

ANTONIO CREUS SOLÉ

Doctor Ingeniero Industrial

INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

6.^a edición

2

Alfaomega



marcombo

Esta obra (en su 1.^a edición) fue galardonada con el premio de Electrónica Profesional en la concesión de la 2.^a edición de los «Premios Mundo Electrónico».

© Antonio Creus Solé, 1997

Edición original publicada por
Marcombo, S. A., Barcelona, España
Derechos reservados © 1997

6a. edición

© 1998 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
Registro No. 2317

ISBN 970-15-0246-9

© 1999 ALFOMEGA S.A.
Calle 23 # 24-20 Santa Fe de Bogotá
Email: alfaomeg@andinet.com

ISBN: 958-682-135-8

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.

Edición autorizada para venta en México, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Venezuela, Chile, Centroamérica, Estados Unidos y el Caribe.

Impreso en Colombia - Printed in Colombia
Impreso por Quebecor Impresandes

ÍNDICE

Prólogo	XV
Prólogo a la sexta edición	XVII
Capítulo 1 Generalidades	1
1.1 Introducción	1
1.2 Definiciones en control	2
1.2.1 Campo de medida (<i>range</i>)	3
1.2.2 Alcance (<i>span</i>)	4
1.2.3 Error	4
1.2.4 Incertidumbre de la medida (<i>uncertainty</i>)	5
1.2.5 Exactitud	7
1.2.6 Precisión (<i>accuracy</i>)	7
1.2.7 Zona muerta (<i>dead zone</i> o <i>dead band</i>)	8
1.2.8 Sensibilidad (<i>sensitivity</i>)	8
1.2.9 Repetibilidad (<i>repeatability</i>)	9
1.2.10 Histéresis (<i>hysteresis</i>)	9
1.2.11 Otros términos	10
1.3 Clases de instrumentos	12
1.3.1 En función del instrumento	12
1.3.2 En función de la variable de proceso	20
1.3.3 Código de identificación de instrumentos	22
Capítulo 2 Transmisores	51
2.1 Generalidades	51
2.2 Transmisores neumáticos	53
2.2.1 Bloque amplificador de dos etapas	53
2.2.2 Transmisor de equilibrio de movimientos	56
2.2.3 Transmisor de equilibrio de fuerzas	57
2.2.4 Transmisor de equilibrio de momentos	58
2.3 Transmisores electrónicos	58
2.3.1 Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas	58
2.3.1.1 Detector de posición de inductancia	58
2.3.1.2 Transformador diferencial	60
2.3.2 Transmisores digitales	60
2.4 Comunicaciones	65
2.5 Comparación de transmisores	69

VIII Índice

Capítulo 3	Medidas de presión.....	71
3.1	Unidades y clases de presión.....	71
3.2	Elementos mecánicos	73
3.3	Elementos neumáticos.....	75
3.4	Elementos electromecánicos	76
3.4.1	Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas....	76
3.4.2	Transductores resistivos.....	78
3.4.3	Transductores magnéticos	79
3.4.4	Transductores capacitivos.....	80
3.4.5	Galgas extensométricas (<i>strain gage</i>)	81
3.4.6	Transductores piezoelectrinos.....	83
3.5	Elementos electrónicos de vacío	84
3.5.1	Transductores mecánicos de fuelle y de diafragma....	84
3.5.2	Medidor McLeod.....	84
3.5.3	Transductores térmicos.....	86
3.5.4	Transductores de ionización	87
Capítulo 4	Medidas de caudal	91
4.1	Medidores volumétricos.....	92
4.1.1	Instrumentos de presión diferencial	92
4.1.1.1	Fórmula general.....	92
4.1.1.2	Elementos de presión diferencial	105
4.1.1.3	Resumen de las normas ISO 5167-1980	107
4.1.1.4	Tubo Pitot.....	128
4.1.1.5	Tubo Annubar	129
4.1.1.6	Transmisores de fuelle y de diafragma.....	130
4.1.1.7	Integradores.....	134
4.1.2	Área variable (rotámetros)	136
4.1.3	Velocidad	146
4.1.3.1	Vertederos y Venturi.....	146
4.1.3.2	Turbinas	150
4.1.3.3	Transductores ultrasónicos.....	151
4.1.4	Fuerza (medidor de placa).....	153
4.1.5	Tensión inducida (medidor magnético)	154
4.1.5.1	Medidor magnético de caudal	154
4.1.6	Desplazamiento positivo.....	171
4.1.6.1	Medidor de disco oscilante	171
4.1.6.2	Medidor de pistón oscilante	172
4.1.6.3	Medidor de pistón alternativo.....	173
4.1.6.4	Medidor rotativo.....	173
4.1.6.5	Medidor de paredes deformables	175
4.1.6.6	Accesorios.....	176
4.1.7	Torbellino y Vórtex	177
4.1.8	Oscilante.....	179
4.2	Medidores de caudal masa	179
4.2.1	Compensación de variaciones de densidad del fluido en medidores volumétricos	180

4.2.2	Medición directa del caudal-masa	185
4.2.2.1	Medidores térmicos de caudal.....	186
4.2.2.2	Medidores de momento angular	187
4.2.2.3	Medidor de Coriolis.....	189
4.3	Comparación de características de los medidores de caudal.	192
Capítulo 5	Medición de nivel.....	193
5.1	Medidores de nivel de líquidos	193
5.1.1	Instrumentos de medida directa.....	194
5.1.2	Instrumentos basados en la presión hidrostática. Medidor manométrico. Membrana. Burbujeo. Presión diferencial.....	197
5.1.3	Instrumento basado en el desplazamiento	205
5.1.4	Instrumentos basados en características eléctricas del líquido	207
5.2	Medidores de nivel de sólidos.....	213
5.2.1	Detectores de nivel de punto fijo	214
5.2.2	Detectores de nivel continuos.....	218
Capítulo 6	Medida de temperatura.....	223
6.1	Introducción.....	223
6.2	Termómetro de vidrio.....	224
6.3	Termómetro bimetálico.....	225
6.4	Termómetro de bulbo y capilar.....	225
6.5	Termómetros de resistencia	227
6.6	Termistores.....	236
6.7	Termopares	237
6.7.1	Leyes, curvas y tablas características, tubos de protección y su selección	237
6.7.2	Circuito galvanométrico	268
6.7.3	Circuito potenciométrico.....	270
6.7.4	Comparación entre circuitos galvanométricos y potenciométricos	276
6.7.5	Verificación de un instrumento y de un termopar	276
6.8	Pirómetros de radiación.....	277
6.8.1	Pirómetros ópticos.....	278
6.8.2	Pirómetro de infrarrojos.....	279
6.8.3	Pirómetro fotoeléctrico.....	281
6.8.4	Pirómetros de radiación total	282
6.9	Velocidad de respuesta de los instrumentos de temperatura	296
6.10	Tabla comparativa de características	300
Capítulo 7	Otras variables.....	301
7.1	Variables físicas	301
7.1.1	Peso.....	301
7.1.2	Velocidad	307

7.1.2.1	Tacómetros mecánicos.....	308
7.1.2.2	Tacómetros eléctricos	308
7.1.3	Densidad y peso específico	310
7.1.3.1	Introducción	310
7.1.3.2	Areómetros.....	311
7.1.3.3	Métodos de presión diferencial.....	312
7.1.3.4	Método de desplazamiento.....	314
7.1.3.5	Refractómetro	315
7.1.3.6	Método de radiación.....	316
7.1.3.7	Método de punto de ebullición.....	317
7.1.3.8	Medidor de ultrasonidos	317
7.1.3.9	Medidores iniciales	319
7.1.3.10	Medidor de Coriolis.....	321
7.1.3.11	Medidores de balanza.....	322
7.1.4	Humedad y punto de rocío.....	323
7.1.4.1	Humedad en aire y gases.....	324
7.1.4.2	Humedad en sólidos	327
7.1.4.3	Punto de rocío.....	329
7.1.5	Viscosidad y consistencia	334
7.1.5.1	Introducción	334
7.1.5.2	Viscosímetros	336
7.1.5.3	Medidores de consistencia	337
7.1.5.4	Tabla comparativa	339
7.1.6	Llama	339
7.1.6.1	Detector de calor.....	340
7.1.6.2	Detectores de ionización-rectificación	340
7.1.6.3	Detectores de radiación.....	341
7.1.6.4	Tabla comparativa de detectores	343
7.1.6.5	Programadores	343
7.1.7	Oxígeno disuelto	346
7.1.8	Turbidez	347
7.1.9	Intensidad de radiación solar	348
7.2	Variables químicas	349
7.2.1	Conductividad	349
7.2.2	pH	353
7.2.3	Redox (potencial de oxidación-reducción).....	357
7.2.4	Concentración de gases	358
7.2.4.1	Conductividad térmica.....	358
7.2.4.2	Paramagnetismo del oxígeno	360
7.2.4.3	Analizador de infrarrojos	362
Capítulo 8	Elementos finales de control.....	365
8.1	Válvulas de control.....	365
8.1.1	Generalidades.....	365
8.1.2	Tipos de válvulas	366
8.1.2.1	Válvula de globo	366

8.1.2.2	Válvula en ángulo	366
8.1.2.3	Válvula de tres vías.....	368
8.1.2.4	Válvula de jaula.....	368
8.1.2.5	Válvula de compuerta.....	368
8.1.2.6	Válvula en Y	368
8.1.2.7	Válvula de cuerpo partido	368
8.1.2.8	Válvula Saunders	368
8.1.2.9	Válvula de compresión	369
8.1.2.10	Válvula de obturador excéntrico rotativo	369
8.1.2.11	Válvula de obturador cilíndrico excéntrico...	369
8.1.2.12	Válvula de mariposa	369
8.1.2.13	Válvula de bola.....	370
8.1.2.14	Válvula de orificio ajustable	370
8.1.2.15	Válvula de flujo axial.....	370
8.1.3	Cuerpo de la válvula.....	371
8.1.4	Tapa de la válvula	374
8.1.5	Partes internas de la válvula. Obturador y asientos...	377
8.1.5.1	Generalidades.....	377
8.1.5.2	Materiales	378
8.1.5.3	Características de caudal inherente	379
8.1.5.4	Características de caudal efectivas	382
8.1.5.5	Selección de la característica de la válvula...	385
8.1.6	Corrosión y erosión en las válvulas. Materiales.....	391
8.1.7	Servomotores.....	400
8.1.7.1	Servomotor neumático.....	400
8.1.7.2	Servomotor eléctrico	412
8.1.7.3	Tipos de acciones en las válvulas de control	416
8.1.8	Accesorios.....	418
8.1.8.1	Camisa de calefacción.....	418
8.1.8.2	Posicionador	419
8.1.8.3	Volante de accionamiento manual	424
8.1.8.4	Repetidor	424
8.1.8.5	Transmisores de posición y microrruptores de final de carrera	425
8.1.8.6	Válvula de solenoide de tres vías	425
8.1.8.7	Válvula de enclavamiento	425
8.1.8.8	Válvula de K_v o C_v o carrera ajustables.....	427
8.1.9	Dimensionamiento de la válvula. Coeficientes K_v y C_v	428
8.1.9.1	Definiciones.....	428
8.1.9.2	Fórmula general.....	429
8.1.9.3	Líquidos.....	439
8.1.9.4	Gases	450
8.1.9.5	Vapores	457
8.1.9.6	Régimen bifásico	460
8.1.9.7	Resumen de cálculo de coeficientes de válvulas	463

8.1.10	Ruido en las válvulas de control.....	466
8.1.10.1	Generalidades.....	466
8.1.10.2	Causas del ruido en las válvulas	468
8.1.10.3	Reducción del ruido.....	470
8.2	Elementos finales electrónicos.....	472
8.2.1	Amplificador magnético saturable.....	472
8.2.2	Rectificadores controlados de silicio	474
8.2.3	Válvula inteligente.....	478
8.3	Otros elementos finales de control	478
Capítulo 9	Regulación automática	481
9.1	Introducción	481
9.2	Características del proceso	481
9.3	Sistemas de control neumáticos y eléctricos	487
9.3.1	Control todo-nada	487
9.3.2	Control flotante	488
9.3.3	Control proporcional de tiempo variable.....	489
9.3.4	Control proporcional.....	490
9.3.5	Control proporcional + integral	494
9.3.6	Control proporcional + derivado	498
9.3.7	Control proporcional + integral + derivado	502
9.3.8	Cambio automático-manual-automático	504
9.3.9	Tendencias en los instrumentos neumáticos	505
9.4	Sistemas de control electrónicos y digitales	506
9.4.1	Generalidades.....	506
9.4.2	Control todo-nada	507
9.4.3	Control proporcional de tiempo variable.....	508
9.4.4	Control proporcional.....	509
9.4.5	Control integral.....	512
9.4.6	Control derivativo	513
9.4.7	Control proporcional + integral + derivativo	515
9.4.8	Cambio automático-manual-automático	515
9.4.9	Controladores digitales	515
9.5	Selección del sistema de control	521
9.6	Criterios de estabilidad en el control	523
9.7	Métodos de ajuste de controladores.....	525
9.8	Otros tipos de control	533
9.8.1	Generalidades.....	533
9.8.2	Control en cascada	534
9.8.3	Programadores	537
9.8.4	Control de relación	541
9.8.5	Control anticipativo.....	543
9.8.6	Control de gama partida	547
9.8.7	Control selectivo.....	548
9.8.8	Control de procesos discontinuos	549
9.8.9	Controladores no lineales	551

	Índice	XIII
9.9	9.8.10 Instrumentos auxiliares.....	552
9.9	Seguridad intrínseca.....	554
9.9.1	Introducción.....	554
9.9.2	Nivel de energía de seguridad.....	555
9.9.3	Mecanismos de la ignición en circuitos de baja tensión.....	556
9.9.4	Clasificaciones de áreas peligrosas	558
9.9.5	Normas	560
9.9.6	Barreras Zener.....	560
9.9.7	Barreras galvánicas.....	562
9.9.8	Factores de seguridad	562
9.10	Control por computador	563
9.10.1	Generalidades.....	563
9.10.2	Control DDC	565
9.10.3	Control supervisor	568
9.10.4	Control distribuido	570
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 (<i>fuzzy</i>)	585
9.11	Evolución de la instrumentación.....	587
Capítulo 10	Calibración de los instrumentos	601
10.1	Introducción	601
10.2	Errores de los instrumentos. Procedimiento general de calibración	602
10.3	Calibración de instrumentos de presión, nivel y caudal.....	610
10.4	Calibración de instrumentos de temperatura	614
10.5	Comprobación de válvulas de control	619
10.6	Aparatos electrónicos de comprobación	620
10.7	Calidad de calibración según Norma ISO 9002	621
Capítulo 11	Aplicaciones en la industria. Esquemas típicos de control....	625
11.1	Generalidades	625
11.2	Calderas de vapor	625
11.2.1	Control de combustión	626
11.2.2	Control de nivel.....	629
11.2.3	Seguridad de llama.....	632
11.3	Secaderos y evaporadores.....	632
11.4	Horno túnel.....	635
11.5	Columnas de destilación	637
11.6	Intercambiadores de calor	638
11.7	Control del reactor en una central nuclear	641
Apéndice.	Ánálsis dinámico de los instrumentos	645
A.1	Generalidades	645
A.2	Ánálsis dinámico de los transmisores.....	658

A.2.1	Elementos fundamentales	658
A.2.2	Diagrama de bloques, diagrama de Bode y función de transferencia de un transmisor.....	662
A.2.2.1	Transmisor neumático	662
A.2.2.2	Transmisor electrónico.....	666
A.2.2.3	Transmisor digital	667
A.2.3	Velocidad de respuesta de los transmisores	667
A.2.3.1	Transmisores neumáticos.....	667
A.2.3.2	Transmisores electrónicos o digitales	670
A.3	Análisis dinámico de los controladores.....	671
A.3.1	Introducción.....	671
A.3.2	Acción proporcional.....	671
A.3.3	Acción proporcional + integral	675
A.3.4	Acción proporcional + derivada	677
A.3.5	Acción proporcional + integral + derivada.....	686
A.3.6	Ensayo de controladores	689
A.4	Iniciación a la optimización de procesos	692
A.4.1	Generalidades.....	692
A.4.2	Análisis experimental del proceso.....	693
A.4.3	Estabilidad	695
A.5	Control avanzado	715
A.5.1	Correctores	715
A.5.2	Control multivariante.....	717
A.5.3	Control óptimo.....	718
A.5.4	Control adaptativo.....	720
A.5.5	Control predictivo	723
A.5.6	Control por redes neuronales.....	726
A.5.7	Control por lógica difusa.....	727
A.5.8	Estructuras del control avanzado.....	730
Referencias	733	
Glosario	741	

PRÓLOGO

Los instrumentos de control están universalmente aceptados. Hoy en día es imaginable la existencia de una industria moderna sin instrumentos. Y, aunque existiera, las necesidades que crea el mercado de obtener productos terminados con las garantías de calidad exigidas y en la cantidad suficiente para que el precio obtenido sea competitivo, forzarían a modificar esta hipotética industria, incluyendo en la transformación subsiguiente la automatización del proceso mediante los instrumentos de medición y control.

