

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 o 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

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 piezoeléctricos.....	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 bimetalico.....	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 inerciales	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

	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. Análisis dinámico de los instrumentos.....		645
	A.1 Generalidades.....	645
	A.2 Análisis dinámico de los transmisores.....	658

XIV Índice

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 multivariable	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

TRANSMISORES

2.1 Generalidades

Los transmisores son instrumentos que captan la variable de proceso y la transmiten a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o una combinación de estos.

Existen varios tipos de señales de transmisión: neumáticas, electrónicas, digitales, hidráulicas y telemétricas. Las más empleadas en la industria son las tres primeras, las señales hidráulicas se utilizan ocasionalmente cuando se necesita una gran potencia y las señales telemétricas se emplean cuando hay una distancia de varios kilómetros entre el transmisor y el receptor.

Los transmisores neumáticos generan una señal neumática variable linealmente de 3 a 15 psi (libras por pulgada cuadrada) para el campo de medida de 0-100 % de la variable. Esta señal está normalizada por la SAMA-Asociación de fabricantes de instrumentos (*Scientific Apparatus Makers Association*) y ha sido adoptada en general por los fabricantes de transmisores y controladores neumáticos en Estados Unidos.

En los países que utilizan el sistema métrico decimal se emplea además la señal 0,2-1 bar (1 bar = 1,02 kg/cm²) que equivale aproximadamente a 3-15 psi (3 psi = 0,206 bar o 0,21 kg/cm², 15 psi = 1,033 bar o 1,05 kg/cm²). También está todavía en uso la señal de 0,2-1 kg/cm², que cada vez es menos utilizada por no estar normalizada (según se verá en el capítulo de «Medidas de Presión» las unidades normalizadas son el pascal y el bar (1 bar = 10⁵ pascal). El alcance de esta señal métrica es un 6 % más corto que la señal de 3-15 psi, por lo cual la adopción en una planta industrial de una u otra norma obliga a calibrar con la misma señal adoptada el conjunto completo transmisor, controlador, válvula de control y todos los instrumentos accesorios que se utilicen (extractores de raíz cuadrada, computadores neumáticos, posicionadores, etc.).

Nótese que en las válvulas de control pueden emplearse señales neumáticas de 0,6-1,4, de 0,4-2 o de 0,8-2,4 bar, gracias a la función de conversión de la señal de entrada 3-15 psi (0,2-1 bar) que puede realizar el posicionador acoplado a la válvula o bien mediante resortes especiales dispuestos en el servomotor de la válvula.

Los transmisores electrónicos generan la señal estándar de 4-20 mA c.c., a

distancias de 200 m a 1 km, según sea el tipo de instrumento transmisor. Todavía pueden encontrarse transmisores que envían las señales 1-5 mA c.c., 10-50 mA c.c., 0,5 mA c.c., 1-5 mA c.c., 0-20 mA c.c., 1-5 V c.c., utilizadas anteriormente a la normalización a la señal indicada de 4-20 mA c.c.

La señal 1-5 V c.c. es útil cuando existen problemas en el suministro electrónico. De todos modos, basta conectar una línea de 250 Ω para tener la señal electrónica de 4-20 mA c.c.

La señal electrónica de 4 a 20 mA c.c. tiene un nivel suficiente y de compromiso entre la distancia de transmisión y la robustez del equipo. Al ser continua y no alterna, elimina la posibilidad de captar perturbaciones, está libre de corrientes parásitas y emplea sólo dos hilos que no precisan blindaje.

La relación de 4 a 20 mA c.c. es de 1 a 5, la misma que la razón de 3 a 15 psi en la señal neumática y el nivel mínimo seleccionado de 4 mA elimina el problema de la corriente residual que se presenta al desconectar los circuitos a transistores. La alimentación de los transmisores puede realizarse con una unidad montada en el panel de control y utilizando el mismo par de hilos del transmisor.

El «cero vivo» con que empieza la señal (4 mA c.c.) ofrece las ventajas de poder detectar una avería por corte de un hilo (la señal se anula) y de permitir el diferenciar todavía más el «ruido» de la transmisión cuando la variable está en su nivel más bajo.

Salvo indicación contraria, en lo que sigue se supondrá que la señal neumática es de 0,2-1 bar (3-15 psi), y la electrónica de 4 a 20 mA c.c.

Nótese que el nivel mínimo de la señal neumática de salida no es cero, sino que vale 3 psi (0,2 bar). De este modo se consigue calibrar correctamente el instrumento, comprobar su correcta calibración y detectar fugas de aire en los tubos de enlace con los demás instrumentos neumáticos.

Y así, se comprueba rápidamente que un transmisor neumático de temperatura de intervalo de medida 0-150 °C con el bulbo a 0 °C y con señal de salida 1 psi está descalibrado; si el nivel estándar mínimo de salida fuera de 0 psi no sería posible esta comprobación rápida y para efectuarla habría que aumentar la temperatura hasta detectar presión en la salida. Asimismo, cuando el conducto neumático que llega hasta el receptor se perfora por accidente, la señal neumática puede llegar a anularse, facilitando la detección de la avería la lectura del instrumento receptor (en el ejemplo anterior, si el receptor fuera un manómetro de margen 3-15 psi con graduación 0-150 °C el índice señalaría un valor inferior al cero del instrumento).

La señal digital consiste en una serie de impulsos en forma de bits. Cada bit consiste en dos signos, el 0 y el 1 (código binario), y representa el paso (1) o no (0) de una señal a través de un conductor. Por ejemplo, dentro de la señal electrónica de 4-20 mA c.c., los valores binarios de 4, 12 y 20 mA son respectivamente de 00000000, 01111111 y 11111111. Si la señal digital que maneja el microprocesador del transmisor es de 8 bits, entonces puede enviar 8 señales binarias (0 y 1) simultáneamente. Como el mayor número binario de 8 cifras es

$$11111111 = 1 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 + \dots + 1 \cdot 2^7 = 255$$

se sigue que la precisión obtenida con el transmisor debida exclusivamente a la señal digital es de:

$$\frac{1}{255} \cdot 100 = \pm 0,4 \%$$

Si la señal es de 16 bits, entonces puede manejar 16 señales binarias (0 y 1). Siendo el mayor número binario de 16 cifras

$$1111111111111111 = 1 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 2^2 + \dots + 1 \cdot 2^{15} = 65535$$

