Caudal	103
4.1. Medidores volumétricos	
4.1.1. Instrumento de presión diferencial	
4.1.1. Fórmula general	104

4.1.1.2. Elementos de presión diferencial	
4.1.1.3. Resumen de las normas ISO 5167 - 1980	116
4.1.1.4. Tubo Pitot	119
4.1.1.5. Tubo Annubar	137
4.1.1.6. Transmisores de fuelle y de diagrama	139
4.1.1.7. Integradores	
4.1.2. Área variable (rotámetros)	143
4.1.3. Velocidad	
4.1.3.1. Vertederos y Venturi	153
4.1.3.2. Transductores ultrasónicos	157
4.1.4. Fuerzas (medidor de placa)	159
4.1.5. Tensión inducida (medidor magnético)	
4.1.5.1. Medidor magnético de caudal	160
4.1.6. Desplazamiento positivo	173
4.1.6.1. Medidor de disco oscilante	
4.1.6.2. Medidor de pistón oscilante	174
4.1.6.3. Medidor de pistón alternativo	175
4.1.6.4. Medidor rotativo	176
4.1.6.5. Accesorios	
4.1.7. Remolino y vórtex	178
4.1.8. Oscilante	180
4.1.9. Medidor láser	181
4.2. Medidores de caudal masa	
4.2.1. Medidores volumétricos	182
4.2.2. Medidores térmicos de caudal	185
4.2.3. Medidores de momento angular	186
4.2.4. Medidor de Coriolis	188
4.3. Comparación de características de los medidores de caudal	191
Capítulo 5	
Medición de nivel	193
5.1 Medidores de nivel de líquidos	
5.1.1. Instrumento de medida directa	194
5.1.2. Instrumento basado en la presión hidrostática. Medidor manométrico. Membrana. Burbujeo. Presión diferencial	198
5.1.3. Instrumento basado en el desplazamiento	204
5.1.4. Instrumentos basados en características eléctricas del líquido	206
5.1.5. Medidores de nivel de ultrasonidos	211
5.1.6. Medidor de nivel de radar	213
5.1.7. Medidor de nivel de radiación	216
5.1.8. Medidor de nivel del láser	218
5.1.9. Medidor másico de nivel	219
5.2. Medidor de nivel de sólidos	
5.2.1. Detectores de nivel de punto fijo	222
5.2.2. Detectores de nivel continuos	225
Capítulo 6	
Medida de temperaturas	231
6.1. Introducción	
6.2. Termómetro de vidrio	

6.3. Termómetro bimetalico	232	
6.4. Termómetro de bulbo y capilar	233	
6.5. Termómetro de resistencia	235	
6.6 Termistores	244	
6.7 Termopares	246	
6.7.1. Leyes, curvas y tablas características, tubos de protección y su selección		
6.7.2. Circuito galvanométrico		279
6.7.3. Circuito potenciométrico		280
6.7.4. Verificación de un instrumento y de un termopar	282	
6.8. Pirómetros de radiación	283	
6.8.1. Pirómetros ópticos	286	
6.8.2. Pirómetros de infrarrojos	287	
6.8.3. Pirómetro fotoeléctricos	288	
6.8.4. Pirómetros de dos colores	290	
6.8.5. Pirómetros de radiación total	291	
6.8.6. Otros fenómenos	295	
6.9. Velocidad de respuesta de los instrumentos de temperatura	296	
6.10. Tabla comparativa de características	300	
Capítulo 7	301	
Otras variables		
7.1. Variables físicas	307	
7.1.1. Peso		
7.1.2. Velocidad	307	
7.1.3. Densidad y peso específico	309	
7.1.3.1. Introducción		
7.1.3.2. Areómetros	310	
7.1.3.3. Métodos de presión diferencial	311	
7.1.3.6. Método de radiación	315	
7.1.3.7. Método de punto de ebullición	316	
7.1.3.8. Medidor de ultrasonidos	317	
7.1.3.9. Medidores inerciales		
7.1.3.10. Medidor de Coriolis	319	
7.1.3.11. Medidores de balanza	320	
7.1.4. Humedad y punto de rocío	322	
7.1.4.1. Humedad en aire y gases	323	
7.1.4.2. Humedad en sólidos	326	
7.1.4.3. Punto de rocío	328	
7.1.5. Viscosidad y consistencia	333	
7.1.5.1. Introducción		
7.1.5.2. Viscosímetros	335	
7.1.5.3 Medidores de consistencia	337	
7.1.6. Llama	338	
7.1.6.1. Detector de calor	339	
7.1.6.2. Detectores de ionización – rectificación		
7.16.3. Detectores de radiación	340	
7.16.4. Tabla comparativa de detectores	342	
7.16.5. Programadores		