En la industria se presenta pues, repetidamente, la necesidad de conocer y entender el funcionamiento de los instrumentos y el papel que juegan dentro del control del proceso. Así le ocurre al jefe o al operador del proceso, al proyectista y a su ingeniería, al estudiante y a cualquier persona que esté relacionada o vaya a relacionarse con el proceso, sin mencionar como es lógico al instrumentista o al técnico en instrumentos para quienes el tema es la esencia de su profesión.

A todas estas personas va dirigido este libro que ha sido escrito exponiendo los aspectos más interesantes para el técnico que, aunque no sea especialista en instrumentos, tenga la necesidad de conocer parte o todo el campo de la instrumentación industrial. Desde este punto de vista he intentado que los temas expuestos sean fácilmente inteligibles para el lector, aunque no tenga una preparación previa en instrumentación, con la excepción, naturalmente, de las partes de la obra dedicadas al análisis dinámico de los instrumentos, en las que se precisa una base matemática, que no obstante se facilita en forma resumida en el Apéndice A.1 para referencia del lector.

La obra consta de once capítulos y de un Apéndice. En el primer capítulo se examinan los términos que definen a los instrumentos y un código para su identificación.

En el segundo capítulo se estudian los transmisores.

En los capítulos 3, 4, 5, 6 y 7 se estudian las variables medidas y controladas en los procesos industriales, en particular, la presión, el caudal, el nivel y la temperatura, que son consideradas más importantes por ser medidas y controladas más a menudo que las otras.

En el capítulo octavo, se estudian los elementos finales de control que constituyen una de las partes más importantes del control, en particular las válvulas. Se describen sus elementos y se deducen las fórmulas de cálculo correspondientes.

La parte más importante de la obra está dedicada al control automático en el capítulo 9. Describe los sistemas de control utilizados explicando los conceptos

del control proporcional, integral y derivativo con sus valores consignados en el instrumento. Este capítulo examina, además, otros tipos de control que constituyen mejoras de los clásicos PID, y entre los que se encuentran, el control en cascada, el de relación, en adelanto, gama partida, selectivo, etc. Finalmente, se incluye una descripción de la evolución que ha ido experimentando la instrumentación en los últimos años de acuerdo con la industria, con la que ha ido avanzando paralelamente, ya que en realidad, los instrumentos de control han ido evolucionando de acuerdo con las necesidades que la industria ha ido creando.

En el capítulo 10 figuran los errores propios de los instrumentos, un sistema general de calibración y una descripción de los instrumentos de comprobación o patrones utilizados.

Finalmente, en el capítulo 11 figuran varias aplicaciones típicas en la industria para presentar al lector ejemplos que le permitan hacerse una idea de las múltiples aplicaciones de los instrumentos y su papel dentro del proceso. Este capítulo se limita, naturalmente, a estudiar sólo unos pocos procesos y todavía de forma simple, ya que un estudio exhaustivo requeriría una obra dedicada exclusivamente a esta parte de las aplicaciones, lo que queda, como es lógico, fuera de los límites de este libro.

Un Apéndice dedicado al análisis dinámico de los instrumentos, completa la obra. Permite al lector familiarizarse con los términos empleados en el análisis armónico, estudia el control desde el punto de vista dinámico, lo que permite deducir un camino en el cual están basados los criterios establecidos para el ajuste adecuado de los controladores y las técnicas del control avanzado.

Espero que la obra cumplirá su objetivo, contribuyendo a la mejor comprensión de la instrumentación, y que ayudará —conjuntamente con la bibliografía existente sobre el tema— a un mayor entendimiento entre el personal de proceso y el de instrumentación, al posibilitar el mejor conocimiento del papel que los instrumentos juegan en la industria, así como de sus limitaciones, que forzosamente las tienen al ser en realidad dispositivos mecánicos, electrónicos o digitales.

A. CREUS

PRÓLOGO A LA SEXTA EDICIÓN

La primera edición de este libro apareció en el año 1979, la segunda en 1981, la tercera en 1985, la cuarta en 1989 y la quinta en 1993. Durante estos años, las novedades incorporadas en la industria fueron el perfeccionamiento del control distribuido, aparecido inicialmente en 1975, la aparición del transmisor inteligente en 1983, y el transmisor inteligente digital en 1986, la aplicación masiva del microprocesador en todos los campos de la industria, con las espectaculares mejoras en los instrumentos de medición y control que de una precisión en la variable medida clásica de $\pm 0,5\%$ han pasado a $\pm 0,1\%$ y el perfeccionamiento del control avanzado, del control por redes neuronales y del control por lógica difusa.

En la quinta edición se incorporaron el medidor de paredes deformables y el oscilante en el capítulo 4 de Medida de Caudal, la válvula inteligente en el capítulo 8 de Elementos Finales de Control, barreras galvánicas en el capítulo 9 de Regulación Automática y se reordenó el análisis dinámico de los instrumentos.

En esta edición actual se han revisado todos los capítulos, en particular las definiciones de control en el capítulo 1, el medidor de Coriolis como medidor de caudal (capítulo 4), los pirómetros de infrarrojos y fotoeléctrico (capítulo 6), las galgas extensométricas (capítulo 7), las empaquetaduras y el ruido de las válvulas de control (capítulo 8), seguridad intrínseca (capítulo 9), y aparatos de calibración (capítulo 10). Se han añadido las comunicaciones en el capítulo 2 de Transmisores, el inventariado de tanques y el radar de microondas en el capítulo 5 de Medición de Nivel, el medidor de densidad de Coriolis y el sensor de humedad de polímero en el capítulo 7, materiales termoplásticos y la válvula de K_v o C_v ajustable en el capítulo 8 de Elementos Finales de Control, el control por redes neuronales y por lógica difusa en el capítulo 9 de Regulación Automática y en el Apéndice (Análisis dinámico de los instrumentos) y un resumen de la norma de calidad ISO 9002 en el capítulo 10 de Calibración de los Instrumentos.

Se ha conservado el texto de las ediciones anteriores, simplificándose el estudio de la instrumentación neumática, por entender el autor que, a pesar de la aplicación masiva del microprocesador en el campo del control de los procesos industriales, lo realmente importante, a la vista de los avances tan espectaculares con que evoluciona exponencialmente la técnica, es la comprensión del funcionamiento e interrelación de los instrumentos de medición y control. De aquí la conservación de las explicaciones básicas de los instrumentos neumáticos y electrónicos, y el punto de vista de considerar el instrumento dotado de microprocesador como una «caja negra» que se comporta igual que un instrumento convencional neumático o electrónico pero, lógicamente, proporcionando unas mejores prestaciones.

A. CREUS

GENERALIDADES

1.1 Introducción

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos: la fabricación de los productos derivados del petróleo, de los productos alimenticios, la industria cerámica, las centrales generadoras de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, etc.

En todos estos procesos es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, la conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, etcétera. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar.

En los inicios de la era industrial, el operario llevaba a cabo un control manual de estas variables utilizando sólo instrumentos simples, manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., control que era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos. Sin embargo, la gradual complejidad con que éstos se han ido desarrollando ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido liberando al operario de su función de actuación física directa en la planta y al mismo tiempo, le han permitido una labor única de supervisión y de vigilancia del proceso desde centros de control situados en el propio proceso o bien en salas aisladas separadas; asimismo, gracias a los instrumentos ha sido posible fabricar productos complejos en condiciones estables de calidad y de características, condiciones que al operario le serían imposibles o muy difíciles de conseguir, realizando exclusivamente un control manual.

Los procesos industriales a controlar pueden dividirse ampliamente en dos categorías: procesos continuos y procesos discontinuos. En ambos tipos, deben mantenerse en general las variables (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.), bien en un valor deseado fijo, bien en un valor variable con el tiempo de acuerdo con una relación predeterminada, o bien guardando una relación determinada con otra variable.

El sistema de control que permite este mantenimiento de las variables puede

2 Instrumentación industrial

definirse como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto.

El sistema de control exige pues, para que esta comparación y subsiguiente corrección sean posibles, que se incluya una unidad de medida, una unidad de control, un elemento final de control y el propio proceso. Este conjunto de unidades forman un bucle o lazo que recibe el nombre de bucle de control. El bucle puede ser abierto (fig. 1.1) o bien cerrado (fig. 1.2).

Un ejemplo de bucle abierto es el calentamiento de agua en un tanque mediante una resistencia eléctrica sumergida.

Un bucle cerrado representativo lo constituye la regulación de temperatura en un intercambiador de calor.

En ambos casos se observa que existen elementos definidos como el elemento de medida, el transmisor, el controlador, el indicador, el registrador y el elemento final. Estos elementos y otros adicionales se estudiarán en el resto del capítulo, considerando las características propias del instrumento (§ 1.2) y las clases de instrumentos (§ 1.3) que se emplean en los procesos industriales.

1.2 Definiciones en control

Los instrumentos de control empleados en las industrias de proceso tales como química, petroquímica, alimenticia, metalúrgica, energética, textil, papel, etc., tienen su propia terminología; los términos empleados definen las características propias de medida y de control y las estáticas y dinámicas de los diversos instrumentos utilizados:

— Indicadores, registradores, controladores, transmisores y válvulas de control.

La terminología empleada se ha unificado con el fin de que los fabricantes, los usuarios y los organismos o entidades que intervienen directa o indirectamente en el campo de la instrumentación industrial empleen el mismo lenguaje. Las

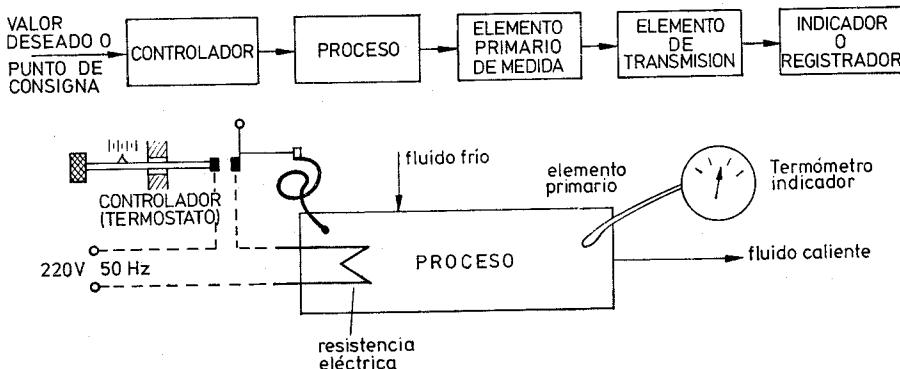


Fig. 1.1 Bucle abierto de regulación.

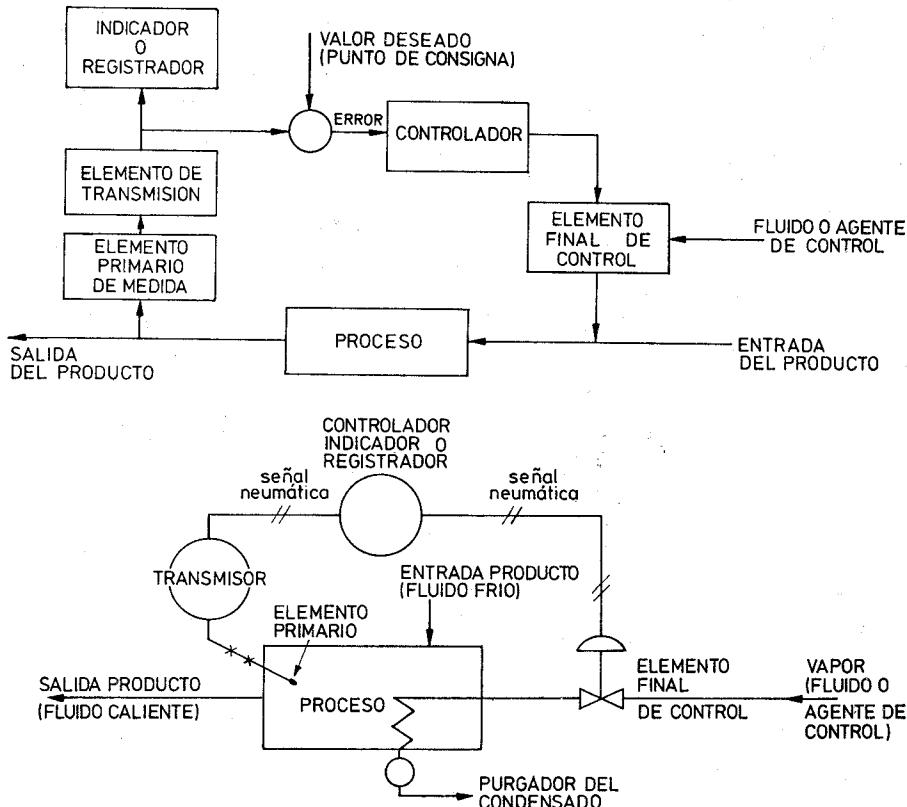


Fig. 1.2 Bucle cerrado de regulación.

definiciones de los términos empleados se relacionan con las sugerencias hechas por la SAMA (*Scientific Apparatus Makers Association*) en su norma PMC 20-2-1970. Se representan en la figura 1.3 y son las siguientes (figuran entre paréntesis los términos ingleses equivalentes).

1.2.1 Campo de medida (*range*)

Espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento; viene expresado estableciendo los dos valores extremos. Por ejemplo: el campo de medida del instrumento de temperatura de la figura 1.3 es de 100-300° C.

Otro término derivado es el de *dinámica de medida o rangeabilidad (rangeability)*, que es el cociente entre el valor de medida superior e inferior de un instrumento. En el ejemplo anterior sería de $300/100 = 3$.

4 Instrumentación industrial

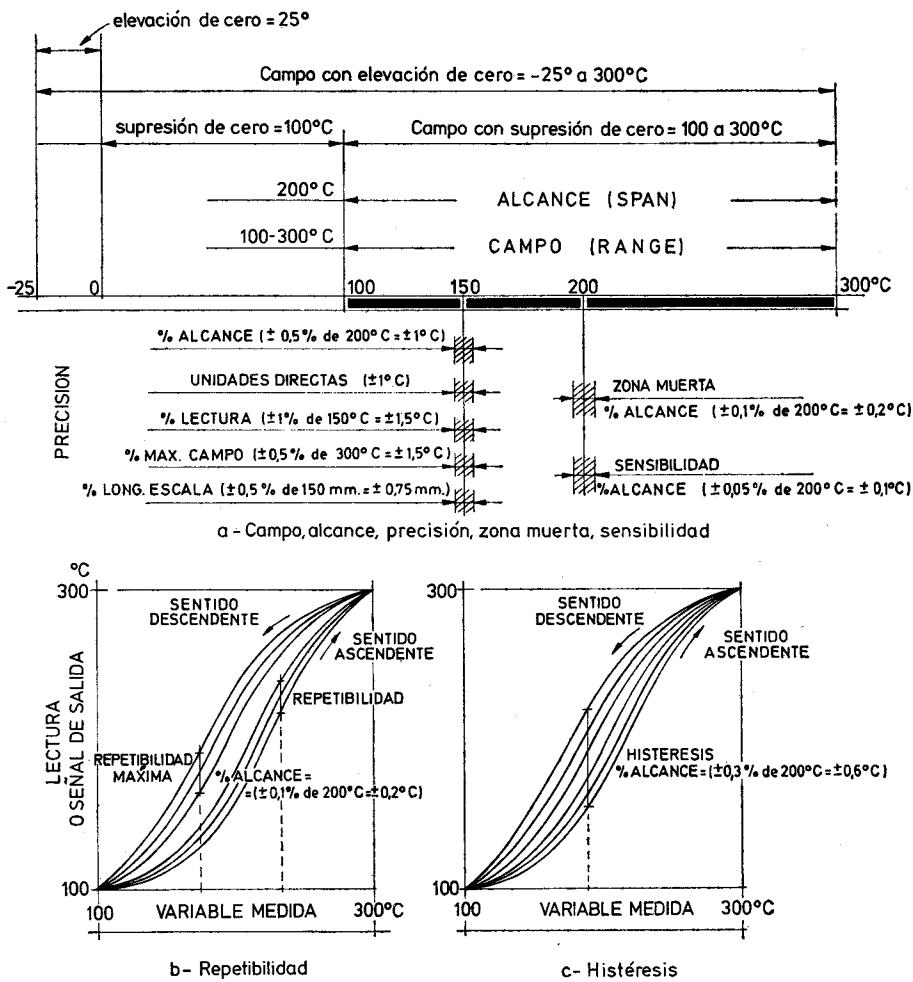


Fig. 1.3 Definiciones de los instrumentos.

1.2.2 Alcance (span)

Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento. En el instrumento de temperatura de la figura 1.3, su valor es de 200°C .