la precisión obtenida con el transmisor debida exclusivamente a la señal digital es de:

$$\frac{1}{65535} \cdot 100 = \pm 0,00152$$

Las fibras ópticas en la transmisión se están utilizando en lugares de la planta donde las condiciones son duras (campos magnéticos intensos que influyen sobre la señal,...). Los módulos de transmisión pueden ser excitados por fuentes de luz de LED (Light Emiting Diodes) o diodo láser. Los módulos receptores disponen de fotodetector y preamplificador, con los cables o multicables de fibra óptica y con convertidores electroópticos. La transmisión de datos puede efectuarse con multiplexores transmitiendo simultáneamente a la velocidad máxima definida por la norma RS232 de transmisión de datos para modems y multiplexores. Las ventajas de la transmisión por fibra óptica incluyen la inmunidad frente al ruido eléctrico (interferencias electromagnéticas), el aislamiento eléctrico total, una anchura de banda mayor que la proporcionada por los correspondientes hilos de cobre, ser de pequeño tamaño y de poco peso, sus bajas pérdidas de energía, y que las comunicaciones sean seguras.

El microprocesador se utiliza en la transmisión por las ventajas que posee de rapidez de cálculo, pequeño tamaño, fiabilidad, precio cada vez más competitivo y ser apto para realizar cálculos adicionales.

El microprocesador ha permitido, a partir de 1986, la aparición del primer transmisor con señal de salida enteramente digital, lo cual facilita las comunicaciones enteramente digitales entre el transmisor y el controlador o receptor. Esta digitalización de las señales y su envío a los sistemas de control, si bien es diferente en cada fabricante de instrumentos, está experimentando un proceso de normalización a cargo del Comité SP50 de ISA.

2.2 Transmisores neumáticos

2.2.1 Bloque amplificador de dos etapas

Los transmisores neumáticos se basan en el sistema tobera-obturador que convierte el movimiento del elemento de medición en una señal neumática.

El sistema tobera-obturador consiste en un tubo neumático alimentado a una presión constante P_s , con una reducción en su salida en forma de tobera, la cual puede ser obstruida por una lámina llamada obturador cuya posición depende del elemento de medida. En la figura 2.1 se presenta el conjunto.

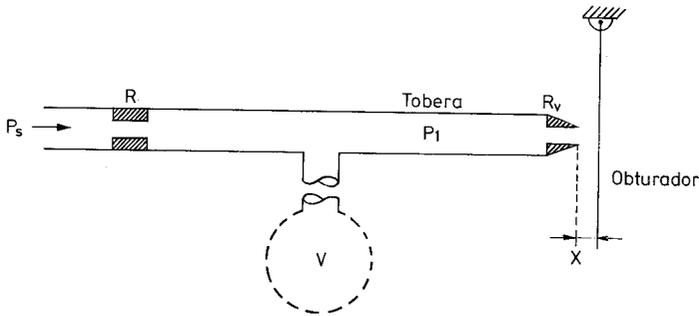


Fig. 2.1 Sistema tobera-obturador.

El aire de alimentación de presión normalizada 1,4 bar (20 psi) pasa por la restricción R y llena el volumen cerrado V escapándose a la atmósfera por la tobera R_v . Ésta tiene un diámetro muy pequeño, de unos 0,25-0,5 mm, mientras que la restricción R tiene un diámetro alrededor de 0,1 mm. Con el obturador abierto la presión posterior remanente es de unos 0,03 bar, lo cual indica que la relación de presiones diferenciales a través de la restricción R es de $1,4/0,03 \cong \cong 50$ veces. El consumo de aire del conjunto tobera-obturador es relativamente pequeño, del orden de 3 NI/min.

El escape de aire a través de la tobera depende de la posición del obturador, es decir, del valor de x . Debido a este escape, el volumen V se encontrará a una presión P_1 intermedia entre P_s y la presión atmosférica. En efecto: para $x = 0$ el obturador tapa casi totalmente a la tobera, con lo cual no hay escape de aire a la atmósfera y P_1 llega a ser casi igual a la presión P_s del aire de alimentación: para x relativamente grande el obturador está bastante separado de la tobera y no limita el escape a la atmósfera siendo la presión P_1 próxima a la atmosférica.

En la figura 2.2 se representa una curva de respuesta típica de un sistema tobera-obturador, pudiendo verse que la misma no es lineal.

El aire que se escapa de la tobera ejerce una fuerza sobre el obturador $F = P_1 \times S$ que tiende a desplazarlo. Esta fuerza debe hacerse despreciable con relación a la fuerza del elemento de medida que posiciona el obturador.

Con este objeto, en el amplificador de dos etapas se utiliza sólo una parte reducida de la curva, y se disminuye además la sección de la tobera a diámetros muy pequeños de 0,1 a 0,2 mm (no se consideran diámetros más pequeños para evitar que la tobera se tape por suciedad del aire). De este modo, la parte reducida de la curva puede aproximarse a una línea recta con lo cual se consigue una relación prácticamente lineal entre el valor de la variable y la señal transmitida.

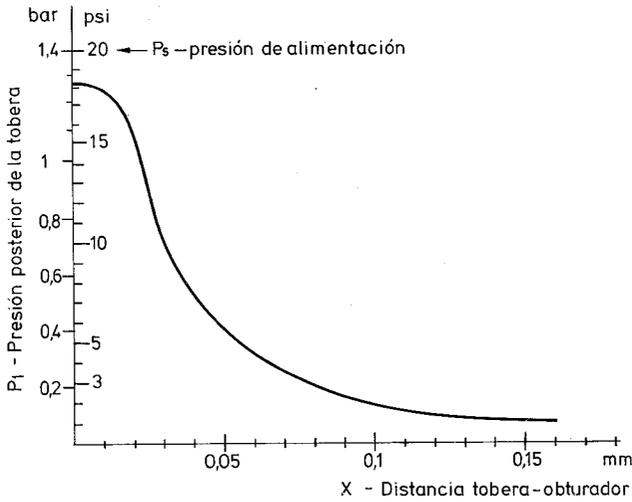


Fig. 2.2 Curva de respuesta de un sistema tobera-obturador.

Como la restricción fija R es 3 a 4 veces menor que la tobera R_v ; sólo pasa por la misma un pequeño caudal de aire, por lo cual, el volumen V debe ser tan reducido como sea posible para obtener un tiempo de respuesta del sistema inferior al segundo.