7.1.7. Oxígeno disuelto	345
7.1.8. Turbidez	346
7.1.9. Intensidad de radiación solar	347
7.2. Variables químicas	
7.2.1. Conductividad	348
7.2.2. pH	350
7.2.3. Redox (potencial de oxidación – reducción)	355
7.2.4. Concentración de gases	
7.2.4.1. Conductividad térmica	356
7.2.4.2. Paramagnetismo del oxígeno	
7.2.4.3. Analizador de infrarrojos	359
Capítulo 8	
Elementos finales de control 365	361
8.1. Válvulas de control	
8.1.1. Generalidades	
8.1.2. Tipos de válvulas	
8.1.2.1. Válvulas con obturador de movimiento lineal	362
8.1.2.2. Válvula de globo	
8.1.2.1.2. Válvula en ángulo	
8.1.2.1.3. Válvula de tres vías	364
8.1.2.1.4. Válvula de jaula	
8.1.2.1.5. Válvula de compuerta	
8.1.2.6 Válvula en Y	365
8.1.2.7. Válvula de cuerpo partido	
8.1.2.8. Válvula Saunders	
8.1.2.9. Válvula de compresión	
8.1.2.2. Válvulas con obturador de movimiento circular	366
8.1.2.2.1. Válvula de movimiento excéntrico rotativo (Camflex)	
8.1.2.2.3. Válvula de mariposa	
8.1.2.2.4 Válvula de bola	
8.1.2.2.5. Válvula de macho	367
8.1.2.2.6. Válvula orificio ajustable	
8.1.2.2.7. Válvula de flujo axial	
8.1.3 Cuerpo de Válvula	368
8.1.4. Tapa de la válvula o casquete	372
8.1.5. Partes internas de la válvula. Obturador y asientos	
8.1.5.1. Generalidades	376
8.1.5.2. Materiales	
8.1.6. Corrosión y erosión en las válvulas. Materiales	377
8.1.7. Características de la válvula	
8.1.7.1 .Características del caudal inherente	383
8.1.7.2. Características del caudal efectivas	386
8.1.7.3. Selección de las características de la válvula	390
8.1.8. Servomotores	
8.1.8.1. Servomotor neumático	396
8.1.8.2. Servomotor eléctrico	408
8.1.8.3. Servomotor hidráulico	411
8.1.8.4. Servomotor digital	412
8.1.8.5. tipos de acciones en las válvulas de control	413
8.1.9. Accesorios	