1.2.3 Error

Es la diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida. Si el proceso está en condiciones de régimen permanente existe el llamado *error estático*. En condiciones dinámicas el error varía considerablemente debido a que los instrumentos tienen características co-

munes a los sistemas físicos: absorben energía del proceso y esta transferencia requiere cierto tiempo para ser transmitida, lo cual da lugar a retardos en la lectura del aparato. Siempre que las condiciones sean dinámicas, existirá en mayor o menor grado el llamado *error dinámico* (diferencia entre el valor instantáneo de la variable y el indicado por el instrumento): su valor depende del tipo de fluido del proceso, de su velocidad, del elemento primario (termopar, bulbo y capilar), de los medios de protección (vaina), etc. El *error medio* del instrumento es la media aritmética de los errores en cada punto de la medida determinados para todos los valores crecientes y decrecientes de la variable medida.

Cuando una medición se realiza con la participación de varios instrumentos, colocados unos a continuación de otros, el valor final de la medición estará constituido por los errores inherentes a cada uno de los instrumentos.

Si el límite del error relativo de cada instrumento es $\pm a$, $\pm b$, $\pm c$, $\pm d$, etc., el máximo error posible en la medición será la suma de los valores anteriores, es decir

$$\pm (a + b + c + d + \dots)$$

Ahora bien, como es improbable que todos los instrumentos tengan al mismo tiempo su error máximo en todas las circunstancias de la medida, suele tomarse como error total de una medición la raíz cuadrada de la suma algebraica de los cuadrados de los errores máximos de los instrumentos, es decir, la expresión:

$$\pm \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + \dots}$$

Por ejemplo, el error obtenido al medir un caudal con un diafragma, un transmisor electrónico de 4-20 mA c.c., un receptor y un integrador electrónicos es de:

Error del diafragma	2 %
Error del transmisor electrónico de 4-20 mA c.c.	0,5 %
Error del receptor electrónico	0,5 %
Error del integrador electrónico	0,5 %

$$\text{Error total de la medición} = \pm \sqrt{2^2 + 0,5^2 + 0,5^2 + 0,5^2} = 2,18 \%$$

1.2.4 Incertidumbre de la medida (*uncertainty*)

Los errores que existen necesariamente al realizar la medida de una magnitud, hacen que se tenga una incertidumbre sobre el verdadero valor de la medida. La incertidumbre es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida. En el cálculo de la incertidumbre intervienen la distribución estadística de los resultados de series de mediciones, las características de los equipos (deriva, ...), etc.

Cuando se dispone de una sola medida, la incertidumbre es:

$$i = K\sigma$$

6 Instrumentación industrial

donde: K = factor que depende del nivel de confianza ($K = 2$ para 95 %)

σ = desviación típica del instrumento indicada por el fabricante

Veamos, por ejemplo, el caso de un manómetro tipo Bourdon de 120 kPa (1,2 bar o 1,18 kg/cm²) que se calibra con un patrón (comprobador de manómetros de peso muerto) de incertidumbre 2×10^{-4} , efectuándose la calibración a la temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, y con ciclos de presiones aplicadas de subida y de bajada, que permiten comprobar si el instrumento tiene histéresis.

Patrón (kPa)	Manómetro Valor medio 4 medidas sin histéresis	Corrección (kPa)	% Escala (kPa)
20	20,10	-0,10	0,08
40	40,20	-0,20	0,17
60	59,85	+0,15	0,13
80	79,95	+0,05	0,04
95	95,15	-0,15	0,13

La incertidumbre debida al patrón en el fondo de escala es:

$$2 \times 10^{-4} \times 120 \text{ kPa} = 0,024 \text{ kPa}$$

y su desviación típica, basada en las distribuciones normal y de Student, con un nivel de confianza del 95 %, es de:

$$\sigma_p = 0,024/2 = 0,012$$

La desviación típica del patrón (variación de presión del patrón con la temperatura = $21,6 \times 10^{-6}$), debida a las condiciones ambientales es:

$$\sigma_{\text{temp}} = (1/3) \times 21,6 \times 10^{-6} \times 2 \times 120 = 0,002 \text{ kPa}$$

La desviación típica de las medidas es la máxima obtenida:

$$\sigma_{\text{max}} = 0,095 \times 1,7 = 0,162$$

siendo 1,7 el factor multiplicador para cuatro medidas (subestimación de la incertidumbre que para diez medidas valdría la unidad)

$$\sigma_{\text{media}} = 0,162/2 = 0,081 \text{ kPa}$$

La variancia experimental es:

$$\sigma_{\text{total}} = \sqrt{0,012^2 + 0,002^2 + 0,081^2} = 0,082 \text{ kPa}$$

y la incertidumbre

$$\mu = \frac{2 \times 0,082}{120} \times 100 = 0,13\% \text{ fondo escala}$$

1.2.5 Exactitud

Es la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida.

1.2.6 Precisión (*accuracy*)

La precisión es la tolerancia de medida o de transmisión del instrumento (intervalo donde es admisible que se sitúe la magnitud de la medida), y define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un período de tiempo determinado (normalmente 1 año). Hay varias formas para expresar la precisión:

- a) Tanto por ciento del alcance. Ejemplo: en el instrumento de la figura 1.3, para una lectura de 150°C y una precisión de $\pm 0,5\%$ el valor real de la temperatura estará comprendido entre $150 \pm 0,5 \times 200/100 = 150 \pm 1$, es decir, entre 149 y 151°C ;
- b) Directamente, en unidades de la variable medida. Ejemplo: Precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$;
- c) Tanto por ciento de la lectura efectuada. Ejemplo: Precisión de $\pm 1\%$ de 150°C , es decir, $\pm 1,5^\circ\text{C}$;
- d) Tanto por ciento del valor máximo del campo de medida. Ejemplo: Precisión de $\pm 0,5\%$ de $300^\circ\text{C} = \pm 1,5^\circ\text{C}$;
- e) Tanto por ciento de la longitud de la escala. Ejemplo: Si la longitud de la escala del instrumento de la figura 1.3 es de 150 mm , la precisión de $\pm 0,5\%$ representará $\pm 0,75\text{ mm}$ en la escala.

La precisión varía en cada punto del campo de medida si bien, el fabricante la especifica en todo el margen del instrumento indicando a veces su valor en algunas zonas de la escala. Por ejemplo: un manómetro puede tener una precisión de $\pm 1\%$ en toda la escala y de $\pm 0,5\%$ en la zona central. Cuando se desea obtener la máxima precisión del instrumento en un punto determinado de la escala, puede calibrarse únicamente para este punto de trabajo, sin considerar los valores restantes del campo de medida. Por ejemplo: un termómetro de 0 - 150°C y de $\pm 1\%$ de precisión situado en un baño de temperatura constante a 80°C , puede ser calibrado a este valor, de modo que su precisión en este punto de trabajo será la máxima que se pueda obtener con un termómetro patrón. Es obvio que para los valores restantes, en particular los correspondientes a los extremos de la escala, la precisión se apartará de $\pm 1\%$.

Hay que señalar que los valores de precisión de un instrumento se consideran en general establecidos para el usuario, es decir, son los proporcionados por

8 Instrumentación industrial

los fabricantes de los instrumentos. Sin embargo, estos últimos suelen considerar también los valores de calibración en fábrica y de inspección. Por ejemplo, un instrumento que en fábrica tiene una precisión de calibración de $\pm 0,8\%$, en inspección le corresponde $\pm 0,9\%$ y la dada al usuario es $\pm 1\%$.

Con ello se pretende tener un margen de seguridad para compensar los efectos de las diferencias de apreciación de las personas que efectúan la calibración, las diferentes precisiones de los instrumentos de medida utilizados, las posibles alteraciones debidas al desplazamiento del instrumento de un punto a otro, los efectos ambientales y de envejecimiento, etc.

Un ejemplo ilustrativo de la diferencia entre exactitud y precisión es el siguiente:

Un manómetro de escala 0-10 bar que repita la medida de 5 bar muchas veces en las mismas condiciones, dará diferentes lecturas alrededor de 5 bar, que estarán distribuidas según una curva de campana (curva de Gauss). El manómetro será tanto más exacto cuanto más próximo esté el valor medio de las medidas al valor verdadero de 5 bar y será más preciso cuanto menor sea la dispersión de las medidas. Por lo tanto, los instrumentos de medida estarán diseñados por los fabricantes para que sean precisos, y como periódicamente se descalibran, deben reajustarse para que sean exactos.

1.2.7 Zona muerta (*dead zone o dead band*)

Es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida. Por ejemplo: en el instrumento de la figura 1.3 es de $\pm 0,1\%$, es decir, de $0,1 \times 200/100 = \pm 0,2^\circ\text{C}$.

1.2.8 Sensibilidad (*sensitivity*)

Es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo. Por ejemplo, si en un transmisor electrónico de 0-10 bar, la presión pasa de 5 a 5,5 bar y la señal de salida de 11,9 a 12,3 mA c.c., la sensibilidad es el cociente:

$$\frac{(12,3 - 11,9)/(20 - 4)}{(5,5 - 5)/10} = \pm 0,5 \text{ mA c.c./bar}$$

Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida. Si la sensibilidad del instrumento de temperatura de la figura 1.3 es de $\pm 0,05\%$, su valor será de $0,05 \times 200/100 = \pm 0,1^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$.

Hay que señalar que no debe confundirse la sensibilidad con el término de zona muerta; son definiciones básicamente distintas que antes era fácil confundir cuando la definición inicial de la sensibilidad era «valor mínimo en que se ha de modificar la variable para apreciar un cambio medible en el índice o en la pluma de registro del instrumento».

1.2.9 Repetibilidad (repeatability)

La repetibilidad es la capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice o de la señal de salida, del instrumento al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación, recorriendo todo el campo. Se considera en general su valor máximo (repetibilidad máxima) y se expresa en tanto por ciento del alcance; un valor representativo es el de $\pm 0,1\%$. Nótese que el término repetibilidad no incluye la histéresis (figura 1.3 b).

Para determinarla, el fabricante comprueba la diferencia entre el valor verdadero de la variable y la indicación o señal de salida del instrumento recorriendo todo el campo, y partiendo, para cada determinación, desde el valor mínimo del campo de medida. De este modo, en el caso de un manómetro puede haber anotado los datos relacionados en la tabla siguiente.

Variable	Indicación	Variable	Indicación
Desde 0 a 0,5	0,502	Desde 0 a 5	5,010
Desde 0 a 1	1,006	Desde 0 a 5,5	5,505
Desde 0 a 1,5	1,509	Desde 0 a 6	6,006
Desde 0 a 2	2,008	Desde 0 a 6,5	6,501
Desde 0 a 2,5	2,506	Desde 0 a 7	7,003
Desde 0 a 3	3,007	Desde 0 a 7,5	7,504
Desde 0 a 3,5	3,503	Desde 0 a 8	8,009
Desde 0 a 4	4,006	Desde 0 a 8,5	8,508
Desde 0 a 4,5	4,507	Desde 0 a 9	9,008
		Desde 0 a 10	10,005

La repetibilidad viene dada por la fórmula $\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$ resultando:

$$\sqrt{\frac{0,00785}{19}} = \pm 0,02\%$$

1.2.10 Histéresis (hysteresis)

La histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice o la pluma del instrumento para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente.

Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida. Por ejemplo: Si en un termómetro de 0-100 %, para el valor de la variable de 40 °C, la aguja marca

10 Instrumentación industrial

39,9 al subir la temperatura desde 0, e indica 40,1 al bajar la temperatura desde 100 °C, el valor de la histéresis es de:

$$\frac{40,1 - 39,9}{100 - 0} \cdot 100 = \pm 0,2 \%$$

En la figura 1.3 c pueden verse las curvas de histéresis que están dibujadas exageradamente para apreciar bien su forma. Hay que señalar que el término zona muerta está incluido dentro de la histéresis.

1.2.11 Otros términos

Empleados en las especificaciones de los instrumentos son los siguientes:

Campo de medida con elevación de cero

Es aquel campo de medida en el que el valor cero de la variable o señal medida es mayor que el valor inferior del campo. Por ejemplo, -10° a 30° C.

Campo de medida con supresión de cero

Es aquel campo de medida en el que el valor cero de la variable o señal medida es menor que el valor inferior del campo.

Elevación de cero

Es la cantidad con que el valor cero de la variable supera el valor inferior del campo. Puede expresarse en unidades de la variable medida o en % del alcance.

Supresión de cero

Es la cantidad con que el valor inferior del campo supera el valor cero de la variable. Puede expresarse en unidades de la variable medida o en % del alcance.

Deriva

Es una variación en la señal de salida que se presenta en un período de tiempo determinado mientras se mantienen constantes la variable medida y todas las condiciones ambientales. Se suelen considerar la deriva de cero (variación en la señal de salida para el valor cero de la medida atribuible a cualquier causa interna) y la deriva térmica de cero (variación en la señal de salida a medida cero, debida a los efectos únicos de la temperatura). La deriva está expresada usualmente en porcentaje de la señal de salida de la escala total a la temperatura ambiente, por unidad, o por intervalo de variación de la temperatura. Por ejemplo, la deriva térmica de cero de un instrumento en condiciones de temperatura ambiente durante 1 mes fue de 0,2 % del alcance.

Fiabilidad

Medida de la probabilidad de que un instrumento continúe comportándose dentro de límites especificados de error a lo largo de un tiempo determinado y bajo condiciones especificadas.

Resolución

Magnitud de los cambios en escalón de la señal de salida (expresados en tanto por ciento de la salida de toda la escala) al ir variando continuamente la medida en todo el campo. Es también el grado con que el instrumento puede discriminar valores equivalentes de una cantidad, o la menor diferencia de valor que el aparato puede distinguir.

Resolución infinita

Capacidad de proporcionar una señal de salida progresiva y continua en todo el campo de trabajo del instrumento.

Trazabilidad (Traceability)

Propiedad del resultado de las mediciones efectuadas con un instrumento o con un patrón, tal que puede relacionarse con patrones nacionales o internacionales, mediante una cadena ininterrumpida de comparaciones, con todas las incertidumbres determinadas.

Ruido

Cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseada que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados.

Linealidad

La aproximación de una curva de calibración a una línea recta especificada.

Linealidad basada en puntos

Falta de linealidad expresada en forma de desviación máxima con relación a una línea recta que pasa a través de los puntos dados correspondientes al cero y al 100 % de la variable medida.

Estabilidad

Capacidad de un instrumento para mantener su comportamiento durante su vida útil y de almacenamiento especificadas.

Temperatura de servicio

Campo de temperaturas en el cual se espera que trabaje el instrumento dentro de límites de error especificados.

Vida útil de servicio

Tiempo mínimo especificado durante el cual se aplican las características de servicio continuo e intermitente del instrumento sin que se presenten cambios en su comportamiento más allá de tolerancias especificadas.

Reproductibilidad

Capacidad de reproducción de un instrumento de las medidas repetitivas de la lectura o señal de salida para el mismo valor de la variable medida alcanzado en ambos sentidos, en las mismas condiciones de servicio y a lo largo de un período de tiempo determinado. Por ejemplo, un valor representativo sería $\pm 0,2\%$ del alcance de la lectura o señal de salida a lo largo de un período de 30 días.

Respuesta frecuencial

Variación con la frecuencia de la relación de amplitudes señal de salida/variable medida (y de la diferencia de fases entre la salida y la variable medida) para una medida de variación senoidal aplicada a un instrumento dentro de un campo establecido de frecuencias de la variable medida. Se especifica usualmente como «dentro de $\pm \dots\%$ de ... a ... Hz».

1.3 Clases de instrumentos

Los instrumentos de medición y de control son relativamente complejos y su función puede comprenderse bien si están incluidos dentro de una clasificación adecuada. Como es lógico, pueden existir varias formas para clasificar los instrumentos, cada una de ellas con sus propias ventajas y limitaciones. Se considerarán dos clasificaciones básicas: la primera relacionada con la función del instrumento y la segunda con la variable del proceso.

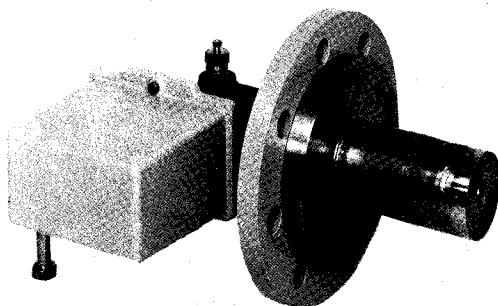
1.3.1 En función del instrumento

De acuerdo con la función del instrumento, obtenemos las formas siguientes:

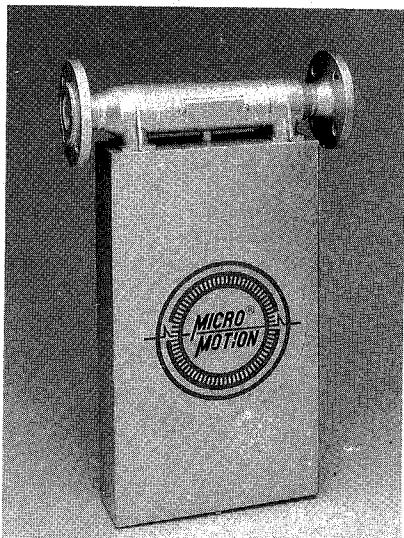
Instrumentos *ciegos* (fig. 1.4), son aquellos que no tienen indicación visible de la variable. Hay que hacer notar que son ciegos los instrumentos de alarma, tales como presostatos y termostatos (interruptores de presión y temperatura respectivamente) que poseen una escala exterior con un índice de selección de la variable, ya que sólo ajustan el punto de disparo del interruptor o conmutador al cruzar la variable el valor seleccionado. Son también instrumentos ciegos, los transmisores de caudal, presión, nivel y temperatura sin indicación.