La válvula piloto (amplificador neumático) empleada en el amplificador de dos etapas (fig. 2.3) cumple las siguientes funciones:

1. Aumento del caudal de aire suministrado, o del caudal de escape para conseguir tiempos de respuesta inferiores al segundo.
2. Amplificación de presión (ganancia) que suele ser de 4 a 5, en general, para obtener así la señal neumática estándar 3-15 psi (0,2-1 bar).



Fig. 2.3 Bloque amplificador de dos etapas

En la válvula piloto con realimentación, sin escape continuo (fig. 2.4), la presión posterior P_1 de la tobera actúa sobre la membrana de superficie S_1 mientras que la presión de salida P_0 lo hace sobre la membrana S_2 . El conjunto móvil de las dos membranas tiende al equilibrio y cuando éste se establece se verifica la siguiente ecuación:

$$P_1 \cdot S_1 = P_0 \cdot S_2$$

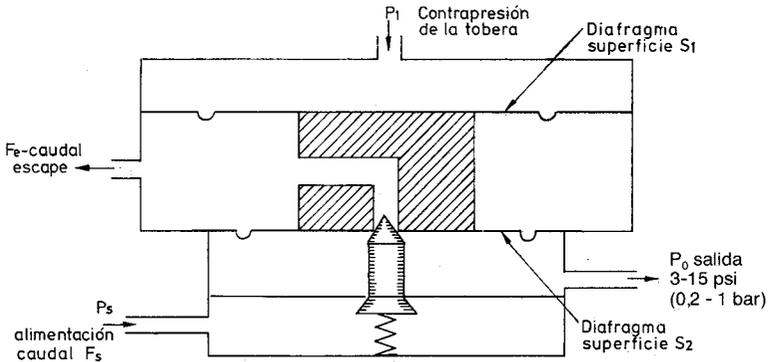


Fig. 2.4 Características de la válvula piloto con realimentación (sin escape continuo).

La relación

$$K_a = \frac{P_0}{P_1} = \frac{S_1}{S_2}$$

es el factor de amplificación o de ganancia de la válvula piloto.

En la posición de equilibrio y ante un aumento de la presión posterior P_1 de la tobera, el aire de alimentación entra en la válvula aumentando el valor de P_0 . Por el contrario, si P_1 disminuye, el aire contenido en el receptor escapa a través del orificio de escape, con lo cual P_0 baja. Entre estas dos reacciones del sistema existe una zona muerta debida a la histéresis mecánica de las partes móviles.

El sistema descrito compuesto por el conjunto tobera-obturador y la válvula piloto presenta todavía las siguientes desventajas:

- Las variaciones en la presión del aire de alimentación influyen en la señal de salida.
- Las vibraciones que pueden existir en el proceso influyen en el juego mecánico entre el obturador y el elemento de medida y dan lugar a pulsaciones en la señal de salida, ya que el factor de amplificación del sistema tobera-obturador es muy grande.

Estos inconvenientes se evitan disminuyendo la ganancia del conjunto por realimentación negativa de la señal posterior de la tobera P_1 sobre el obturador. Se utilizan así tres sistemas de transmisión, el transmisor de equilibrio de movimientos, el de equilibrio de fuerzas y el de equilibrio de momentos.

2.2.2 Transmisor de equilibrio de movimientos

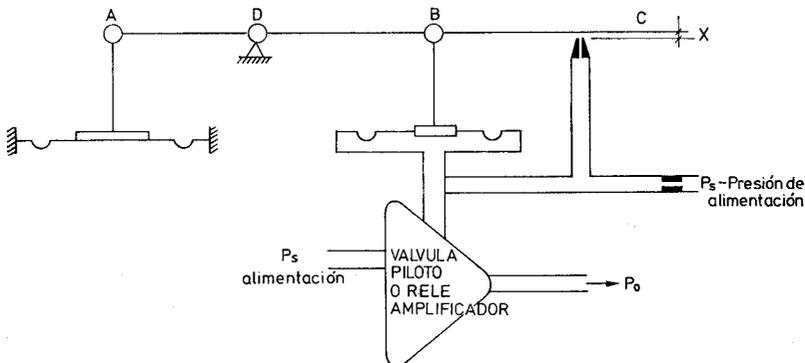
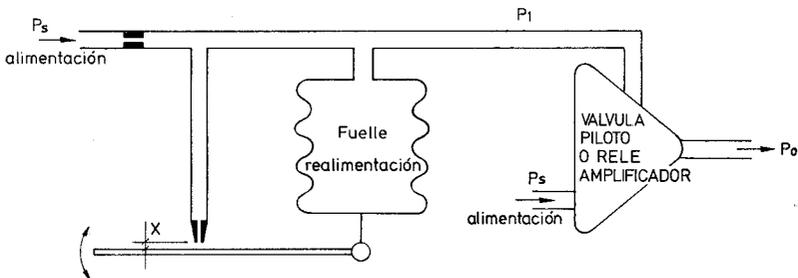
El transmisor de equilibrio de movimientos (fig. 2.5) compara el movimiento del elemento de medición asociado al obturador con un fuelle de realimentación de la presión posterior de la tobera. El conjunto se estabiliza según la diferencia de movimientos alcanzando siempre una posición de equilibrio tal que existe una co-

respuesta lineal entre la variable y la señal de salida. Hay que señalar que en este tipo de transmisores, las palancas deben ser livianas, pero bastante fuertes para que no se doblen.

Estos instrumentos se utilizan, en particular, en la transmisión de presión y temperatura donde los elementos de medida tales como tubos Bourdon, manómetros de fuelle, elementos de temperatura de bulbo y capilar son capaces de generar un movimiento amplio, sea directamente o bien a través de palancas con la suficiente fuerza para eliminar el error de histéresis que pudiera producirse. Si la fuerza disponible es pequeña, aparte de la histéresis, el tiempo necesario para el movimiento es grande y el transmisor es lento en responder a los cambios de la variable. En este caso, se acude a los transmisores de equilibrio de fuerzas en los que básicamente el elemento primario de medida genera una fuerza que se equilibra con otra igual y opuesta producida por el transmisor.