8.1.9.1. Camisa de calefacción	415
8.1.9.2 Volante de accionamiento manual	
8.1.9.3. Repetidor	416
8.1.9.4. Microrruptores de final de carrera y transmisores de posición	417
8.1.9.5. Válvula de solenoide de tres vías	418
8.1.9.6. Válvula de enclavamiento	
8.1.9.7. Válvula de K_v o C_v o carrera ajustable	419
8.1.9.8. Manifold	
8.1.9.9. Posicionador	420
8.1.1.0. Válvula inteligente	427
8.1.11. Dimensionamiento de la válvula coeficientes K_v o C_v o	428
8.1.11.2. Formula general	429
8.1.11.3. Procedimientos de ensayo	431
8.1.11.4. Perdida de carga	434
8.1.11.5. Caudal máximo	
8.1.11.6. Densidad	439
8.1.11.7. Tamaño de la válvula	
8.1.11.8. Líquidos	440
8.2.3 Válvulas inteligentes 478	
8.3 Otros elementos	
8.1.11.9. Gases	451
8.1.11.10. Vapores	459
8.1.11.11. Régimen bifásico	462
8.1.11.12. Resumen de cálculo de coeficientes de válvulas	463
8.1.12.. Ruido en las válvulas de control	
8.1.12.1. Generalidades	472
8.1.12.2. Causas del ruido en las válvulas	474
8.1.12.3. Reducción del ruido	477
8.2. Otros Elementos finales de control	478
8.2.1. Rectificadores controlados de silicio	480
8.2.2. Bombas dosificadores	482
8.2.3. Actuadores de velocidad variable	483
8.2.4. Elementos finales varios	484
9.10.5 Sistemas de control avanzado 574	
9.10.6 Sistemas expertos 580	
9.10.7 Control por redes neuronales 583	
9.10.8 Control por lógica difusa (fuzzy)	
Capítulo 9	
Regulación automática	485
9.1 Introducción	
9.2 Características del proceso	
9.3. Sistema de control neumáticos y eléctricos	490
9.3.1. Control todo – nada	491
9.3.2. Control flotante	492
9.3.3. Control proporcional de tiempo variable	493
9.3.4. Control proporcional	494
9.3.5. Control proporcional + integral	497
9.3.6. Control proporcional + derivado	499

9.3.7. Control proporcional + integral + derivado	501
9.4. Controladores neumáticos	502
9.5. Controladores electrónicos	
9.5.1. Controlador todo-nada	503
9.5.2. Control proporcional de tiempo variable	504
9.5.3. Control proporcional	505
9.5.4. Control proporcional+integral	507
9.5.5. Control proporcional+derivado	509
9.5.6. Control proporcional+integral+derivado	510
9.6. Controladores digitales	
9.6.1. Componentes	511
9.6.2. Algoritmos	513
9.6.3. Controlador digital universal	514
9.7. Selección del sistema de control	516
9.8. Criterios de estabilidad en el control	518
9.9. Métodos de ajuste de controladores	520
9.10. Otros tipos de control	
9.10.1. Generalidades	530
9.10.2 Control de cascada	531
9.10.3 Programadores	535
9.10.4 Control de relación	536
9.10.5. Control anticipativo	537
9.10.6. Control de gama partida (split-range control)	540
9.10.7. Control selectivo	541
9.10.8. Control de proceso discontinuos	542
9.10.9. Controladores no lineales	543
9.10.10. Instrumentos auxiliares	545
9.11. Seguridad intrínseca y funcional	
9.11.1. Introducción	547
9.11.2 Nivel de energía de seguridad	
9.11.3. Mecanismo de la ignición en circuitos de baja tensión	548
9.11.4. Clasificación de áreas peligrosas	551
9.11.5. Normas	554
9.11.6. Barreras Zener	555
9.11.7. Barreras galvánicas	556
9.11.8. Factores de seguridad	
9.11.9. Seguridad funcional de los instrumentos	557
9.12. Control por computador	
9.12.1. Generalidades	561
9.12.1. Control DDC	563
9.12.3. Control supervisor	566
9.12.4. Control distribuido (DCS)	568
9.13. Sistemas de control avanzado	
9.13.1. Generalidades	575
9.13.2. Correctores	581
9.13.3. Control linealizador global	
9.13.4. Control estadístico del proceso (SPC)	584
9.13.5. Control multivariable	587
9.13.6. Control óptimo	589