Los instrumentos *indicadores* (fig. 1.5) disponen de un índice y de una escala graduada en la que puede leerse el valor de la variable. Según la amplitud de la escala se dividen en indicadores concéntricos y excéntricos. Existen también indicadores digitales que muestran la variable en forma numérica con dígitos.

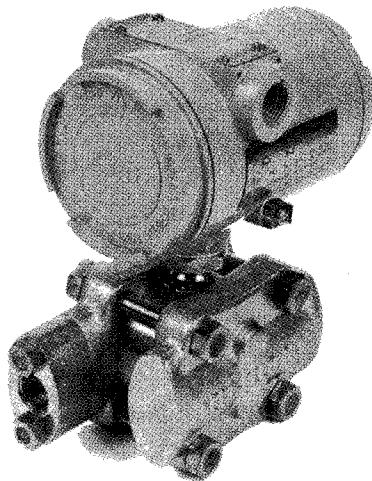
Los instrumentos *regisradores* (fig. 1.6) registran con trazo continuo o a pun-



(Cortesía de Siemens)



(Cortesía de Rosemount)



(Cortesía de ABB-Kent-Taylor)

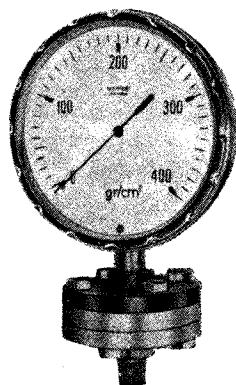
Fig. 1.4 Instrumentos ciegos.

tos la variable, y pueden ser circulares o de gráfico rectangular o alargado según sea la forma del gráfico.

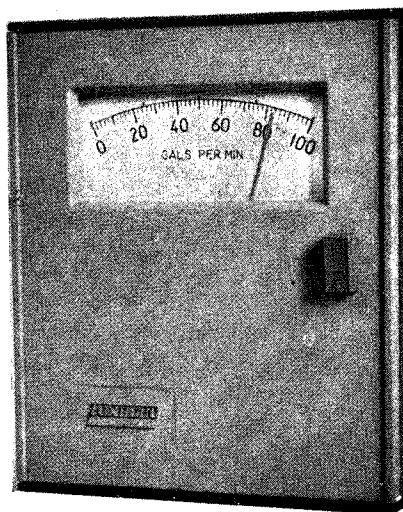
Los registradores de gráfico circular suelen tener el gráfico de 1 revolución en 24 horas mientras que en los de gráfico rectangular la velocidad normal del gráfico es de unos 20 mm/hora.

Los *elementos primarios* (fig. 1.7) están en contacto con la variable y utilizan o absorben energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada. El efecto producido por el elemento primario puede ser un cambio de presión, fuerza, posición, medida eléctrica, etc. Por ejemplo: en los elementos primarios de temperatura de bulbo y capilar, el efecto es la variación de presión del fluido que los llena y en los de termopar se presenta una variación de fuerza electromotriz.

Los *transmisores* (fig. 1.8) captan la variable de proceso a través del ele-



(Cortesía de Bourdon)



(Cortesía de Foxboro)

Fig. 1.5 Instrumentos indicadores.

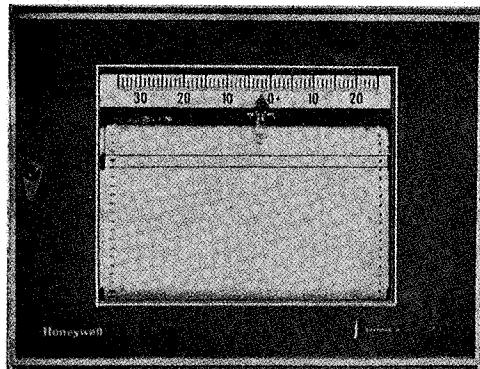
mento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática de margen 3 a 15 psi (libras por pulgada cuadrada) o electrónica de 4 a 20 mA de corriente continua. La señal neumática de 3 a 15 psi equivale a 0,206 – 1,033 bar (0,21 – 1,05 kg/cm²) por lo cual, también se emplea la señal en unidades métricas 0,2 a 1 bar (0,2 a 1 kg/cm²). Asimismo, se emplean señales electrónicas de 1 a 5 mA c.c., de 10 a 50 mA c.c. y de 0 a 20 mA cc., si bien la señal normalizada es de 4-20 mA c.c. La señal digital utilizada en algunos transmisores inteligentes es apta directamente para ordenador.

El elemento primario puede formar o no parte integral del transmisor; el primer caso lo constituye un transmisor de temperatura de bulbo y capilar y el segundo un transmisor de caudal con la placa orificio como elemento primario.

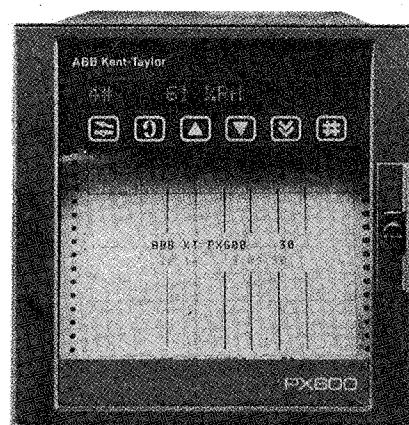
Los *transductores* reciben una señal de entrada función de una o más cantidades físicas y la convierten modificada o no a una señal de salida. Son transductores, un relé, un elemento primario, un transmisor, un convertidor PP/I (presión de proceso a intensidad), un convertidor PP/P (presión de proceso a señal neumática), etc.

Los *convertidores* (fig. 1.9) son aparatos que reciben una señal de entrada neumática (3-15 psi) o electrónica (4-20 mA c.c.) procedente de un instrumento y después de modificarla envían la resultante en forma de señal de salida estándar. Ejemplo: un convertidor P/I (señal de entrada neumática a señal de salida electrónica, un convertidor I/P (señal de entrada eléctrica a señal de salida neumática).

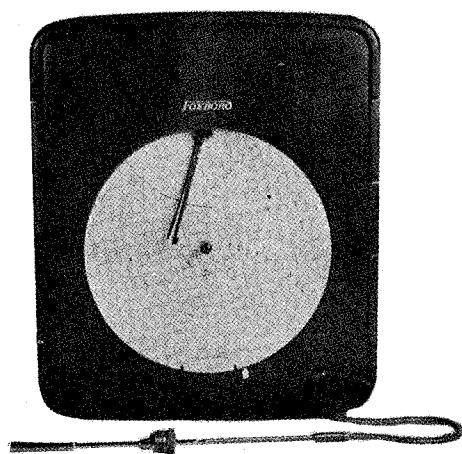
Conviene señalar que a veces se confunde convertidor con transductor. Este último término es general y no debe aplicarse a un aparato que convierta una señal de instrumentos.



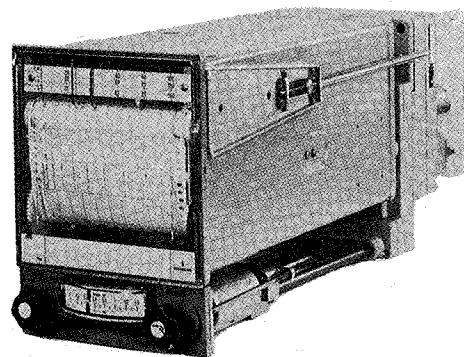
(Cortesía de Honeywell)



(Cortesía de ABB-Kent-Taylor)



(Cortesía de Foxboro)



(Cortesía de Siemens)

Fig. 1.6 Instrumentos registradores.

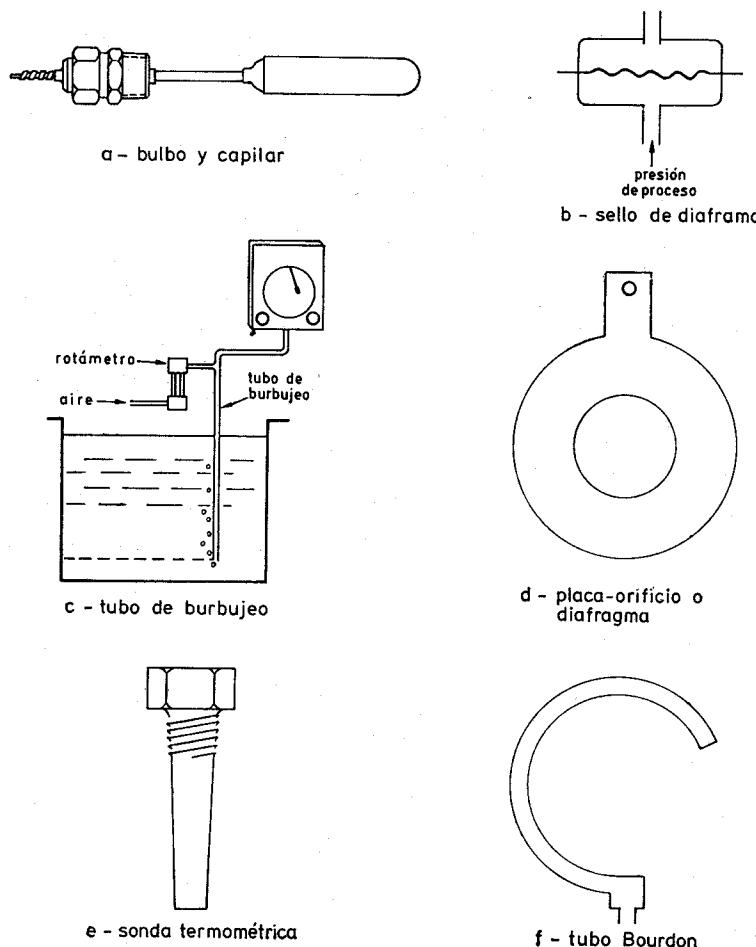


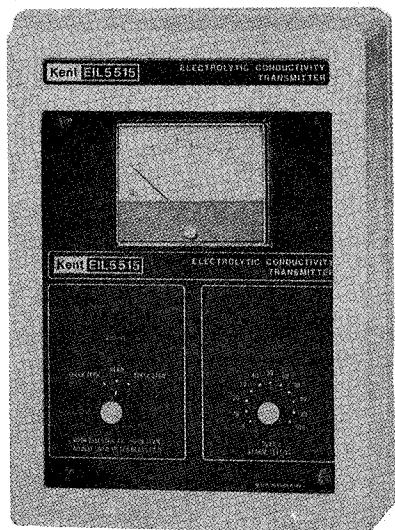
Fig. 1.7 Elementos primarios.

Los *receptores* reciben las señales procedentes de los transmisores y las indican o registran. Los receptores controladores envían otra señal de salida normalizada a los valores ya indicados 3-15 psi en señal neumática, o 4-20 mA c.c. en señal electrónica, que actúan sobre el elemento final de control.

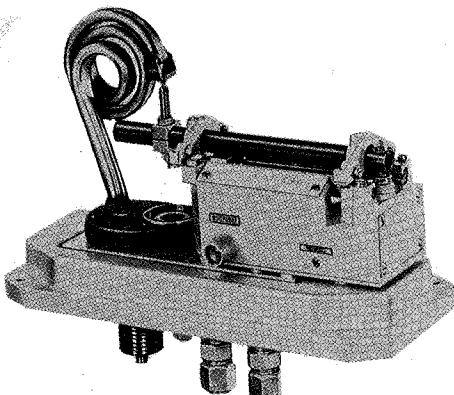
Los *controladores* (fig. 1.10) comparan la variable controlada (presión, nivel, temperatura) con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación.

La variable controlada la pueden recibir directamente, como controladores locales o bien indirectamente en forma de señal neumática, electrónica o digital procedente de un transmisor.

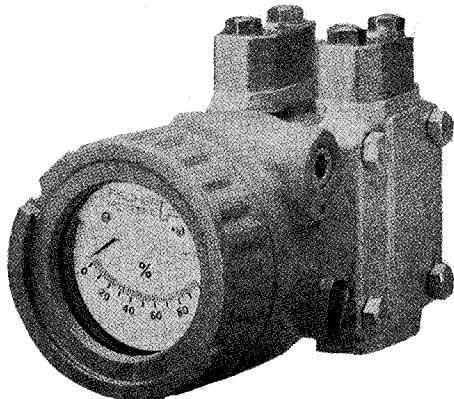
El *elemento final de control* (fig. 1.11) recibe la señal del controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. En el control neumático, el ele-



(Cortesía de ABB-Kent-Taylor)

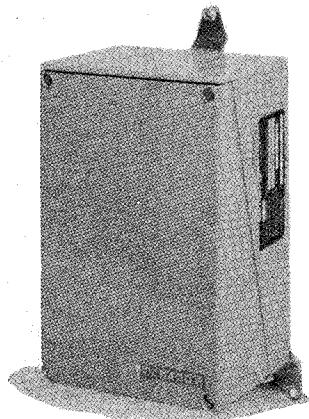


(Cortesía de Siemens)

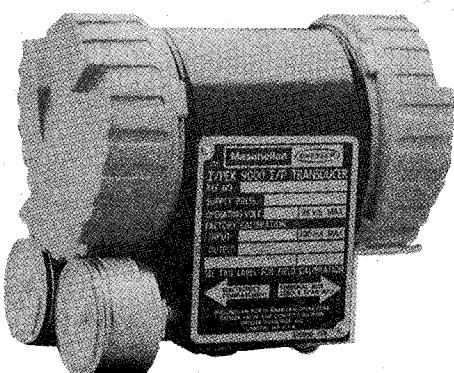


(Cortesia de Fischer Porter)

Fig. 1.8 Transmisores.



(Cortesia de Eckardt)



(Cortesía de *Masoneilan*)

Fig. 1.9 Convertidores.