2.2.3 Transmisor de equilibrio de fuerzas

En la figura 2.6 puede verse que el elemento de medición ejerce una fuerza en el punto A sobre la palanca AC que tiene su punto de apoyo en D. Cuando au-



menta la fuerza ejercida por el elemento de medición, la palanca AC se desequilibra, tapa la tobera, la presión aumenta y el diafragma ejerce una fuerza hacia arriba alcanzándose un nuevo equilibrio. Hay que señalar, como se ha dicho, que en este transmisor los movimientos son inapreciables.

2.2.4 Transmisor de equilibrio de momentos

En el transmisor de equilibrio de momentos que puede verse en la figura 2.7 (transmisor de caudal), el desequilibrio de fuerzas producido por el caudal crea un par al que se opone el generado por el fuelle de realimentación a través de una rueda de apoyo móvil situada en el brazo del transmisor.

2.3 Transmisores electrónicos

2.3.1 Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas

Los transmisores electrónicos son generalmente de equilibrio de fuerzas (fig. 2.8). Consisten en su forma más sencilla en una barra rígida apoyada en un punto sobre la que actúan dos fuerzas en equilibrio:

- La fuerza ejercida por el elemento mecánico de medición (tubo Bourdon, espiral, fuelle...).
- La fuerza electromagnética de una unidad magnética.

El desequilibrio entre estas dos fuerzas da lugar a una variación de posición relativa de la barra, excitando un transductor de desplazamiento tal como un detector de inductancia o un transformador diferencial. Un circuito oscilador asociado con cualquiera de estos detectores alimenta una unidad magnética y la fuerza generada reposiciona la barra de equilibrio de fuerzas. Se completa así un circuito de realimentación variando la corriente de salida en forma proporcional al intervalo de la variable del proceso.

Estos instrumentos, debido a su constitución mecánica, presentan un ajuste del cero y del alcance complicado y una alta sensibilidad a vibraciones. Su precisión es del orden del 0,5-1 %.

2.3.1.1 Detector de posición de inductancia

El detector de posición de inductancia está formado por dos piezas de ferrita, una en la barra y la otra fijada rígidamente en el chasis del transmisor y contiene una bobina conectada a un circuito oscilador. Cuando aumenta o disminuye el entrehierro disminuye o aumenta respectivamente la inductancia de la bobina detectora modulando la señal de salida del oscilador. En la figura 2.8 a puede verse un diagrama de este tipo de instrumento.

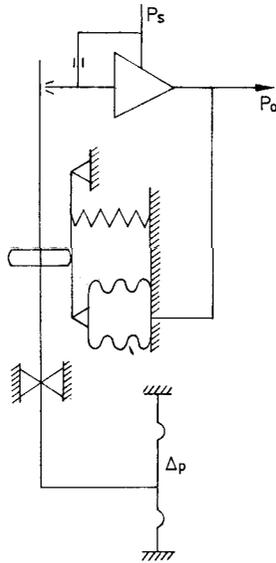
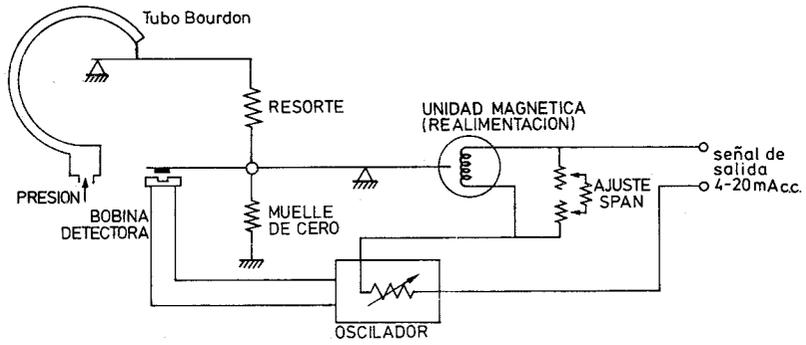
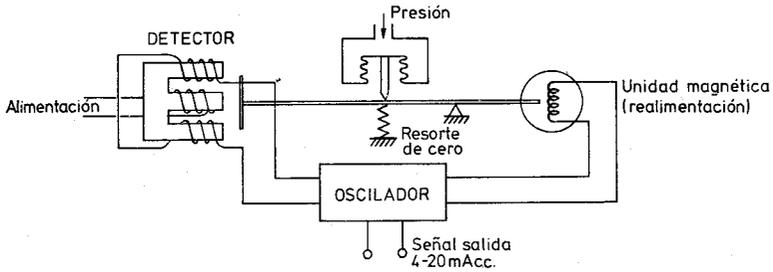


Fig. 2.7 Transmisor de equilibrio de momentos.



a - detector de posición de inductancia



b - transformador diferencial

Fig. 2.8 Transmisor electrónico de equilibrio de fuerzas.

2.3.1.2 Transformador diferencial

El transformador diferencial (fig. 2.8 b) (LVDT-Linear Variable Differential Transformer) consiste en un núcleo magnético con tres o más polos bobinados. El bobinado central está conectado a una línea de alimentación estabilizada y se denomina arrollamiento primario. Los otros dos están bobinados idénticamente con el mismo número de espiras y en la misma disposición. El transformador se cierra magnéticamente con la barra de equilibrio de fuerzas. Al variar la presión cambia la posición de la barra induciendo tensiones distintas en las dos bobinas, mayor en la bobina arrollada en el polo con menor entrehierro y menor en la opuesta. Las bobinas están conectadas en oposición y la señal de tensión diferencial producida es introducida en un amplificador transistorizado que alimenta la unidad magnética de reposición de la barra.

2.3.2 Transmisores digitales

Hacia 1983 la firma Honeywell presentó en el mercado el primer transmisor digital denominado «inteligente» (smart transmitter). Este término indica que el sensor tiene incorporadas funciones adicionales que se añaden a las propias de la medida exclusiva de la variable. Lógicamente dichas funciones son proporcionadas por un microprocesador, pero esto no es esencial para que al instrumento pueda aplicársele la denominación de «inteligente».

