

ANTONIO CREUS

INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

8ª EDICIÓN

 **Alfaomega**

 **marcombo**
ediciones técnicas

8ª EDICIÓN

INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Antonio Creus Solé

 **Alfaomega**

 **marcombo**
ediciones técnicas

Datos catalográficos

Creus, Antonio
Instrumentación industrial
Octava Edición

Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México

ISBN: 978-607-707-042-9

Formato: 17 x 23 cm

Páginas: 792

Instrumentación industrial

Antonio Creus Solé

ISBN: 978-84-267-1668-2, edición en español publicada por MARCOMBO, S.A., Barcelona, España
Derechos reservados © MARCOMBO, S.A.

Octava edición: Alfaomega Grupo Editor, México, septiembre 2010

Décima séptima reimpresión: Alfaomega Grupo Editor, México, marzo 2014

© 2011 Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Pitágoras 1139, Col. Del Valle, 03100, México D.F.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana
Registro No. 2317

Pág. Web: <http://www.alfaomega.com.mx>

E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

ISBN: 978-607-707-042-9

Derechos reservados:

Esta obra es propiedad intelectual de su autor y los derechos de publicación en lengua española han sido legalmente transferidos al editor. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del propietario de los derechos del copyright.

Nota importante:

La información contenida en esta obra tiene un fin exclusivamente didáctico y, por lo tanto, no está previsto su aprovechamiento a nivel profesional o industrial. Las indicaciones técnicas y programas incluidos, han sido elaborados con gran cuidado por el autor y reproducidos bajo estrictas normas de control. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V. no será jurídicamente responsable por: errores u omisiones; daños y perjuicios que se pudieran atribuir al uso de la información comprendida en este libro, ni por la utilización indebida que pudiera dársele.

Impreso en México. Printed in Mexico.

Empresas del grupo:

México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. – Pitágoras 1139, Col. Del Valle, México, D.F. – C.P. 03100.

Tel.: (52-55) 5575-5022 – Fax: (52-55) 5575-2420 / 2490. Sin costo: 01-800-020-4396

E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

Colombia: Alfaomega Colombiana S.A. – Carrera 15 No. 64 A 29, Bogotá, Colombia,

Tel.: (57-1) 2100122 – Fax: (57-1) 6068648 – E-mail: cliente@alfaomega.com.mx

Chile: Alfaomega Grupo Editor, S.A. – Dr. La Sierra 1437, Providencia, Santiago, Chile

Tel.: (56-2) 235-4248 – Fax: (56-2) 235-5786 – E-mail: agechile@alfaomega.cl

Argentina: Alfaomega Grupo Editor Argentino, S.A. – Paraguay 1307 P.B. Of. 11, C.P. 1057, Buenos Aires,

Argentina. – Tel./Fax: (54-11) 4811-0887 y 4811 7183 – E-mail: ventas@alfaomegaeditor.com.ar

Índice analítico

1. Generalidades	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Definiciones en control.....	3
1.2.1 Campo de medida.....	4
1.2.2 Alcance.....	4
1.2.3 Error.....	5
1.2.4 Incertidumbre de la medida.....	6
1.2.5 Exactitud.....	14
1.2.6 Precisión.....	16
1.2.7 Zona muerta.....	16
1.2.8 Sensibilidad.....	16
1.2.9 Repetibilidad.....	16
1.2.10 Histéresis.....	17
1.2.11 Otros términos.....	18
1.2.12 Ejemplos generales de características de instrumentos.....	20
1.3 Clases de instrumentos.....	21
1.3.1 En función del instrumento.....	22
1.3.2 En función de la variable de proceso.....	26
1.3.3 Código de identificación de los instrumentos.....	26
2. Transmisores	63
2.1 Generalidades.....	63
2.2 Transmisores neumáticos.....	64
2.3 Transmisores electrónicos.....	65
2.4 Transmisores digitales.....	66
2.4.1 Transmisor inteligente capacitivo.....	67
2.4.2 Transmisor inteligente piezoresistivo.....	67
2.4.3 Ventajas e inconvenientes.....	68
2.5 Transmisión de señales por radio.....	71
2.6 Comunicaciones.....	72
2.6.1 Protocolos serie.....	72
2.6.2 Protocolos híbridos.....	74
2.6.3 Protocolos abiertos.....	76
2.7 Tabla comparativa de transmisores.....	88
3. Medidas de presión	91
3.1 Unidades y clases de presión.....	91
3.2 Elementos mecánicos.....	92