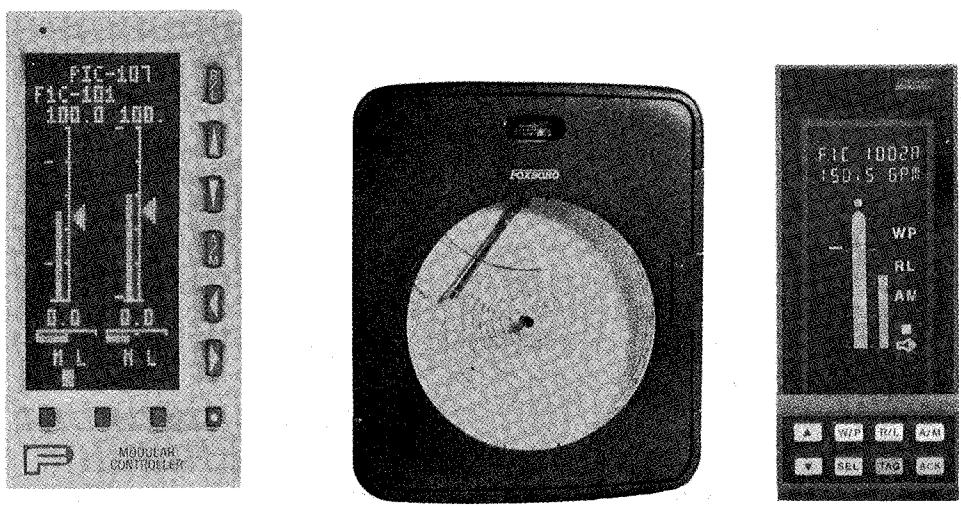
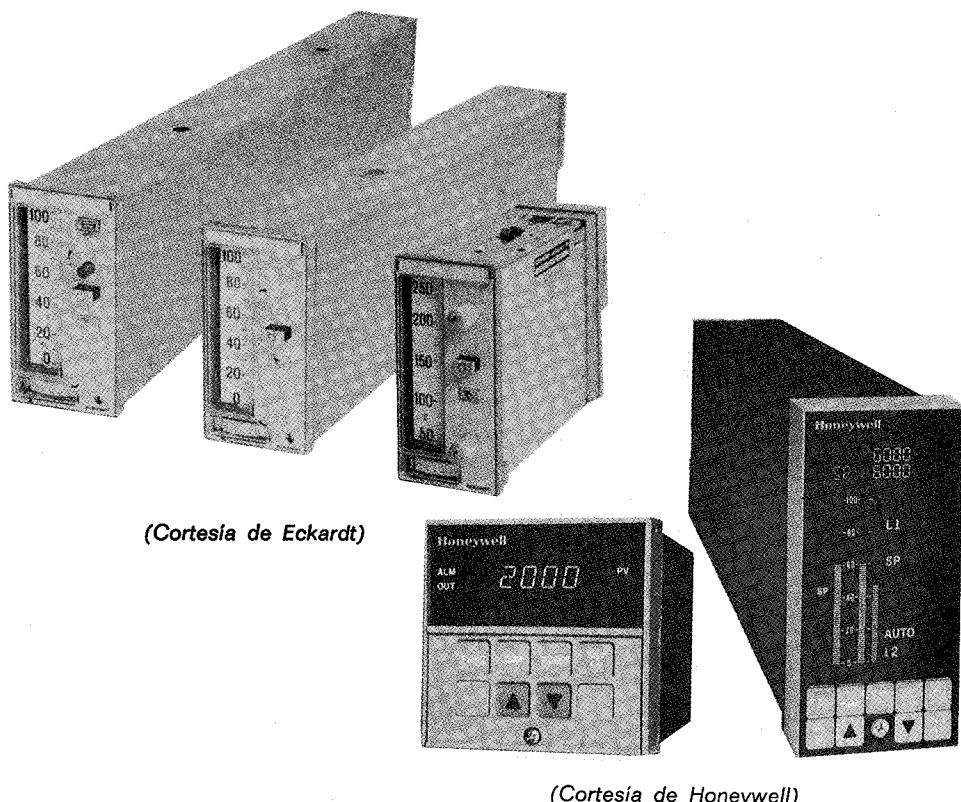
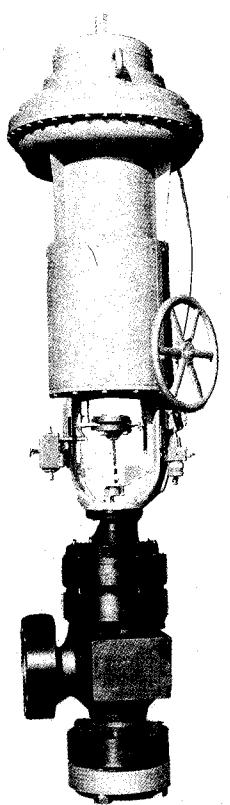
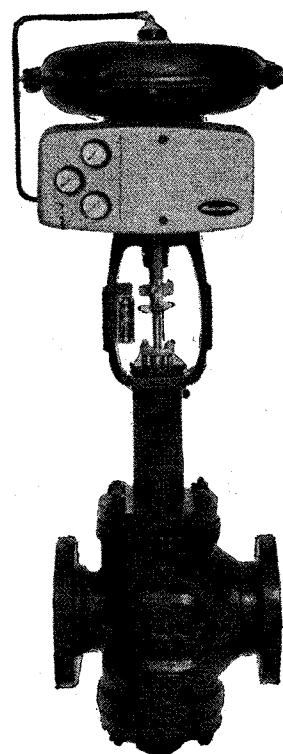


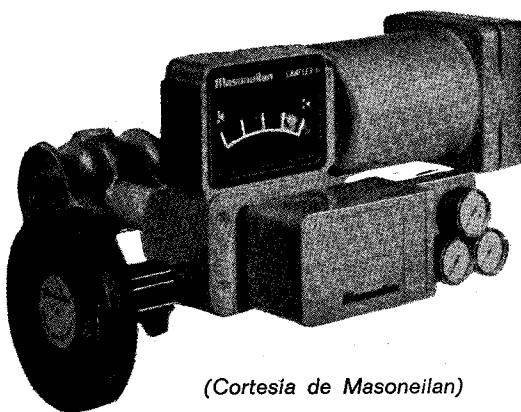
Fig. 1.10 Controladores.



(Cortesía de Gulde)



(Cortesía de Masoneilan)



(Cortesía de Masoneilan)

Fig. 1.11 Elemento final de control.

mento suele ser una válvula neumática o un servomotor neumático que efectúan su carrera completa de 3 a 15 psi (0,2-1 bar). En el control electrónico la válvula o el servomotor anteriores son accionados a través de un convertidor de intensidad a presión (I/P) o señal digital a presión que convierte la señal electrónica de 4 a 20 mA c.c. o digital a neumática 3-15 psi. En el control eléctrico el elemento suele ser una válvula motorizada que efectúa su carrera completa accionada por un servomotor eléctrico.

En el control electrónico y en particular en regulación de temperatura de hornos pueden utilizarse rectificadores de silicio (tiristores). Éstos se comportan esencialmente como bobinas de impedancia variable y varían la corriente de alimentación de las resistencias del horno, en la misma forma en que una válvula de control cambia el caudal de fluido en una tubería.

Las señales neumáticas (3-15 psi o 0,2-1 bar o 0,2-1 kg/cm²) y electrónica (4-20 mA c.c.) permiten el intercambio entre instrumentos de la planta. No ocurre así en los instrumentos de señal de salida digital (transmisores, controladores) donde las señales son propias de cada suministrador. No obstante, existe el propósito de normalización, en particular en los sistemas de control distribuido, por parte de firmas de instrumentos de control (Bailey, Foxboro, Honeywell, Rosemount y otros) que estudian la aplicación de un lenguaje o protocolo de comunicaciones. Existe un comité internacional de normas IEC-65C que recibe la colaboración de comités ISA SP50, ISA SP72 y EUROBOT de EUREKA, y que trabajan también en el campo de normalización de las comunicaciones digitales entre los instrumentos de campo y los sistemas de control en la llamada tecnología del «fieldbus» o bus de campo. Intentos parciales de normalización se realizan en procesos discontinuos (norma NAMUR) por empresas tales como AK20, BASF, BAYER, CIBA-GEIGY... que definen la misma programación para fábricas distintas con el fin de obtener productos con la misma calidad.

1.3.2 En función de la variable de proceso

De acuerdo con la variable del proceso, los instrumentos se dividen en instrumentos de caudal, nivel, presión, temperatura, densidad y peso específico, humedad y punto de rocío, viscosidad, posición, velocidad, pH, conductividad, frecuencia, fuerza, turbidez, etc.

Esta clasificación corresponde específicamente al tipo de las señales medidas siendo independiente del sistema empleado en la conversión de la señal de proceso. De este modo, un transmisor neumático de temperatura del tipo de bulbo y capilar, es un instrumento de temperatura a pesar de que la medida se efectúa convirtiendo las variaciones de presión del fluido que llena el bulbo y el capilar; el aparato receptor de la señal neumática del transmisor anterior es un instrumento de temperatura, si bien, al ser receptor neumático lo podríamos considerar instrumento de presión, caudal, nivel o cualquier otra variable, según fuera la señal medida por el transmisor correspondiente; un registrador potenciométrico puede ser un instrumento de temperatura, de conductividad o de velocidad, según sean las señales medidas por los elementos primarios de termopar, electrodos o dínamo.

Asimismo, esta clasificación es independiente del número y tipo de transductores existentes entre el elemento primario y el instrumento final. Así ocurre en el caso de un transmisor electrónico de nivel de 4 a 20 mA c.c., un receptor controlador con salida de 4-20 mA c.c., un convertidor intensidad-presión (I/P) que transforma la señal de 4-20 mA c.c. a neumática de 3-15 psi y la válvula neumática de control; todos estos instrumentos se consideran de nivel.

En la designación del instrumento se utiliza en el lenguaje común las dos clasificaciones expuestas anteriormente. Y de este modo, se consideran instrumentos tales como transmisores ciegos de presión, controladores registradores de temperatura, receptores indicadores de nivel, receptores controladores registradores de caudal, etc.

En la figura 1.12 pueden verse los diversos instrumentos descritos.

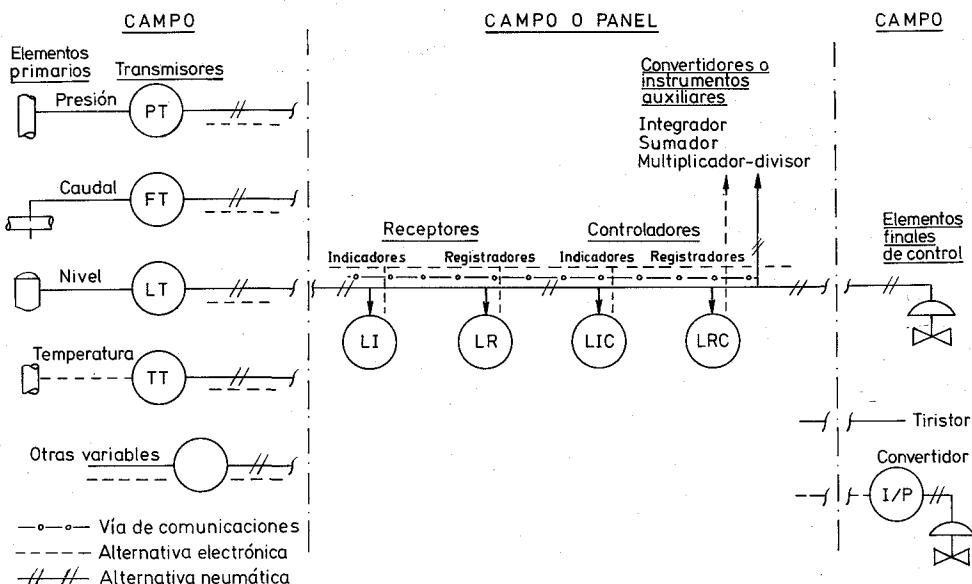


Fig. 1.12 Clases de instrumentos.

Nótese que se consideran instrumentos de campo y de panel; la primera designación incluye los instrumentos locales situados en el proceso o en sus proximidades (es decir, en tanques, tuberías, secadores, etc.) mientras que la segunda se refiere a los instrumentos montados en paneles, armarios o pupitres situados en salas aisladas o en zonas del proceso.

1.3.3 Código de identificación de instrumentos

Para designar y representar los instrumentos de medición y control se emplean normas muy variadas que a veces varían de industria en industria. Esta gran variedad de normas y sistemas utilizados en las organizaciones industriales indica la necesidad universal de una normalización en este campo. Varias sociedades han dirigido sus esfuerzos en este sentido, y entre ellas se encuentra como una de las importantes la Sociedad de Instrumentos de Estados Unidos, ISA (*Instrument Society of America*) cuyas normas tienen por objeto establecer sistemas de designación (código y símbolos) de aplicación a las industrias químicas, petroquímicas, aire acondicionado, etc.

Figura a continuación un resumen de las normas ISA-S5.1-84 de ANSI/ISA del año 1984 con una rectificación el año 1992, sobre instrumentación de medición y control, de ISA-S5.2-76 del año 1976 con una rectificación el año 1992 Binary Logic Diagrams for Process Operations sobre símbolos de operaciones binarias de procesos, y de ISA-S5.3 Graphic Symbols for Distributed Control/Shared Display Instrumentation, Logic and Computer Systems 1983, sobre símbolos de sistemas de microprocesadores con control compartido. Hay que señalar al lector que estas normas no son de uso obligatorio sino que constituyen una recomendación a seguir en la identificación de los instrumentos en la industria.

Resumen Norma ISA-S5.1-84

Generalidades

- A) Cada instrumento debe identificarse con sistema de letras que lo clasifique funcionalmente. Una identificación representativa es la siguiente:

T R C		2 A	
Primera letra	Letras sucesivas	Número del bucle	Sufijo (no se usa normalmente)
Identificación funcional		Identificación del bucle	

- B) El número de letras funcionales para un instrumento debe ser mínimo, no excediendo de cuatro. Para ello conviene:

- Disponer las letras en subgrupos. Por ejemplo, un transmisor registrador de relación de caudales con un interruptor de alarma de relación de caudales puede identificarse con dos círculos uno con FFRT-3 y el otro FFS-3.
- En un instrumento que indica y registra la misma variable medida puede omitirse la letra I (indicación).

- c) Los bucles de instrumentos de un proyecto o secciones de un proyecto deben identificarse con una secuencia única de números.

Ésta puede empezar con el número 1 o cualquier otro número conveniente, tal como 301 o 1201 que puede incorporar información codificada tal como área de planta.

- d) Si un bucle dado tiene más de un instrumento con la misma identificación funcional, es preferible añadir un sufijo, ejemplo FV-2A, FV-2B, FV-2C, etc., o TE-25-1, TE-25-2, TE-25-3, etc. Estos sufijos pueden añadirse obedeciendo a las siguientes reglas:

1. Deben emplearse letras mayúsculas, A, B, C, etc.
 2. En un instrumento tal como un registrador de temperatura multipunto que imprime números para identificación de los puntos, los elementos primarios pueden numerarse TE-25-1, TE-25-2, TE-25-3, etcétera.
 3. Las subdivisiones interiores de un bucle pueden designarse por sufijos formados por letras y números.
- e) Un instrumento que realiza dos o más funciones puede designarse por todas sus funciones. Por ejemplo, un registrador de caudal FR-2 con pluma de presión PR-4 se designa preferentemente FR-2/PR-4 o bien UR-7; un registrador de presión de dos plumas como PR-7/8; y una ventanilla de alarma para temperatura alta y baja como TAH/L-9.
- f) Los accesorios para instrumentos tales como rotámetros de purga, filtros manorreductores y pines de sellado que no están representados explícitamente en un diagrama de flujo, pero que necesitan una identificación para otros usos deben tenerla de acuerdo con su función y deben emplear el mismo número del bucle que el del instrumento asociado. Alternativamente, los accesorios pueden emplear el mismo número de identificación que el de sus instrumentos asociados, pero con palabras aclaratorias si ello es necesario.

Por consiguiente, una brida para una placa-orificio FE-7 debe designarse como FX-7 o bien como FE-7 brida. Un rotámetro regulador de purga asociado con un manómetro PI-8 debe identificarse como FIVC-8, pero puede también marcarse PI-8 purga. Una sonda empleada con un termómetro TI-9 será TW-9, o bien, TI-9 sonda.

TABLA 1.1 Letras de identificación

1.ª Letra		Letras sucesivas		
Variable medida (3)	Letra de modificación	Función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación
A Análisis (4)		Alarma Libre (1)	Libre (1)	Libre (1)
B Llama (quemador)				
C Conductividad			Control	
D Densidad o peso específico	Diferencial (3)			
E Tensión (f.e.m.)		Elemento primario		
F Caudal	Relación (3)			
G Calibre		Vidrio (8)		
H Manual				Alto (6) (13) (14)
I Corriente eléctrica		Indicación (9) o indicador		
J Potencia	Exploración (6)			
K Tiempo			Estación de control	
L Nivel		Luz piloto (10)		Bajo (6) (13) (14)
M Humedad				Medio o intermedio (6) (13)
N Libre (1)		Libre	Libre	Libre
O Libre (1)		Orificio		
P Presión o vacío		Punto de prueba		
Q Cantidad	Integración (3)			
R Radiactividad		Registro		
S Velocidad o frecuencia	Seguridad (7)		Interruptor	
T Temperatura			Transmisión o transmisor	
U Multivariable (5)		Multifunción (11)	Multifunción (11)	Multifunción (11)
V Viscosidad			Válvula	
W Peso o Fuerza		Vaina		
X Sin clasificar (2)		Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
Y Libre (1)			Relé o computador (12)	
Z Posición			Elemento final de control sin clasificar	

(1) Para cubrir las designaciones no normalizadas que pueden emplearse repetidamente en un proyecto se han previsto letras libres. Estas letras pueden tener un significado como primera letra y otro como letra sucesiva. Por ejemplo, la letra N puede representar como primera letra el módulo de elasticidad y como sucesiva un osciloscopio.

(2) La letra sin clasificar X, puede emplearse en las designaciones no indicadas que se utilicen sólo una vez o un número limitado de veces. Se recomienda que su significado figure en el exterior del círculo de identificación del instrumento. Ejemplo: XR-3 registrador de vibración.

(3) Cualquier letra primera si se utiliza con las letras de modificación D (diferencial), F (relación) o Q (integración) o cualquier combinación de las mismas cambia su significado para representar una nueva variable medida. Por ejemplo, los instrumentos TDI y TI miden dos variables distintas, la temperatura diferencial y la temperatura, respectivamente.

(4) La letra A para análisis, abarca todos los análisis no indicados en la tabla 1.1, que no

están cubiertos por una letra libre. Es conveniente definir el tipo de análisis al lado del símbolo en el diagrama de proceso.

(5) El empleo de la letra U como multivariable en lugar de una combinación de primeras letras, es opcional.

(6) El empleo de los términos de modificaciones alto, medio, bajo, medio o intermedio y exploración, es preferible pero opcional.