Hay dos modelos básicos de transmisores inteligentes:

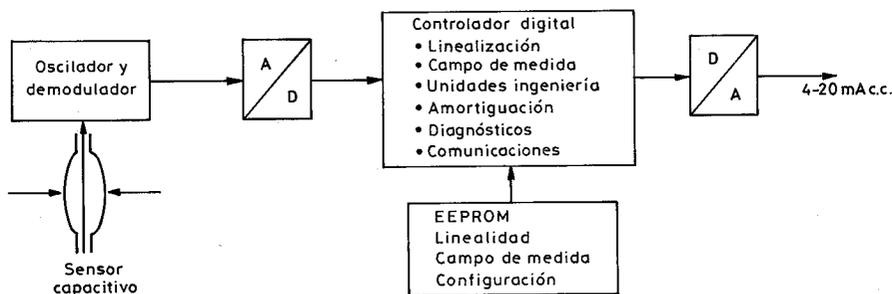
El capacitivo (figura 2.9 a) está basado en la variación de capacidad que se produce en un condensador formado por dos placas fijas y un diafragma sensible interno y unido a las mismas, cuando se les aplica una presión o presión diferencial a través de dos diafragmas externos. La transmisión de la presión del proceso se realiza a través de un fluido (aceite) que rellena el interior del condensador. El desplazamiento del diafragma sensible es de sólo 0,1 mm como máximo. Un circuito formado por un oscilador y demodulador transforma la variación de capacidad en señal analógica. Ésta a su vez es convertida a digital, y pasa después a un microprocesador «inteligente» que la transforma a la señal analógica de transmisión de 4-20 mA c.c.

El de semiconductor (fig. 2.9 b) aprovecha las propiedades eléctricas de los semiconductores al ser sometido a tensiones. El modelo de semiconductor difundido está fabricado a partir de una delgada película de silicio y utiliza técnicas de dopaje para generar una zona sensible a los esfuerzos. Se comporta como un circuito dinámico de puente de Wheatstone aplicable a la medida de presión, presión diferencial y nivel, formado por una pastilla de silicio difundido en el que se hallan embebidas las resistencias R_A , R_B , R_C y R_D de un puente de Wheatstone. El desequilibrio del puente originado por cambios en la variable, da lugar a una señal de salida de 4-20 mA c.c. Su funcionamiento es el siguiente:

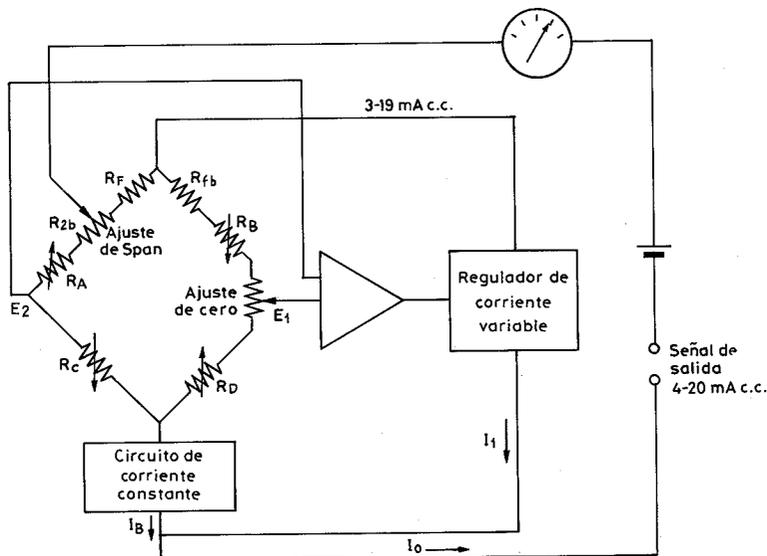
Cuando no hay presión, las tensiones E_1 y E_2 son iguales, y al aplicar la presión del proceso, R_B y R_C disminuyen su resistencia y R_A y R_D la aumentan, dando lugar a caídas de tensión distintas y a una diferencia entre E_1 y E_2 . Esta

diferencia se aplica a un amplificador de alta ganancia que controla un regulador de corriente variable. Un margen de corriente continua de 3 a 19 mA c.c. con 1 mA del puente produce una señal de salida de 4 a 20 mA c.c. Esta corriente circula a través de la resistencia de realimentación R_{fb} , y eleva E_1 a una tensión equivalente a E_2 y reequilibra el puente. Como la caída de tensión producida a través de R_{fb} es proporcional a R_{2b} , esta resistencia fija el intervalo de medida (span) del transductor. El cero del instrumento se varía intercalando resistencias fijas en el brazo izquierdo del puente (cero basto) y un potenciómetro en el brazo derecho (cero fino).

La pastilla de silicio contiene normalmente dos puentes de Wheatstone, uno de presión, y el otro de presión diferencial y una termorresistencia. El micropro-

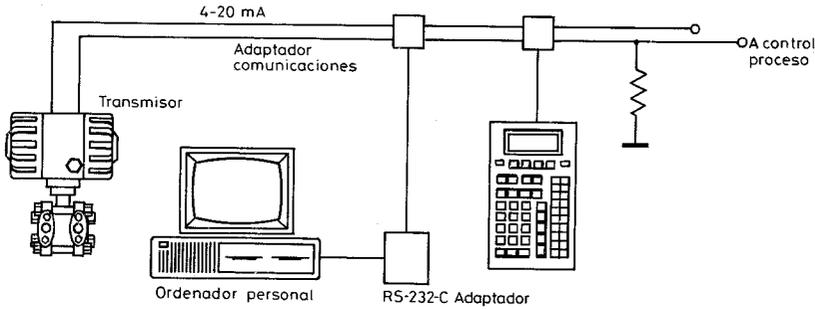
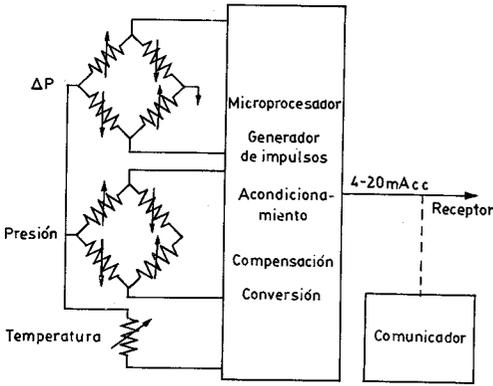


a) Capacitivo

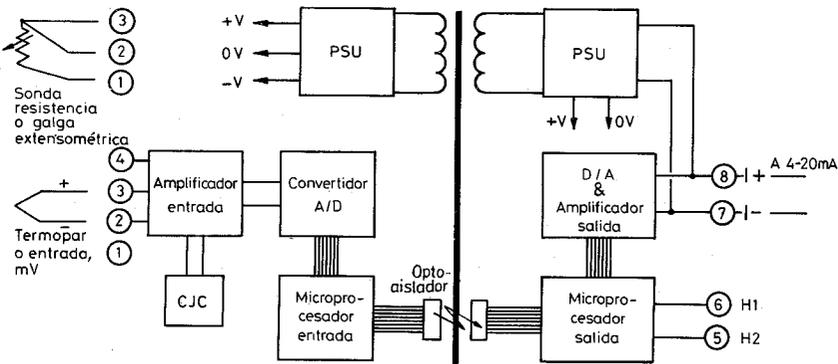


b) Puente de Wheatstone en silicio difundido

Fig. 2.9 Transmisor inteligente.



c) Transmisor con microprocesador y comunicador.



d) Transmisor inteligente de temperatura.