9.13.7. Control adaptativo	591
9.13.8. Control predictivo	594
9.13.9. Sistemas expertos	596
9.13.10. Control por redes neuronales	599
9.13.11. Control por lógica difusa	603
9.14. Control integrado	
9.14.1. Generalidades	607
9.14.2. Sistema de control básico, control distribuido y control avanzado	610
9.14.3. Gestión de las ramas	611
9.14.4. Sistemas de gestión de laboratorio	
9.14.5. Sistemas de gestión de la producción	613
9.14.6. Red de comunicaciones	614
9.14.7. Sistemas de gestión de seguridad de la planta	616
9.14.8. Sistemas de gestión de la calidad (ISO 9000:2000)	617
9.14.9. Estándar OPC de intercambio de datos de proceso	619
9.14.10. Gestión de calibraciones	622
Capítulo 10 Calibración de los instrumentos	
10.1. Generalidades	627
10.2. Errores de los instrumentos. Procedimiento general de calibración	628
10.3. Calibración de instrumentos de presión, caudal y caudal	632
10.4. Calibración de instrumento de temperatura	639
10.5. Calibración de válvulas de control	644
10.6. Calibración de instrumentos digitales	
10.7. Mantenimiento de instrumentos	648
10.8. Normativa de calidad ISO 9000: 2000 aplicada a la instrumentación	651
Capítulo 11 Aplicaciones en la industria. Esquemas típicos de control	
11.1. Generalidades	
11.2. Calderas de vapor	
11.2.1. Control de combustión	656
11.2.2. Control de nivel	659
11.2.3. Seguridad de llama	661
11.3. Secadores y evaporadores	662
11.4. Horno túnel	665
11.5. Columnas de destilación	666
11.6. Intercambiadores de calor	667
11.7. Control del reactor en una central nuclear	671
Apéndice A Análisis dinámico de los instrumentos	
A. 1 Generalidades	675
A. 2 Análisis dinámico de los transmisores	691
A. 2.1 Elementos fundamentales	
A. 2.2 Diagrama de bloques, diagrama de Bode y función de transferencia de un transmisor	689
A. 2.2.1 Transmisor electrónico	

A. 2.2.2 Transmisor digital	
A.3 Análisis dinámico de los controladores	
A. 3.1 Introducción	692
A. 3.2 Acción proporcional	
A. 3.2.1.1. Controlador electrónico	
A.3.2.2. Control por ordenador	693
A.3.2.3. Diagrama de Bode	
A. 3.3 Acción proporcional + integral	697
A. 3.4 Acción proporcional + derivada	699
A. 3.5 Acción proporcional + integral + derivada	702
A. 3.6 Ensayo de controladores	707
A. 4. Iniciación a la optimización del procesos	
A. 4.1. Generalidades	709
A. 4.2. Análisis experimental del proceso	710
A.4.3. Estabilidad	712
Apéndice B.	
Evolución de la instrumentación	
B.1. Inicios-instrumentos locales y neumáticos	731
B.2. Instrumentos electrónicos-convencionales y de alta densidad	732
B.3. Computadores	734
B.4. Control distribuido	736
B.5. Control avanzado y transmisores inteligentes	738
B.6. Ergonomía	739
B.7. Comunicaciones	
B.8. Futuro	740
Apéndice C.	
Hojas de especificación de instrumentos	745
C.1. Hojas de especificación de instrumentos de presión	
C.1.1. Manómetros	
C.1.2. Receptores de presión	747
C.2. Hojas de especificación de instrumentos de caudal	
C.2.1. Especificación general	749
C.2.2. Medidores magnéticos de caudal	750
C.2.3. Instrumentos de presión diferencial	751
C.3. Hojas de especificación de instrumentos de nivel	
C.3.1. Transmisión hidrostática	753
C.4. Hojas de especificación de instrumentos de temperatura	
C.4.1. Termopores	754
C.5. Hojas de especificación de otras variables	
C.5.1. Densidad	755
C.5.2. Instrumentos de pH	756
C.6. Hojas de especificación de válvulas de control	758
Glosario	761
Referencias	773