(7) El término seguridad, debe aplicarse sólo a elementos primarios y a elementos finales de control que protejan contra condiciones de emergencia (peligrosas para el equipo o el personal). Por este motivo, una válvula autorreguladora de presión que regula la presión de salida de un sistema, mediante el alivio o escape de fluido al exterior, debe ser PCV, pero si esta misma válvula se emplea contra condiciones de emergencia, se designa PSV.

La designación PSV se aplica a todas las válvulas proyectadas para proteger contra condiciones de emergencia de presión sin tener en cuenta si las características de la válvula y la forma de trabajo la colocan en la categoría de válvula de seguridad, válvula de alivio, o válvula de seguridad de alivio.

(8) La letra de función pasiva *vidrio*, se aplica a los instrumentos que proporcionan una visión directa no calibrada del proceso.

(9) La letra *indicación* se refiere a la lectura de una medida real de proceso. No se aplica a la escala de ajuste manual de la variable si no hay indicación de ésta.

(10) Una luz piloto que es parte de un bucle de control debe designarse por una primera letra seguida de la letra sucesiva L. Por ejemplo, una luz piloto que indica un período de tiempo terminado se designará KL. Sin embargo, si se desea identificar una luz piloto fuera del bucle de control, la luz piloto puede designarse en la misma forma o bien alternativamente por una letra única L. Por ejemplo, una luz piloto de marcha de un motor eléctrico puede identificarse EL, suponiendo que la variable medida adecuada es la tensión, o bien XL, suponiendo que la luz es excitada por los contactos eléctricos auxiliares del arrancador del motor, o bien simplemente L.

La actuación de la luz piloto puede ser acompañada por una señal audible.

(11) El empleo de la letra U como multifunción en lugar de una combinación de otras letras, es opcional.

(12) Se supone que las funciones asociadas con el uso de la letra sucesiva Y se definirán en el exterior del símbolo del instrumento cuando sea conveniente hacerlo así.

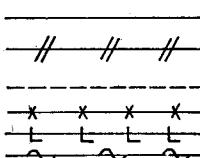
(13) Los términos alto, bajo y medio o intermedio deben corresponder a valores de la variable medida, no a los de la señal a menos que se indique de otro modo. Por ejemplo, una alarma de nivel alto derivada de una señal de un transmisor de nivel de acción inversa debe designarse LAH incluso aunque la alarma sea actuada cuando la señal cae a un valor bajo.

(14) Los términos alto y bajo, cuando se aplican a válvulas, o a otros dispositivos de cierre-apertura, se definen como sigue:

Alto: indica que la válvula está, o se aproxima a la posición de apertura completa.

Bajo: denota que se acerca o está en la posición completamente cerrada.

Figuran a continuación los símbolos a emplear en los planos y dibujos de representación de instrumentos en los procesos industriales.



1. Conexión a proceso o enlace mecánico, o alimentación de instrumentos*
2. Señal neumática** o señal sin definir en una línea de proceso
3. Señal eléctrica
4. Tubo capilar
5. Señal hidráulica
6. Señal electromagnética*** o sónica (sin hilo ni tubo)

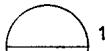
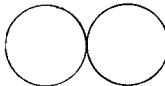
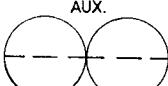
* Se sugieren las siguientes abreviaturas para representar el tipo de alimentación (o bien de purga de fluidos)

AS	Alimentación de aire
ES	Alimentación eléctrica
GS	Alimentación de gas
HS	Alimentación hidráulica
NS	Alimentación de nitrógeno
SS	Alimentación de vapor
WS	Alimentación de agua

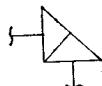
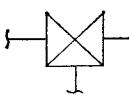
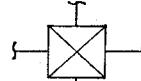
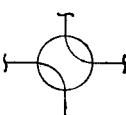
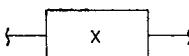
** El símbolo se aplica también a cualquier señal que emplee gas como medio de transmisión. Si se emplea un gas distinto del aire debe identificarse con una nota al lado del símbolo o bien de otro modo.

*** Los fenómenos electromagnéticos incluyen calor, ondas de radio, radiación nuclear y luz.

Símbolos generales

 LOCAL <p>Ø aprox. 7/16" = 11,1mm</p>	 MONTAJE EN PANEL 1	 MONTAJE DETRÁS DEL PANEL	
INSTRUMENTO PARA UNA VARIABLE MEDIDA CON CUALQUIER NÚMERO DE FUNCIONES			
 MONTAJE LOCAL	 MONTAJE EN PANEL	 AUX. MONTAJE DETRÁS DE PANEL AUXILIAR	
INSTRUMENTO PARA DOS VARIABLES MEDIDAS. OPCIONALMENTE INSTRUMENTO CON MÁS DE UNA FUNCIÓN. PUEDEN ANADIRSE CÍRCULOS ADICIONALES SI SE PRECISAN			

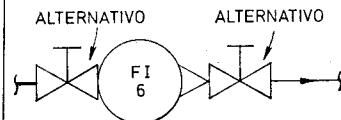
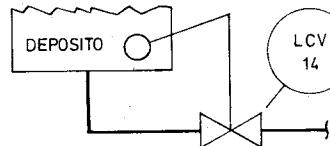
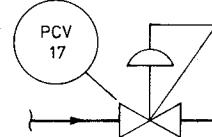
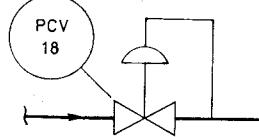
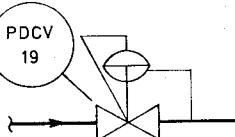
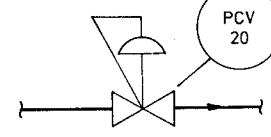
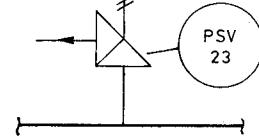
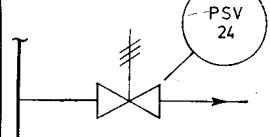
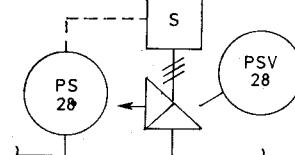
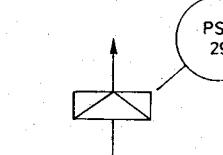
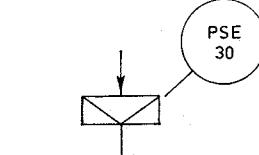
Símbolos para válvulas de control

				
GLOBO, COMPUERTA U OTRA	ANGULO	MARIPOSA, PERSIANA O COMPUERTA	OBTURADOR ROTATIVO O VÁLVULA DE BOLA	
				
TRES VÍAS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	CUATRO VÍAS	
				
SIN CLASIFICAR				

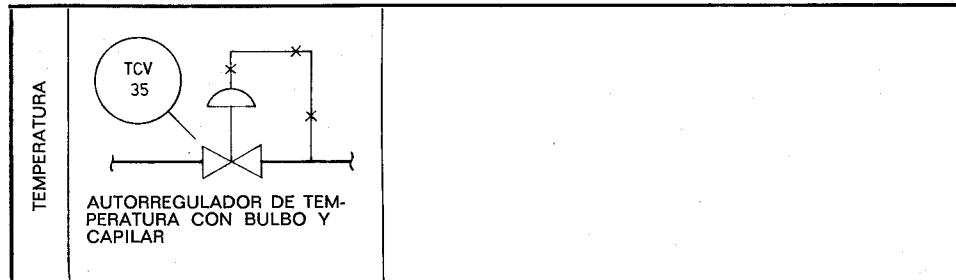
Símbolos para actuadores

DIAFRAGMA CON MUELLE		DIAFRAGMA CON MUELLE, POSICIONADOR Y VALVULA PILOTO QUE PRESURIZA EL DIAFRAGMA AL ACTUAR	
CILINDRO SIN POSICIONADOR U OTRO PILOTO			
PREFERIDO PARA CUALQUIER CILINDRO	ACTUADOR MANUAL	ELECTROHIDRÁULICO	
SIN CLASIFICAR	SOLENOIDE	PARA VALVULA DE ALIVIO O DE SEGURIDAD (DENOTA UN MUELLE, PESO, O PILOTO INTEGRAL)	

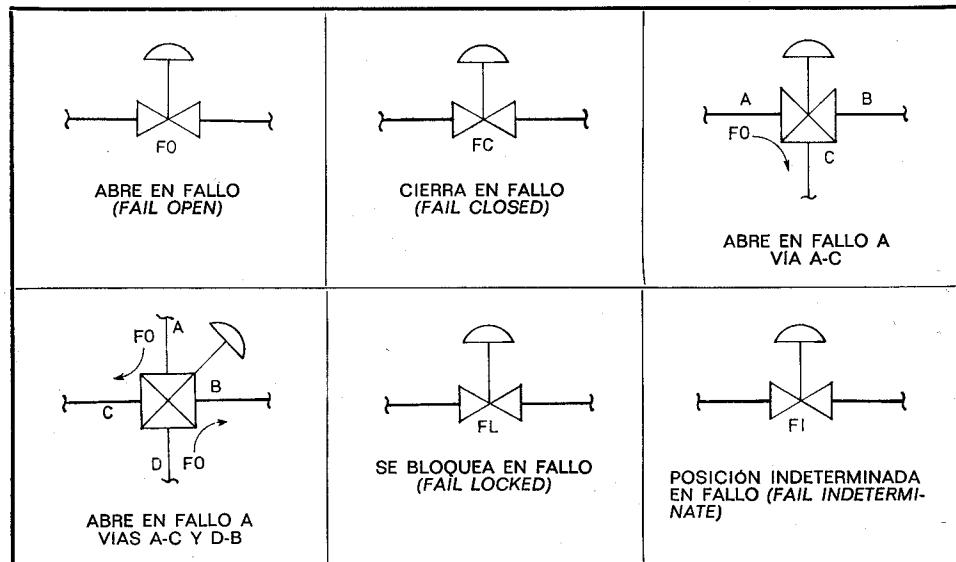
Autorreguladores

CAUDAL	 <p>REGULADOR AUTOMATICO CON INDICACIÓN INTEGRAL DEL CAUDAL</p>	 <p>ROTAMETRO INDICADOR CON VALVULA MANUAL DE REGULACIÓN</p>	
	 <p>CONTROLADOR DE NIVEL CON ENLACE MECANICO</p>		
NIVEL			
	 <p>AUTORREGULADOR DE PRESIÓN CON TOMA INTERIOR</p>	 <p>AUTORREGULADOR DE PRESIÓN CON TOMA EXTERIOR</p>	 <p>REGULADOR REDUCTOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL CON TOMAS INTERIOR Y EXTERIOR</p>
PRESIÓN	 <p>AUTORREGULADOR DE PRESIÓN POSTERIOR CON TOMA INTERIOR</p>	 <p>VALVULA DE ALIVIO O DE SEGURIDAD DE ANGULO</p>	 <p>VALVULA DE ALIVIO O DE SEGURIDAD DE PASO RECTO</p>
	 <p>VALVULA DE ALIVIO O DE SEGURIDAD DE ANGULO DISPARADA POR SOLENOIDE</p>	 <p>DISCO DE RUPTURA PARA PRESIÓN</p>	 <p>DISCO DE RUPTURA PARA VACIO</p>

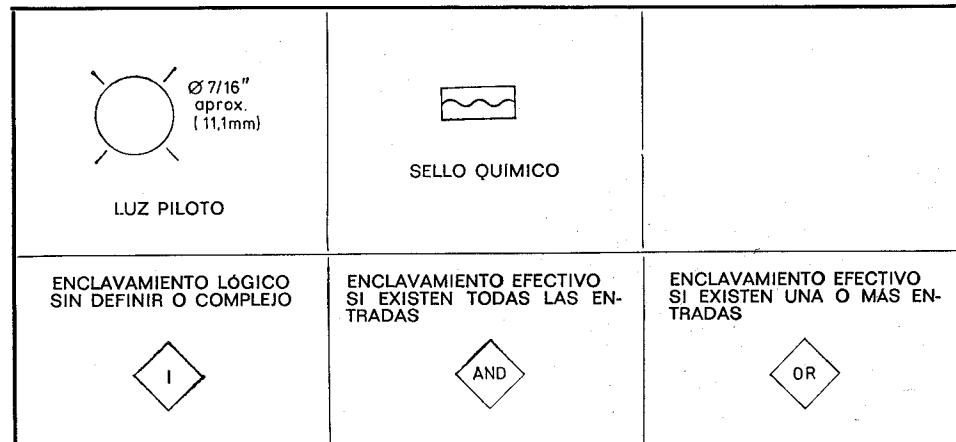
Autorreguladores (Cont.)



Acción del actuador en caso de fallo de aire (o de potencia)

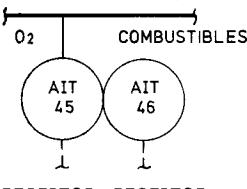
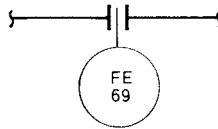
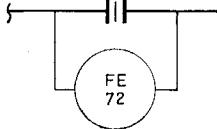
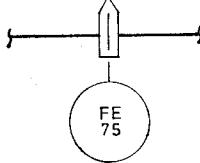
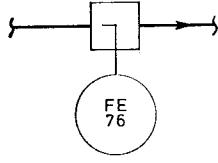
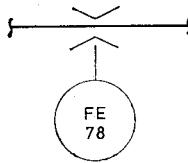
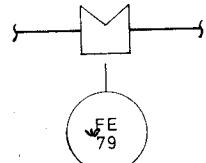
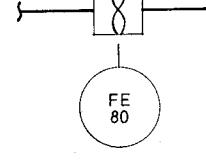


Símbolos varios

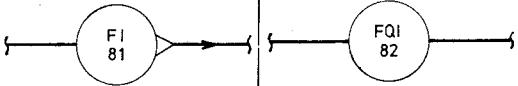
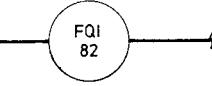
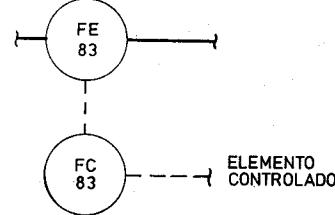
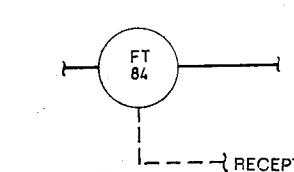
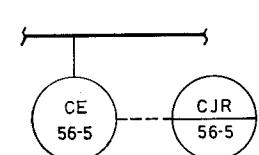
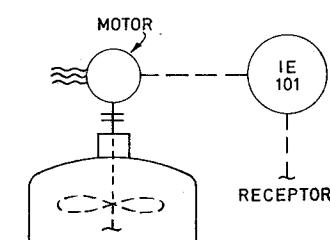


30 Instrumentación industrial

Elementos primarios

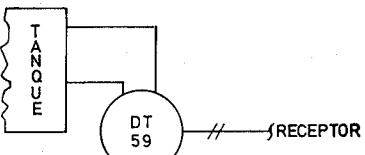
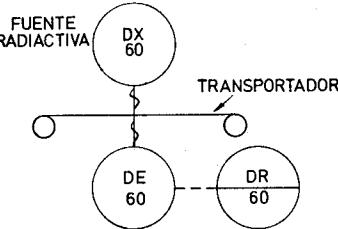
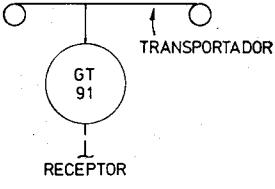
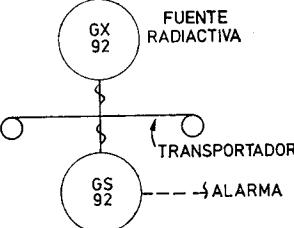
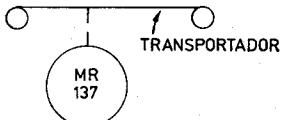
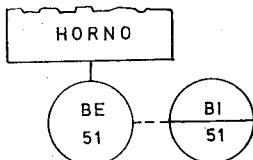
A ANALISIS	 <p>02 COMBUSTIBLES</p> <p>AIT 45 AIT 46</p> <p>RECEPTOR</p> <p>ANALISIS DOBLE DE OXIGENO Y COMBUSTIBLE</p>	
	 <p>FE 69</p> <p>PLACA-ORIFICIO CON TOMAS EN LA BRIDA O EN LA CAMARA ANULAR</p>	 <p>FE 72</p> <p>PLACA-ORIFICIO CON TOMAS EN LA VENA CONTRAIDA, RADIALES O EN LA TUBERIA</p>
F CAUDAL	 <p>FE 75</p> <p>PLACA-ORIFICIO CON ACCESORIO DE CAMBIO RAPIDO</p>	 <p>FE 76</p> <p>TUBO PITOT O TUBO VENTURI-PITOT</p>
	 <p>FE 78</p> <p>CANAL MEDIDOR</p>	 <p>FE 79</p> <p>VERTEDERO</p>
		 <p>FE 80</p> <p>ELEMENTO DE TURBINA</p>

Elementos primarios (Cont.)