Fig. 2.9 (Cont.)

cesador compensa las no linealidades de los elementos o sensores individuales, convierte las tres señales analógicas a impulsos y calcula, mediante datos prefijados en fábrica y almacenados en su memoria, un valor digital de salida que es transformado a la señal de salida analógica de 4-20 mA c.c. Un comunicador portátil de teclado alfanumérico que puede conectarse en cualquier punto del cable de dos hilos entre el transmisor y el receptor, permite leer los valores del proceso, configurar el transmisor, cambiar su campo de medida y diagnosticar averías.

El instrumento proporciona un aumento en la precisión de la señal transmitida y en la precisión del lazo de control del orden de 0,15 % , y, lo que es más importante, unas posibilidades de calibración y de cambio del margen de medida, no conocidas hasta entonces. Antes de su aparición, la calibración y el cambio del margen de medida debían realizarse normalmente en el taller de instrumentos, lo que equivalía a disponer de aparatos de repuesto para continuar trabajando con el proceso, siendo inevitable la marcha a ciegas durante el tiempo requerido para el cambio mecánico del instrumento (a no ser, naturalmente, que se dispusiera de un instrumento doble). Por ejemplo, la calibración de un instrumento de nivel típico requiere el vaciado del tanque, el desmontaje del aparato, y su calibración en el taller de instrumentos. Además, si se precisa que el proceso continúe en funcionamiento, es necesario montar una brida ciega en la brida del transmisor de nivel para poder llenar el tanque y continuar las operaciones de fabricación.

En variables específicas, tal como el caudal, el transmisor inteligente proporciona una mejora en la relación caudal máximo/caudal mínimo que pasa de 3:1 en la placa-orificio (o tobera o tubo Venturi) a 10:1 manteniendo la misma precisión de $\pm 1\%$.

Los transmisores inteligentes pueden disponer también de autocalibración. Un ejemplo de las técnicas de autocalibración lo constituyen los transmisores de nivel por ultrasonidos. Disponen de un reflector de las ondas sónicas que está situado en el tanque sobre la superficie del líquido, y hacia donde el emisor dirige periódicamente los ultrasonidos, ajustando entonces los parámetros de calibración. De este modo compensa las variaciones de velocidad del sonido provocadas por cambios en la temperatura del ambiente del tanque. En otros casos, la autocalibración es más difícil de conseguir. Tal ocurre en los medidores magnéticos de caudal en los que durante los intervalos de calibración sería necesario pasar por el elemento un caudal conocido de un fluido determinado.

Los transmisores inteligentes se prestan también al autodiagnóstico de sus partes electrónicas internas, función que proporciona al Departamento de Mantenimiento: primero el conocimiento de la existencia de un problema en el circuito, segundo el diagnóstico y la naturaleza del problema, señalando qué instrumento ha fallado y tercero, las líneas a seguir para la reparación o sustitución del instrumento averiado.

Con la entrada del transmisor inteligente, la calibración y el cambio de margen de trabajo, se logran simplemente por examen de los datos almacenados en una PROM y por utilización de técnicas digitales. Se consigue de este modo una relación «turndown» (relación entre el nivel mínimo de la variable y el máximo

que es medible, conservándose la precisión de la medida del instrumento) cuyo valor máximo es de 400:1, frente a la relación 1 a 6 de un transmisor de presión o nivel convencional, lo que posibilita la reducción drástica del número de transmisores en stock al poder utilizar prácticamente un solo modelo para cubrir los diferentes campos de medida utilizados hasta entonces en la fábrica. A señalar que si el campo de medida (span) es pequeño, se pierde precisión. La señal de salida continúa siendo de 4-20 mA c.c., pero, en el año 1986, Honeywell presentó ya el transmisor con señal de salida enteramente digital, lo que proporciona un aumento de la precisión del lazo de control que pasa al $\pm 0,15\%$, al eliminar los convertidores A/D (analógico-digital) del transmisor y el D/A (digital-analógico) del receptor (indicador, registrador o controlador). En líneas generales la precisión total del lazo de control utilizando transmisores analógicos convencionales es de $\pm 0,84\%$; empleando transmisores inteligentes con señal 4-20 mA c.c. pasa a $\pm 0,29\%$, y usando transmisores inteligentes digitales se logra $\pm 0,15\%$. Y si estos últimos incorporan un algoritmo de caracterización, mejoran todavía más la precisión del lazo llegando a $\pm 0,075\%$. Otras ventajas adicionales de estos transmisores son: el cambio automático del campo de medida, caso de que el valor de la variable salga del campo, las rutinas de autodiagnóstico, la monitorización de temperaturas y tensiones de referencia de los transmisores, la fijación de la variable en el último valor alcanzado, caso de detectarse alguna irregularidad en el funcionamiento del aparato, el autoajuste desde el panel de control, la función de caracterización que compensa las diferencias entre las condiciones de calibración en fábrica y las condiciones de campo actuales (algoritmo de caracterización único para cada instrumento) y que permite la instalación directa en campo y la fijación del campo de medida sin calibración, etc. Para visualizar la señal de salida, los datos de configuración, el margen de funcionamiento y otros parámetros, y cambiar los ajustes del campo de medida, se utiliza un comunicador portátil, que se conecta en cualquier punto de la línea de transmisión.

El transmisor o varios transmisores pueden conectarse, a través de una conexión RS-232, a un ordenador personal, que con el software adecuado, es capaz de configurar transmisores inteligentes.