3.3 Elementos electromecánicos.....	96
3.4 Elementos electrónicos de vacío.....	100
4. Medidas de caudal.....	105
4.1 Medidores volumétricos.....	106
4.1.1 Instrumentos de presión diferencial.....	106
4.1.2 Área variable (rotámetros).....	143
4.1.3 Velocidad.....	153
4.1.4 Fuerza (medidor de placa).....	161
4.1.5 Tensión inducida (medidor magnético).....	162
4.1.6 Desplazamiento positivo.....	175
4.1.7 Remolino y vórtex.....	179
4.2 Medidores de caudal masa.....	182
4.2.1 Medidores volumétricos compensados.....	182
4.2.2 Medidores térmicos de caudal.....	185
4.2.3 Anemómetro de hilo caliente.....	186
4.2.4 Medidor de Coriolis.....	189
4.3 Comparación de características de los medidores de caudal.....	193
5. Medición de nivel.....	195
5.1 Medidores de nivel de líquidos.....	195
5.1.1 Instrumentos de medida directa.....	196
5.1.2 Instrumentos basados en la presión hidrostática.....	200
5.1.3 Instrumento basado en el desplazamiento.....	208
5.1.4 Instrumentos basados en características eléctricas del líquido.....	211
5.1.5 Medidor de nivel de ultrasonidos.....	215
5.1.6 Medidor de nivel de radar o microondas.....	217
5.1.7 Medidor de nivel de radiación.....	220
5.1.8 Medidor de nivel láser.....	223
5.1.9 Otros fenómenos.....	224
5.1.10 Medidor másico de nivel.....	225
5.2 Medidores de nivel de sólidos.....	226
5.2.1 Detectores de nivel de punto fijo.....	228
5.2.2 Detectores de nivel continuos.....	230
6. Medida de temperaturas.....	235
6.1 Introducción.....	235
6.2 Termómetro de vidrio.....	236
6.3 Termómetro bimetálico.....	236
6.4 Termómetros de bulbo y capilar.....	237
6.5 Termómetros de resistencia.....	240
6.6 Termistores.....	251
6.7 Sensores de temperatura de semiconductor.....	253
6.8 Termopares.....	254

6.8.1 Leyes, curvas y tablas características, tubos de protección y su selección	254
6.8.2 Compensación de la unión fría.....	294
6.8.3 Circuitos galvanométrico, potenciómetrico y digital.....	295
6.8.4 Verificación de un instrumento y de un termopar	297
6.8.5 Normas técnicas	298
6.9 Pirómetros de radiación	299
6.9.1 Pirómetros ópticos de desaparición de filamento	302
6.9.2 Pirómetro de infrarrojos.....	302
6.9.3 Pirómetro fotoeléctrico	303
6.9.4 Pirómetro de dos colores	305
6.9.5 Pirómetro de radiación total	306
6.9.6 Otros fenómenos	309
6.10 Velocidad de respuesta de los instrumentos de temperatura.....	310
6.11 Tabla comparativa de características.....	314
7. Otras variables.....	317
7.1 Variables físicas	317
7.1.1 Peso.....	317
7.1.2 Velocidad.....	323
7.1.3 Densidad y peso específico	326
7.1.4 Humedad y punto de rocío.....	338
7.1.5 Viscosidad y consistencia	351
7.1.6 Llama	359
7.1.7 Oxígeno disuelto.....	364
7.1.8 Turbidez	366
7.1.9 Intensidad de radiación solar	367
7.2 Variables químicas	368
7.2.1 Conductividad en medio líquido	368
7.2.2 pH	370
7.2.3 Redox (potencial de oxidación-reducción)	374
7.2.4 Concentración de gases	376
8. Elementos finales de control	381
8.1 Válvulas de control.....	381
8.1.1 Generalidades.....	381
8.1.2 Tipos de válvulas	382
8.1.3 Cuerpo de la válvula.....	388
8.1.4 Tapa de la válvula o casquete.....	390
8.1.5 Partes internas de la válvula. Obturador y asientos.....	395
8.1.6 Corrosión y erosión en las válvulas. Materiales	396
8.1.7 Características de la válvula.....	402
8.1.8 Servomotores	414
8.1.9 Accesorios.....	435
8.1.10 Válvula inteligente	446

8.1.11 Dimensionamiento de la válvula. Coeficientes C_v y K_v	447
8.1.12 Ruido en las válvulas de control.....	485
8.2 Otros elementos finales de control.....	493
8.2.1 Rectificadores controlados de silicio	493
8.2.2 Bombas dosificadoras	496
8.2.3 Actuadores de velocidad variable.....	497
8.2.4 Elementos finales varios	497
9. Regulación automática	499
9.1 Introducción	499
9.2 Características del proceso	499
9.3 Tipos de control.....	504
9.3.1 Control todo-nada.....	504
9.3.2 Control flotante	506
9.3.3 Control proporcional de tiempo variable	506
9.3.4 Control proporcional	507
9.3.5 Control proporcional + integral.....	510
9.3.6 Control proporcional + derivado.....	512
9.3.7 Control proporcional + integral + derivado.....	514
9.4 Controladores neumáticos	515
9.5 Controladores electrónicos	516
9.5.1 Controlador todo-nada.....	517
9.5.2 Control proporcional de tiempo variable	518
9.5.3 Control proporcional.....	518
9.5.4 Control proporcional + integral.....	519
9.5.5 Control proporcional + derivado.....	520
9.5.6 Control proporcional + integral + derivado.....	521
9.6 Controladores digitales	522
9.6.1 Componentes	522
9.6.2 Algoritmos	524
9.6.3 Controlador digital universal.....	527
9.7 Selección del sistema de control	529
9.8 Criterios de estabilidad en el control	530
9.9 Métodos de ajuste de controladores	532
9.10 Otros tipos de control	545
9.10.1 Generalidades.....	545
9.10.2 Control en cascada	546
9.10.3 Programadores.....	550
9.10.4 Control de relación.....	551
9.10.5 Control anticipativo	552
9.10.6 Control de gama partida	555
9.10.7 Control selectivo.....	556
9.10.8 Control de procesos discontinuos	557
9.10.9 Controladores no lineales	559