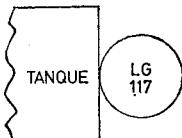
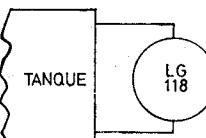
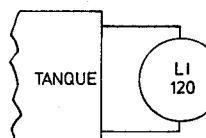
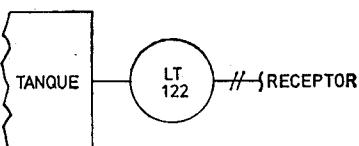
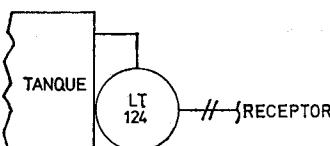
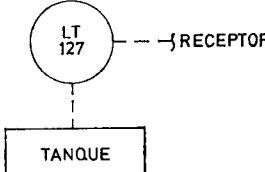
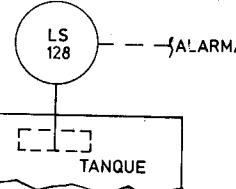
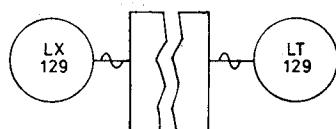
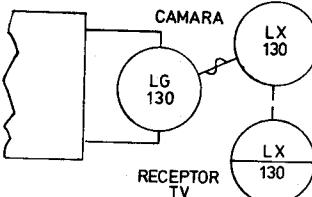
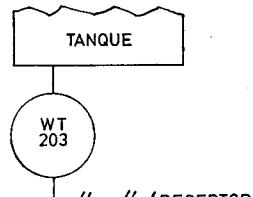
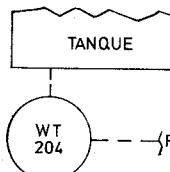
F CAUDAL	 <p>ROTAMETRO INDICADOR DE CAUDAL</p>	 <p>TOTALIZADOR INDICADOR DE CAUDAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO</p>	 <p>ELEMENTO SIN CLASIFICAR, CONECTADO A UN CONTROLADOR DE CAUDAL</p>
	 <p>ELEMENTO SIN CLASIFICAR CON TRANSMISOR</p>		
C CONDUCTIVIDAD	 <p>CÉLULA DE CONDUCTIVIDAD CONECTADA AL PUNTO 5 DE UN REGISTRADOR MÚLTIPLE</p>		
I CORRIENTE	 <p>TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD MIDIENDO CORRIENTE DE UN MOTOR</p>		

32 Instrumentación industrial

Elementos primarios (Cont.)

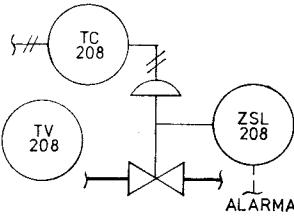
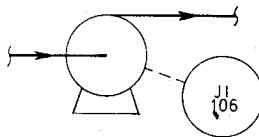
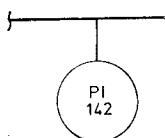
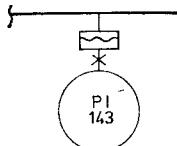
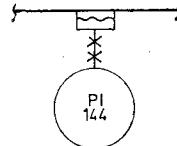
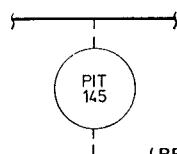
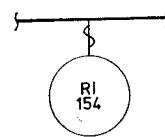
D DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO	 <p>TRANSMISOR DE DENSIDAD DE PRESIÓN DIFERENCIAL</p>	 <p>ELEMENTO RADIACTIVO DE DENSIDAD CONECTADO A UN REGISTRADOR EN PANEL</p>
G ESPEZOR	 <p>TRANSMISOR DE RODILLO</p>	 <p>INTERRUPTOR DE ESPESOR RADIACTIVO</p>
M HUMEDAD	 <p>REGISTRADOR DE HUMEDAD</p>	
B LLAMA	 <p>DETECTOR DE LLAMA CONECTADO A UN INDICADOR DE INTENSIDAD DE LLAMA</p>	

Elementos primarios (Cont.)

			
	NIVEL DE VIDRIO INTEGRAL CON EL TANQUE	NIVEL DE VIDRIO DE CONEXIÓN EXTERNA	INDICADOR DE NIVEL DE FLOTADOR O DE DESPLAZAMIENTO
L			
	TRANSMISOR DE NIVEL DE FLOTADOR O DESPLAZAMIENTO MONTADO EN EL EXTERIOR DEL TANQUE	TRANSMISOR DE NIVEL DE PRESIÓN DIFERENCIAL MONTADO EN EL TANQUE	
NIVEL			
	ELEMENTO DE NIVEL DE CAPACIDAD CONECTADO A UN TRANSMISOR DE NIVEL	INTERRUPTOR DE NIVEL DE SÓLIDOS DE PALETAS	
			
	TRANSMISOR DE NIVEL RADIACTIVO O SÓNICO	VISIÓN REMOTA DE UN NIVEL DE VIDRIO MEDIANTE CÁMARA DE TELEVISIÓN	
W			
PESO O FUERZA	TRANSMISOR DE PESO DE CONEXIÓN DIRECTA	GALGA EXTENSOMÉTRICA CONECTADA A UN TRANSMISOR DE PESO	

34 Instrumentación industrial

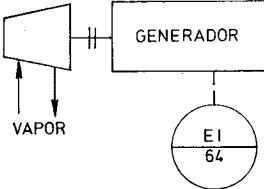
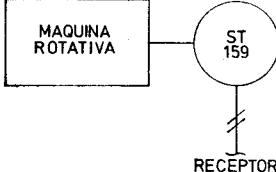
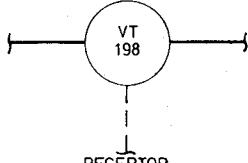
Elementos primarios (Cont.)

Z	 <p>INTERRUPTOR DE FIN DE CARRERA ACCIONADO CUANDO LA VÁLVULA CIERRA A UNA POSICIÓN PREDE- TERMINADA</p>		
J	 <p>VATIMETRO CONECTADO AL MOTOR DE UNA BOMBA</p>		
P	 <p>MANÓMETRO</p>	 <p>CON LINEA DE PRESIÓN</p>	 <p>MONTAJE EN LINEA</p>
PRESIÓN O VACÍO	 <p>RECEPTOR</p> <p>ELEMENTO DE PRESIÓN DE GALGA EXTENSOMÉTRICA CONECTADO A UN TRANSMISOR INDICADOR DE PRESSIÓN</p>		
R	 <p>INDICADOR DE RADIACTIVIDAD</p>		

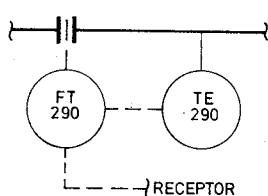
Elementos primarios (Cont.)

	<p>CONEXIÓN DE ENSAYO DE TEMPERATURA CON VAINA</p>	<p>CONEXIÓN DE ENSAYO DE TEMPERATURA SIN VAINA</p>	<p>ELEMENTO DE TEMPERATURA SIN VAINA</p>
T			
TEMPERATURA	<p>ELEMENTO DE TEMPERATURA CON VAINA</p>	<p>INDICADOR DE TEMPERATURA DE BULBO Y CAPI- LAR CON VAINA</p>	<p>TERMÓMETRO BIMETALICO O DE VIDRIO U OTRO LOCAL</p>
	<p>INDICADOR DE TEMPERATURA DE TERMOPAR O DE SONDA DE RESISTENCIA</p>		
	<p>TERMOPAR DOBLE CONE- CTADO A UN INDICADOR Y UN REGISTRADOR MÚLTI- PLE DE TEMPERATURA</p>		

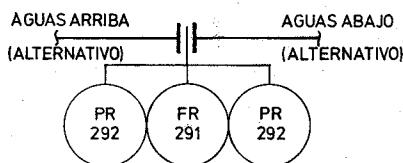
Elementos primarios (Cont.)

E	 <p>VOLTIMETRO INDICADOR CONECTADO A UN GENERADOR DE TURBINA</p>	
K	 <p>RELOJ</p>	 <p>PUNTO 7. PROGRAMADOR MULTIPUNTO. TODO-NADA</p>
S	 <p>TRANSMISOR DE VELOCIDAD</p>	
V	 <p>TRANSMISOR DE VISCOSIDAD</p>	

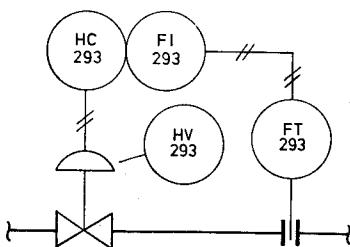
Sistemas varios



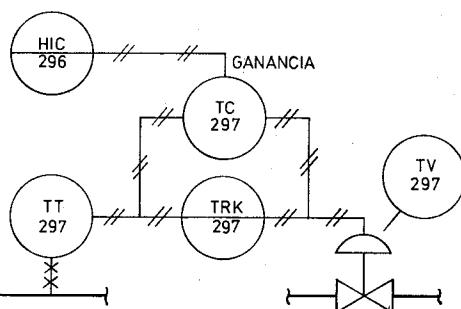
TRANSMISOR DE CAUDAL CON ELEMENTO DE TEMPERATURA DE COMPENSACIÓN



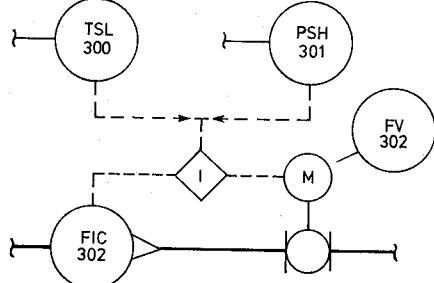
REGISTRADOR DE CAUDAL CON TOMA DE PRESIÓN



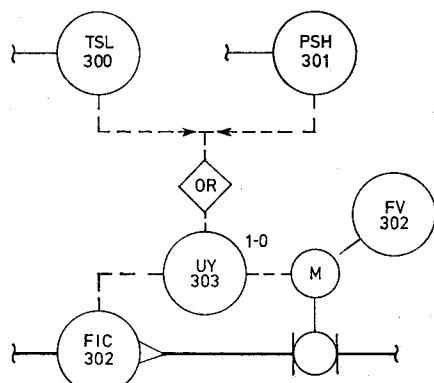
ESTACIÓN DE MANDO MANUAL SIN MANÓMETRO DE SALIDA Y CON INDICADOR RECEPTOR DE CAUDAL



REGISTRADOR CONTROLADOR LOCAL DE TEMPERATURA CON AJUSTE MANUAL REMOTO DE GANANCIA



UTILIZADO SI EL ENCLAVAMIENTO LÓGICO ES INDEFINIDO O COMPLEJO

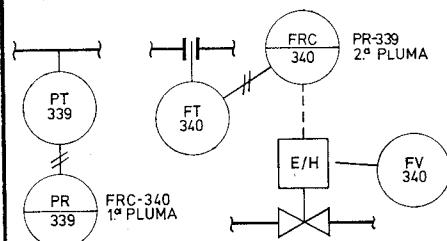


OPCIONAL

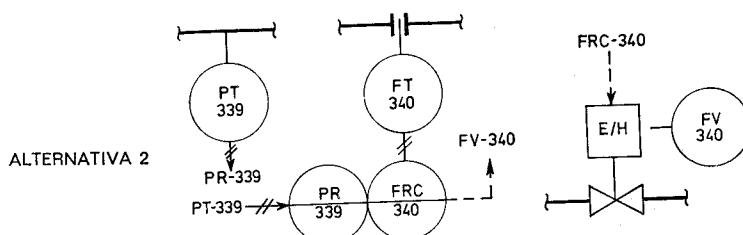
UTILIZADO SI DESEA MOSTRARSE EL RELE UY-303. -OR- DEBE OMITIRSE SI EL ENCLAVAMIENTO LÓGICO ES INDEFINIDO O COMPLEJO

CONTROL DE CAUDAL ENCLAVADO CON TERMOSTATO DE BAJA TEMPERATURA O PRESÓSTATO DE ALTA PRESIÓN

Sistemas varios (Cont.)



ALTERNATIVA 1



ALTERNATIVA 2

INSTRUMENTOS INTERRELACIONADOS

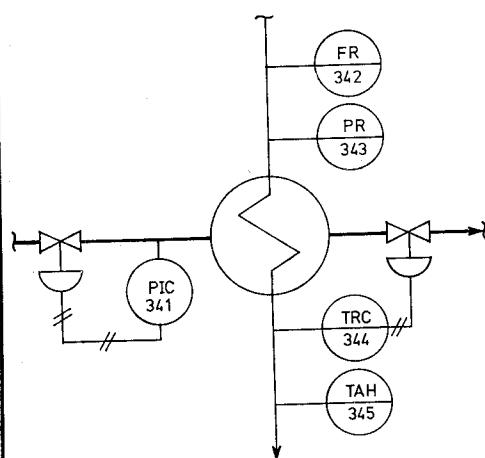


DIAGRAMA SIMPLIFICADO
MUESTRA SÓLO LAS FUNCIONES NE-
CESARIAS PARA LA OPERACIÓN DEL
PROCESO

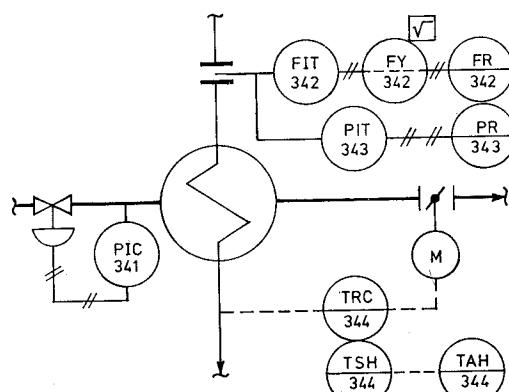


DIAGRAMA REAL

REPRESENTACIÓN DE BUCLES DE INSTRUMENTOS EN LOS DIAGRAMAS DE FLUJO

Resumen Norma ISA-S5.2-76

Esta norma lista los símbolos lógicos que representan operaciones de proceso binarias realizadas por cualquier clase de hardware, sea eléctrico, neumático, hidráulico u otro.

La existencia de una señal lógica puede corresponder físicamente a la existencia o no de una señal de instrumentos, dependiendo del tipo particular del sistema de hardware y de la filosofía del diseño del circuito. Por ejemplo, el proyectista puede diseñar una alarma de alto caudal para que sea accionada por un interruptor eléctrico en el que los contactos abran, o bien cierren, cuando el caudal es alto. Por lo tanto, la condición de caudal alto puede ser representada físicamente por la ausencia o por la presencia de una señal eléctrica.

El flujo de información está representado por líneas que interconectan estados lógicos. La dirección normal del flujo es de izquierda a derecha o de arriba abajo. Para mayor claridad del diagrama, y siempre que sea necesario, pueden añadirse flechas a las líneas de flujo.

Es posible que una condición lógica específica no sea comprendida cuando trate a un aparato con dos estados alternativos específicos. Por ejemplo, si una válvula no está cerrada, puede ser debido a que la válvula está totalmente abierta, o bien a que la válvula no está cerrada y está en una posición intermedia entre casi cerrada y totalmente abierta. La interpretación literal del diagrama indica que la segunda posibilidad es la correcta.

En las válvulas todo-nada el diagrama debe especificar exactamente lo proyectado. De este modo, si la válvula debe estar abierta, así debe establecerse; no debe indicarse que la válvula está no cerrada.

En contraste, un dispositivo tal como una bomba accionada por un motor, siempre está funcionando o parada salvo algunas situaciones especiales. El señalar que una bomba no está en funcionamiento significa que está parada.

Las siguientes definiciones se aplican a los aparatos que tienen posiciones abiertas, cerradas o intermedias:

Posición abierta: Posición que está 100 % abierta.

Posición no abierta: Posición que es menor de 100 % abierta.

Posición cerrada: Posición que es 0 % abierta.

Posición no cerrada: Una posición que es mayor que 0 % abierta.

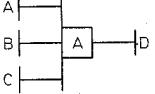
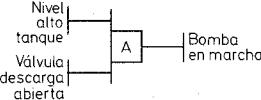
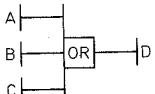
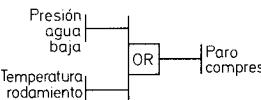
Posición intermedia: Una posición especificada que es mayor de 0 % y menor de 100 % abierta.

Posición no intermedia: Una posición especificada que es superior o inferior a la posición intermedia especificada.

En un sistema lógico que tenga un estado de entrada derivado de modo inferencial o indirecto, puede presentarse una condición que conduzca a una conclusión errónea. Por ejemplo, la suposición de que existe caudal si una bomba está excitada, puede ser falsa porque una válvula puede estar cerrada, o porque el eje de la bomba esté roto o por otra causa.