La «inteligencia» se aplica también a otras variables, tal como la temperatura, donde el transmisor puede trabajar con distintas sondas de resistencia y termopares y diversos campos de medida, gracias a la linealización de las escalas y a la compensación de la unión fría que aporta el microprocesador (figura 2.9 d).

El transmisor con señal de salida enteramente digital, aumenta la precisión del lazo de control, al eliminar los convertidores A/D (analógico-digital) del transmisor y el D/A (digital-analógico) del receptor (indicador, registrador o controlador).

En resumen, las ventajas del transmisor inteligente con relación a los instrumentos electrónicos analógicos convencionales (señal de salida 4-20 mA c.c.) son:

- Mejora de la precisión (2:1 como mínimo).
- Mejora de la estabilidad en condiciones de trabajo diversas (3:1 a 15:1).
- Campos de medida más amplios.
- Mayor fiabilidad.

— Bajos costes de mantenimiento.

Y si se emplea el transmisor digital inteligente (comunicación digital directa), las ventajas adicionales son:

— Menor desviación por variaciones de la temperatura ambiente o de la tensión de alimentación.

— Diagnóstico continuo del circuito (estado del instrumento).

— Comunicación bidireccional.

— Configuración remota desde cualquier punto de la línea de transmisión.

En cuanto a las desventajas, existe el problema de la rapidez y la falta de normalización de las comunicaciones.

Si el transmisor inteligente transmite una señal rápida, tal como la presión o el caudal, existe el peligro de que la cantidad de tareas y cálculos que debe realizar el microprocesador, le impida captar todos los valores de la variable. En este caso, debe utilizarse un transmisor electrónico analógico.

Los transmisores inteligentes con señal de salida de 4-20 mA c.c. pueden intercambiarse perfectamente con transmisores de otras marcas. Ello no es posible si son de señal de salida digital, debido a la falta de normalización en el campo de las comunicaciones que subsiste actualmente.

Existen instrumentos que reúnen tres transmisores en un solo aparato, midiendo la presión, la presión diferencial y la temperatura. De este modo permiten medir los caudales volumétrico y másico compensados de líquidos y gases a partir de un elemento primario, tal como una placa-orificio, tobera o tubo Venturi, reduciendo el coste (menores cableado, mano de obra y mantenimiento) y aumentando la precisión.

2.4 Comunicaciones

La mayor parte de las comunicaciones entre los instrumentos de proceso y el sistema de control se basan en señales analógicas (neumáticas 0,2-1 bar utilizadas en pequeñas plantas y en las válvulas de control y electrónicas de 4-20 mA c.c.). Sin embargo, los instrumentos digitales capaces de manejar grandes volúmenes de datos y guardarlos en unidades históricas están aumentando día a día sus aplicaciones. Su precisión es unas diez veces mayor que la de la señal clásica de 4-20 mA c.c. En lugar de enviar cada variable por un par de hilos (4-20 mA c.c.), transmiten secuencialmente las variables a través de un cable de comunicaciones llamado bus.

La tecnología «fieldbus» o «bus de campo» es un protocolo de comunicaciones digital de alta velocidad que está en camino de sustituir a la clásica señal analógica de 4-20 mA c.c. en todos los sistemas de control distribuido (DCS), y controladores programables (PLC), instrumentos de medida y transmisión y válvulas de control. La arquitectura «fieldbus» conecta estos aparatos con ordenadores que pueden trabajar para muchos niveles en la dirección de la planta. Los protocolos patentados por los fabricantes no permiten al usuario final la intercambiabilidad o interoperabilidad de sus instrumentos, es decir, no es posible sustituir un instrumento de un fabricante por otro similar de otro fabricante, ni intercambiar instrumentos de funcionalidad equivalente.

La arquitectura interna del «fieldbus» tiene los siguientes niveles o capas:

- *Nivel 1: Físico* que especifica las condiciones del medio de transmisión, las características eléctricas, mecánicas y funcionales y la codificación de los datos.
- *Nivel 2: Enlace* que establece el enlace lógico, el control de flujo y de errores, la sincronización de la transmisión y el control de acceso al medio.
- *Nivel 3 al 6:* Son objeto de protocolo.
- *Nivel 7: Aplicación* que contienen los servicios y regula la transferencia de mensajes entre las aplicaciones del usuario y los diferentes instrumentos.
- *Capa usuario: Dedicada.*

El primer bus de campo, efectivamente abierto, utilizado ampliamente fue el MODBUS de Gould Modicon que sólo dispone del nivel 1 (físico) y del 2 (enlace).

Los protocolos de comunicaciones abiertos importantes son el HART, World FIB, ISP, BITBUS, INTERBUS-S, P-NET, ECHELON y CAN.

El protocolo HART (High way-Addressable-Remote-Transducer) desarrollado inicialmente por Rosemount Inc., agrupa la información digital sobre la señal analógica clásica de 4-20 mA c.c. La señal digital usa dos frecuencias individuales, 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos 1 y 0 (figura 2.10) y que forman una onda senoidal que se superpone sobre el lazo de corriente de 4-20 mA c.c. Como la señal promedio de una onda senoidal es cero, no se añade ninguna componente de c.c. a la señal analógica de 4-20 mA c.c. En la figura 2.10 pueden verse las señales que constituyen el protocolo HART.

El protocolo HART permite soportar hasta 256 variables, los transmisores pueden conectarse entre sí a través de un bus y comunicarse con 15 aparatos (PLC, ordenadores).

WorldFIP utiliza sistemas de comunicaciones sincronizadas en tiempo, basados en el protocolo FIP (Factory Instrumentation Protocol) de la industria francesa que

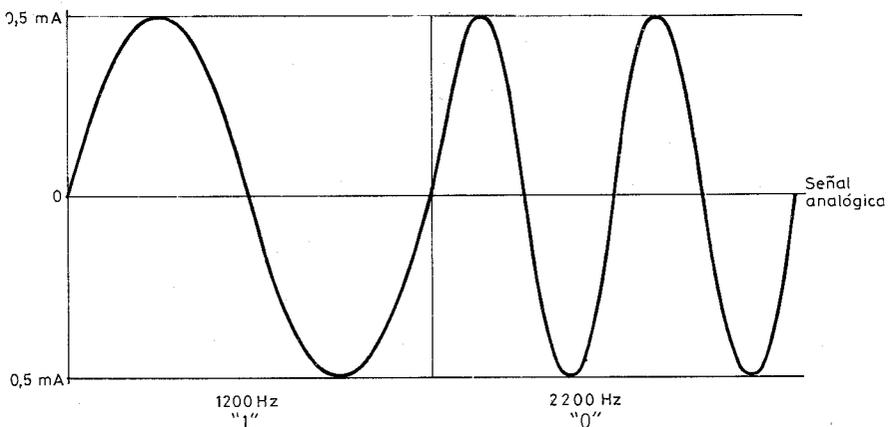


Fig. 2.10 Protocolo HART.

garantiza una comunicación rápida en el control de procesos. Lo integran Schneider, Honeywell, Bailey, Cegelec, Allen Bradley, ...

ISP (Interoperable Systems Project) se basa en varios sistemas, entre ellos PROFIBUS, estándar alemán en que el aparato («host») pasa un testigo («token») de aparato en aparato, dándole así acceso al circuito. Lo integran Siemens, Rosemount, Fisher Controls, Yokogawa, Foxboro, ABB, etc.

La Fundación Fieldbus (Fieldbus Foundation) fue creada en 1994 para definir un único estándar según las normas IEC-ISA y agrupa la organización WorldFIP y la Fundación ISP. Ello fue posible gracias a los progresos efectuados en los protocolos FIP y PROFIBUS.

En Europa existen normas de la CEGELEC (EN-82150) y está en marcha una iniciativa europea que puede reunir características de las normas FIP, PROFIBUS y P-NET.

La norma ISP-SP50, que inicialmente tenía que terminarse en 1989, se ha retrasado debido a la política de competencia de los fabricantes de instrumentos y todavía no es un estándar universal.

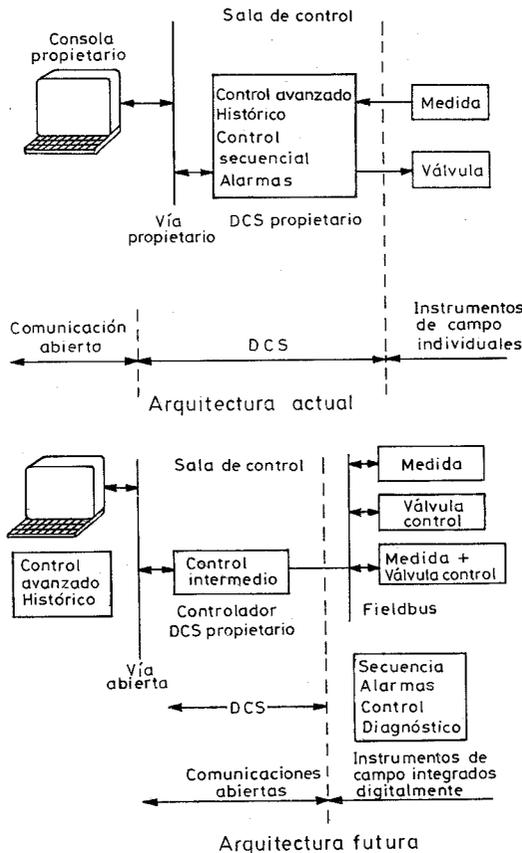


Fig. 2.11 Arquitecturas actual y futura de «fieldbus».

El sistema «totalmente abierto» desde la sala de control hasta los instrumentos de campo se conseguirá con el «fieldbus» estándar. Éste proporciona el control automático y secuencial, alarmas, inteligencia en los instrumentos de campo.

En la figura 2.11 pueden verse las arquitecturas actual y futura de «fieldbus».

Cabe señalar que el sistema totalmente abierto puede combinar con UNIX, Ethernet, con la base de datos relacional Oracle y con Windows, lo que reduce la necesidad de interfaces. Asimismo, el sistema abierto combinado con el software comercial puede conducir a una potencial pérdida de seguridad de datos por lo que los suministradores propietarios del sistema lo desarrollan con sumo cuidado.

Actualmente, los fabricantes están investigando continuamente en la evolución de sus equipos, por lo que no están excesivamente interesados en que exista un solo estándar. Por otro lado, al realizar en un tiempo mínimo las máximas aplicaciones posibles de su «fieldbus» propietario, el fabricante puede conseguir una cierta irreversibilidad del mercado, de tal modo que los propios usuarios pueden forzar la normalización del protocolo de comunicaciones que emplean.

Existen también asociaciones, fusiones y alianzas de colaboración entre empre-

TABLA 2.1 Características de transmisores

<i>Transmisor</i>	<i>Señal</i>	<i>Precisión</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Neumático	3-15 psi 0,2-1 bar	± 0,5 %	Rapidez Sencillo	Aire limpio No guardan información Distancias limitadas Mantenimiento caro Sensible a vibraciones
Electrónico convencional	4-20 mA c.c.	± 0,5 %	Rapidez	Sensible a vibraciones deriva térmica
Electrónico Inteligente	4-20 mA c.c.	± 0,2 %	Mayor precisión Intercambiable Estable, Fiable Campo de medida más amplio Bajo coste mantenimiento	Lento (para variables rápidas puede presentar problemas)
Electrónico Inteligente Señal digital	Digital	± 0,1 %	Mayor precisión Más estabilidad Fiable Autodiagnóstico Comunicación bidireccional Configuración remota Campo de medida más amplio Bajo coste mantenimiento	Lento (para variables rápidas puede presentar problemas) Falta normalización de las comunicaciones No intercambiable con otras marcas

sas orientadas a conseguir un segmento importante del mercado. Todo ello contribuye a la desorientación del usuario que antes de tomar una decisión debe ponderar las ventajas de los sistemas de comunicación actuales y las soluciones futuras (comunicaciones con otros tipos de fieldbus, etc.).

De todos modos, es deseable que los usuarios puedan disponer de un protocolo estándar y que éste pueda incorporarse lo más pronto posible a los grandes sistemas de control distribuido. Por otro lado, estos sistemas deben usar, de modo transparente, la infraestructura de comunicaciones de datos existente.

2.5 Comparación de transmisores

En la tabla 2.1 se efectúa una comparación de características de los transmisores neumáticos, electrónicos convencionales, e inteligentes; estos últimos en las versiones de señal de salida de 4-20 mA c.c. y de señal de salida digital.