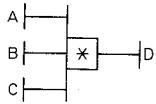
La pérdida de alimentación —eléctrica, neumática u otra— a memorias o a otros elementos lógicos, puede afectar la operación del proceso, por lo que la

Tabla de símbolos lógicos

Función	Símbolo	Definición y tabla de verdad	Ejemplo																		
ENTRADA (INPUT)	(Entrada) \vdash Puede ser precedida por el símbolo del instrumento	Entrada secuencia lógica	Arranque manual de la inyección \vdash																		
SALIDA (OUTPUT)	(Salida) \vdash Puede ser seguida por el símbolo del instrumento	Salida secuencia lógica	Paro extracción \vdash																		
Y (AND)		D sólo existe mientras estén presentes A , B y C	La bomba está en marcha si el nivel es alto y la válvula de descarga está abierta																		
		<table border="1" data-bbox="923 635 1016 753"> <tr><th colspan="2"></th><th>C</th></tr> <tr><th>A</th><th>B</th><td>0 1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0 0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0 0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0 0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0 D</td></tr> </table>			C	A	B	0 1	0	0	0 0	0	1	0 0	1	0	0 0	1	1	0 D	
		C																			
A	B	0 1																			
0	0	0 0																			
0	1	0 0																			
1	0	0 0																			
1	1	0 D																			
O (OR)		D sólo existe mientras esté presente una o más entradas A , B y C	Paro del compresor si la presión del agua de refrigeración es baja o si la temperatura de los rodamientos es alta																		
		<table border="1" data-bbox="923 882 1016 1000"> <tr><th colspan="2"></th><th>C</th></tr> <tr><th>A</th><th>B</th><td>0 1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0 D</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>D D</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>D D</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>D D</td></tr> </table>			C	A	B	0 1	0	0	0 D	0	1	D D	1	0	D D	1	1	D D	
		C																			
A	B	0 1																			
0	0	0 D																			
0	1	D D																			
1	0	D D																			
1	1	D D																			

O CUALIFICADA

D sólo existe mientras estén presentes un número especificado de entradas *A*, *B* y *C*

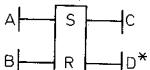


* Insertar número de entradas

NO (NOT)



MEMORIA DE FLIP-FLOP



* Si la salida *D* no existe no debe mostrarse

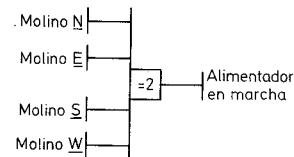
S indica implantar memoria y *R* restaurar memoria

La salida *C* existe tan pronto *A* existe, y continúa existiendo, independientemente del estado de *A*, hasta el reset de la memoria, es decir, termina ante la existencia de *B*, *C* permanece terminado, independientemente del estado de *B*, hasta que *A* implanta la memoria

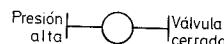
Si se emplea la salida *D*, ésta existe si *C* no existe, y *D* no existe cuando *C* existe

La pérdida de alimentación se representa añadiendo la letra *S*

Alimentador en marcha mientras dos y sólo dos molinos funcionen



Cerrar válvula sólo mientras la presión no es alta



Si se inicia la operación de la bomba de reserva, ésta debe ponerse en marcha aunque falle la alimentación del circuito lógico, hasta que termina la secuencia del proceso. La bomba debe estar en marcha si existen simultáneamente los mandatos START y STOP

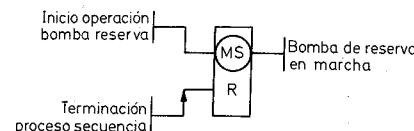
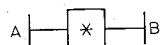


Tabla de símbolos lógicos (Continuación)

Función	Símbolo	Definición y tabla de verdad	Ejemplo								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Símbolo modificado</th><th>Acción requerida de la memoria ante fallos de la alimentación</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LS</td><td>Pérdida de memoria</td></tr> <tr> <td>MS</td><td>Memoria mantenida</td></tr> <tr> <td>NS</td><td>No significativo, sin preferencia</td></tr> </tbody> </table>	Símbolo modificado	Acción requerida de la memoria ante fallos de la alimentación	LS	Pérdida de memoria	MS	Memoria mantenida	NS	No significativo, sin preferencia	
Símbolo modificado	Acción requerida de la memoria ante fallos de la alimentación										
LS	Pérdida de memoria										
MS	Memoria mantenida										
NS	No significativo, sin preferencia										

ELEMENTO DE TIEMPO



* Insertar símbolo

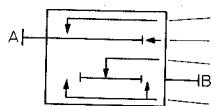
Método básico

Símbolo	Significado	
DI	Retarda la iniciación de la salida. La existencia continua de A durante un tiempo especificado causa la existencia de B cuando el tiempo expira. B termina cuando A termina	Si falla la purga del tanque, aunque sea momentáneamente, operar la bomba de evacuación durante 3 minutos y a continuación pararla
DT	Retarda la terminación de la salida. La existencia de A causa la existencia inmediata de la salida B. B termina cuando A ha terminado y no ha existido durante un tiempo especificado	<pre> graph LR A[Fallo purga tanque] --> B[PO 3 min.] B --> C[Marcha bomba evacuación] </pre>

PO

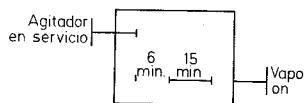
Impulso de salida. La existencia de *A* causa la existencia inmediata de *B*; *B* existe durante un tiempo especificado, independientemente del estado de *A*, y a continuación, termina

Método general

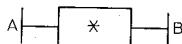


- Existencia estado lógico de entrada
- No existe estado lógico de entrada
- Existencia estado lógico de salida
- No existe estado lógico de salida

El vapor se conecta durante 15 minutos empezando 6 minutos después que ha parado el agitador, excepto que el vapor debe ser desconectado si el agitador rearanca



ESPECIAL



* Insertar requerimientos lógicos especiales

La salida *B* existe con una relación lógica a la entrada *A* del modo establecido en requerimientos especiales

fuente de alimentación o su pérdida debe entrarse como entrada lógica al sistema o a los elementos lógicos individuales. En las memorias, la fuente de alimentación puede entrarse como una entrada lógica o en la forma indicada en los diagramas. También puede ser necesario mostrar el efecto de la restauración de la alimentación.

Definiciones

En la tabla que aparece en las páginas anteriores se representan y definen los símbolos lógicos; los símbolos con tres entradas A, B y C son típicos de funciones lógicas con cualquier número de dos o más entradas. En las tablas de verdad, 0 indica la no existencia de la entrada lógica o de la señal de salida o el estado dado en la cabecera de la columna. 1 indica la existencia de la señal o estado de entrada lógica. D indica la existencia de la señal o estado de salida lógica como resultado de las entradas lógicas apropiadas.

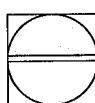
Resumen Norma ISA-S5.3

El objeto de esta norma es documentar los instrumentos formados por ordenadores, controladores programables, miniordenadores y sistemas a microprocesador que disponen de control compartido, visualización compartida y otras características de interfase. Los símbolos representan la interfase con los equipos anteriores de la instrumentación de campo, de la instrumentación de la sala de control y de otros tipos de hardware.

El tamaño de los símbolos debe ser conforme a la norma ISA-S5.1-84, a la que complementa.

Símbolos de visualización del control distribuido/compartido

1. Accesible normalmente al operador-indicador/controlador/registrador o punto de alarma.
 - (1) Visualización compartida.
 - (2) Visualización y control compartidos.
 - (3) Acceso limitado a la red de comunicaciones.
 - (4) Interfase del operador en la red de comunicaciones.
2. Dispositivo de interfase auxiliar del operador.
 - (1) Montado en panel; carátula analógica; no está montado normalmente en la consola principal del operador.
 - (2) Controlador de reserva o estación manual.
 - (3) El acceso puede estar limitado a la red de comunicaciones.
 - (4) Interfase del operador vía la red de comunicaciones.



3. No accesible normalmente al operador.

- (1) Controlador ciego compartido.
- (2) Visualización compartida instalada en campo.
- (3) Cálculo, acondicionamiento de señal en controlador compartido.
- (4) Puede estar en la red de comunicaciones.
- (5) Normalmente operación ciega.
- (6) Puede ser alterado por la configuración.

*Símbolos del ordenador*

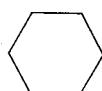
A utilizar cuando los sistemas incluyen componentes identificados como ordenadores, diferentes de un procesador integral que excita las varias funciones de un sistema de control distribuido. El componente ordenador puede ser integrado en el sistema, vía la red de datos, o puede ser un ordenador aislado.

4. Normalmente accesible al operador-indicador/controlador/registrador o punto de alarma. Utilizado usualmente para indicar la pantalla de video.

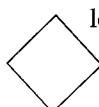


5. Normalmente no accesible al operador.

- (1) Interfase entrada/salida.
- (2) Cálculo /acondicionamiento de señal dentro de un ordenador.
- (3) Puede usarse como controlador ciego o como módulo de cálculo de software.

*Símbolos de control lógico y secuencial*

6. Símbolo general. Para complejos no definidos interconectando control lógico o secuencial (ver ISA-S5.1-84).



7. Control distribuido interconectando controladores lógicos con funciones lógicas binarias o secuenciales.

- (1) Paquete de controlador lógico programable o controladores lógicos digitales integrales con el equipo de control distribuido.
 - (2) No accesible normalmente al operador.
8. Control distribuido interconectando un controlador lógico con funciones lógicas binarias o secuenciales.
- (1) Paquete de controlador lógico programable o controladores lógicos digitales integrales con el equipo de control distribuido.
 - (2) Accesible normalmente al operador.



Símbolos de funciones internas del sistema

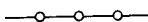
9. Cálculo/acondicionamiento de señal.



- (1) Para identificación de bloques consulte ISA-S5.1-84 tabla 2 «Designaciones de funciones para relés».
- (2) Para requerimientos de cálculo amplios, use la designación «C». Escriba aclaraciones en documentación suplementaria.
- (3) Utilizado en combinación con válvulas de alivio según ISA-S5.1-84.

Símbolos comunes

10. Red del sistema.



- (1) Usado para indicar una red de software, o conexiones entre funciones suministradas en el sistema del fabricante.
- (2) Alternativamente, la red puede ser mostrada implícitamente por símbolos contiguos.
- (3) Puede utilizarse para indicar una red de comunicaciones a opción del usuario.

Registradores y otros sistemas de retención de datos históricos

Los registradores convencionales, tales como los de gráfico de banda se mostrarán de acuerdo con ISA-S5.1-84.

En los registradores asignables utilice el símbolo 1.

El almacenamiento en masa de largo plazo de una variable de proceso mediante memorias digitales como cinta, disco, etc., debe representarse de acuerdo con los símbolos de visualización de control distribuido/compartido o símbolos de ordenador de esta norma, dependiendo de la localización del aparato.

Identificación

Los códigos de identificación de esta norma deben cumplir con ISA-S5.1-84 con las siguientes adiciones.

Alarmas de software

Las alarmas de software pueden ser identificadas situando letras de designación de la tabla 1.1 de ISA-S5.1-84 en las líneas de señal de entrada o de salida de los controladores, o de otro componente específico integral del sistema. Ver Alarmas que aparecen posteriormente.

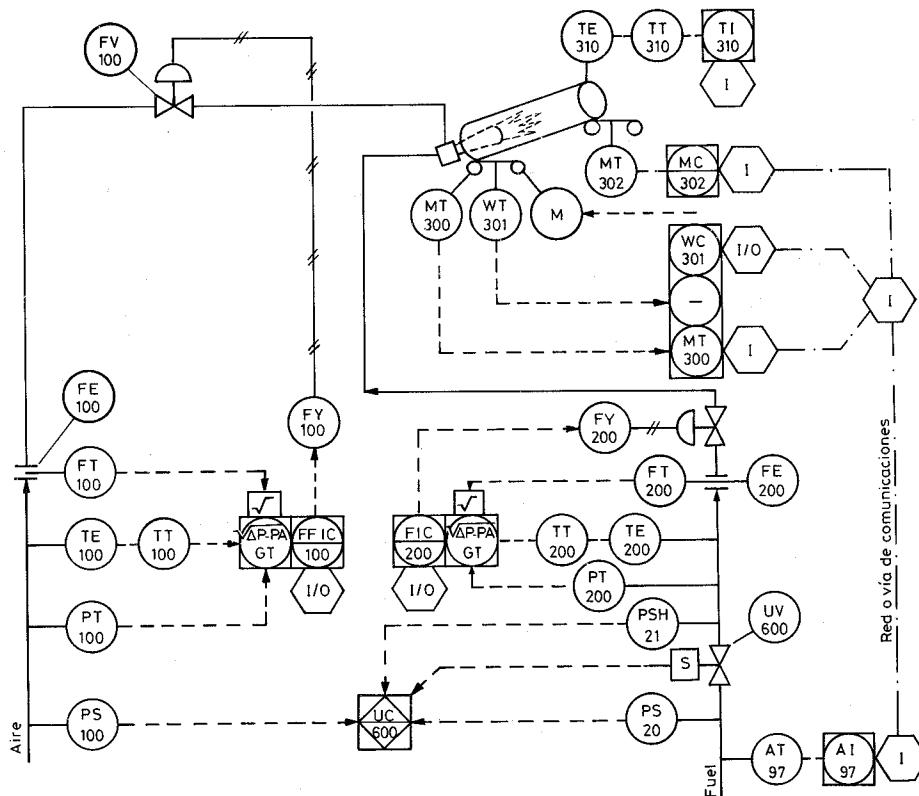
Contigüidad de los símbolos

Pueden unirse dos o más símbolos para expresar los significados siguientes, además de los mostrados en ISA-S5.1-84:

1. Comunicación entre los instrumentos asociados, por ejemplo, hilos de conexión, redes internas del sistema, reserva.
 2. Instrumentos integrados con funciones múltiples, por ejemplo, registrador multipunto, válvula de control con controlador incorporado.

La aplicación de símbolos contiguos es una opción del usuario. Si su aplicación no es absolutamente clara, los símbolos contiguos no deben utilizarse.

Ejemplo de control de combustión:



Secuencia operación válvula control

Bomba vacío	Contactos auxiliares interruptor motor	Válvula solenoide (UY)	Válvula control (UV)		Agua refrigeración
			Actuador	Puerta	
Off	Cierra	Excitada	Presurizado	Cierra	Off
On	Abre	Desexcitada	Vent	Abre	On

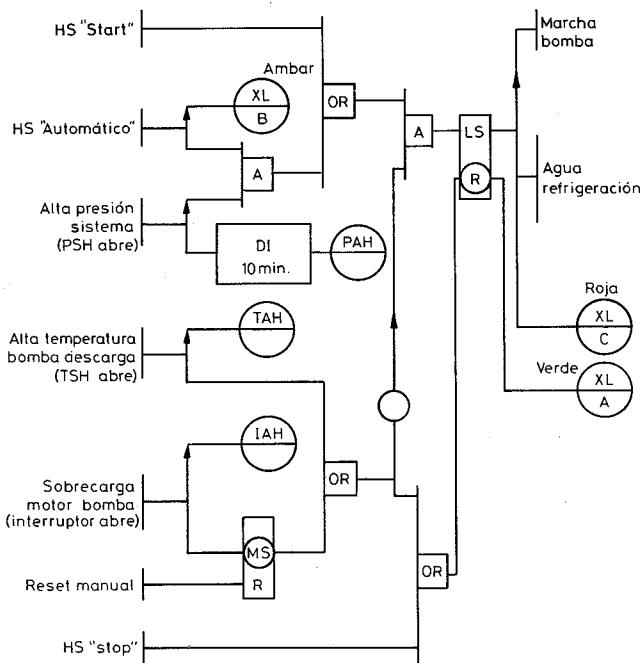
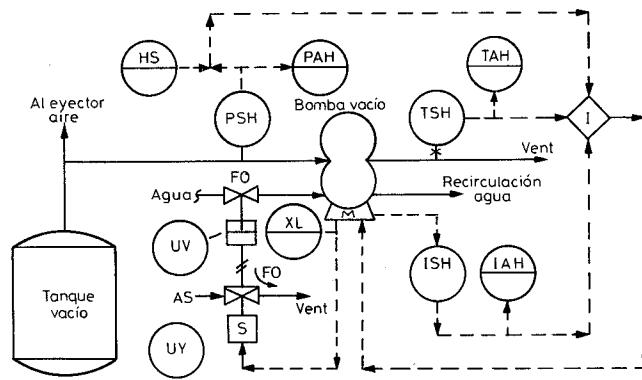


Fig. 1.1.3 Diagrama de flujo y lógico de una bomba de vacío de reserva.

Alarms

Generalidades

Todos los aparatos y alarmas cableados, distintos de los aparatos y alarmas cubiertos específicamente por esta norma, deben estar de acuerdo con ISA-S5.1-84 tabla 1.1.

Alarms de sistemas de instrumentos

Las alarmas cubiertas por esta norma deben identificarse de acuerdo con las figuras:

