GUÍA DE VÁLVULAS DE CONTROL

Quinta edición

FISHER™

Emerson Automation Solutions
Flow Controls

Marshalltown, Iowa 50158 EE UU
Sorocaba, 18087 Brasil
Cernay, 68700 Francia
Dubái, Emiratos Árabes Unidos
Singapore 128461, Singapur

Ni Emerson, Emerson Automation Solutions ni ninguna de sus filiales admite responsabilidad ante la elección, el uso o el mantenimiento de los productos. La responsabilidad respecto a la elección, el uso y el mantenimiento adecuados de cualquiera de los productos recae absolutamente en el comprador y el usuario final.

El contenido de esta publicación se ofrece solo para fines informativos y se han realizado todos los esfuerzos posibles para garantizar su precisión; no se debe interpretar como garantía, expresa o implícita, respecto a los productos o servicios que describe, su utilización o su aplicabilidad. Todas las ventas están regidas por nuestras condiciones, que están disponibles a petición. Nos reservamos el derecho de modificar o mejorar los diseños o especificaciones de los productos sin previo aviso.

La marca Fisher es propiedad de una de las empresas de la unidad de negocio Emerson Automation Solutions de Emerson Electric Co. Emerson y el logotipo de Emerson son marcas comerciales y de servicio de Emerson Electric Co. Las demás marcas pertenecen a sus propietarios respectivos.

© 2017, 2019 Fisher Controls International LLC. All rights reserved.

D101881X0ES

Prefacio

Las válvulas de control son componentes de creciente importancia en la fabricación moderna de todo el mundo. Las válvulas de control, si se eligen y mantienen de manera adecuada, incrementan la eficiencia, la seguridad, la rentabilidad y el respeto por el medio ambiente.

La Guía de válvulas de control ha sido una referencia fundamental desde su primera impresión en 1965. La quinta edición presenta información esencial sobre las prestaciones de las válvulas de control y las últimas tecnologías.

El **Capítulo 1** contiene una introducción a las válvulas de control y definiciones de la terminología habitual referida a válvulas e instrumentos de control.

El **Capítulo 2** desarrolla el tema fundamental de las prestaciones de las válvulas de control.

El **Capítulo 3** trata sobre los tipos de válvulas y actuadores.

El **Capítulo 4** describe controladores de válvula digitales, posicionadores analógicos, amplificadores y otros accesorios de válvulas de control.

El **Capítulo 5** es una guía detallada para la selección de la mejor válvula de control para una aplicación.

El **Capítulo 6** trata sobre la elección y el uso de válvulas de control especiales.

El **Capítulo 7** contiene explicaciones sobre atemperadores, válvulas de acondicionamiento de vapor y sistemas de bypass de turbinas.

El **Capítulo 8** detalla los procedimientos típicos de instalación y mantenimiento de válvulas de control.

El **Capítulo 9** contiene información acerca de las normas sobre válvulas de control y los organismos de homologación de todo el mundo.

El **Capítulo 10** permite identificar las válvulas y actuadores de aislamiento.

El **Capítulo 11** versa sobre la automatización discreta.

El **Capítulo 12** trata sobre los distintos sistemas instrumentados de seguridad de procesos.

El **Capítulo 13** contiene útiles tablas de datos de consulta técnica.

El **Capítulo 14** contiene datos de consulta sobre tuberías.

El **Capítulo 15** es un práctico recurso para conversiones habituales.

La Guía de válvulas de control es tanto un libro de texto como de consulta sobre el eslabón más fuerte del bucle de control: la válvula de control y sus accesorios. La guía contiene conocimientos amplios y demostrados de grandes expertos en el campo de control de procesos, incluidas las contribuciones de ISA.

Índice

Capítulo 1: Introducción a las válvulas de control 14

1.1 ¿Qué es una válvula de control?.....15
1.2 Terminología referente a la válvula de control de vástago deslizante 15
1.3 Terminología referente a la válvula de control rotativa.....21
1.4 Terminología referente a funciones y características de las válvulas de control 23
1.5 Terminología del control de procesos 25

Capítulo 2: Prestaciones de la válvula de control 32

2.1 Variabilidad de procesos.....33
2.1.1 Banda muerta..... 35
2.1.1.1 Causas de la banda muerta 35
2.1.1.2 Efectos de la banda muerta 36
2.1.1.3 Pruebas de prestaciones 36
2.1.1.4 Fricción 36
2.1.2 Diseño de actuador y posicionador..... 37
2.1.3 Tiempo de respuesta de las válvulas 38
2.1.3.1 Tiempo muerto 38
2.1.3.2 Tiempo dinámico 39
2.1.3.3 Soluciones..... 40
2.1.3.4 Presión de suministro..... 40
2.1.3.5 Reducción del tiempo muerto..... 41
2.1.3.6 Tiempo de respuesta de las válvulas..... 41
2.1.4 Tipo y caracterización de válvulas..... 42
2.1.4.1 Ganancia instalada 43
2.1.4.2 Ganancia de bucle..... 44
2.1.4.3 Optimización de procesos..... 45
2.1.5 Dimensionamiento de válvulas 46
2.2 Resultados económicos.....47
2.3 Resumen.....48

Capítulo 3: Tipos de válvulas y actuadores 50

3.1 Estilos de válvula de control 51
3.1.1 Válvulas de globo..... 51
3.1.1.1 Cuerpos de válvula de puerto único 51
3.1.1.2 Cuerpos de válvulas guiadas por poste y puerto 52
3.1.1.3 Cuerpos de válvula de estilo jaula 52
3.1.1.4 Cuerpos de válvula de puerto doble 53
3.1.1.5 Cuerpos de válvula de tres vías..... 53
3.1.2 Válvulas sanitarias 54
3.1.3 Válvulas rotativas..... 54
3.1.3.1 Cuerpos de válvula de mariposa 54
3.1.3.2 Cuerpos de válvula de bola segmentada 55
3.1.3.3 Cuerpos de válvula de mariposa de altas prestaciones..... 55

3.1.3.4 Cuerpos de válvula de obturador excéntrico ... 56
3.1.3.5 Cuerpos de válvula de bola de puerto completo ... 57
3.1.3.6 Válvula multipuerto ... 57
3.2 Conexiones de terminales de válvula de control ... 57
3.2.1 Tubos roscados atornillados ... 57
3.2.2 Bridas con empaquetadura empernadas ... 58
3.2.3 Conexiones finales soldadas ... 58
3.2.4 Otras conexiones de terminales de válvula ... 59
3.3 Bonetes de cuerpo de válvula ... 59
3.3.1 Bonetes de extensión ... 60
3.3.2 Bonetes con fuelle de estanqueidad ... 61
3.4 Empaquetadura de la válvula de control ... 61
3.4.1 Anillo en V de PTFE ... 62
3.4.2 Grafito laminado y en filamento ... 62
3.4.3 Normativa estadounidense sobre emisiones fugitivas ... 62
3.4.4 Normas globales sobre emisiones fugitivas ... 63
3.4.5 Empaquetadura de anillo en V de PTFE único ... 65
3.4.6 Empaquetadura ENVIRO-SEAL PTFE ... 65
3.4.7 Empaquetadura ENVIRO-SEAL Duplex ... 67
3.4.8 Empaquetadura ISO-Seal PTFE ... 67
3.4.9 ENVIRO-SEAL Graphite ULF ... 67
3.4.10 HIGH-SEAL Graphite ULF ... 67
3.4.11 Empaquetadura ISO-Seal Graphite ... 67
3.4.12 ENVIRO-SEAL Graphite para válvulas rotativas ... 67
3.4.13 Cinta de grafito para válvulas rotativas ... 67
3.4.14 Selección de empaquetaduras medioambientales para vástago deslizante ... 67
3.4.15 Selección de empaquetaduras medioambientales para válvulas rotativas ... 69
3.5 Caracterización de cuerpos de válvula guiados por jaula ... 69
3.6 Guía del obturador de la válvula ... 70
3.7 Internos de capacidad restringida de la válvula de control ... 70
3.8 Actuadores ... 71
3.8.1 Actuadores de diafragma ... 71
3.8.2 Actuadores de pistón ... 72
3.8.4 Actuadores de cremallera y piñón ... 73
3.8.5 Actuadores eléctricos ... 73

Capítulo 4: Accesorios de la válvula de control ... 74

4.1 Consideraciones medioambientales y sobre la aplicación ... 75
4.2 Posicionadores ... 75
4.2.1 Posicionadores neumáticos ... 75
4.2.2 Posicionadores I/P analógicos ... 76
4.2.3 Controladores de válvula digitales ... 77
4.2.3.1 Diagnósticos ... 77
4.2.3.2 Comunicación digital bidireccional ... 78
4.3 Transductores I/P ... 78

4.4 Amplificadores de caudal 78
4.5 Sistemas instrumentados de seguridad (SIS) 80
4.5.1 Prueba de recorrido parcial 80
4.6 Controladores 81
4.7 Transmisores de posición 83
4.8 Interruptores limitadores 83
4.9 Electroválvulas 83
4.10 Sistemas de desconexión 84
4.11 Volantes 84

Capítulo 5: Dimensionamiento de válvulas de control 86

5.1 Medidas de la válvula de control 88
5.1.1 Medidas de superficie a superficie de válvulas de control de estilo globo con brida 88
5.1.2 Medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con extremo de soldadura a tope 90
5.1.3 Medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con extremo de soldadura por enchufe 91
5.1.4 Medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con extremo atornillado 92
5.1.5 Medidas de superficie a línea central de válvulas de ángulo de estilo globo con superficie elevada 92
5.1.6 Medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con brida separable 93
5.1.7 Medidas de superficie a superficie para válvulas rotativas con y sin brida (excepto de mariposa) 93
5.1.8 Medidas de superficie a superficie de válvulas de mariposa de brida simple (tipo orejeta) y sin brida (tipo oblea) 94
5.1.9 Medidas de superficie a superficie de válvulas de mariposa de presión alta con diseño excéntrico 94
5.2 Clasificaciones de fuga del asiento de válvula de control 95
5.3 Fuga del asiento máxima permitida de clase VI 96
5.4 Características de flujo de la válvula de control 96
5.4.1 Características de flujo 96
5.4.2 Selección de características de flujo 97
5.5 Dimensionamiento de válvula 97
5.7 Constantes de ecuación 99
5.8 Dimensionamiento de válvulas para líquidos 100
5.8.1 Cálculo del factor de corrección por geometría de la cañería (F_P) y el factor de recuperación de presión del líquido (F_{LP}) ajustado para los racores 100
5.8.2 Determinar la caída de presión que utilizar para el dimensionamiento (ΔP_{sizing}) 101
5.8.3 Cálculo del coeficiente de flujo requerido (C_v) 101
5.8.4 Problema de ejemplo de dimensionamiento de líquido 102
5.9 Dimensionamiento de válvulas para fluido compresibles 104
5.9.1 Cálculo del factor de corrección por geometría de la cañería (F_P) y el factor de relación de caída de presión (x_{TP}) en el flujo estrangulado con racores conectados 105
5.9.2 Cálculo de la relación de caída de presión para el dimensionamiento (x_{sizing}) y el factor de expansión (Y) 105
5.9.3 Cálculo del coeficiente de flujo (C_v) 105
5.9.4 Problema de ejemplo de dimensionamiento de fluido compresible núm. 1 106
5.9.5 Problema de ejemplo de dimensionamiento de fluido compresible núm. 2 107

5.10 Coeficientes de dimensionamiento representativos 109
5.10.1 Coeficientes de dimensionamiento representativos para cuerpos de válvula de estilo globo de puerto único 109
5.10.2 Coeficientes de dimensionamiento representativos para válvulas rotativas 110
5.11 Dimensionamiento del actuador 111
5.11.1 Válvulas de globo 111
5.11.1.1 Fuerza de desbalance (A) 111
5.11.1.2 Fuerza necesaria para proporcionar la carga del asiento (B) 112
5.11.1.3 Fricción de la empaquetadura (C) 112
5.11.1.4 Fuerzas adicionales (D) 112
5.11.2 Cálculos de fuerza del actuador 114
5.12 Dimensionamiento del actuador para válvulas rotativas 114
5.12.1 Ecuaciones de par 114
5.12.2 Par de arranque 114
5.12.3 Par dinámico 114
5.13 Factores de par de válvula rotativa típicos.....115
5.13.1 Factores de par para la válvula de bola con muesca en V con junta compuesta 115
5.13.2 Factores de par para la válvula de mariposa de alto rendimiento con junta compuesta..... 115
5.13.2.1 Rotación máxima..... 115
5.14 Cavitación y vaporización 116
5.14.1 Flujo estrangulado como causa de la vaporización y la cavitación..... 116
5.14.2 Selección de válvula para el servicio en condiciones de vaporización 117
5.14.3 Selección de válvula para el servicio en condiciones de cavitación 118
5.15 Predicción de ruido 118
5.15.1 Aerodinámico 118
5.15.2 Hidrodinámico..... 120
5.16 Control de ruido.....120
5.17 Resumen del ruido 123
5.18 Selección de empaquetadura 124
5.18.1 Directrices para la selección de empaquetaduras de válvulas de vástago deslizante..... 125
5.18.2 Directrices para la selección de empaquetaduras de válvulas rotativas..... 126
5.19 Materiales del cuerpo de la válvula 127
5.19.1 Designaciones de materiales comunes de cuerpo de válvula 129
5.20 Valores nominales de presión-temperatura.....130
5.20.1 Valores nominales de presión-temperatura para válvulas fundidas ASTM A216 grado WCC de clase estándar 130
5.20.2 Valores nominales de presión-temperatura para válvulas fundidas ASTM A217 grado WC9 de clase estándar 131
5.20.3 Valores nominales de presión-temperatura para válvulas fundidas ASTM A351 grado CF3 de clase estándar..... 132
5.20.4 Valores nominales de presión-temperatura para válvulas ASTM A351 grados CF8M y CG8M de clase estándar[1]..... 133
5.21 Abreviaturas de material no metálico 135
5.22 Procedimientos de prueba no destructivos 135
5.22.1 Evaluación (superficie) de partícula magnética..... 135

5.22.2 Evaluación (superficie) de penetración de líquidos 136
5.22.3 Evaluación (volumétrica) radiográfica 136
5.22.4 Evaluación (volumétrica) ultrasónica 136

Capítulo 6: Válvulas de control especiales 138

6.1 Válvulas de control de alta capacidad 139
6.2 Válvulas de control de flujo bajo 140
6.3 Válvulas de control para temperaturas altas 140
6.4 Válvulas de servicio criogénico 141
6.5 Válvulas expuestas a cavitación y fluidos con material particulado 142
6.6 Características personalizadas, reducción de ruido e internos de mitigación de la cavitación 142
6.7 Válvulas de control para el servicio nuclear en EE.UU. 142
6.8 Válvulas expuestas al agrietamiento por tensiones en presencia de sulfuro 143
6.8.1 Revisiones anteriores a 2003 de NACE MR0175 144
6.8.2 NACE MR0175/ISO 15156 144
6.8.3 NACE MR0103 145

Capítulo 7: Acondicionamiento de vapor 146

7.1 Descripción de la atemperación 147
7.1.1 Aspectos técnicos de la atemperación 147
7.2 Diseños típicos de atemperador 150
7.2.1 Diseño de boquilla de geometría fija 150
7.2.2 Diseño de boquilla de geometría variable 151
7.2.3 Diseño autónomo 151
7.2.5 Diseño de oblea asistido por geometría 152
7.3 Descripción de las válvulas de acondicionamiento de vapor 153
7.4 Válvulas de acondicionamiento de vapor 153
7.4.1 Atemperador de vapor 155
7.4.2 Rociador de vapor 155
7.6 Componentes del sistema de bypass de turbina 156
7.6.1 Válvulas de bypass de turbina 156
7.6.2 Válvulas de control de agua de bypass de turbina 156
7.6.3 Accionamiento 157

Capítulo 8: Instalación y mantenimiento 158

8.1 Almacenamiento y protección adecuados 159
8.2 Técnicas de instalación adecuadas 159
8.2.1 Lea el manual de instrucciones 159
8.2.2 Compruebe la limpieza del conducto 159
8.2.4 Aplique prácticas recomendadas de canalización 160
8.2.5 Internos de puesta en servicio/hidro/cavitación 161
8.3 Mantenimiento de la válvula de control 161

8.3.1 Mantenimiento reactivo ... 162
8.3.2 Mantenimiento preventivo ... 162
8.3.3 Mantenimiento predictivo ... 162
8.3.4 Uso de los diagnósticos de válvula de control ... 162
8.3.4.1 Fuga de aire instrumental ... 163
8.3.4.2 Presión de suministro ... 163
8.3.4.3 Desviación de la carrera y ajuste del relé ... 163
8.3.4.4 Calidad del aire instrumental ... 164
8.3.4.5 Fricción en servicio y tendencias de fricción ... 164
8.3.4.6 Otros ejemplos ... 164
8.3.5 Desarrollo continuo de diagnósticos ... 164
8.4 Servicio y piezas para la reparación ... 165
8.4.1 Repuestos recomendados ... 165
8.4.2 Uso de piezas del fabricante original del equipo (OEM, Original Equipment Manufacturers) ... 165
8.4.3 Considere actualizar los internos de la válvula ... 165
8.5 Mantenimiento del actuador ... 165
8.5.1 Actuadores de diafragma y resorte ... 165
8.5.2 Actuadores de pistón ... 166
8.5.3 Empaquetadura del vástago ... 166
8.5.4 Anillos del asiento ... 166
8.5.4.1 Sustitución de anillos del asiento ... 166
8.5.4.2 Conexiones: Obturador a vástago, bola a flecha y disco a flecha ... 167
8.5.5 Ajuste de banco ... 167
8.5.6 Desplazamiento de válvula ... 167

Capítulo 9: Normas y homologaciones ... 168

9.1 Normas referentes a las válvulas de control ... 169
9.1.1 American Petroleum Institute (API) (Instituto Estadounidense del Petróleo) ... 169
9.1.2 American Society of Mechanical Engineers (ASME) (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos) ... 169
9.1.3 European Committee for Standardization (CEN) (Comité Europeo de Normalización) ... 169
9.1.3.1 Estándares europeos de válvulas industriales ... 169
9.1.3.2 Estándares de material europeos ... 170
9.1.3.3 Estándares europeos de bridas ... 170
9.1.4 Fluid Controls Institute (FCI) (Instituto de Control de Fluidos) ... 170
9.1.5 Instrument Society of America (ISA) (Sociedad Estadounidense de Instrumentación) ... 170
9.1.6 International Electrotechnical Commission (IEC) (Comisión Electrotécnica Internacional) ... 171
9.1.7 Manufacturers Standardization Society (MSS) (Sociedad de Fabricantes para la Normalización) ... 171
9.1.8 NACE International ... 172
9.2 Homologaciones de producto para zonas peligrosas (clasificadas) ... 172
9.2.1 Homologaciones y definiciones de zonas peligrosas ... 172
9.3 Sistemas de clasificación ... 172

9.3.1 Sistema de clases/divisiones 172
9.3.2 Sistema de zonas 173
9.3.3 Grupos de equipos 174
9.3.4 Subgrupos de equipos 174
9.3.4.1 Grupo II (conocido habitualmente como "grupo del gas") 174
9.3.4.2 Grupo III (conocido habitualmente como "grupo del polvo") 174
9.3.5 Tipo de protección 175
9.3.5.1 Equipo eléctrico 175
9.3.5.2 Equipo no eléctrico 176
9.3.6 Grado de protección 177
9.3.7 Grado de protección de equipos (EPL, Equipment Protection Level) 177
9.4 Código de temperaturas 178
9.5 Nomenclatura 179
9.5.1 Sistema de clases/divisiones 179
9.5.2 Sistema de zonas 179
9.5.3 Prácticas de cableado 179
9.5.4 Unión Europea (UE) - Directiva ATEX 2014/34/EU 179
9.6 Técnicas y métodos de protección 180
9.6.1 Técnica a prueba de explosiones o de incendios 181
9.6.2 Técnica intrínsecamente segura 181
9.6.3 Técnica no inflamable (o de tipo N) 182
9.6.4 Seguridad incrementada 182
9.6.5 A prueba de ignición de polvo o envolvente a prueba de polvo 182
9.7 Calificaciones de envolventes 183

Capítulo 10: Válvulas de aislamiento 186

10.1 Tipos básicos de válvula 187
10.1.1 Válvulas de compuerta 187
10.1.2 Válvulas de globo 188
10.1.3 Válvulas de retención 191
10.1.4 Válvulas de derivación 192
10.1.6 Válvula de pinzamiento 193
10.1.7 Válvulas de bola 194
10.1.8 Válvulas de mariposa 194
10.1.9 Válvulas de obturación 195

Capítulo 11: Electroválvulas 210

11.1 Electroválvulas 211

Capítulo 12: Sistemas instrumentados de seguridad 214

12.1 Seguridad y niveles de protección 215
12.2 Sistemas instrumentados de seguridad (SIS) 216
12.3 Normas de seguridad 217
12.4 Nivel de integridad de seguridad (SIL) 217

12.5 Probabilidad de fallo en demanda 218
12.6 Elementos finales, pruebas de evaluación y técnicas de prueba de recorrido parcial 219
12.7 Prueba de recorrido parcial 219
12.8 Métodos de prueba en línea para el elemento final 220
12.9 Uso de un controlador de válvula digital para la prueba de recorrido parcial....220
12.10 Sistema de protección de presión de alta integridad (HIPPS) 221
12.11 Funcionalidad del HIPPS 221
12.12 Requisitos de prueba....221

Capítulo 13: Datos de ingeniería 224

13.1 Especificaciones estándar para materiales de válvula de retención de presión....225
13.2 Propiedades de material de válvula para componentes de retención de presión 232
13.3 Constantes físicas de hidrocarburos 234
13.4 Relación calorífica específica (k) 237
13.5 Constantes físicas de varios fluidos....238
13.6 Refrigerante 717 (Amoníaco) Propiedades del líquido y del vapor saturado 240
13.7 Propiedades del agua 247
13.8 Propiedades del vapor saturado 248
13.9 Propiedades del vapor sobrecalentado....257

Capítulo 14: Datos de canalización.... 266

14.1 Conexión de conducto 267
14.2 Aleación de acero al carbono - Acero inoxidable 267
14.3 Medidas estadounidenses de brida de conductos....275
14.3.1 Diámetro de círculos de perno 275
14.3.2 Número de pernos prisioneros y diámetro 276
14.3.3 Diámetro de brida.... 277
14.3.4 Grosor de brida para racores de brida.... 278
14.4 Estándares de brida de acero fundido....280
14.4.1 Estándares de brida de acero fundido para PN 10 280
14.4.2 Estándares de brida de acero fundido para PN 16 281
14.4.3 Estándares de brida de acero fundido para PN 25 282
14.4.4 Estándares de brida de acero fundido para PN 40 283
14.4.5 Estándares de brida de acero fundido para PN 63 284
14.4.6 Estándares de brida de acero fundido para PN 100 284
14.4.7 Estándares de brida de acero fundido para PN 160 285

14.4.8 Estándares de brida de acero fundido para PN 250 285
14.4.9 Estándares de brida de acero fundido para PN 320 286
14.4.10 Estándares de brida de acero fundido para PN 400 286

Capítulo 15: Conversiones y equivalencias 288

15.1 Equivalencias de longitud 289
15.2 Equivalencias de pulgada entera a milímetro 289
15.3 Equivalencias de fracción de pulgada a milímetro 290
15.4 Equivalencias adicionales de fracción de pulgada a milímetro 291
15.5 Equivalencias de área 293
15.6 Equivalencias de volumen 293
15.7 Equivalencias de índice de volumen 293
15.8 Conversión de masa - Libras a kilogramos 294
15.9 Equivalencias de presión 294
15.10 Conversión de presión - Libras por pulgada cuadrada a bar 295
15.11 Formulas de conversión de temperatura 296
15.12 Conversiones de temperatura 296
15.13 Tablas de gravedad API y Baumé y factores de peso 299
15.14 Otras conversiones útiles 301
15.15 Prefijos y sufijos métricos 302

Índice 304

Recursos Adicionales 318

Capítulo 1

Introducción a las válvulas de control

1.1 ¿Qué es una válvula de control?

Las plantas de procesamiento modernas utilizan una amplia red de bucles de control con el fin de crear un producto final para el mercado. Dichos bucles de control se diseñan para mantener una variable de proceso (es decir, presión, flujo, nivel, temperatura, etc.) dentro del rango operativo requerido para garantizar la elaboración de un producto final de calidad. Cada uno de esos bucles recibe y genera internamente perturbaciones que afectan negativamente a la variable de proceso (VP). La interacción con otros bucles de la red también provoca perturbaciones que influyen en la variable de proceso. Consulte la Figura 1.1.

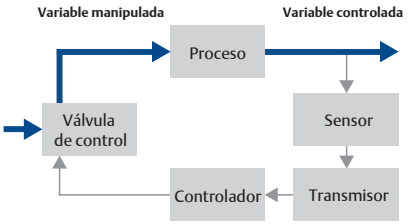


Figura 1.1 Bucle de control de realimentación

Para reducir el efecto de esas perturbaciones de carga, los sensores y transmisores recopilan información sobre la variable de proceso (VP) y su relación con algún punto de ajuste preferido. Un controlador procesa esa información y decide la acción necesaria para devolver la variable de proceso al punto debido tras producirse una perturbación de carga. Cuando se han realizado todas las mediciones, comparaciones y cálculos, algún tipo de elemento de control final debe implementar la estrategia seleccionada por el controlador.

El elemento de control final más habitual en las industrias de control de procesos es la válvula de control. La válvula de control manipula un líquido en circulación, como gas, vapor, agua o compuestos químicos para compensar las perturbaciones de carga y mantener la variable de proceso regulada lo más cercana posible al punto de ajuste deseado.

La válvula de control es una parte crítica del bucle de control. Mucha gente que habla de las válvulas de control en realidad se refiere a un conjunto de válvula de control. El conjunto de válvula de control consiste típicamente en el cuerpo de la válvula, las piezas de los internos, un actuador que aporta la fuerza motriz para operar la válvula, y una variedad de accesorios adicionales de válvula, que pueden ser transductores, reguladores de presión de suministro, operadores manuales, amortiguadores o disyuntores.

Hay dos tipos principales de diseño de válvula de control, dependiendo del elemento de cierre: vástago deslizante o rotativo. Las válvulas de vástago deslizante, como se puede apreciar en las figuras 1.2 y 1.3, utilizan movimiento lineal para desplazar un elemento de cierre hacia dentro y hacia fuera de la superficie de asiento. Las válvulas rotativas, como se puede apreciar en las figuras 1.13 y 1.17, utilizan movimiento giratorio para desplazar un elemento de cierre hacia dentro y hacia fuera de la superficie de asiento. ■

1.2 Terminología referente a la válvula de control de vástago deslizante

La siguiente terminología se aplica a las características físicas y operativas de las válvulas de control con vástago deslizante estándar, con diafragma o actuadores de pistón. Algunos de los términos, en especial los referidos a actuadores, también pueden aplicarse a las válvulas de control rotativas. Muchas de las definiciones que se ofrecen son conformes con ANSI/ISA-75.05.01, Terminología referente a Válvulas de Control, aunque también se incluyen otros términos habituales. Para algunos de los términos más complejos se ofrecen explicaciones adicionales. Las secciones adicionales de este capítulo definen terminología específica sobre válvulas de control rotativas, control de procesos generales y funciones y características de las válvulas de control.

Figura 1.2 Válvula de control de vástago deslizante

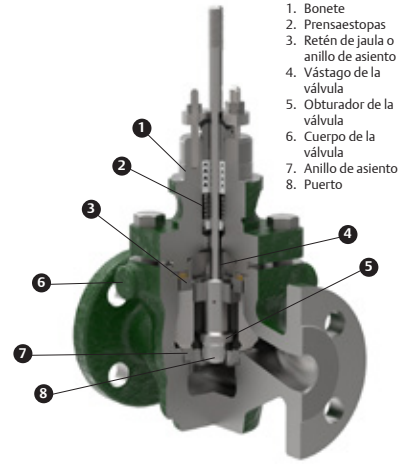


Figura 1.3 Válvula de control de vástago deslizante

Resorte del actuador: Resorte o grupo de ellos alojado en el yugo o en la carcasa del actuador, o en el cilindro del pistón que desplaza el vástago de actuador en dirección opuesta a la generada por la presión de carga.

Vástago del actuador: Pieza que conecta el actuador al vástago de la válvula y transmite movimiento (fuerza) del actuador a la válvula.

Extensión del vástago del actuador: Extensión del vástago del actuador de pistón que permite transmitir el movimiento del pistón al posicionador de la válvula.

Fuerza del vástago del actuador: Fuerza neta del actuador que está disponible para el posicionamiento del obturador de la válvula, lo que se conoce como carrera de la válvula.

Válvula de ángulo: Diseño de válvula en el que las lumbreras de entrada y de salida son perpendiculares entre sí. Consulte también Válvula de globo.

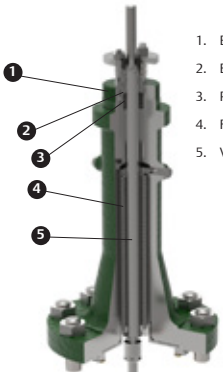
Figura 1.4 Válvula de ángulo

Bonete con fuelle de estanqueidad: Bonete que cuenta con un fuelle de cierre para evitar fugas alrededor del vástago del elemento de cierre. Consulte la Figura 1.5.

Bonete: Parte de la válvula que contiene el prensaestopas y la junta de válvula y que puede guiar al vástago de la válvula. Ofrece la principal abertura de la cavidad del cuerpo para el montaje de piezas internas o puede formar parte integral del cuerpo de la válvula. También puede usarse para fijar el actuador al cuerpo de la válvula. Los bonetes típicos son atornillados, roscados, soldados, sellados a presión o integrados en el cuerpo. Este término suele utilizarse para referirse al cuerpo superior y a sus piezas de empaquetadura incluidas. Con mayor propiedad, este grupo de componentes debería denominarse conjunto del bonete.

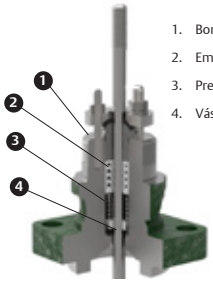
Conjunto del bonete *(normalmente llamado bonete, con mayor propiedad, conjunto del bonete):* Conjunto que incluye la pieza a través de la cual se mueve el vástago de la válvula y que se utiliza para el sellado contra fugas a lo largo del vástago. Normalmente se usa para montar el actuador y cargar el conjunto de empaquetadura; además, mantiene la alineación correcta del

obturador con el resto del conjunto de la válvula de control. Consulte la Figura 1.6.



1. Bonete
2. Empaquetadura
3. Prensaestopas
4. Fuelle
5. Vástago de la válvula

Figura 1.5 Bonete con fuelle de estanqueidad



1. Bonete
2. Empaquetadura
3. Prensaestopas
4. Vástago de la válvula

Figura 1.6 Conjunto del bonete

Brida inferior: Pieza que cierra la abertura de la válvula opuesta a la abertura del bonete. Puede incluir un buje guía o permitir la inversión de la acción de la válvula.

Buje: Dispositivo que sostiene o guía las piezas móviles, como los vástagos y los obturadores de la válvula.

Jaula: Parte de los internos de la válvula que rodea al elemento de cierre y puede suministrar la caracterización del flujo o la superficie de asiento. También aporta estabilidad, guía, equilibrio y alineación, y facilita el montaje de otras piezas de los internos de la válvula. Las paredes de la jaula contienen aberturas que normalmente determinan la característica de flujo de la válvula de control. Consulte la Figura 1.7.

Elemento de cierre: Pieza móvil que se sitúa en la vía de circulación para modular el caudal a través de la válvula.

Guía del elemento de cierre: Parte del elemento de cierre que alinea su movimiento en una jaula, anillo de asiento (guía de lumbrera), bonete, brida inferior, vástago o en dos cualesquiera de ellos.

Cilindro: Cámara de un actuador de pistón en la que este se mueve.

Junta de cierre de cilindro: Elemento de cierre en la conexión del cilindro del actuador de pistón con el yugo.

Diafragma: Elemento flexible que reacciona a la presión y que transmite fuerza al plato del diafragma y al vástago del actuador.

Actuador de diafragma: Dispositivo accionado por un fluido, que suele ser aire comprimido (consulte Presión de carga), y que actúa sobre un componente flexible, el diafragma, con el fin de generar una fuerza para desplazar al elemento de cierre.

Carcasa del diafragma: Alojamiento con una sección superior y otra inferior, que se utiliza para sostener un diafragma y establecer una o dos cámaras de presión.

Plato del diafragma: Plato rígido concéntrico con el diafragma para transmitir fuerza al vástago del actuador.

Actuador de acción directa: Actuador cuyo vástago se extiende al aumentar la presión de carga. Consulte la Figura 1.9.

Figura 1.7 Jaulas (izquierda a derecha): Lineal, Igual porcentaje, Apertura rápida

Bonete con extensión: Bonete de mayor tamaño entre el prensaestopas y la brida del bonete para servicios fríos o calientes.

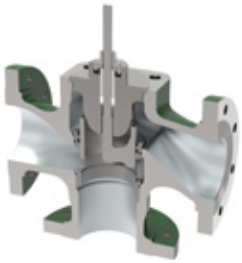


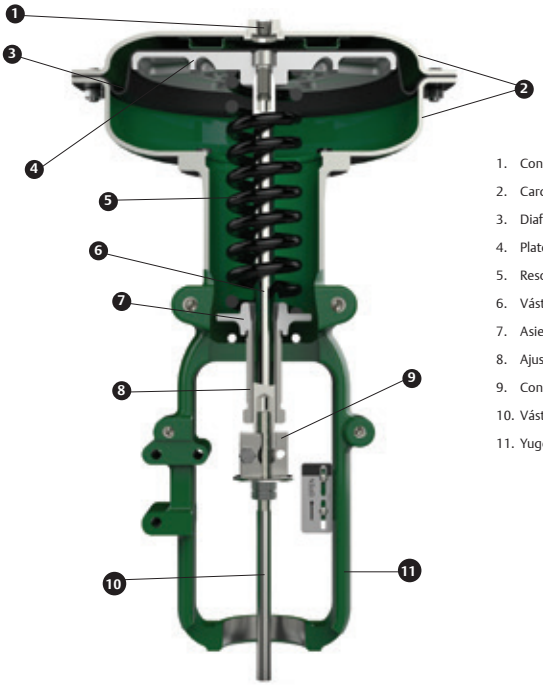
Figura 1.8 Válvula de globo de tres vías

Válvula de globo: Válvula con elemento de cierre de movimiento lineal, una o más lumbreras y un cuerpo que se distingue por una cavidad de forma globular alrededor de la zona de la lumbrera. Las válvulas de globo se pueden clasificar además como: de una sola lumbrera bidireccional (Figura 1.3); de doble lumbrera bidireccional; de estilo angular o de tres vías (Figura 1.8).

Presión de carga: Fluido, normalmente aire comprimido, aplicado al diafragma o al pistón en un actuador neumático.

Válvula excéntrica: Estructura de válvula con conexiones de líneas de entrada y de salida en distintos planos, aunque a 180 grados de distancia entre sí.

Prensaestopas (conjunto): Parte del conjunto del bonete que se utiliza para sellar contra fugas el entorno del vástago del elemento de cierre. El conjunto de prensaestopas completo incluye diversas combinaciones de algunos o todos los componentes siguientes: empaquetadura, buje de la empaquetadura, tuerca de la empaquetadura, anillo de cierre hidráulico, muelle de la empaquetadura, espárragos o pernos de brida de empaquetadura, tuercas de brida de la empaquetadura, anillo de empaquetadura, aro rascador de fieltro, muelles Belleville y anillo antiextrusión. Consulte la Figura 1.11.



1. Conexión de presión de carga
2. Carcasa del diafragma
3. Diafragma
4. Plato del diafragma
5. Resorte del actuador
6. Vástago del actuador
7. Asiento del resorte
8. Ajustador de resorte
9. Conector del vástago
10. Vástago de la válvula
11. Yugo

Figura 1.9 Actuador de acción directa

Pistón: Elemento rígido móvil que reacciona a la presión y que transmite fuerza al vástago del actuador del pistón.

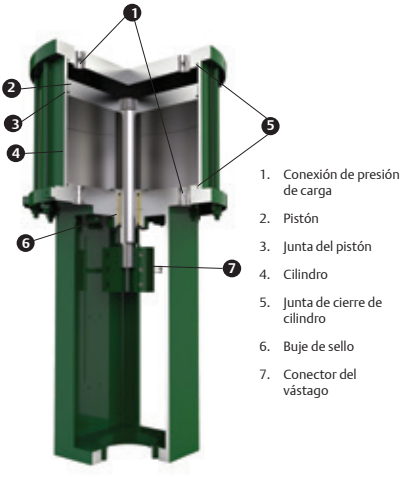


Figura 1.10 Actuador de tipo pistón

Actuador de tipo pistón: Dispositivo accionado por fluido en el que este, generalmente aire comprimido, actúa en un pistón móvil para proporcionar movimiento al vástago del actuador y fuerza de asiento tras el cierre. Los actuadores de tipo pistón se clasifican como de doble acción, que aplican toda la fuerza en una dirección, o de resorte en caso de fallo, de modo que al producirse la pérdida de alimentación, el actuador desplaza la válvula en la dirección de carrera necesaria. Consulte la Figura 1.10.

Puerto: Orificio o lumbrera de control de flujo de la válvula de control.

Anillo de retención: Anillo partido que se utiliza para retener una brida separable en un cuerpo de válvula.

Actuador de acción inversa: Actuador cuyo vástago se repliega al aumentar la presión de carga. Los actuadores inversos tienen un buje estanco instalado en el extremo superior del yugo para impedir la fuga de la presión de carga a lo largo del vástago del actuador. Consulte la Figura 1.12.

Guardapolvos: Dispositivo protector que impide la entrada de materia extraña nociva en el buje de sello del actuador del pistón.

Buje de sello: Bujes superior e inferior que sellan el cilindro del actuador del pistón para impedir fugas. En los bujes se utilizan juntas tóricas de caucho sintético para sellar el cilindro, el vástago del actuador y la extensión del vástago del actuador.

Asiento: Zona de contacto entre el elemento de cierre y su superficie de contacto que determina el cierre de la válvula.

Carga del asiento: Fuerza neta de contacto entre el elemento de cierre y el asiento en las condiciones estáticas indicadas. En la práctica, la elección de un actuador para una válvula de control determinada deberá basarse en la cantidad de fuerza que se necesite para superar la estática, el vástago y el desequilibrio dinámico con una tolerancia para la carga de asiento adecuada.

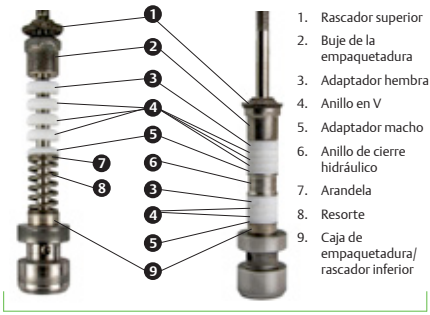


Figura 1.11 Empaquetadura

Anillo de asiento: Parte del conjunto del cuerpo de la válvula que actúa como superficie de asiento para el elemento de cierre y que puede aportar parte del orificio de control del flujo.

Brida separable: Brida que se sitúa sobre una conexión de flujo del cuerpo de la válvula. Se suele fijar en su posición mediante un anillo de retención.

Ajustador de resorte: Elemento, generalmente enroscado en el vástago del actuador o en el yugo, que ajusta la comprensión del resorte (consulte ajuste de banco en Terminología referente a funciones y características de las válvulas de control).

Asiento del resorte: Placa que sostiene al resorte en su posición y que actúa como superficie plana para el contacto del ajustador de resorte.

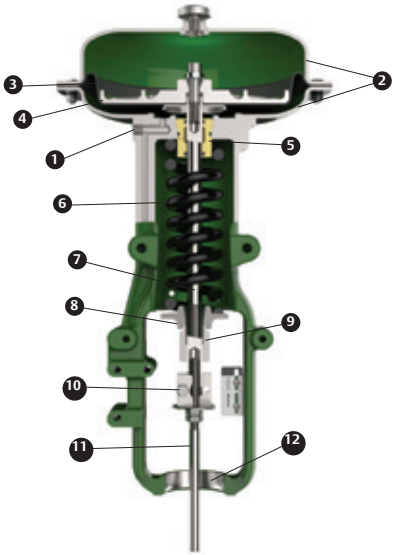
Desequilibrio estático: Fuerza neta generada en el vástago de la válvula por la presión del fluido de proceso que actúa en el elemento de cierre y el vástago, con el fluido en reposo y en las condiciones de presión indicadas.

Conector del vástago: Dispositivo que conecta el vástago del actuador con el de la válvula.

Internos: Componentes internos de la válvula que modulan el flujo del fluido controlado. En el cuerpo de una válvula de globo, normalmente los internos incluyen el elemento de cierre, el anillo de asiento, la jaula, el vástago y el pasador del vástago.

Internos de asiento suave: Internos de válvula con un material elastomérico, plástico u otro fácilmente deformable que se utiliza en el componente de cierre o el anillo de asiento para proporcionar un cierre hermético con una fuerza mínima del actuador.

Cuerpo de la válvula: Límite de la presión principal de la válvula que también actúa en los extremos de conexión de tubos y el paso del flujo de fluido, así como en las superficies de asiento y el elemento de cierre de la válvula. Entre las estructuras de cuerpo de válvula más habituales se encuentran: cuerpos de válvula de una lumbrera y un obturador, cuerpos con doble lumbrera y un obturador, válvulas bidireccionales con dos conexiones de flujo, una de entrada y una de salida, cuerpos de válvula de tres vías y tres



1. Conexión de presión de carga
2. Carcasa del diafragma
3. Diafragma
4. Plato del diafragma
5. Buje de sello
6. Resorte del actuador
7. Vástago del actuador
8. Asiento del resorte
9. Ajustador de resorte
10. Conector del vástago
11. Vástago de la válvula
12. Yugo

Figura 1.12 Actuador de acción inversa

conexiones de flujo, dos de entrada y una de salida (para flujos convergentes o combinados), o una de entrada y dos de salida (para flujos divergentes o desviados). El término "cuerpo de válvula", incluso solo "cuerpo", suele utilizarse para definir al cuerpo de válvula junto con el conjunto del bonete y las piezas de los internos que contienen. Con mayor propiedad, este grupo de componentes debería denominarse conjunto de cuerpo de la válvula.

Conjunto de cuerpo de la válvula *(habitualmente cuerpo de válvula o válvula, pero su denominación correcta es conjunto de cuerpo de la válvula)***:** Conjunto de cuerpo de la válvula, conjunto del bonete, brida inferior (si está incluida) y elementos de los internos. Los internos incluyen el elemento de cierre, que se abre, se cierra u obstruye parcialmente una o más lumbreras.

Obturador de la válvula: Término con que suele definirse el elemento de cierre de una válvula de vástago deslizante.

Vástago de la válvula: En una válvula de movimiento lineal, pieza que conecta el vástago del actuador con el elemento de cierre.

Yugo: Estructura que conecta rígidamente la unidad de alimentación del actuador con la válvula. ■

1.3 Terminología referente a la válvula de control rotativa

La siguiente terminología se aplica a las características físicas y operativas de las válvulas de control rotativas con diafragma o actuadores de pistón. Los elementos de cierre (bolas, discos, obturadores excéntricos, etc.) de un diseño rotativo realizan una función parecida a la del obturador de una válvula de control de vástago deslizante. Es decir, cuando rotan hacen variar el tamaño y la forma de la corriente de flujo al abrir más o menos la sección de sellado al fluido. Muchas de las definiciones que se ofrecen son conformes con ISA S75.05, Terminología referente a Válvulas de Control, aunque también se incluyen otros términos habituales. Algunos de los términos referidos a actuadores también pueden aplicarse a las válvulas de control rotativas. Para algunos de los términos más complejos se ofrecen explicaciones adicionales. Las secciones adicionales de este capítulo definen terminología específica sobre control de procesos generales y funciones y características de las válvulas de control.

Figura 1.13 Válvula de control rotativa

Palanca del actuador: Brazo fijado a la flecha de la válvula rotativa para el movimiento del eje de válvula para convertir el movimiento lineal del vástago del actuador en fuerza rotatoria (par de torsión) para posicionar un disco o bola de una válvula rotativa. La palanca suele estar conectada positivamente al rotativo mediante estrías de tolerancia escasa u otros medios con el fin de reducir el movimiento de huelgo y pérdida.

Bola completa: Elemento de cierre de flujo de las válvulas de control rotativas que utiliza una esfera completa con un paso de flujo cilíndrico a través de ella. El paso de flujo coincide con el diámetro del tubo.

Bola segmentada: Elemento de cierre de flujo de las válvulas de control rotativas que utiliza un esfera parcial con un paso de flujo a través de ella.

Figura 1.14 Bola segmentada

Bola con muesca en V: El tipo más común de válvula de control de bola segmentada. La bola con muesca en V contiene una superficie esférica parcial pulida o enchapada que gira contra el anillo de sello a través del rango de carrera. La ranura en forma de V de la bola permite una gran rangeabilidad y genera una característica de flujo de igual porcentaje.

Figura 1.15 Bola con muesca en V

Disco convencional: Elemento de cierre de flujo simétrico utilizado en las variedades más habituales de válvulas rotativas de mariposa. Los pares altamente dinámicos normalmente limitan los discos convencionales a una rotación máxima de 60 grados en el servicio de reducción de presión.

Disco de reducción dinámica: Disco de válvula de mariposa contorneado para reducir el par dinámico en grandes incrementos de rotación, por lo que es adecuado para el servicio de reducción de presión con hasta 90 grados de rotación de disco.

Disco excéntrico: Nombre habitual de un diseño de válvula en el que la posición excéntrica de las conexiones de flecha/disco de la válvula hace que el disco siga un recorrido ligeramente descentrado (de leva) en la apertura. Esto permite que el disco gire fuera de contacto con la junta en cuanto se abra, reduciendo así la fricción y el desgaste.

Figura 1.16 Válvula de disco excéntrico

Válvula sin brida: Estilo habitual de las válvulas de control rotativas. Las válvulas sin brida se sostienen entre bridas conformes con ANSI/ASME mediante pernos pasantes largos (también se les suele llamar cuerpos de válvula estilo oblea o wafer).

Obturador excéntrico: Estilo de válvula de control rotativa con un obturador de giro excéntrico con levas que entran y salen del asiento, lo cual reduce la fricción y el desgaste. Este tipo de válvula es adecuado para aplicaciones erosivas.

Flujo inverso: Flujo desde el lado de la flecha/buje a la parte posterior del disco, bola u obturador. Algunas válvulas de control rotativas pueden controlar el flujo con igual eficacia en cualquiera de las dos direcciones. Otros diseños rotativos pueden requerir la modificación del acoplamiento del actuador para manejar el flujo inverso.

Cojinete de extremo de biela: Conexión que suele utilizarse entre el vástago del actuador y la palanca del mismo para facilitar la conversión del empuje lineal del actuador en fuerza rotativa (par) con un mínimo de pérdida de movimiento. El uso de un actuador oscilante estándar en un cuerpo de válvula rotativa suele requerir el acoplamiento con dos cojinetes de extremo de biela. No obstante, la elección de un actuador diseñado específicamente para el servicio de válvula rotativa solo requiere uno de esos cojinetes y, por lo tanto, reduce la pérdida de movimiento.

Válvula de control rotativa: Tipo de válvula en la que el elemento de cierre de flujo (bola completa, bola parcial, disco u obturador) se gira en la corriente de flujo para controlar la capacidad de la válvula. Consulte la Figura 1.17.

Anillo de sello: Parte de un conjunto de válvula de control rotativa que corresponde al anillo de asiento de una válvula de globo. La posición del disco o bola en relación con el anillo de sello determina la sección y capacidad de flujo de la unidad en un incremento determinado de carrera rotativa.

Flecha: Parte de un conjunto de válvula de control rotativa que corresponde al vástago de una válvula de globo. La rotación de la flecha sitúa al disco o bola en la corriente de flujo y controla el caudal a través de la válvula.

Junta deslizante: Junta de cilindro inferior de un actuador de pistón neumático diseñada para el servicio de válvula rotativa. Esta junta permite el movimiento vertical y lateral del vástago del actuador sin producir fugas de la presión de carga del cilindro inferior, por lo que es posible utilizar un solo cojinete de extremo de biela.

Flujo estándar: En las válvulas de control rotativas que tienen un anillo de sello o aro de servicio aparte, la dirección de flujo en la que el fluido entra en el cuerpo de la válvula por la tubería adyacente al anillo de sello y sale por el lado opuesto de dicho anillo. También se le suele llamar corriente progresiva o corriente frente al elemento de cierre. Consulte también Flujo inverso.

Montaje sobre muñón: Estilo de montaje del disco o bola en la flecha de válvula o la flecha de mangueta con dos cojinetes diametralmente opuestos. ■

1.4 Terminología referente a funciones y características de las válvulas de control

Ajuste de banco: Procedimiento de calibración de un resorte de actuador que puede utilizar una escala de presiones para situar una válvula por completo en su carrera nominal (consulte Rango de presión inherente del diafragma).

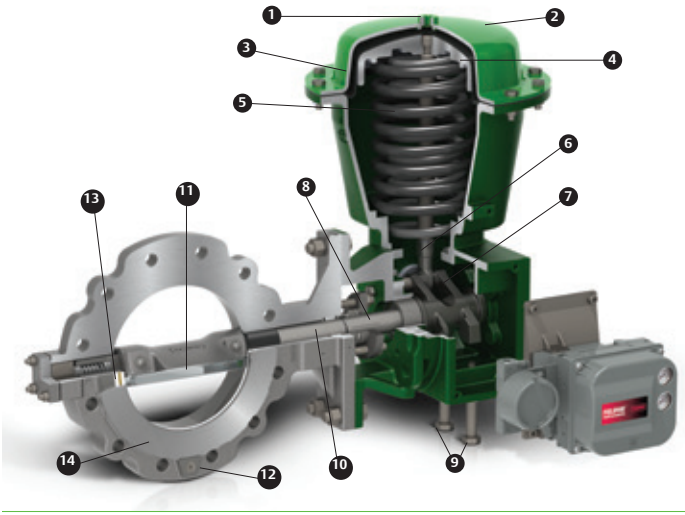
Capacidad: Cantidad de flujo a través de una válvula (C_v o K_v), en las condiciones indicadas.

Claro de flujo: Flujo que se produce por debajo del mínimo controlable con el elemento de cierre sin estar asentado por completo.

Intervalo de presión de diafragma: Diferencia entre los valores alto y bajo del rango de presión de carga del diafragma.

Actuador de acción doble: Actuador al que la energía neumática, hidráulica o eléctrica se aplica en cualquier dirección.

Desequilibrio dinámico: Fuerza neta generada en el obturador de la válvula, en cualquier posición de apertura, por la presión del proceso de fluido que actúa en él.



1. Conexión de presión de carga
2. Carcasa del diafragma
3. Diafragma
4. Plato del diafragma
5. Resorte
6. Vástago del actuador
7. Palanca
8. Flecha
9. Tope de carrera
10. Empaquetadura
11. Disco
12. Cuerpo
13. Cierre
14. Retén de cierre

Figura 1.17 Válvula de control rotativa

Área efectiva: En un actuador, parte de la sección del diafragma o del pistón que genera fuerza en el vástago. La zona efectiva de un diafragma puede cambiar con el movimiento, en general un máximo al principio y un mínimo al final del rango de carrera. Los diafragmas moldeados tienen menos cambios en la zona efectiva que los diafragmas de lámina plana, por lo que se recomienda el uso de estos últimos.

Falla cierra: Situación en la que el elemento de cierre de la válvula se desplaza a la posición de cierre cuando falla la fuente de energía actuante.

Falla abre: Situación en la que el elemento de cierre de la válvula se desplaza a la posición de apertura cuando falla la fuente de energía actuante.

A prueba de fallos: Característica de válvula y actuador, que al producirse la pérdida de suministro de energía actuante, hace que el elemento de cierre se cierre o abra por completo, o permanezca en la última posición, la que sea que se defina como necesaria para proteger al proceso y al equipo. La acción puede implicar el uso de controles auxiliares conectados al actuador.

Característica de flujo: Relación entre el caudal que pasa a través de la válvula y el porcentaje de la carrera nominal, que varía de 0 a 100%. Este término siempre se debe designar como característica de flujo inherente o característica de flujo instalada (consulte las definiciones en la sección Terminología del control de procesos).

Coeficiente de flujo (C_v): Constante relativa a la geometría de la válvula, con una carrera determinada, que puede utilizarse para establecer la capacidad de flujo. Número de galones estadounidenses por minuto de agua a 16 °C (60 °F) que fluye a través de la válvula con una caída de presión de 1 libra por pulgada cuadrada.

Válvula de recuperación alta: Diseño de válvula que disipa una energía de corriente de flujo relativamente pequeña debido a los contornos internos perfilados y a la turbulencia de flujo mínima. Por lo tanto, la presión aguas abajo de la vena contracta de la válvula recupera un alto porcentaje de su valor de admisión. Las válvulas de flujo directo, como las de bola rotativas, suelen ser de alta recuperación.

Rango de presión inherente del diafragma: Valores de presión altos y bajos aplicados al diafragma para generar una carrera de obturador de válvula nominal con presión atmosférica en el cuerpo de la válvula. Este rango suele utilizarse como referencia porque será el que utilice la válvula al colocarse en el banco de pruebas.

Característica de flujo inherente: Relación existente entre el caudal y la carrera del elemento de cierre al desplazarse de la posición de cierre a la carrera nominal con caída de presión constante en toda la válvula.

Gama de presión de diafragma instalada: Valores de presión altos y bajos aplicados al diafragma para generar una carrera nominal con condiciones determinadas en el cuerpo de la válvula. Se debe a las fuerzas que actúan en el elemento de cierre que el rango de presión inherente del diagrama difiera del rango de presión de diafragma instalada.

Característica de flujo instalada: Relación existente entre el caudal y la carrera del elemento de cierre al desplazarse de la posición de cierre a la carrera nominal como caída de presión constante en toda la válvula según influyan las distintas condiciones de proceso.

Válvula de recuperación baja: Diseño de válvula que disipa una cantidad importante de energía de la corriente de flujo debido a la turbulencia creada por los contornos de la vía de circulación. Por lo tanto, la presión aguas abajo de la vena contracta de la válvula recupera un menor porcentaje de su valor de admisión que una válvula con una vía de circulación más perfilada. Aunque los diseños son distintos, las válvulas de globo convencionales tienen en general baja capacidad de recuperación de presión.

Característica de flujo parabólica modificada: Característica de flujo inherente que proporciona iguales porcentajes con carrera de elemento de

cierre baja y aproximadamente una característica lineal en las partes más altas de la carrera del elemento de cierre.

Válvula normalmente cerrada: Consulte Falla cierra.

Válvula normalmente abierta: Consulte Falla abre.

Diseño PDTC (Push-Down-to-Close, empujar hacia abajo para cerrar): Estructura de válvula estilo globo en la que el elemento de cierre está situado entre el actuador y el anillo de asiento, de modo que la extensión del vástago del actuador desplaza al elemento de cierre hacia dicho anillo y, en última instancia, cierra la válvula. El término también puede aplicarse a las estructuras de válvula rotativa en las que la extensión lineal del vástago del actuador desplaza la bola o el disco hacia la posición de cierre. También se denomina de acción directa.

Diseño PDTO (Push-Down-to-Open, empujar hacia abajo para abrir): Estructura de válvula estilo globo en la que el anillo de asiento está situado entre el actuador y el elemento de cierre, de modo que la extensión del vástago del actuador desplaza al elemento de cierre desde dicho anillo y abre la válvula. El término también puede aplicarse a las estructuras de válvula rotativa en las que la extensión lineal del vástago del actuador desplaza la bola o el disco hacia la posición de apertura. También se denomina de acción inversa.

Rangeabilidad: Relación entre el coeficiente de flujo mayor (C_v o K_v) y el menor (C_v o K_v) dentro del cual la desviación desde la característica de flujo especificada no supera los límites establecidos. Una válvula que ejerza un control eficaz cuando el caudal aumente a 100 veces el mínimo controlable, tiene una rangeabilidad de 100 a 1. La rangeabilidad también se puede expresar como la relación de los caudales controlables máximo a mínimo.

Coeficiente de flujo nominal (C_v): Coeficiente de flujo (C_v) de la válvula a carrera nominal.

Carrera nominal: Distancia del movimiento del elemento de cierre desde la posición de cierre hasta la de apertura total nominal. La posición de apertura total nominal es la apertura máxima recomendada por los fabricantes.

Coeficiente de flujo relativo (C_v): Relación entre el coeficiente de flujo (C_v) a una carrera determinada y el coeficiente de flujo (C_v) a una carrera nominal.

Fuga del asiento: Cantidad de fluido que pasa a través de la válvula cuando esta se encuentra en posición de cierre total y se aplica la carga de asiento máxima disponible con la presión diferencial y la temperatura especificadas.

Constante elástica (K_s): Cambio de fuerza por cada cambio de unidad en la longitud de un resorte. En los actuadores de diafragma, la capacidad del resorte se establece generalmente en la compresión de libras fuerza por pulgada.

Vena Contracta: Parte de una corriente de flujo en la que la velocidad del fluido está al máximo y la presión estática del fluido, así como la superficie de la sección transversal, están al mínimo. En una válvula de control, la vena contracta normalmente se produce justo aguas abajo de la restricción física real. ■

1.5 Terminología del control de procesos

Los siguientes términos y definiciones que no se han explicado previamente suelen utilizarlos las personas que trabajan con válvulas de control, instrumentos y accesorios. Algunos de los términos, marcados con un asterisco (*), proceden de la norma ISA, Terminología de los instrumentos de proceso, ISA 51.1. También se incluyen otros términos de uso habitual en la industria de las válvulas de control.

Accesorio: Dispositivo montado en el conjunto de una válvula de control para complementar diversas funciones o generar las acciones que se deseen, en especial la actuación (por ej., posicionadores, reguladores de presión de suministro, solenoides, disyuntores, etc.).

Actuador*: Dispositivo con alimentación neumática, hidráulica o eléctrica que suministra fuerza y movimiento para abrir o cerrar una válvula.

Conjunto de actuador: El actuador, incluidos todos los accesorios que lo convierten en una unidad operativa completa.

ANSI: Abreviatura de American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares).

API: Abreviatura de American Petroleum Institute (Instituto Estadounidense del Petróleo).

ASME: Abreviatura de American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos).

ASTM: Se utiliza para denominar a la American Society for Testing and Materials (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales). Cuando la organización alcanzó un ámbito internacional, el nombre se cambió por el de ASTM International. ASTM ya no es una abreviatura.

Sistema de control automático*: Sistema de control que funciona sin necesidad de intervención humana.

Holgura: Forma de banda muerta o inactiva que se produce por una interrupción temporal entre la entrada y la salida de un dispositivo cuando la entrada cambia de dirección (es decir, aflojamiento o soltura de una conexión mecánica).

Diagrama de Bode*: Representación de los valores de relación de amplitud y de ángulo de fase en una base de frecuencia para una función de transferencia. Es la manera más habitual de representar gráficamente los datos de respuesta de frecuencia.

Curva de calibración*: Representación gráfica del informe de calibración. Salida estable especificada de un dispositivo trazada como función de la entrada estable. La curva suele presentarse como un intervalo de salida porcentual frente al intervalo de entrada porcentual.

Ciclo de calibración*: Aplicación de valores conocidos de la variable medida y grabación de los valores correspondientes de las lecturas de salida, en el rango del instrumento y en direcciones ascendente y descendente. Curva de calibración obtenida al variar la entrada de un dispositivo en las direcciones ascendente y descendente. Generalmente se muestra como un intervalo de salida porcentual frente al intervalo de entrada porcentual y ofrece una medición de la histéresis.

Capacidad* (válvula): Cantidad de flujo a través de una válvula (C_v) en las condiciones indicadas.

Bucle cerrado: Interconexión de los componentes de control de procesos, de modo que la información referente a la variable de proceso se realimente continuamente a un punto de ajuste de controlador para ofrecer correcciones constantes y automáticas a la variable de proceso.

Elemento de cierre: Elemento de los internos de la válvula (también conocido como obturador, disco, bola segmentada o bola de lumbrera completa) que se utiliza para modular el caudal en una válvula de control.

Controlador: Dispositivo que funciona de manera automática, mediante algún algoritmo establecido, para regular una variable controlada. La entrada del controlador recibe información acerca del estado de la variable de proceso y a continuación emite una señal de salida adecuada al elemento de control final.

Bucle de control: Consulte Bucle cerrado o Bucle abierto.

Rango de control: Rango de la carrera de una válvula de control en la que puede mantener la ganancia instalada entre los valores normalizados de 0,5 y 2,0.

Conjunto de válvula de control: Dispositivo utilizado para modular el flujo de fluido variando el tamaño del paso de flujo según la indicación de una señal de controlador.

Banda muerta: Fenómeno general que se puede aplicar a cualquier dispositivo, en el que se puede se puede variar una señal de

entrada, tras la inversión de la dirección, sin iniciar un cambio observable en la señal de salida. En las válvulas de control, la salida del controlador (CO) es la entrada al conjunto de la válvula y la variable de proceso (PV) es la salida, como se muestra en la Figura 1.18. Cuando se hable sobre la banda muerta, es importante identificar las variables de entrada y de salida, y que se realicen pruebas cuantificables en condiciones de carga completa. La banda muerta se expresa típicamente como porcentaje del intervalo de entrada.

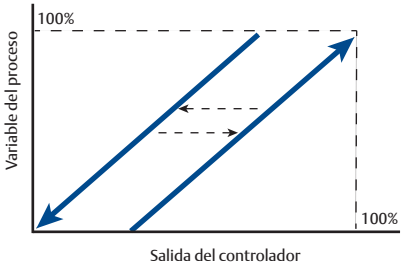


Figura 1.18 Banda muerta

Tiempo muerto: Intervalo de tiempo (T_d) en el que no se detecta la respuesta del sistema tras una entrada en escalón pequeña (generalmente de 0,25% - 5%). El tiempo se calcula desde el momento en que se inicia la entrada en escalón hasta la primera respuesta detectable del sistema. El tiempo muerto se puede aplicar a un conjunto de válvula o a todo el proceso. Consulte T63.

Entalpía: Cantidad termodinámica que es la suma de la energía interna de un cuerpo y el producto de su volumen multiplicado por la presión: H = U + pV. También se denomina contenido calórico.

Entropía: Medida teórica de la energía que no se puede transformar en trabajo mecánico en un sistema termodinámico.

Característica de igual porcentaje: Característica de flujo inherente que, a incrementos iguales de carrera nominal, ofrecerá idealmente cambios equiporcentuales del coeficiente de flujo (C_v) respecto al C_v existente.

Señal de retroalimentación*: Señal de retorno que resulta de una medición de la variable directamente controlada. En el caso de una válvula de control con posicionador, la señal de retorno suele ser una indicación mecánica de la posición del vástago del elemento de cierre que se realimenta al posicionador.

FCI: Abreviatura de Fluid Controls Institute (Instituto de Control de Fluidos). Suministra normas y material educativo para asistir a compradores y usuarios en la comprensión y uso de equipos de control y acondicionamiento de fluidos.

Elemento final de control: Dispositivo que implementa la estrategia de control determinada por la salida de un controlador. Si bien el elemento final de control puede adoptar muchas formas (amortiguadores, dispositivos de conmutación de activación/desactivación, etc.), el más habitual en la industria actual es el conjunto de válvula de control. Las válvulas de control modulan el fluido del flujo (gas, vapor, agua, compuestos químicos, etc.) para compensar las alteraciones de carga y mantener la variable de proceso regulada lo más cerca posible del punto de ajuste.

Primer orden: Término que hace referencia a la relación dinámica entre la entrada y la salida de un dispositivo. Los sistemas o dispositivos de primer orden tienen un solo dispositivo de almacenamiento de energía y la relación transitoria dinámica entre la entrada y la salida se caracteriza por un comportamiento exponencial.

Característica de respuesta en frecuencia*: Relación dependiente de la frecuencia, tanto de amplitud como de fase, entre entradas senoidales de régimen permanente y las salidas senoidales fundamentales resultantes. Los cambios de amplitud y fase de salida se consideran funciones de la frecuencia de prueba de entrada y se utilizan para describir el comportamiento dinámico del dispositivo de control.

Fricción: Fuerza que tiende a oponerse al movimiento relativo entre dos superficies en contacto. La fuerza asociada es una función de la fuerza normal que mantiene unidas

esas dos superficies y la naturaleza característica de ellas. La fricción tiene dos componentes: fricción estática y fricción dinámica. La fricción estática (también denominada oscilaciones de relajación o adherencia estática) es la fuerza que se debe superar antes de que exista ningún movimiento relativo entre las dos superficies. La fricción estática también es una de las principales causas de banda muerta en un conjunto de válvula. Una vez que se inicia el movimiento relativo, la fricción dinámica (también conocida como fricción deslizante) es la fuerza que se debe superar para mantener el movimiento relativo.

Ganancia: Término utilizado para describir la relación de magnitud entre el cambio de salida de un sistema o dispositivo determinado y la magnitud de un cambio de entrada que haya provocado el cambio de salida. La ganancia tiene dos componentes: ganancia estática y ganancia dinámica. Ganancia estática (también conocida como sensibilidad) es la relación de ganancia entre la entrada y la salida y es un indicador de la facilidad con la que la entrada puede iniciar un cambio en la salida cuando el sistema o dispositivo está en una condición de régimen permanente. La ganancia dinámica es la relación entre la entrada y la salida cuando el sistema está en un estado de movimiento o flujo. La ganancia dinámica es una función de frecuencia o velocidad de cambio de la entrada.

Dureza: Resistencia del metal a la deformación plástica, generalmente por penetración. Resistencia de plásticos y caucho a la penetración de un punto indentador en su superficie.

Fluctuación*: Oscilación indeseada de una magnitud importante, que se prolonga después de desaparecer los estímulos externos. La fluctuación, a veces denominada ciclo o ciclo límite, evidencia el funcionamiento en o cerca del límite de estabilidad. En aplicaciones de válvula de control, la fluctuación aparece como una oscilación en la presión de carga al actuador causada por la inestabilidad del posicionador de válvula.

Histéresis*: Diferencia máxima en el valor de salida de un solo valor de entrada durante un ciclo de calibración, excluidos los errores debidos a banda muerta o inactiva. Retardo de un efecto cuando cambian las fuerzas que actúan sobre un cuerpo (por ejemplo, debido a la viscosidad o a la fricción interna).

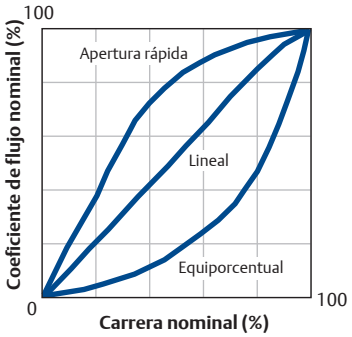


Figura 1.19 Característica inherente de válvula

Característica inherente*: Relación existente entre el coeficiente de flujo y la carrera del elemento de cierre al desplazarse de la posición de cierre a la carrera nominal con caída de presión constante en toda la válvula. Normalmente, esas características se trazan como una curva, en la que el eje horizontal está etiquetado con carrera porcentual y el eje vertical como flujo porcentual (o C_v). Dado que el flujo de la válvula es una función tanto de la carrera de la válvula como de la caída de presión a través de la válvula, las pruebas de característica de flujo a caída de presión constante ofrece una manera sistemática de comparar el diseño característico de una válvula con el de otra. Las características típicas de la válvula obtenidas de este modo se denominan lineales, equiporcentuales y de apertura rápida.

Ganancia inherente de la válvula: Relación de magnitud entre el cambio de flujo a través de la válvula y el cambio de carrera de la válvula en condiciones de caída de presión constante. La ganancia inherente de la válvula es una función inherente del diseño de la misma. Es igual a la pendiente de la curva característica inherente en cualquier punto de la carrera y es una función de la

carrera de la válvula.

Característica instalada*: Relación existente entre el caudal y la carrera del elemento de cierre (disco) al desplazarse de la posición de cierre a la carrera nominal con la caída de presión constante en toda la válvula influida por las distintas condiciones de proceso.

Ganancia instalada de la válvula: Relación de magnitud entre el cambio de flujo a través de la válvula y el cambio de carrera de la válvula en condiciones de proceso reales. La ganancia instalada de la válvula es la relación de ganancia de válvula que se produce cuando la válvula se instala en un sistema específico y la caída de presión puede cambiar de manera natural, de acuerdo con los dictados del sistema general. La ganancia instalada de la válvula es igual a la pendiente de la curva característica instalada y es una función de la carrera de la válvula.

Presión del instrumento: Presión de salida de un controlador automático utilizado para operar una válvula de control.

I/P: Se utiliza para referirse a corriente-a-presión (I-to-P). Se suele aplicar a los módulos de transductor de entrada.

ISA: Abreviatura de International Society for Automation (Sociedad Internacional para la Automatización).

Linealidad*: Cercanía con la que una curva relativa a dos variables se aproxima a una línea recta. También significa que la misma línea recta se aplicará a las direcciones ascendente y descendente. De este modo, la banda muerta antes definida se considerará típicamente como sin linealidad.

Característica lineal*: Característica de flujo inherente que se puede representar con una línea recta en un trazado rectangular de coeficiente de flujo (C_v) frente a la carrera nominal. Por lo tanto, los incrementos iguales de carrera ofrecen incrementos iguales de coeficiente de flujo, C_v.

Presión de carga: Presión que se emplea para posicionar un actuador neumático. Es una presión que se aplica al diafragma o pistón del actuador y que puede ser la presión de instrumento si no se utiliza un posicionador de válvulas.

Bucle: Consulte Bucle cerrado o Bucle abierto.

Ganancia de bucle: Ganancia combinada de todos los componentes del bucle cuando se ve en una serie alrededor del mismo. También se suele definir como ganancia de bucle abierto. Se debe especificar claramente si se hace referencia a la ganancia de bucle estático o de bucle dinámico a una determinada frecuencia.

Control manual: Consulte Bucle abierto.

NACE: Se utiliza para referirse a la National Association of Corrosion Engineers (Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión). Cuando la organización alcanzó un ámbito internacional, el nombre se cambió por el de NACE International. NACE ya no es una abreviatura.

Bucle abierto: Estado en el que se interrumpe la interconexión de los componentes de control de proceso, por ejemplo, la información de la variable de proceso ya no se realimenta al punto de ajuste del controlador, de modo que no se suministran correcciones a la variable de proceso. Normalmente, esto sucede al situar el controlador en posición de operación manual.

Elemento operativo: Fluido, generalmente aire o gas, que se utiliza para suministrar energía para el funcionamiento de un posicionador de válvula o un controlador automático.

Límites de funcionamiento*: Rango de condiciones operativas al que se puede someter un dispositivo sin desmedro permanente de las características de funcionamiento.

OSHA: Abreviatura de Occupational Safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional). (EE UU).

Empaquetadura: Parte del conjunto de válvula que se utiliza para sellar contra fugas el entorno del disco o del vástago de la válvula.

Posicionador*: Controlador de posición (servomecanismo) conectado mecánicamente a una pieza móvil de un elemento de control final o a su actuador y que, automáticamente, ajusta la salida al actuador para mantener la posición que se desee en proporción a la señal de entrada.

Proceso: Combinación de todos los elementos del bucle de control, excepto el controlador. En ciertos case se refiere al fluido que pasa por el bucle.

Ganancia de proceso: Relación entre cambio de la variable de proceso controlada con el cambio correspondiente en la salida del controlador.

Variabilidad del proceso: Medida estadística precisa del grado de control del proceso respecto al punto de ajuste. Normalmente, la variabilidad de proceso se define con un porcentaje (2s/m), donde m es el punto de ajuste o valor medio de la variable de proceso medida y s es la desviación estándar de la variable de proceso.

Característica de apertura rápida (QO)*: Característica de flujo inherente en la que se consigue un coeficiente de flujo máximo con un cierre mínimo de la carrera del elemento de cierre.

Rango: Región entre los límites en los que una cantidad se mide, recibe o transmite, que se expresa al establecer los valores de rango superior e inferior. Por ejemplo: De 3 a 15 psi: -40 a 100 °C (-40 a 212 °F).

Relé: Dispositivo que actúa como amplificador de potencia. Toma una señal de entrada eléctrica, neumática o mecánica y genera la salida de un flujo de gran volumen de fluido de aire o hidráulico al actuador. El relé puede ser un componente interno del posicionador o un accesorio aparte de la válvula.

Repetibilidad*: La similitud entre un número de mediciones consecutivas de la salida con el mismo valor de la entrada bajo las mismas condiciones de operación, aproximándose en la misma dirección, para recorridos de rango total. Normalmente se mide como sin repetibilidad y se expresa como repetibilidad en el porcentaje de un intervalo. No incluye la histéresis.

Resolución: Cambio mínimo posible de la entrada que se requiere para producir un cambio detectable en la salida cuando no existe inversión de la entrada. La resolución se expresa típicamente como porcentaje del intervalo de entrada.

Tiempo de respuesta: Se suele medir con un parámetro que incluye el tiempo muerto y la constante de tiempo (consulte T63, Tiempo muerto y Constante de tiempo). Si se aplica a la válvula, incluye todo el conjunto de válvula.

Segundo orden: Término que hace referencia a la relación dinámica entre la entrada y la salida de un dispositivo. Un sistema o dispositivo de segundo orden tiene dos dispositivos de almacenamiento de energía que pueden transferirse energía cinética y potencial, introduciendo así la posibilidad de comportamiento oscilatorio y desbordamiento.

Sensibilidad*: Relación entre el cambio de la magnitud de salida y el cambio de la entrada que lo provoca después de alcanzarse el estado de régimen permanente.

Sensor: Dispositivo que detecta el valor de la variable de proceso y suministra la señal de salida correspondiente a un transmisor. El sensor puede estar integrado en el transmisor o ser un componente aparte.

Punto de ajuste: Valor de referencia que representa el valor deseado de la variable de proceso que se controla.

Wind-Up de la flecha: Fenómeno por el cual un extremo de la flecha de la válvula se gira y el otro no lo hace. Suele suceder en válvulas rotativas en las que el actuador está conectado al elemento de cierre de la válvula mediante una flecha relativamente larga. Mientras la fricción de cierre de la válvula mantiene un extremo de la flecha en su posición, la rotación de la flecha en el extremo del actuador es absorbida por el giro de la flecha hasta que la entrada del actuador transmite suficiente fuerza para superar la fricción.

Señal*: Variable física, de la que uno o dos parámetros transportan información acerca de otra variable representada por la señal.

Secuenciación por amplitud de señal (control de rango dividido)*: Acción en la que se genera una o más señales, o una señal de entrada activa dos o más elementos de control final, cada uno respondiendo de manera consecutiva, con o sin solapamiento, a la magnitud de dicha señal de entrada.

Dimensionamiento (válvula): Procedimiento sistemático diseñado para asegurar la capacidad de válvula correcta para cada condición de un conjunto de condiciones de proceso especificadas.

Intervalo de medida*: Diferencia algebraica entre el valor superior y el valor inferior del rango. Por ejemplo: Si el rango = 0 a 66 °C (150 °F), entonces el intervalo = 66 °C (150 °F); si el rango = 3 a 15 psig, entonces el intervalo = 12 psig.

Fricción estática: fuerza necesaria para hacer que un cuerpo en contacto con otro empiece a moverse. Consulte también Fricción.

Presión de suministro*: Presión en la boca de suministro de un dispositivo. Los valores habituales de la presión de suministro de una válvula de control son 20 psig para un rango de 3 a 15 psig y 35 psig para un rango de 6 a 30 psig.

T63: Medida de respuesta de un dispositivo. Se mide mediante la aplicación de una entrada en escalón pequeña (generalmente de 1 a 5%) en el sistema. T63 se mide desde el momento en que se inicia la entrada en escalón hasta el momento en que la salida del sistema alcanza el 63% del valor de régimen permanente final. Es el total combinado del tiempo muerto (Td) y de la constante de tiempo del sistema (t). Consulte Tiempo muerto y Constante de tiempo.

Constante de tiempo: Parámetro de tiempo que normalmente se aplica a un elemento de primer orden. Es el intervalo de tiempo medido desde la primera respuesta detectable del sistema a un entrada en escalón pequeña (generalmente de 0,25% a 5%) hasta que la salida del sistema alcanza el 63% de su valor de régimen permanente final. (Consulte T63). Cuando se aplica a un proceso de bucle abierto, la constante de tiempo suele designarse como “T” (Tau). Cuando se aplica a un proceso de bucle cerrado, la constante de tiempo suele designarse como **λ** (Lambda).

Transmisor: Dispositivo que detecta el valor de la variable de proceso y transmite la señal de salida correspondiente al controlador para la comparación con el punto de ajuste.

Carrera*: Movimiento o carrera del elemento de cierre desde la posición de cierre hasta una posición intermedia o la apertura total nominal.

Indicador de carrera: Puntero y escala que se utiliza para mostrar externamente la posición del elemento de cierre, normalmente con unidades de porcentaje de apertura de la carrera o grados de rotación.

Internos*: Componentes internos de la válvula que modulan el flujo del fluido controlado.

Válvula: Consulte Conjunto de válvula de control.

Amplificador de volumen: Relé independiente al que se suele hacer referencia como amplificador de volumen o sencillamente amplificador, dado que amplifica el volumen de aire suministrado al actuador. Consulte Relé.

Error cero*: Error de un dispositivo que funciona en las condiciones especificadas de uso cuando la entrada está en el valor inferior del rango. Normalmente se expresa como porcentaje del intervalo ideal. ■

Capítulo 2
Prestaciones de la válvula de control

En el dinámico entorno empresarial actual, los fabricantes sufren enormes presiones económicas. La globalización del mercado deriva en intensas presiones para reducir los costes de fabricación y poder competir con los salarios y los costes de materia prima más bajos de los países emergentes. Las empresas internacionales compiten para ofrecer productos de máxima calidad y maximizar la productividad de sus plantas con menores recursos, a la vez que intentan satisfacer las necesidades de los clientes en continua evolución. Es necesario cumplir esos retos de marketing, aunque satisfaciendo por completo las políticas públicas y normativas.

2.1 Variabilidad de procesos

Los líderes industriales internacionales han comprendido que para ofrecer un retorno aceptable a sus accionistas deben reducir los costes de materias primas y de gestión de residuos sin dejar de aumentar la productividad. La reducción de la variabilidad de los procesos de fabricación mediante la aplicación de tecnología de control de procesos está reconocida como un método efectivo para mejorar los resultados financieros y enfrentarse a las presiones de la competencia global.

El objetivo básico de una empresa es obtener beneficios mediante la fabricación de un producto de calidad. Un producto de calidad debe cumplir una serie de especificaciones. Cualquier desviación de la especificación establecida implica la pérdida de beneficios debida al uso excesivo de material, los costes de reprocesamiento o los productos desechados. Por lo tanto, se consiguen un gran impacto financiero si se mejora el control de procesos
. La reducción de la variabilidad de procesos mediante un mejor control del proceso permite optimizar el proceso mismo y fabricar productos que salen bien en el primer intento.

La falta de uniformidad propia de las materias primas y de los procesos de producción son causas habituales de la variación que altera la variable de proceso por encima y por debajo del punto de ajuste. Un proceso situado en el control, con solo las causas de variación presentes, sigue habitualmente una distribución normal en forma de campana.

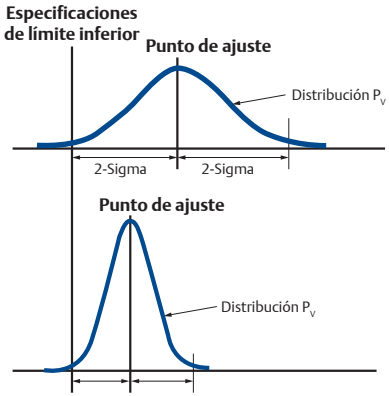


Figura 2.1 Variabilidad de procesos

Una banda de valores derivada de estadísticas en dicha distribución, denominada banda sigma +/-2, describe la separación de las desviaciones de variable de proceso respecto al punto de ajuste. Dicha banda es la variabilidad de proceso. Es una medida de la rigidez del control del proceso. La variabilidad de proceso es una medición exacta de lo ajustado del control y se expresa como un porcentaje del punto de ajuste.

Si, por ejemplo, un producto debe cumplir una especificación de límite inferior determinada, el punto de ajuste se debe establecer a un valor de sigma 2 por encima de ese límite inferior. De este modo se asegurará que todos los productos fabricados con valores situados a la derecha del límite inferior cumplirán la especificación de calidad.

No obstante, el problema es que se desperdicia dinero y recursos al fabricar un gran porcentaje de producto a un nivel mucho mayor del requerido por la especificación (consulte la distribución superior en la Figura 2.1).

Figura 2.2 Prueba de comportamiento de bucle

La mejor solución es reducir la separación de la desviación respecto al punto de ajuste con el uso de una válvula de control que pueda generar un sigma menor (consulte la distribución inferior en la Figura 2.1).

La reducción de la variabilidad de proceso es clave para alcanzar los objetivos de negocio. La mayoría de las empresas se dan cuenta de esto y no es raro que inviertan centenares de miles de euros en instrumental para resolver el problema de la reducción de la variabilidad de proceso.

Lamentablemente, en ese esfuerzo muchas veces no se tiene en cuenta la válvula de control porque no se comprende el impacto que tiene en el desempeño dinámico. Amplios estudios de bucles de control indican que hasta el 80% de ellos no funcionan con eficacia para reducir la variabilidad de proceso. Además, descubrieron que la válvula de control era un gran aporte a la solución del problema por diversas razones.

Para verificar el rendimiento, los fabricantes deben someter a prueba sus productos en condiciones de proceso dinámicas. Típicamente se llevan a cabo en un laboratorio de flujos en situación real de control de bucle cerrado (Figura 2.2). La evaluación de válvulas de control en condiciones de bucle cerrado ofrece la única medición verdadera del comportamiento en variabilidad. Los datos de comportamiento en bucle cerrado demuestran que se pueden conseguir importantes reducciones de la variabilidad de proceso si se elige la válvula de control adecuada para la aplicación.

La capacidad de las válvulas de control de reducir la variabilidad de proceso depende de muchos factores. Hay que tener en cuenta más de un parámetro aislado. Los estudios realizados en el sector han determinado que las características de diseño particulares del elemento de control final, como la válvula, el actuador y el posicionador son muy importantes para conseguir un buen control de proceso en

condiciones dinámicas. Lo más importantes es que el conjunto de válvula de control debe optimizarse o desarrollarse como una unidad. Los componentes de válvula que no se diseñan como un conjunto completo no ofrecen el mejor rendimiento dinámico. Algunas de las consideraciones más importantes sobre el diseño:

- Banda muerta
- Diseño de actuador/posicionador
- Tiempo de respuesta de la válvula
- Tipo y caracterización de la válvula
- Dimensionamiento de la válvula

Cada una de esas características de diseño se tratará en este capítulo para ofrecer una perspectiva de lo que constituye un diseño de válvula excelente.

2.1.1 Banda muerta

La banda muerta es un gran aporte al exceso de variabilidad de proceso. Los conjuntos de válvula de control pueden ser una fuente principal de banda muerta en un bucle de instrumental debido a diversas causas, como la fricción, la holgura, el wind-up de la flecha, o la zona de banda muerta del relé o la válvula de carrete, etc.

La banda muerta es un fenómeno general en el que un rango o banda de valores de salida de controlador (CO) es incapaz de generar un cambio en la variable de proceso (PV) medida cuando la señal de entrada invierte la dirección. Cuando se produce una alteración de carga, la variable de proceso se desvía del punto de ajuste. Esa desviación inicia una acción correctiva a través del controlador y de vuelta a través del proceso. Sin embargo, un cambio inicial en la salida del controlador puede generar un cambio correctivo no correspondiente en la variable de proceso. Solo cuando la salida del controlador ha cambiado lo suficiente para avanzar a través de la banda muerta se produce un cambio correspondiente en la variable de proceso.

En cualquier momento en que la salida del controlador invierta la dirección, la señal del controlador debe pasar a través de la banda muerta antes de que pueda producirse algún cambio en la variable de proceso. La presencia de banda muerta en el proceso garantiza que la desviación del punto de ajuste de la variable de proceso tendrá que aumentar hasta que pueda pasar a través de la banda muerta. Solo entonces se produce una acción correctiva.

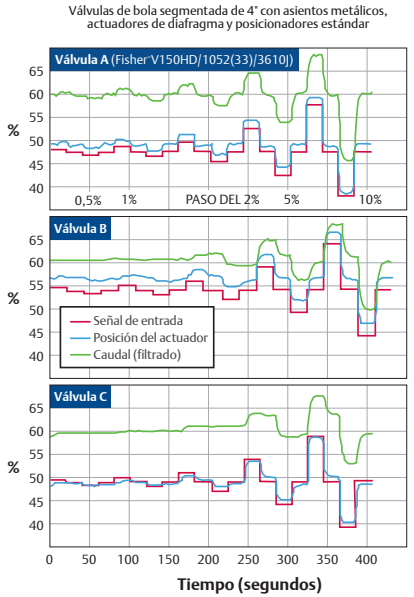


Figura 2.3 Efecto de la banda muerta en el comportamiento de la válvula

2.1.1.1 Causas de la banda muerta

La banda muerta tiene muchas causas, pero las más habituales suelen ser la fricción y la holgura en la válvula de control, junto con el wind-up de la flecha en las válvulas rotativas y la zona muerta del relé. Dado que la mayoría de las acciones de control regulador son cambios pequeños (1% o menos), es posible que una válvula de control con una banda muerta excesiva ni siquiera responda a muchos de esos cambios pequeños. Una válvula bien diseñada debe responder a señales del 1% o menos para ofrecer una reducción eficaz de la variabilidad de proceso. No obstante, no es infrecuente

que algunas válvulas exhiban una banda muerta de hasta el 5% o más. En una reciente auditoría de planta, el 30% de las válvulas tenían bandas muertas que superaban el 4%. Más del 65% de los bucles auditados tenían bandas muertas de más del 2%.

2.1.1.2 Efectos de la banda muerta

En la Figura 2.3 se ilustra lo impresionantes que pueden ser los efectos combinados de la banda muerta. El diagrama representa la prueba de bucle abierto de tres válvulas de control distintas en condiciones de proceso normales. Las válvulas se someten a una serie de entradas en escalón que van del 0,5% al 10%. Las pruebas en escalón en condiciones de flujo son esenciales porque permiten evaluar las prestaciones de todo el conjunto de válvula, en lugar de limitarse al conjunto del actuador de la válvula, tal como sucedería en la mayoría de las condiciones de banco de pruebas.

2.1.1.3 Pruebas de prestaciones

En algunas pruebas de prestaciones de un conjunto de válvula solo se compara la carrera del vástago del actuador con la señal de entrada. Esto es engañoso, porque no tiene en cuenta las prestaciones de la propia válvula.

Es fundamental medir las prestaciones dinámicas de la válvula en condiciones de flujo para que se pueda comparar el cambio de la variable de proceso con el cambio de la señal de entrada del conjunto de válvula. Importa poco si solo cambia el vástago de la válvula en respuesta a un cambio de la entrada de la válvula, dado que si no hay un cambio correspondiente en la variable controlada, no habrá corrección de la variable de proceso.

En las tres pruebas de válvulas (Figura 2.3), el movimiento del vástago del actuador cambia con bastante exactitud en respuesta a los cambios de la señal de entrada. Por otra parte, hay una gran diferencia en la capacidad de cada válvula para cambiar el flujo en respuesta al cambio de la señal de entrada.

En el caso de la Válvula A, la variable de proceso (caudal) responde bien a señales de entrada que pueden ser tan bajas como de 0,5. La Válvula B requiere cambios de señal de entrada de hasta el 5% antes de empezar a responder con exactitud a cada uno de los escalones de señal de entrada. El funcionamiento de la Válvula C es bastante peor, requiere cambios de señal de hasta el 10% antes de empezar a responder con exactitud a cada uno de los escalones de señal de entrada. La capacidad de las válvulas B o C para mejorar la variabilidad de proceso es muy deficiente.

2.1.1.4 Fricción

La fricción es una gran responsable de la banda muerta en las válvulas de control. Las válvulas rotativas suelen ser muy susceptibles a la fricción provocada por las altas cargas de asiento que se necesitan para obtener el cierre con algunos diseños de junta. Debido a la elevada fricción de la junta y a la escasa rigidez del mecanismo de transmisión, se produce el wind-up de la flecha de la válvula y no transfiere movimiento al elemento de control. Como consecuencia, una válvula rotativa de diseño defectuoso puede mostrar una banda muerta importante que tiene claramente un efecto negativo en la variabilidad de proceso.

Los fabricantes suelen lubricar los asientos de las válvulas rotativas durante la producción, pero esa lubricación desaparece al cabo de unos pocos centenares de ciclos. Además, las cargas inducidas por presión también desgastan la junta. De ese modo, la fricción de la válvula puede aumentar un 400% o más en algunos diseños de válvula. Esto ilustra las conclusiones engañosas sobre comportamiento que pueden derivarse de la evaluación de productos mediante datos obtenidos en banco de pruebas antes de que se estabilice el par. Las válvulas B y C (Figura 2.3) muestran el efecto devastador que pueden tener esos factores de par de fricción elevada en el desempeño de la válvula.

La fricción de la empaquetadura es la principal fuente de fricción en las válvulas de vástago deslizante. En esos tipos de válvulas, la fricción medida puede variar mucho en función de los estilos de válvula y la disposición de la empaquetadura.

El estilo de actuador también tiene un profundo impacto en la fricción del conjunto de válvula de control. En general, los actuadores de resorte y diafragma provocan menor fricción al conjunto de la válvula de control que los actuadores de pistón. Una ventaja adicional de los actuadores de resorte y diafragma es que sus características de fricción se vuelven más uniformes con el tiempo. Tal vez la fricción del actuador de pistón aumente notablemente con el uso a medida que se desgasten las superficies de guía y las juntas tóricas, falle la lubricación y se deteriore el elastómero. De este modo, para asegurar un buen rendimiento continuo, se requiere un mantenimiento más frecuente para los actuadores de pistón que para los de diafragma. Si no se lleva a cabo ese mantenimiento, la variabilidad de proceso puede verse gravemente afectada sin que el operador lo sepa.

La holgura interrumpe el movimiento cuando el dispositivo cambia de dirección. La holgura suele producirse en los accionamientos de engranajes de diversas configuraciones. Los actuadores de cremallera y piñón tienen una fuerte tendencia a la banda muerta debido a la holgura. Algunas conexiones de flecha de válvula también presentan efectos de banda muerta. Las conexiones ranuradas suelen tener mucha menos banda muerta que los diseños de eje de chaveta o de doble D.

Si bien la fricción se puede reducir mucho con un buen diseño de la válvula, es un fenómeno difícil de eliminar por completo. Una válvula de control bien diseñada debe ser capaz de eliminar virtualmente la banda muerta debida a holgura y a wind-up de la flecha.

Para lograr un comportamiento óptimo en la reducción de la variabilidad de proceso, la banda muerta total de todo el conjunto de la válvula debe ser del 1% o menos. Lo ideal es que no supere el 0,25%.

2.1.2 Diseño de actuador y posicionador

El diseño del actuador y del posicionar debe calcularse en conjunto. La combinación de esas dos piezas afecta mucho al comportamiento estático (banda muerta), así como a la respuesta dinámica del conjunto de válvula de control y al consumo total de aire del instrumental de la válvula.

Los posicionadores se utilizan en la mayoría de las aplicaciones actuales con válvula de control. Permiten una respuesta precisa del conjunto de válvula así como realizar diagnósticos online si se emplean con un sistema de control digital convencional. Frente a la importancia creciente del rendimiento económico del control de proceso, los posicionadores se deben tener en cuenta para todas las aplicaciones de válvulas en las que sea importante la optimización de procesos.

Se puede considerar que un posicionador es un dispositivo de alta ganancia proporcional. Al combinarse con un actuador y una válvula, el conjunto, idealmente, se comportará como un sistema de primer orden o de segundo orden subamortiguado, dependiendo del uso y del comportamiento que se desee. Un controlador de válvula digital tiene parámetros de ajuste adicionales, como la ganancia derivada, cuyo fin principal es la eliminación de características indeseadas y un mayor ajuste del conjunto para lograr el comportamiento buscado. Muchos posicionadores también integran la capacidad de eliminar cualquier descompensación entre el punto de ajuste y la posición de la válvula. En la mayoría de las situaciones de control de procesos, esa función se puede desactivar para eliminar la posibilidad de que forme oscilaciones lentas de proceso, dado que la desviación entre la posición y el punto de ajuste de la válvula suele resolverla el controlador de procesos.

Cuando el posicionador detecta un cambio en el punto de ajuste debe ser capaz de aportar un gran volumen de aire al actuador, para hacer que el conjunto se mueva de manera precisa y controlada. Esa capacidad proviene del posicionador de alta ganancia y es una función del amplificador neumático integrado en el posicionador. Normalmente, dicho amplificador neumático se compone de un relé o de una válvula de carrete.

En general, los posicionadores de dos fases y alto rendimiento cuentan con relés neumáticos. Se prefiere el uso de relés porque ofrecen alta ganancia para un excelente rendimiento dinámico con un consumo de aire de régimen permanente bajo. Además, están menos sujetos a la contaminación del fluido. Por otra parte, algunos actuadores grandes o de alta fricción cuentan con amplificadores externos adicionales para cumplir las especificaciones, como la de velocidad de recorrido.

Los diseños de posicionador siguen mejorando la reducción del consumo de aire y las capacidades de diagnóstico para los usuarios. También se han añadido características para satisfacer los requisitos de seguridad de la industria, como los sistemas instrumentados de seguridad SIS (safety instrumented systems) y las válvulas digitales optimizadas.

2.1.3 Tiempo de respuesta de las válvulas

Para el control óptimo de muchos procesos, es importante que la válvula alcance con rapidez una posición determinada. La respuesta rápida a cambios de señal pequeños (del 1% o menos) es uno de los factores más importantes para ofrecer un control de proceso óptimo. En el control regulador automático, la mayoría de los cambios de señal recibidos del controlador son para lograr cambios de posición pequeños. Si un conjunto de válvula de control puede responder con rapidez a esos cambios pequeños, mejora la variabilidad de proceso.

El tiempo de respuesta de la válvula se mide con un parámetro llamado T63. T63 es el tiempo medido desde el inicio del cambio de la señal de entrada hasta que la salida alcanza el 63% del cambio correspondiente. Incluye el tiempo muerto del conjunto de válvula, que es un tiempo estático, y su tiempo dinámico. El tiempo dinámico es una medida de lo que tarda el actuador en alcanzar una vez el punto del 63% y empezar a moverse.

2.1.3.1 Tiempo muerto

La banda muerta, tanto si procede de la fricción en el cuerpo y el actuador de la válvula como del posicionador, puede afectar en gran medida al tiempo muerto del conjunto de la válvula. Es importante mantener el tiempo muerto lo más corto posible, ya que puede ser un factor que limite la estabilidad del proceso. En general, el tiempo muerto no debe superar un tercio del tiempo de respuesta total de la válvula. Sin embargo, es vital la relación relativa entre el tiempo muerto y la constante de tiempo del proceso. Si el conjunto de la válvula es un bucle rápido en el que la constante de tiempo de proceso se acerca al tiempo muerto, este puede afectar mucho al rendimiento del bucle. En esos bucles rápidos, es fundamental seleccionar un equipo de control con el menor tiempo muerto posible.

Además, en cuanto al punto de ajuste del bucle, es importante que el tiempo muerto sea relativamente uniforme en las dos direcciones de carrera de la válvula. Algunos diseños de conjunto de válvula pueden tener tiempos muertos de tres a cinco veces más largos en una dirección de carrera que en la otra. Este tipo de comportamiento suele estar inducido por el comportamiento asimétrico del diseño del posicionador y puede limitar gravemente la capacidad de ajustar el bucle para conseguir un mejor rendimiento general.

Tiempo de respuesta de la válvula			
	Paso progresivo	**Segundos T(d)**	**Segundos T63**
ESPEC. ENTECH TAMAÑO VÁLVULA 4 PULG.	%	s0.2	s0.6
Válvula A (Fisher V150HD/1052(33)/3610J)			
Acción de válvula: Apertura	2	0,25	0,34
Acción de válvula: Cierre	-2	0,50	0,74
Acción de válvula: Apertura	5	0,16	0,26
Acción de válvula: Cierre	-5	0,22	0,42
Acción de válvula: Apertura	10	0,19	0,33
Acción de válvula: Cierre	-10	0,23	0,46
Válvula B			
Acción de válvula: Apertura	2	5,61	7,74
Acción de válvula: Cierre	-2	0,46	1,67
Acción de válvula: Apertura	5	1,14	2,31
Acción de válvula: Cierre	-5	1,04	2
Acción de válvula: Apertura	10	0,42	1,14
Acción de válvula: Cierre	-10	0,41	1,14
Válvula C			
Acción de válvula: Apertura	2	4,4	5,49
Acción de válvula: Cierre	-2	NR	NR
Acción de válvula: Apertura	5	5,58	7,06
Acción de válvula: Cierre	-5	2,16	3,9
Acción de válvula: Apertura	10	0,69	1,63
Acción de válvula: Cierre	-10	0,53	1,25

NR = No responde

Figura 2.4 Resumen de tiempo de respuesta de las válvulas

2.1.3.2 Tiempo dinámico

Cuando el tiempo muerto ha concluido y la válvula empieza a responder, el resto de su tiempo de respuesta procede del tiempo dinámico del conjunto de válvula. Este tiempo dinámico estará determinado principalmente por las características dinámicas de la combinación del posicionador y del actuador. Es necesario combinar esos dos componentes con cuidado para reducir el tiempo de respuesta total de la válvula. Por ejemplo, en un conjunto de válvula neumática, el posicionador debe tener una ganancia para reducir el tiempo dinámico. Esa ganancia procede mayormente de la fase de amplificador de potencia del posicionador. Es decir, cuanto más rápido el relé del posicionador o la válvula de carrete puedan suministrar un gran volumen de aire al actuador, más rápido será el tiempo de respuesta de la válvula. No obstante, ese amplificador de potencia de alta ganancia tendrá escaso efecto en el tiempo muerto, a menos que se le haya diseñado una

banda muerta intencionada para reducir el consumo de aire estático. Como es obvio, el diseño del actuador afecta en gran medida al tiempo dinámico. Por ejemplo, cuanto mayor sea la cámara de aire del actuador que se deba llenar, más lento será el tiempo de respuesta.

2.3.1.3 Soluciones

En primer lugar, podría parecer que la solución sería reducir el volumen del actuador y ampliar la ganancia de potencia dinámica del posicionador, pero en realidad no resulta sencillo. Esta podría ser una combinación de factores arriesgada en cuanto a la estabilidad. Si se reconoce que la combinación de posicionador/actuador es su propio bucle de realimentación, es posible hacer que la ganancia del bucle de posicionador/actuador sea demasiado alta para el diseño de actuador utilizado, por lo que el conjunto de válvula podría entrar en una oscilación inestable. Además, la reducción del volumen del actuador tiene un efecto adverso en la relación empuje-fricción, que aumenta la banda muerta del conjunto de válvula generando un tiempo muerto mayor.

Si la relación empuje-fricción total no es adecuada para una aplicación determinada, una opción es aumentar la capacidad de empuje del actuador utilizando el tamaño de actuador siguiente o aumentando la presión en el actuador. Esa mayor relación de fricción reduce la banda muerta y esto debería contribuir a la reducción del tiempo muerto del conjunto. Sin embargo, esas dos alternativas podrían implicar la necesidad de enviar un mayor volumen de aire al actuador. Lo que se puede obtener es un efecto negativo en el tiempo de respuesta de la válvula por un tiempo dinámico mayor.

Una manera de reducir el volumen de la cámara de aire del actuador es usar un actuador de pistón en lugar de un actuador de resorte y diafragma, aunque esto no es una panacea. Los actuadores de pistón suelen tener mayor capacidad de empuje que los de resorte y diafragma, pero también tienen mayor fricción, lo cual puede generar problemas con el tiempo de respuesta de la válvula. Para obtener el empuje necesario con un actuador de pistón suele ser necesario aplicar mayor presión de aire que con un actuador de diafragma, porque el pistón normalmente tiene una superficie menor. Es decir, es necesario suministrar un mayor volumen de aire, con los consiguientes efectos negativos en el tiempo dinámico. Por otra parte, los actuadores de pistón, con su mayor número de superficies de guía, tienden a tener mayor fricción por las dificultades inherentes de alineación, así como por la fricción de la junta tórica. Esos problemas de fricción suelen agravarse con el paso del tiempo. Con independencia de la buena calidad que puedan tener las juntas tóricas inicialmente, esos materiales elastoméricos se degradan con el tiempo por el desgaste y otras condiciones ambientales. De igual manera, el desgaste de las superficies de guía aumentará la fricción y se producirá la desaparición de la lubricación. Esos problemas de fricción provocan mayor banda muerta en el actuador de pistón, lo cual aumentará el tiempo de respuesta de la válvula por el aumento del tiempo muerto.

2.3.1.4 Presión de suministro

La presión de suministro del instrumento también puede tener un gran impacto en el rendimiento dinámico del conjunto de la válvula. Por ejemplo, puede afectar mucho a la ganancia del posicionador, así como al consumo de aire total.

Los posicionadores de ganancia fija en general están optimizados para una presión de suministro determinada. Esa ganancia, sin embargo, puede tener una variación de uno, dos o más factores en un rango pequeño de presiones de suministro. Por ejemplo, en un posicionador que se haya optimizado para una presión de suministro de 20 psig, su ganancia podría recortarse a la mitad cuando la presión de suministro aumentara a 35 psig.

La presión de suministro también afecta al volumen de aire suministrado al actuador, lo que determina la velocidad. Además, está directamente vinculada al consumo

de aire. Los posicionadores de válvula de alta ganancia pueden consumir hasta cinco veces la cantidad de aire necesaria para unas prestaciones más elevadas, con posicionadores de dos fases que utilicen relés en la fase de amplificación de potencia.

2.3.1.5 Reducción del tiempo muerto

Para minimizar el tiempo muerto del conjunto de válvula, reduzca la banda muerta, tanto si procede de la fricción en el diseño de junta de la válvula, como de la fricción de la empaquetadura, el wind-up de la flecha, el actuador o el diseño del posicionador. Como ya se ha dicho, la fricción es una gran responsable de la banda muerta en las válvulas de control. En los estilos de válvula rotativa, el wind-up de la flecha también puede contribuir en gran medida a la banda muerta. El estilo de actuador también tiene un profundo impacto en la fricción del conjunto de válvula de control. En general, los actuadores de resorte y diafragma provocan menor fricción al conjunto de la válvula de control que los actuadores de pistón a lo largo de un periodo prolongado. Como se ha indicado, esto está provocado por el aumento de fricción de la junta tórica del pistón, problemas de alineación y una lubricación insuficiente.

Contar con un diseño de posicionador de alta ganancia puede representar una gran diferencia en la reducción de la banda muerta. Por otra parte, puede mejorar mucho la resolución del conjunto de la válvula. Los conjuntos de válvula con banda muerta y resolución del 1% o menos ya no son adecuados para muchas de las necesidades de reducción de la variabilidad de proceso. Muchos procesos requieren que el conjunto de válvula tenga una banda muerta y una resolución de apenas 0,25%, en especial si se instala en un bucle de proceso rápido.

2.3.1.6 Tiempo de respuesta de las válvulas

Una de las cosas sorprendentes que han surgido de muchas investigaciones industriales sobre el tiempo de respuesta de las válvulas ha sido el cambio de opinión respecto a los actuadores de resorte y diafragma frente a los de pistón. En la industria de procesos ha habido durante mucho tiempo la opinión errada de que los actuadores de pistón son más rápidos que los de resorte y diafragma. Los estudios han demostrado que esto no es verdad respecto a los cambios de señal pequeños.

Esa creencia errónea procede de muchos años de experiencia en la prueba del tiempo de carrera de las válvulas. Para realizar la prueba del tiempo de carrera se suele someter la válvula a un cambio en escalón del 100% de la señal de entrada y se mide el tiempo que tarda el conjunto de la válvula en completar la primera carrera en cualquiera de las direcciones.

Si bien la válvulas activadas por pistón suelen tener tiempos de carrera más rápidos que la mayoría de válvulas activadas por resorte y diafragma, esa prueba no demuestra el rendimiento de la válvula en una situación típica de control de proceso en la que, en aplicaciones de control de proceso normales, casi nunca se requiere que la válvula realice la carrera en todo el rango de funcionamiento. Lo más típico es que la válvula solo deba responder en un rango de cambio del 0,25% al 2% en la posición de la válvula. Pruebas exhaustivas realizadas con válvulas han demostrado que los conjuntos de válvula con resorte y diafragma superan sistemáticamente a las válvulas activadas por pistón en cuanto a cambios de señal pequeños, que son más representativos de las aplicaciones de control de proceso reguladoras. La mayor fricción en el actuador del pistón es un factor que hace que respondan menos a las señales pequeñas que los actuadores de resorte y diafragma.

No es fácil elegir bien la combinación de válvula, actuador y posicionador. No se trata sencillamente de encontrar una combinación que sea físicamente compatible. Se debe aplicar un buen criterio técnico sobre el tamaño y la elección del conjunto de válvula para conseguir el mejor rendimiento dinámico del bucle.

En la Figura 2.4 se muestran las grandes diferencias de tiempo muerto y tiempo de respuesta T63 total provocadas por las diferencias en el diseño del conjunto de la válvula.

2.1.4 Tipo y caracterización de válvulas

El estilo y el tamaño de la válvula utilizada pueden tener un gran impacto en las prestaciones del conjunto de la válvula de control en el sistema. Si bien una válvula debe tener un tamaño suficiente para suministrar el caudal requerido en todas las circunstancias posibles, si es demasiado grande para la aplicación perjudicará a la optimización del proceso.

La capacidad de caudal de la válvula también está relacionada con su estilo y sus características inherentes. La característica inherente es la relación entre la capacidad de caudal de la válvula y su carrera cuando la caída de presión diferencial en toda la válvula se mantiene constante.

Normalmente, esas características se trazan como una curva, en la que el eje horizontal está etiquetado con carrera porcentual, aunque el eje vertical se etiqueta como flujo porcentual (o C_v).

Dado que el caudal es una función de la carrera de la válvula y la caída de presión en toda la válvula, lo tradicional es realizar pruebas de características inherentes de la válvula a caída de presión constante. Esta no es una situación normal en la práctica, pero proporciona una manera sistemática de comparar el diseño de características de una válvula con el de otra.

En las condiciones específicas de caída de presión constante, el caudal de la válvula se convierte solo en una función de la carrera de la válvula y en el diseño inherente de sus internos. Dichas características se denominan característica de flujo inherente de la válvula. Las características típicas de la válvula obtenidas de este modo se denominan lineales, equiporcentuales y de apertura rápida.

La relación entre el cambio incremental del caudal de la válvula (salida) y el incremento correspondiente de la carrera de la válvula (entrada) que provocó el cambio de caudal se define como ganancia de la válvula.

Ganancia inherente de la válvula = (cambio de caudal)/(cambio de carrera) = Pendiente de la curva característica inherente

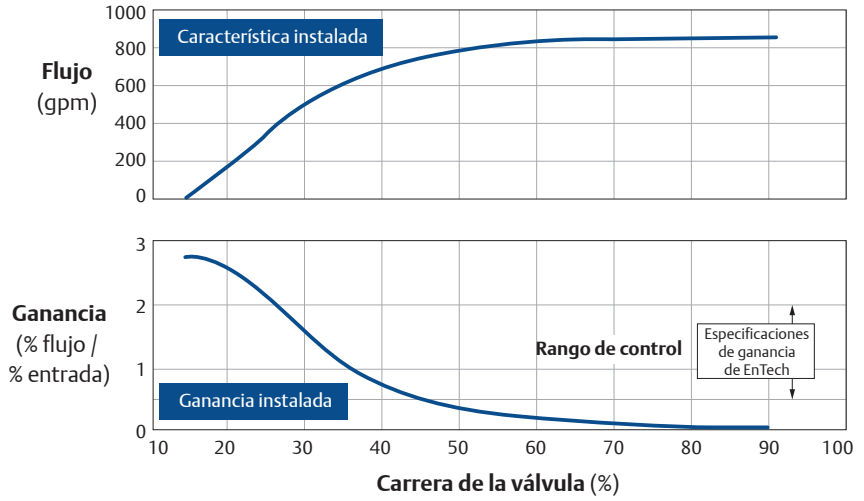


Figura 2.5 Característica de flujo instalada y ganancia

La característica lineal tiene una ganancia constante inherente de la válvula a través de su rango, y la característica de apertura rápida tiene una ganancia inherente de la válvula que es la mayor en el extremo inferior del rango de carrera. La mayor ganancia inherente de la válvula equiporcentual se produce en la mayor apertura de la válvula.

La característica inherente de la válvula es una función inherente de la geometría de paso de flujo de la misma y no cambia mientras la caída de presión se mantenga constante. Muchos diseños de válvula, en especial de las válvulas de bola rotativas, de mariposa y de obturador excéntrico, tienen características inherentes que no se pueden cambiar con facilidad. Sin embargo, la mayoría de las válvulas de globo tienen una selección de jaulas u obturadores de válvula que se pueden intercambiar para modificar la característica de flujo inherente.

Es útil conocer la característica inherente de la válvula, pero la característica más importante en cuanto a la optimización de proceso es la característica de flujo instalada de todo el proceso, incluida la válvula y todos los demás equipos del bucle. La característica de flujo instalada se define como la relación entre el caudal que fluye por la válvula y la entrada del conjunto de válvula cuando está instalado en un sistema específico y se permite el cambio natural de la caída de presión en toda la válvula en lugar de mantenerla constante. En la curva superior de la Figura 2.5 se ilustra esa característica de flujo instalada. El flujo de la figura está relacionado con la carrera de válvula más conocida y no con la entrada del conjunto de válvula.

2.1.4.1 Ganancia instalada

La ganancia instalada, que se muestra en la curva inferior de la Figura 2.5, es un trazado de la pendiente de la curva superior en cada punto. Las curvas de característica de flujo instalada se pueden obtener en condiciones de laboratorio situando todo el bucle en funcionamiento en algún punto de ajuste nominal y sin alteraciones de carga. El bucle se sitúa en operación manual y, a continuación, el caudal se mide y registra mientras el conjunto de válvula de control se acciona manualmente a través de todo el rango de carrera. El trazado del resultado de la característica de flujo instalada es la curva que aparece en la parte superior de la Figura 2.5. A continuación se evalúa la pendiente de caudal en cada punto de la curva y se traza como la ganancia instalada, tal como se indica en la parte inferior de la Figura 2.5.

Las mediciones de la ganancia de proceso instalada también se pueden realizar en un solo punto operativo mediante pruebas en escalón de bucle abierto (Figura 2.3). La ganancia de proceso instalada en cualquier condición operativa es sencillamente la relación entre el cambio porcentual de la salida (caudal) y el cambio porcentual de la señal de entrada del conjunto de válvula.

La razón de la caracterización de la ganancia de válvula inherente mediante diversos diseños de internos de la válvula es proporcionar la compensación de otros cambios de ganancia en el bucle de control. El objetivo final es mantener una ganancia de bucle que sea razonablemente uniforme en todo el rango operativo con el fin de asegurar una característica de flujo instalada relativamente lineal en el proceso. Por la manera en que se miden, la característica de flujo instalada y la ganancia instalada que se representan en la Figura 2.5 son en realidad la ganancia instalada y la característica de flujo de todo el proceso.

Típicamente, la ganancia de la unidad que se controla cambia con el caudal. Por ejemplo, la ganancia de un recipiente a presión tiende a reducirse con el trabajo. En este caso, el ingeniero de control de procesos probablemente deseará utilizar una válvula equiporcentual que tenga una ganancia creciente con el caudal. Lo ideal sería que esas dos relaciones inversas se equilibraran para ofrecer una característica de flujo instalada más lineal en todo el proceso.

2.1.4.2 Ganancia de bucle

En teoría, un bucle se ha ajustado para un rendimiento óptimo en alguna condición de caudal con punto de ajuste. Al variar el caudal respecto a ese punto de ajuste, lo deseable es mantener la ganancia de bucle lo más constante que sea posible con el fin de asegurar un rendimiento óptimo. Si la ganancia de bucle cambia debido a la característica de válvula inherente y no compensa exactamente la ganancia cambiante de la unidad que se controla, habrá una variación en la ganancia de bucle por la variación de la ganancia de proceso instalada. Como consecuencia, la optimización del proceso es más difícil. También existe el riesgo de que la ganancia de bucle pueda cambiar lo suficiente como para generar inestabilidad, limitar el ciclo o crear otras complicaciones dinámicas.

La ganancia de bucle no debería variar más de 4:1; de otro modo, el rendimiento dinámico del bucle se deteriora de manera inaceptable. No hay nada de magia en esa relación específica; es sencillamente una en la que muchos practicantes del control coinciden en que genera un rango aceptable de márgenes de ganancia en la mayoría de los bucles de control de proceso.

Esta directriz es la base en que se funda la siguiente especificación de límites de ganancia de EnTech *(tomado de Control Valve Dynamic Specification, Versión 3.0, noviembre de 1998, EnTech Control Inc., Toronto, Ontario, Canadá)*:

> Ganancia de proceso en bucle = 1 (% de intervalo de transmisor)/(% de salida de controlador)
>
> Rango nominal: 0,5-2,0
> (Nótese la relación de 4 a 1)

Esta definición del proceso de bucle incluye todos los dispositivos de la configuración del bucle, excepto el controlador. Dicho de otro modo, el producto de las ganancias de dichos dispositivos, como el conjunto de válvula de control, el intercambiador de calor, el recipiente a presión u otros sistemas que se controlen, la bomba, el transmisor, etc., es la ganancia de proceso. Dado que la válvula forma parte del proceso de bucle, como se ha dicho aquí, es importante elegir un estilo y tamaño de válvula que generen una característica de flujo instalada lo bastante lineal para mantenerse dentro de los límites de la ganancia especificada en todo el rango de funcionamiento del sistema. Si se produce una variación de ganancia excesiva en la propia válvula de control, habrá menos

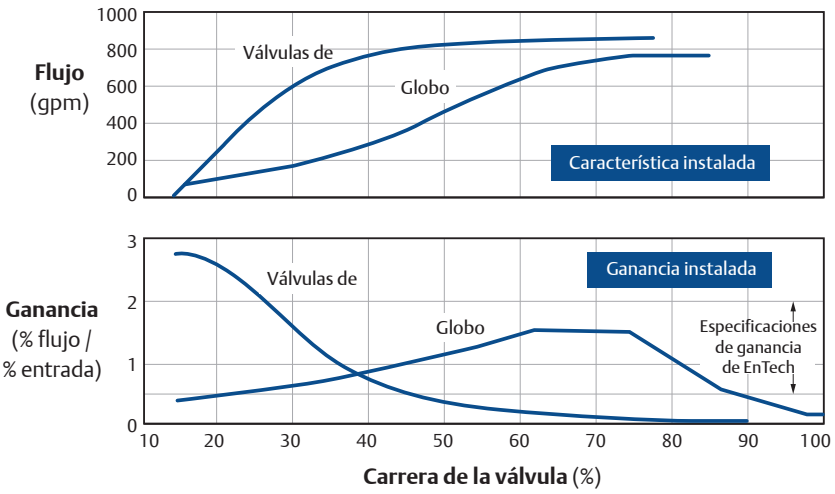


Figura 2.6 Efecto del estilo de válvula en el rango de control

flexibilidad para ajustar el controlador. Es conveniente mantener tanta ganancia del bucle en el controlador como sea posible.

Si bien la relación 4:1 del cambio de ganancia en el bucle es ampliamente aceptada, no todos están de acuerdo con los límites de ganancia de 0,5 a 2. Algunos expertos del sector han defendido el uso de límites de ganancia de proceso del bucle de 0,2 a 0,8, que sigue siendo 4:1. El riesgo potencial de aplicar ese rango de ganancia reducido es que el extremo inferior de dicho rango podría derivar en grandes oscilaciones de válvula durante el funcionamiento normal. Es recomendable mantener las oscilaciones de la válvula en torno a un 5%. Sin embargo, también existe el riesgo de que la ganancia se vuelva demasiado grande. El bucle puede volverse oscilante o incluso inestable si la ganancia de bucle se vuelve demasiado elevada en algún punto de la carrera. Los expertos recomiendan que, para garantizar un rendimiento dinámico y una estabilidad de bucle aceptables en una gran variedad de condiciones operativas, se diseñe el equipo del bucle de modo que la ganancia de proceso se mantenga dentro del rango de 0,5 a 2.

2.1.4.3 Optimización de procesos

Para la optimización del proceso se necesita elegir un estilo y tamaño de válvula que mantenga la ganancia de proceso dentro del rango seleccionado en la variedad más amplia posible de condiciones operativas. Dado que la reducción de la variabilidad de proceso depende en gran medida del mantenimiento de una ganancia instalada uniforme, el rango en el que puede funcionar una válvula dentro de los límites de ganancia aceptables se conoce como rango de control de la válvula.

El rango de control de una válvula depende mucho de su estilo. En la Figura 2.6 se ilustra una válvula de mariposa de tamaño de línea comparada con una válvula de globo también de tamaño de línea. La válvula de globo tiene un rango de control mucho más amplio que la válvula de mariposa. Otros estilos de válvula, como las de bola con muesca en V o de obturador excéntrico, se sitúan generalmente entre esos dos rangos.

Dado que las válvulas de mariposa normalmente tienen el rango de control más reducido, suelen ser las más idóneas para las aplicaciones de carga fija. Además, se deben dimensionar con cuidado para un desempeño óptimo con cargas fijas.

Si la característica inherente de una válvula pudiera seleccionarse para compensar exactamente el cambio de ganancia del sistema con caudal, podría esperarse que la ganancia de proceso instalada (curva inferior) fuera esencialmente una línea recta a un valor de 1.

Lamentablemente, una coincidencia de ganancias tan precisa es raramente posible, debido a las limitaciones logísticas de suministrar una variedad infinita de características inherentes de internos de válvula. Debe añadirse que algunos estilos de válvula, como los de mariposa y de bola, no ofrecen internos alternativos que faciliten el cambio de la característica de válvula inherente.

Esta situación puede mejorarse con un ajuste a escala no lineal entre el punto de ajuste y la posición de la válvula. Con esta técnica se recalibra la señal de entrada de la válvula al tomar la señal del controlador lineal y usar una tabla de valores programada previamente con el fin de generar la entrada de válvula necesaria para conseguir la característica de válvula que se desee. Esta técnica se suele conocer como cadena de acción o caracterización de punto de ajuste.

Dicha caracterización se produce fuera del bucle de realimentación del posicionador y evita el cambio de la ganancia del bucle del posicionador. Este método también tiene limitaciones dinámicas. Por ejemplo, puede haber puntos en el rango de una válvula en el que un cambio de señal de proceso del 1% pueda reducirse mediante este proceso de caracterización a solo un cambio de señal del 0,1% de la válvula (es decir, en las zonas planas de la curva de caracterización). Muchas válvulas de

control son incapaces de responder a unos cambios de señal tan pequeños.

El mejor comportamiento de proceso se produce cuando la característica de flujo necesaria se obtiene mediante cambios en los internos de la válvula y no con el uso de caracterización no lineal. Un paso fundamental para asegurar un comportamiento de proceso óptimo es la elección adecuada de una válvula de control diseñada para generar una característica de flujo lineal instalada en la gama operativa del sistema.

2.1.5 Dimensionamiento de válvulas

El sobredimensionamiento de las válvulas suele producirse cuando se trata de optimizar el comportamiento de proceso mediante una reducción de la variabilidad de proceso. Esto deriva del uso de válvulas de tamaño de línea, en especial válvulas rotativas de gran capacidad, así como de la incorporación conservadora de múltiples factores de seguridad en diferentes etapas del diseño de proceso.

El sobredimensionamiento de la válvula perjudica la variabilidad de proceso de dos maneras. En primer lugar, la válvula sobredimensionada impone una ganancia de válvula excesiva y reduce la flexibilidad de ajuste del controlador. El mejor resultado se obtiene cuando la mayor parte de la ganancia del bucle procede del controlador.

Obsérvese que en la curva de ganancia de la Figura 2.5, la ganancia de proceso se eleva bastante en la zona por debajo del 25% aproximado de la carrera de la válvula. Si la válvula se sobredimensiona facilitando que funcione en esa zona o cerca de ella, esa alta ganancia podría significar que la ganancia del controlador debe reducirse para evitar problemas de inestabilidad con el bucle. Esto, por supuesto, penalizará la variabilidad de proceso con un incremento.

La segunda manera en que las válvulas sobredimensionadas perjudican la variabilidad de proceso es que ese tipo de válvulas tal vez funcionen con mayor frecuencia con aberturas de válvula menores en las que la fricción de junta puede ser mayor, en especial en el caso de las válvulas rotativas. Dado que una válvula sobredimensionada genera un cambio de caudal desproporcionadamente grande en un incremento dado de la carrera de la válvula, ese fenómeno puede exagerar mucho la variabilidad de proceso relacionada con la banda muerta debida a la fricción.

Con independencia de su característica de válvula inherente real, una válvula demasiado sobredimensionada tiende a actuar más como una válvula de apertura rápida, que provoca una alta ganancia de proceso instalada en las zonas de elevación inferiores (Figura 2.5). Además, al sobredimensionar la válvula, esta tiende a alcanzar la capacidad de sistema con una carrera relativamente corta, por lo que la curva de caudal se aplana a carreras de válvula superiores (Figura 2.5). En las carreras de válvula superiores a unos 50 grados, dicha válvula se ha vuelto totalmente ineficaz para fines de control porque la ganancia de proceso se acerca a cero y la válvula debe someterse a grandes cambios de carrera con escasos resultados de cambio en el caudal. Por lo tanto, hay pocas esperanzas de conseguir una variabilidad de proceso aceptable en esa zona.

El uso de la válvula que se ilustra en la Figura 2.5 está totalmente contraindicado para esa aplicación por su escaso rango de control (entre 25 y 45 grados). Esta situación se debe a la elección de una válvula de mariposa de tamaño de línea, en primer lugar por su bajo coste, y no se tuvo en cuenta la pérdida de beneficios que se deriva de sacrificar la variabilidad de proceso con un comportamiento dinámico deficiente de la válvula de control.

Lamentablemente, esa situación es frecuente. Los estudios sobre control de proceso ratifican que, en algunos sectores, la mayoría de las válvulas actualmente integradas en bucles de control de proceso están sobredimensionadas para la aplicación. Aunque pueda parecer ilógico, muchas veces tiene sentido en términos económicos elegir una válvula de control

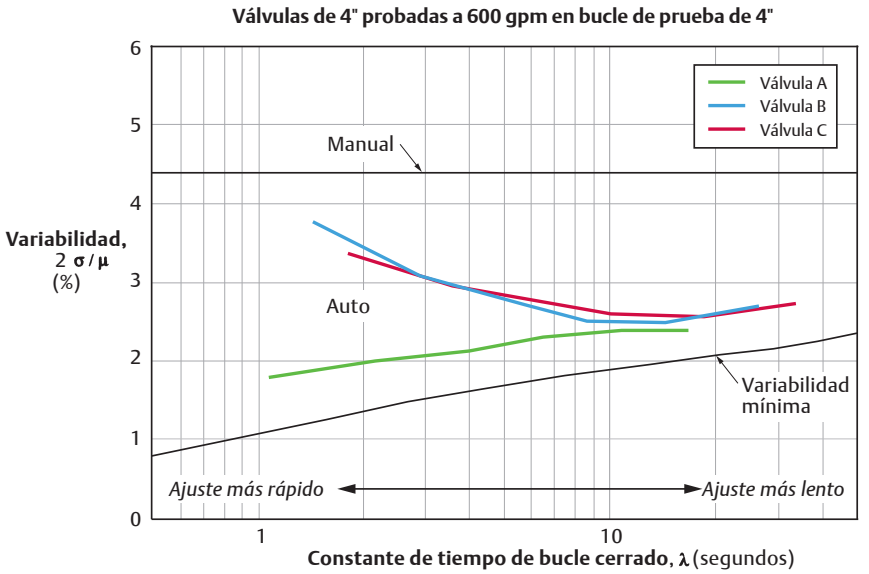


Figura 2.7 Resumen de alteraciones de carga aleatorias en bucle cerrado

para las condiciones actuales y sustituirla cuando estas cambien.

Al elegir una válvula, es importante tener en cuenta su estilo, la característica inherente y el tamaño que ofrecerá el rango de control más amplio posible para la aplicación.

Para obtener más información sobre tamaños, consulte el Capítulo 5. ▪

2.2 Resultados económicos

La atención a los factores expuestos en este capítulo puede tener un efecto considerable en los resultados económicos de una planta en funcionamiento. Cada vez son más los usuarios de válvulas de control que se fijan en los parámetros de comportamiento dinámico, como la banda muerta, los tiempos de respuesta y la ganancia instalada (bajo las condiciones de carga de proceso actuales) para mejorar el rendimiento del bucle de proceso. Aunque es posible medir muchos de esos parámetros de comportamiento dinámico en una situación de bucle abierto, el impacto de esos parámetros queda claro al medirse dicho comportamiento en bucle cerrado. Los resultados de pruebas en bucle cerrado que se muestran en la Figura 2.7 evidencian la capacidad de tres válvulas distintas para reducir la variabilidad de proceso en condiciones de ajuste diferentes.

En este diagrama la variabilidad de proceso se traza como porcentaje variable del punto de ajuste frente a la constante de tiempo en bucle cerrado, lo cual es una medida del ajuste de bucle.

La línea horizontal etiquetada como “Manual” muestra cuánta variabilidad es inherente al bucle cuando no se intenta controlarlo (bucle abierto). La línea que desciende hacia la izquierda, señalada como “Variabilidad mínima”, representa el comportamiento dinámico calculado de un conjunto de válvula ideal (sin falta de linealidades). Todos los conjuntos de válvulas reales deberían situarse, normalmente, entre esas dos condiciones.

No todas las válvulas ofrecen el mismo comportamiento dinámico aunque en teoría todas satisfagan las especificadores de compra sobre comportamiento estático y se consideren válvulas equivalentes (Figura 2.7). La válvula A de la Figura 2.7 sigue adecuadamente la tendencia de la línea de variabilidad mínima en un amplio rango de ajustes de controlador. Esa válvula muestra un excelente comportamiento dinámico con una variabilidad mínima. Por el contrario, los diseños de las válvulas B y C no presentan tan buen resultado y aumentan la variabilidad cuando el sistema se ajusta con mayor intensidad para reducir las constantes de tiempo en bucle cerrado.

Los tres diseños de válvula pueden controlar el proceso y reducir la variabilidad, pero dos de ellos no lo hacen tan bien. Téngase en cuenta qué sucedería si la válvula B, de peor rendimiento, se sustituyera por la válvula A, más eficiente, y el sistema se ajustara a una constante de tiempo de bucle cerrado de 2 segundos.

Los datos de prueba indican que se lograría un 1,4% de mejora en la variabilidad de proceso. Tal vez no parezca mucho, pero al cabo del tiempo el resultado puede ser impresionante. Una válvula que ofrezca esa mejora cada minuto de cada día puede ahorrar mucho dinero en un solo año.

El comportamiento de la mejor válvula del ejemplo demuestra claramente que un conjunto de válvula de control superior puede provocar un profundo impacto económico. Este ejemplo demuestra solo una manera en que una válvula de control puede aumentar los beneficios mediante un control más preciso. El menor coste de energía, el aumento de la producción, la reducción de los costes de reprocesado de productos fuera de especificación, etc., son maneras en las que una buena válvula de control puede aumentar los resultados económicos mediante un control más ajustado. Si bien el coste inicial de una buena válvula de control puede ser mayor, el poco dinero adicional invertido en una válvula de control bien diseñada puede aumentar considerablemente el retorno de la inversión. Muchas veces el gasto inicial adicional en la válvula se puede recuperar en cuestión de días.

Como consecuencia, en las industrias de proceso se va tomando conciencia de que los conjuntos de válvula de control desempeñan un papel importante en los resultados de bucle/unidad/planta. También han llegado a la conclusión de que los métodos tradicionales de especificación de los conjuntos de válvula ya no son adecuados para garantizar las ventajas de la optimización de proceso. Aunque son importantes, esos indicadores de comportamiento estático como la capacidad de caudal, las fugas, la compatibilidad de materiales y los datos de resultados en banco de pruebas, no son debidamente adecuados para resolver las características dinámicas de los bucles de control de proceso. ■

2.3 Resumen

El conjunto de válvula de control desempeña un papel determinante en la obtención del mejor comportamiento posible del bucle de control. La optimización de proceso requiere la mejora de todo el proceso, no solo los algoritmos de control utilizados en los equipos de la sala de control. La válvula es considerada el elemento de control final porque el conjunto de válvula de control es donde se implementa el control de proceso. No tiene sentido instalar una compleja estrategia de control de proceso y un sistema de instrumentos de hardware capaz de conseguir un control de proceso del 0,5% o mejor, y después complementar esa estrategia de control con una válvula de control que ofrezca un 5% o aún peor. Las auditorías realizadas en miles de bucles de control de proceso han demostrado claramente que el elemento de control final desempeña un importante papel en la obtención de una auténtica optimización de proceso. La rentabilidad aumenta cuando una válvula de control se ha diseñado adecuadamente para su aplicación.

Las válvulas de control son productos sofisticados de tecnología avanzada que no se deben tratar como un bien de consumo. Aunque las especificaciones de válvula tradicionales son importantes, también deben tenerse en cuenta las características de comportamiento dinámico reales si se quiere conseguir una verdadera optimización de proceso. Es fundamental que esas especificaciones incluyan parámetros tales como banda muerta, tiempo muerto, tiempo de respuesta y demás.

Por último, la optimización de proceso empieza y termina con la optimización de todo el bucle. Hay partes del bucle que no se pueden tratar por separado para conseguir un comportamiento de bucle coordinado. De igual manera, no se puede evaluar por separado el comportamiento de parte alguna del bucle. Los ensayos en condiciones de banco de pruebas sin carga no ofrecen los datos de comportamiento que se consiguen al probar los equipos en condiciones de proceso reales. ■

Capítulo 3

Tipos de válvulas y actuadores

3.1 Estilos de válvula de control

La válvula de control regula la velocidad del fluido cuando el actuador fuerza el cambio de posición del elemento de cierre de la válvula. Para ello, la válvula debe:

- Contener el fluido sin fugas externas.
- Tener la capacidad adecuada para el servicio a que se destine.
- Ser capaz de resistir las influencias erosivas, corrosivas y de temperatura del proceso, y además
- Incorporar conexiones finales adecuadas para el empalme con tuberías adyacentes y medios de acoplamiento del actuador que permitan la transmisión del empuje del actuador al vástago o flecha de la válvula.

A lo largo de los años se han desarrollado muchos estilos de cuerpos de válvulas de control. Algunos han encontrado un amplio campo de aplicación, en tanto que otros cumplen condiciones de servicio específicas y se utilizan con menor frecuencia. A continuación se resume la descripción de algunos estilos de cuerpo de válvula de control actualmente en uso.

3.1.1 Válvulas de globo

3.1.1.1 Cuerpos de válvula de puerto único

- El estilo de cuerpo de válvula de puerto único es el más común y tiene una estructura sencilla.
- Las válvulas de puerto único están disponibles en diversas formas, como globo, ángulo, barra sólida, forjadas y partidas.
- En muchos cuerpos de válvula de un solo asiento se utiliza una estructura de jaula o de retención para retener el anillo de asiento, guiar el obturador de la válvula y proporcionar un medio para establecer determinadas características de flujo.
- Los cuerpos de válvula de un solo asiento con jaula o retén también se pueden modificar fácilmente mediante el cambio de piezas de los internos para alterar las características de flujo u ofrecer un flujo de menor capacidad, atenuación de ruido y reducción o eliminación de la cavitación.
- Las válvulas de ángulo (Figura 3.1) se suelen utilizar en los servicios de agua de alimentación de calderas y de drenaje de calentadores, así como en sistemas de tuberías en espacios reducidos, donde la válvula también puede servir de codo. La válvula que se ilustra tiene una estructura de estilo jaula. Otras pueden tener conexiones de salida ampliadas, internos de capacidad limitada o salidas revestidas para reducir los daños causados por erosión, vaporización (flashing) o cavitación.

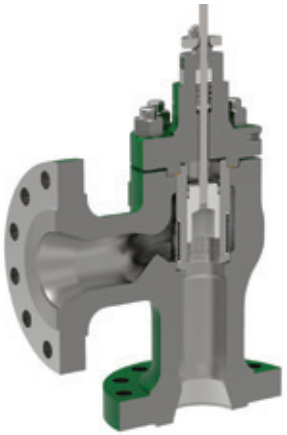


Figura 3.1 Cuerpo de válvula de control de ángulo bridada

- Para las aplicaciones corrosivas se suelen recomendar cuerpos de válvula de aleación (consulte la Figura 3.2). Se pueden elaborar con barra sólida, fundidas o forjadas. Cuando se requieren aleaciones exóticas para la resistencia a la corrosión, en algunos casos un cuerpo de válvula de barra fija es más económico que uno fundido. También se pueden utilizar válvulas con revestimiento de polímero.
- Las válvulas de alta presión se suelen emplear en las industrias de hidrocarburos y energía y están disponibles según CL4500 o API

10.000. Pueden ser diseños de globo o ángulo y suelen tener internos especiales para aplicaciones de servicios exigentes.

- Las válvulas de globo guiadas por vástago son las más habituales en la producción de petróleo y gas. Las variantes disponibles incluyen bonete roscado y ángulo de autodrenaje. Las versiones bridadas están disponibles con calificación clase 2500.

3.1.1.2 Cuerpos de válvulas guiadas por poste y puerto

- Se especifican, en general, para aplicaciones con requisitos de cierre estricto. Tienen superficies de asiento de metal-metal o asientos blandos con materiales como PTFE u otros materiales compuestos que forman el cierre. Son válvulas aptas para la mayoría de necesidades de servicio.
- Dado que normalmente toda la zona del puerto se carga con fluido a alta presión, se debe tener en cuenta la fuerza inestable que se forma al elegir actuadores para cuerpos de válvula de control guiadas por poste y puerto.
- Aunque es más habitual el uso de tamaños más pequeños, las válvulas guiadas por poste y puerto también se utilizan en tamaños NPS 4-8 (DN 100-200) con actuadores de gran empuje.
- Pueden ser objeto de vibraciones por caídas de alta presión, de modo que hay que tener cuidado con su diseño al elegirlas.

En la Figura 3.3 se ilustra uno de los estilos más habituales de cuerpos de válvula de control tipo globo guiadas por poste. Son muy utilizadas en aplicaciones de control de proceso, en especial en NPS 1-4 (DN 20-100).

La dirección de flujo habitual es ascendente a través del anillo de asiento.

3.1.1.3 Cuerpos de válvula de estilo jaula

Los internos estilo jaula (Figura 3.4) proporcionan guiado del obturador, retención del anillo de asiento y caracterización de flujo.

Además, hay a disposición diversos materiales y estilos de cierre para sellar entre la parte superior del diámetro exterior del obturador de la válvula y el orificio de la jaula para limitar fugas del fluido de alta presión aguas arriba hacia el sistema de menor presión aguas abajo. En los diseños estables, la presión aguas abajo actúa en los lados superior e inferior del obturador de la válvula, para anular la mayoría de la fuerza inestable estática. La reducción de la fuerza inestable permite utilizar la válvula con actuadores más pequeños que los que son necesarios para unos internos de válvula inestable. La

Figura 3.2 Cuerpo de válvula de barra fija

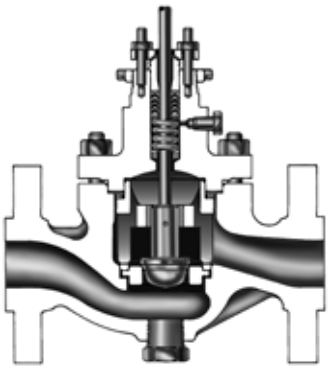


Figura 3.3. Cuerpo de válvula de globo de un puerto

posibilidad de intercambiar internos favorece la elección de diversas características de flujo, atenuación de ruido, anticavitación y otras prestaciones para servicios exigentes. En la mayoría de internos disponibles, la dirección normal del flujo es a través de las aberturas de la jaula y hacia abajo por el anillo de asiento. Sin embargo, el flujo de los internos con atenuación de ruido es normalmente ascendente. Están disponibles en distintas combinaciones de materiales, tamaños NPS 36 (DN 900) y capacidades de presión de hasta clase 4500 o API 10.000.

3.1.1.4 Cuerpos de válvula de puerto doble

- La mayor parte de la industria ha dejado de utilizar los diseños de válvula de puerto doble.
- La fuerza dinámica del obturador tiende a equilibrarse cuando el flujo abre una puerto y cierra la otra.
- Las fuerzas dinámicas reducidas que actúan en el obturador permiten elegir un actuador más pequeño del que sería necesario para un cuerpo de válvula inestable de un sola puerto de capacidad parecida.
- Normalmente los cuerpos se suministran solo de tamaño NPS 4 (DN 100) o superior.
- Suelen tener más capacidad que las válvulas de un puerto de igual tamaño de línea.
- Muchos de los cuerpos de puerto doble se invierten, por lo que el obturador de la válvula puede instalarse en modalidad de empujar para abrir o empujar para cerrar (Figura 3.5).
- El asiento metal-metal suele ofrecer capacidad de cierre clase II, aunque también es posible obtener de clase III.
- Los obturadores de válvula guiados por puerto suelen usarse para servicio de regulación de apertura/cierre o de baja presión. Los obturadores de válvula de guiado superior e inferior se utilizan para operaciones estables en condiciones de servicio exigentes.

El cuerpo de válvula de control que se ilustra en la Figura 3.5 está montado para la acción de obturador de empujar para abrir.

Los diseños de puerto doble se han usado históricamente en refinerías con fluidos muy viscosos o cuando era necesaria la protección frente a contaminantes o acumulación de residuos de proceso en los internos.

3.1.1.5 Cuerpos de válvula de tres vías

- Con tres conexiones de tubería se obtiene un servicio general convergente (combinación de flujos) o divergente (separación de flujos).
- Las variantes incluyen diseños de jaula, puerto y guiados por vástago, que se eligen para servicio de alta

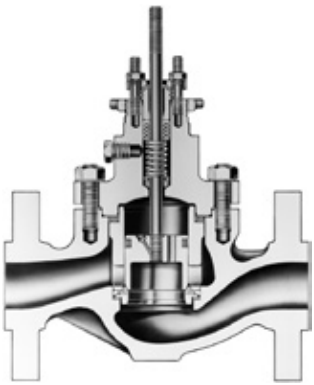


Figura 3.4 Cuerpo de válvula con internos estilo jaula, obturador de válvula estable y asiento suave

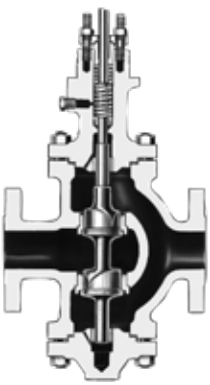


Figura 3.5 Cuerpo de válvula de globo de puerto doble

temperatura y conexiones finales estándar (bridadas, atornilladas, soldadas a tope, etc.), que se pueden especificar para su adaptación a la mayoría de configuraciones de tubería.

- La elección requiere una consideración atenta, en especial para estructuras con obturador de válvula inestable.

En la Figura 3.6 se ilustra un cuerpo de válvula de tres vías con obturador de válvula estable junto con el obturador de válvula cilíndrico en posición de mitad de carrera. Dicha posición abre el puerto común inferior a las tomas derecha e izquierda. La estructura se puede utilizar para regular el control de posición de mitad de carrera de fluidos convergentes o divergentes.

Figura 3.6 Válvula de globo de tres vías

3.1.2 Válvulas sanitarias

Estos estilos de cuerpo de válvula están diseñados para satisfacer las exigencias más estrictas de las industrias farmacéutica y biotecnológica. Las normas de dichas industrias son distintas de las que se aplican a los diseños de válvula de control convencionales, dado que en muchas de sus aplicaciones el fluido de proceso es en última instancia para consumo humano. Por esa razón, adquiere máxima importancia prevenir el desarrollo del crecimiento bacteriano y la incorporación de materia extraña al fluido de proceso.

- Se han incorporado juntas deslizantes y no deslizantes ASME-BPE para satisfacer una gran variedad de aplicaciones asépticas. Las certificaciones están disponibles.
- Los materiales metálicos que se utilizan para dichas válvulas cumplen las normas sanitarias 3A. Las certificaciones están disponibles.
- Los elastómeros empleados en estos diseños de válvula están certificados por la FDA y USP CL VI.
- Las válvulas están disponibles de serie con superficies internas electropulidas <35 Ra micropulgadas (0,89 micras). Están disponibles como opción otros valores inferiores respecto a la aspereza superficial.
- Los diseños con autodrenaje hacen que estas válvulas sean adecuadas para aplicaciones CIP (Clean-in-Place, limpieza en sitio) y SIP (Steam-in-Place, vapor en sitio).
- Las válvulas son de acero inoxidable 316L maquinado, con conexiones Tri-Clamp o terminales con soldadura a tope. Hay otros materiales disponibles de manera opcional.
- Es posible utilizarlas en aplicaciones continuas de esterilización por vapor, con temperaturas de hasta 177 °C (350 °F).

3.1.3 Válvulas rotativas

3.1.3.1 Cuerpos de válvula de mariposa

- Los cuerpos requieren un espacio mínimo para su instalación (Figura 3.7).
- Ofrecen baja pérdida de presión a través de las válvulas.
- Los cuerpos de válvula de mariposa son económicos, especialmente en tamaños y capacidad de caudal grandes.
- Los cuerpos se acoplan con bridas de superficie elevada ASME y DN.
- Los cuerpos de válvula de mariposa pueden requerir una gran salida o grandes actuadores si la válvula es grande o si la caída de presión es alta, dado que los pares operativos pueden

ser importantes.

- Las unidades están disponibles para servicio en aplicaciones de plantas de energía atómica con requisitos de fuga estrictos.
- Las válvulas de mariposa estándar están disponibles en tamaños NPS 72 (DN 1800) para distintas aplicaciones de válvula de control. Los tamaños más pequeños pueden utilizar versiones de obturadores tradicionales de diafragma o neumáticos de pistón, incluidos los estilos modernos de actuador giratorio. Los tamaños más grandes pueden requerir obturadores eléctricos de gran salida, de cilindro neumático de carrera larga o electrohidráulicos. Las válvulas de mariposa presentan típicamente una característica aproximada de flujo equiporcentual. Se pueden emplear en servicios de regulación o para control de apertura/cierre.

Figura 3.7 Válvula de control de mariposa

3.1.3.2 Cuerpos de válvula de bola segmentada

Esta estructura es parecida a la de una válvula de bola convencional, aunque con un segmento de muesca en V contorneado, bajo patente (Figura 3.8). La muesca en V genera una característica de flujo equiporcentual.

Son válvulas de control de una gran capacidad de rangeabilidad, control y cierre. Estas válvulas se utilizan en la industria papelera, en plantas químicas, plantas de depuración de aguas residuales, sector energético y refinerías de petróleo.

- El diseño de flujo directo admite caídas de presión pequeñas.
- Los cuerpos de válvula de control de bola con muesca en V son adecuadas para el control de fluidos erosivos o viscosos, pasta de papel u otras lechadas que contengan sólidos o fibras.

Figura 3.8 Bola con muesca en V segmentada

- Utilizan actuadores estándar de resorte y diafragma, pistón, eléctricos o giratorios electrohidráulicos.
- La válvula se mantiene en contacto con la junta durante la rotación, que genera un efecto de cizallamiento al cerrarse la bola y reducir la obstrucción.
- Los cuerpos están disponibles con anillo de sello de gran resistencia o compuesto de PTFE para ofrecer una excelente rangeabilidad que supera el valor de 300:1.
- Las válvulas de control de bola segmentada están disponibles con conexiones finales sin brida o de cuerpo embridado.
- Las válvulas bridadas y sin brida se acoplan con bridas ASME clase 150, 300 o 600. También hay diseños disponibles para bridas DN, PN10, 16, 25 o 40. Igualmente se dispone de diseños bridados JIS 10K y 20K.

3.1.3.3 Cuerpos de válvula de mariposa de altas prestaciones

- Estos cuerpos de válvula ofrecen un control de regulación eficaz.
- Los cuerpos de válvula de control de mariposa de altas prestaciones ofrecen característica de flujo lineal mediante 90 grados de rotación de disco (Figura 3.9).

- El montaje de doble excentricidad del disco lo separa de la junta cuando empieza a abrirse, con el fin de reducir el desgaste de la junta.
- Los cuerpos de válvula de control de mariposa de altas prestaciones están disponibles en tamaños NPS 24 (DN 600) compatibles con bridas estándar ASME.

Figura 3.9 Válvula de control de mariposa de altas prestaciones

- Utilizan actuadores estándar de resorte y diafragma, pistón, eléctricos o giratorios electrohidráulicos.
- La dirección de flujo estándar depende del diseño de la junta; el flujo inverso reduce la capacidad.

Las válvulas de control de mariposa de altas prestaciones están diseñadas para aplicaciones de servicio general que no requieren control de regulación de precisión. Se suelen emplear en aplicaciones que requieren grandes tamaños y elevadas temperaturas debido a su bajo coste en relación con otros estilos de válvulas de control. El rango de control de este estilo de válvula es aproximadamente de un tercio de las válvulas de bola o de globo. Por lo tanto, se requiere una atención adicional al dimensionar y aplicar este estilo de válvula para eliminar los problemas de control relacionados con los cambios de carga del proceso. Dan muy buen resultado en las aplicaciones de carga de proceso constante. Los diseños con un contorno caracterizado pueden ampliar el rango de control hasta el de una válvula de bola segmentada.

3.1.3.4 Cuerpos de válvula de obturador excéntrico

- El conjunto de válvula combate la erosión. El diseño resistente de cuerpo e internos soporta temperaturas de 427 °C (800 °F) y caídas de presión de cierre de hasta 1500 psi (103 bar).
- El recorrido del disco excéntrico reduce el contacto con el anillo de asiento en la apertura, con lo cual se minimiza el desgaste y la fricción del asiento, se prolonga su duración y se mejora el comportamiento de la regulación (Figura 3.10).
- El anillo de asiento autocentrable y el disco resistente permiten un flujo directo o inverso, con un cierre hermético en ambas direcciones. El disco, el anillo de asiento y el retenedor están disponibles en materiales endurecidos, incluida la cerámica, para la elección de resistencia a la erosión.
- El obturador, el anillo de asiento y el retenedor están disponibles en materiales endurecidos, incluidos cerámica y carburos, para ampliar la elección de resistencia a la erosión.
- Están disponibles diseños de bola segmentada con muesca en V en lugar de obturador para satisfacer necesidades de mayor capacidad.

El estilo de la válvula de control rotativa es adecuado para fluidos erosivos, de coqueo y otros difíciles de manipular, con operación de regulación y/o de apertura/cierre. Las válvulas bridadas y sin brida cuentan con pasos de flujo perfilados y componentes de internos metálicos de gran resistencia para ofrecer un servicio fiable en las aplicaciones con lechada. Se utilizan en los sectores de minería, refinado de petróleo, energía y de pulpa y papel. ■

Figura 3.10 Cuerpo de válvula de control de obturador excéntrico

3.1.3.5 Cuerpos de válvula de bola de puerto completo

La válvula de control de bola de puerto completo está diseñada para ofrecer presión, regulación, flujo y control de proceso optimizados. Normalmente hay una opción de atenuación para controlar el ruido y las vibraciones. La válvula de bola como dispositivo de regulación es, idealmente, un producto con un orificio reducido o un mecanismo de orificio completo con un atenuador que absorbe una pequeña caída de presión en la posición de apertura total. Una válvula de bola de puerto completo, en la posición de apertura total, debe girar de 15 a 20 grados antes de absorber una energía significativa del sistema. Esto se relaciona con un retardo adicional del control de proceso. Un dispositivo con orificio reducido o atenuado absorbe una pequeña cantidad de presión en la apertura total; a media que la bola gira, se produce una creciente caída de presión en los primeros incrementos de la carrera. Las válvulas de bola de puerto completo presentan poca o ninguna restricción al flujo y permiten las operaciones de inspección y limpieza de tuberías "pigging" (cuando no existe atenuación). Consulte la Figura 3.11.

Figura 3.11 Válvula de control de bola de puerto completo

3.1.3.6 Válvula multipuerto

Una válvula selectora de flujo multipuerto se conecta a ocho líneas de entrada para permitir el aislamiento, la desviación y la prueba de fluido procedente de cualquiera de las líneas a través de un obturador giratorio, mientras que las siete líneas restantes siguen fluyendo a una salida de grupo común. La válvula ofrece una elección y desviación compactas de los fluidos de una línea individual para realizar pruebas sin obstaculizar la producción de las demás líneas.

La válvula multipuerto consta de cuatro componentes principales: cuerpo, bonete, obturador de rotor y actuador. El cuerpo consta de puertos de entrada y de salida para conectar las ocho entradas, una salida de prueba o desviación y una salida de grupo común. El bonete mantiene el obturador en posición vertical, equilibrado para girar dentro del cuerpo, y ofrece un sellado hermético al cuerpo de la válvula. El obturador se utiliza para seleccionar el puerto de producto que se envía a la toma de salida de prueba. Consulte la Figura 3.12.

Figura 3.12 Válvula multipuerto

3.2 Conexiones de terminales de válvula de control

Los tres métodos más frecuentes que se utilizan para instalar válvulas de control en tuberías son roscas de tubo atornilladas, bridas con empaquetadura empernadas y conexiones de terminales soldadas.

3.2.1 Tubos roscados atornillados

Las conexiones finales atornilladas, muy utilizadas en las válvulas de control pequeñas, son más económicas que las de extremos bridados. Las roscas que se suelen especificar son cónicas hembra NPT (National Pipe Thread) en el cuerpo de la válvula. Forman un cierre metal-metal al encajar en cuña las roscas coincidentes en los extremos de la tubería.

Este estilo de conexión, normalmente limitado a las válvulas NPS 2 (DN 50) o más pequeñas, no está recomendado para servicio a temperaturas elevadas. El mantenimiento de la válvula se puede complicar con las conexiones finales roscadas si es necesario extraer el cuerpo de la tubería, dado que la válvula no puede retirarse sin romper una unión bridada o un empalme para poder desenroscar el cuerpo de la válvula de la tubería.

3.2.2 Bridas con empaquetadura empernadas

Las válvulas con extremo bridado se retiran fácilmente de la tubería y pueden usarse en toda la gama de presiones operativas para la que se fabrican la mayoría de válvulas de control (Figura 3.13). Las conexiones finales bridadas se pueden usar en un rango de temperaturas desde casi el cero absoluto hasta unos 815 °C (1500 °F). Son aptas para todos los tamaños de válvula. Las conexiones bridadas más habituales son de superficie plana, superficie elevada y de junta anular.

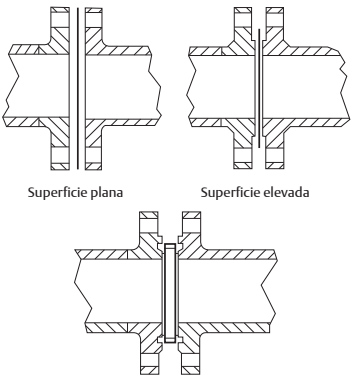


Figura 3.13 Variedades habituales de conexiones de brida empernada

Las de superficie plana permiten que las bridas coincidentes hagan contacto total con la junta empotrada entre ellas. Es una estructura que suele utilizarse en las válvulas de baja presión, de hierro fundido y de latón, y reduce las tensiones de brida provocadas por la fuerza inicial del empernado.

La brida de superficie elevada presenta una cara circular elevada de un diámetro interno igual al de la abertura de la válvula y el diámetro externo un poco inferior al diámetro del círculo empernado. La superficie elevada tiene un acabado de ranuras circulares concéntricas para lograr un buen sellado y para resistir la expulsión de la junta. Es un tipo de brida utilizado con diversos materiales de junta y de brida

para presiones en el rango de presión de 6000 psig (414 bar) y para temperaturas aproximadas de 815 °C (1500 °F). Este estilo de bridado suele ser estándar en los cuerpos de hierro fundido clase 250 y en todos los cuerpos de acero y de aleación de acero.

La brida de junta anular tiene el aspecto de la brida de superficie elevada, excepto por una ranura en U en la superficie elevada, concéntrica respecto a la línea central del tubo. La junta es un anillo metálico con sección transversal elíptica u octogonal. Cuando se aprietan los pernos de la brida, la junta encaja en cuña en la ranura de las bridas de contacto y se forma un cierre hermético. La junta suele ser de hierro dulce, pero está disponible prácticamente de cualquier metal. Es una unión excelente a alta presión y se usa a presiones de hasta 15000 psig (1034 bar), pero no suele emplearse a altas temperaturas. El cuerpo de válvula se suministra solo en acero y en aleación de acero si se especifica.

3.2.3 Conexiones finales soldadas

Las conexiones finales o terminales soldados de las válvulas de control son herméticos a todas las presiones y temperaturas y tienen un precio de fábrica económico (Figura 3.14). Las válvulas de terminales soldados son más difíciles de retirar de la línea y, como es obvio, tienen limitaciones en cuanto a materiales soldables. Los terminales soldados se suministran de dos tipos: soldados por enchufe y soldados a tope.

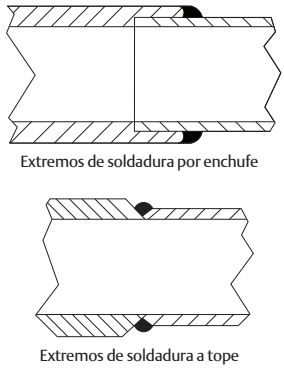


Figura 3.14 Conexiones finales soldadas

Los terminales soldados por enchufe se preparan abriendo en cada punta de la válvula un orificio con un diámetro interno ligeramente mayor que el diámetro externo del tubo. El tubo se desliza al interior del orificio hasta topar con un reborde y después se une a la válvula mediante soldadura en ángulo. Dado que dicha soldadura no penetra por completo en la conexión válvula-tubo, no se utilizan métodos no destructivos con dichas válvulas. Los terminales soldados por enchufe de cualquier tamaño tienen las mismas medidas con independencia de la cédula de tubo. Normalmente se utilizan en tamaños NPS 2 (DN 50).

Los terminales soldados a tope se preparan biselando cada extremo de la válvula para que coincidan con los biseles similares del tubo. A continuación, los terminales de válvula se unen a la tubería con una soldadura de penetración total. Es un tipo de unión que se puede emplear con todos los estilos de válvula. La preparación del extremo es distinta para cada tipo de cédula de tubo. Normalmente se emplean con válvulas de control de tamaños NPS 2-1/2 (DN 65) y superiores. Se debe tener cuidado al soldar cuerpos de válvula en la tubería para no transmitir un calor excesivo a las piezas de los internos de la válvula. Los internos de materiales compuestos para bajas temperaturas se deben retirar antes de la soldadura.

3.2.4 Otras conexiones de terminales de válvula

Hay otros tipos de conexiones de terminales utilizados con las válvulas de control. Esos tipos de conexiones de terminales suelen servir a fines específicos o a diseños especiales. Algunos ejemplos son los de conexiones de terminales higiénicos o de extremos acampanados. ■

3.3 Bonetes de cuerpo de válvula

El bonete de una válvula de control es la parte del conjunto del cuerpo en la que se mueve el vástago obturador o la flecha rotativa de la válvula. En los cuerpos de globo o de ángulo, es el componente que retiene la presión de un extremo del cuerpo de la válvula. Normalmente, el bonete facilita el montaje del actuador en el cuerpo y aloja el prensaestopas.

En general, las válvulas rotativas no tienen bonete. (En ciertas válvulas rotativas el prensaestopas se aloja dentro de una extensión del propio cuerpo de válvula o es un componente aparte empernado entre el cuerpo de la válvula y el bonete.)

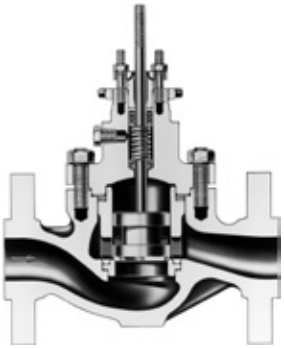


Figura 3.15 Bonete, brida y pernos prisioneros típicos

En un cuerpo de válvula de control tipo globo típico, el bonete es del mismo material que el cuerpo de válvula o es un material forjado equivalente porque se trata de un elemento contenedor de presión sujeto a la misma temperatura y a los mismos efectos de corrosión que el cuerpo. Se ilustran las conexiones de cuerpo y bonete de varios tipos de válvulas. En la Figura 3.15 se ilustra el tipo de brida empernada más frecuente, que es el de un bonete con brida integrada. En las válvulas de control rotativas la empaquetadura suele estar alojada en el cuerpo de la válvula y no se utiliza bonete.

En los cuerpos de válvula de control con jaula o internos tipo retenedor, el bonete suministra fuerza de carga para evitar fugas entre la brida del bonete y el cuerpo de la válvula, así como entre el anillo de asiento y el cuerpo de la válvula. El apriete del empernado de cuerpo-bonete comprime una empaquetadura de lámina plana para sellar la unión de cuerpo-bonete, una empaquetadura en espiral sobre la jaula, y otra empaquetadura de lámina plana debajo del anillo de asiento para sellar el anillo de asiento-cuerpo. El bonete también alinea la jaula, que a su vez guía el obturador de la válvula para garantizar la alineación adecuada de válvula, obturador y vástago con la empaquetadura y el asiento.

Como ya se ha dicho, el bonete convencional de una válvula de control tipo globo aloja la empaquetadura. La empaquetadura se suele sujetar con un casquillo, que se mantiene en su posición mediante una brida de la sección del saliente del yugo del bonete (Figura 3.15). Otra manera de retener la empaquetadura es utilizar un collarín atornillado para sujetar el casquillo de la empaquetadura. Esta alternativa es compacta, por lo que se suele utilizar en válvulas de control pequeñas; sin embargo, el usuario no siempre puede estar seguro del encaje de la rosca. Por lo tanto, hay que tener cuidado al ajustar la compresión de la empaquetadura cuando la válvula de control esté en servicio.

La mayoría de los bonetes de brida empernada tienen una sección en el lado del prensaestopas que se puede perforar y roscar. Esa abertura se cierra con una obturador de tubo estándar a menos que exista alguna de las condiciones siguientes:

- Es necesario purgar el fluido de proceso del cuerpo y el bonete de la válvula, en

cuyo caso la abertura se puede usar como conexión de purga.

- La abertura del bonete se usa para detectar fugas en el primer conjunto de empaquetadura o de un sellado de fuelle averiado.

3.3.1 Bonetes de extensión

Los bonetes de extensión se utilizan en servicios de alta o baja temperatura para proteger la empaquetadura del vástago de la válvula de temperaturas de proceso extremas. La empaquetadura de válvula de PTFE estándar es útil para la mayoría de aplicaciones de hasta 232 °C (450 °F). Los bonetes de extensión alejan el prensaestopas de la tapa lo suficiente de la temperatura extrema del proceso para que la temperatura del prensaestopas se mantenga dentro del rango recomendado.

Los bonetes de extensión son fundidas o fabricadas (Figura 3.16). Las extensiones fundidas ofrecen mejor servicio a altas temperaturas por la mayor emisividad térmica, que proporciona un mejor efecto de enfriamiento. A la inversa, las superficies lisas, como las fabricadas a partir de tuberías de acero inoxidable, se prefieren para el servicio en frío porque lo que más preocupa es siempre el influjo térmico.

Figura 3.16 Cuerpo de válvula de bonete de extensión soldada

En cualquiera de los casos, el grosor de la pared de la extensión se debe reducir para aminorar la transferencia de calor. Se suele preferir el acero inoxidable al acero al carbono debido a su menor coeficiente de conductividad térmica. En las aplicaciones de servicio en frío, se puede añadir aislamiento alrededor de la extensión para protegerla de influjos de calor.

3.3.2 Bonetes con fuelle de estanqueidad

Los bonetes con fuelle de estanqueidad (Figura 3.17) se usan cuando no se pueden tolerar fugas (menos de $1x10^{-6}$ cm^3/seg. de helio) a lo largo del vástago. Suelen utilizarse cuando el fluido del proceso es tóxico, volátil, radiactivo o muy costoso. Es una estructura de bonete especial que protege al vástago y a la empaquetadura de la válvula para que no haga contacto con el fluido del proceso. Las estructuras de prensaestopas estándar o medioambientales sobre el fuelle de estanqueidad evitan fallos catastróficos en caso de ruptura o avería del fuelle.

Figura 3.17 Bonete con fuelle de estanqueidad ENVIRO-SEAL

Tal como sucede con otras limitaciones de presión y temperatura de la válvula de

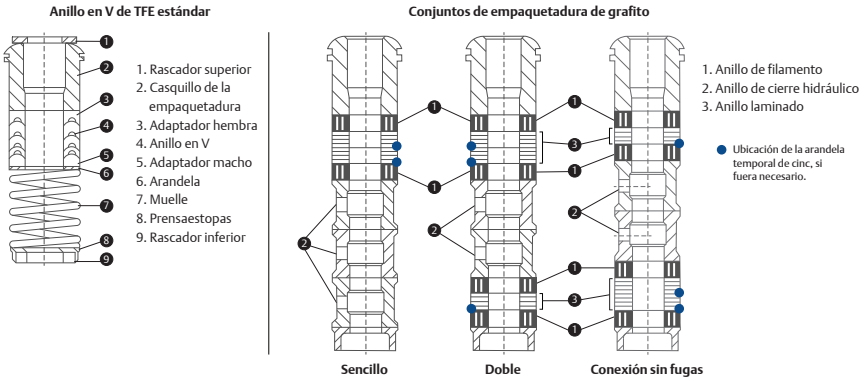


Figura 3.20 Configuraciones de material para cuerpos de válvula de globo

control, las presiones nominales se reducen al aumentar la temperatura. La elección de un diseño de fuelle de estanqueidad debe hacerse con particular cuidado, prestando especial atención a la inspección y mantenimiento adecuados después de la instalación. Se debe prestar gran atención al material del fuelle para asegurar una vida útil máxima.

Para las válvulas de control se pueden utilizar dos tipos de diseño de fuelle de estanqueidad. Son los de soldadura de hoja y los formados mecánicamente.

El diseño con soldadura de hoja (Figura 3.18) tiene menor altura total. Debido a su método de fabricación y diseño, la vida útil puede ser limitada.

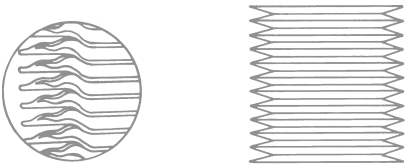


Figura 3.18 Fuelle con soldadura de hoja

El diseño formado mecánicamente (Figura 3.19) es comparativamente más alto y se produce con un proceso de fabricación repetible y, por lo tanto, de mayor fiabilidad. ■

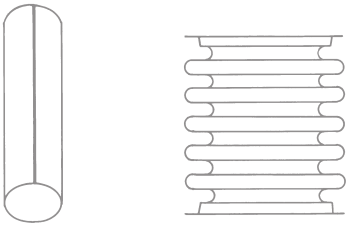


Figura 3.19 Fuelle formado mecánicamente

3.4 Empaquetadura de la válvula de control

La mayoría de las válvulas de control utilizan prensaestopas con la empaquetadura retenida y ajustada por una brida y pernos prisioneros (se ilustra en la Figura 3.26). Es posible emplear diversos materiales de empaquetadura, dependiendo de las condiciones de servicio previstas y de si la aplicación requiere el cumplimiento de normas medioambientales. En la Figura 3.20 se ofrecen descripciones y directrices de condiciones de servicio breves respecto a varios materiales de uso frecuente y disposiciones de material de empaquetadura típicas.

3.4.1 Anillo en V de PTFE

- Material plástico con capacidad inherente de reducir la fricción.

- Anillos moldeados en forma de V accionados por resorte y autoajustables en el prensaestopas. La empaquetadura no requiere lubricación.
- Resistente a los productos químicos más conocidos, excepto los metales alcalinos fundidos.
- Para un cierre adecuado se requiere un acabado de vástago sumamente liso (de 2 a 4 micropulgadas RMS). Se producirán fugas si se daña la superficie del vástago o de la empaquetadura.
- Límites de temperaturas recomendados: De -40 a 232 °C (-40 a 450 °F)
- No es adecuado para servicio nuclear porque la radiación destruye fácilmente al PTFE.

3.4.2 Grafito laminado y en filamento

- Apto para servicio nuclear de altas temperaturas o cuando se desea un contenido bajo de cloro (grado GTN).
- Ofrece un funcionamiento sin fugas, elevada conductividad térmica y larga duración, pero genera una alta fricción del vástago y la histéresis resultante.
- Resistente a los fluidos más difíciles de tratar y a la radiación elevada.
- Rango de temperatura adecuado: temperaturas criogénicas de hasta -198 °C (-325 °F)
- No requiere lubricación pero se debe utilizar un bonete de extensión o un yugo de acero cuando la temperatura del prensaestopas supere 427 °C (800 °F).

3.4.3 Normativa estadounidense sobre emisiones fugitivas

Las denominadas fugitivas son emisiones orgánicas volátiles de fuente difusa provocadas por fugas en el equipo de proceso. Se calcula que las fugas de equipos en Estados Unidos superan los 180 millones de kilos al año. Estrictas normas gubernamentales, desarrolladas por EE UU, dictan la detección de fugas y los programas de reparación (LDAR). Se ha identificado a válvulas y bombas como fuentes principales de emisiones fugitivas. En el caso de las válvulas, se trata de fugas a la atmósfera motivadas por fallos de sellado de empaquetaduras o de juntas.

Los programas LDAR exigen que la industria supervise todas las válvulas (de control o no) a intervalos determinados por el porcentaje de válvulas con fugas detectadas con un umbral superior a 500 ppmv (algunas ciudades utilizan criterios de 100 ppmv). Es un nivel de fugas tan bajo que no se pueden ver ni oír. Para la detección es necesario utilizar sofisticados equipos de monitorización portátiles. La detección se produce al oler la sección de la empaquetadura mediante un protocolo de la agencia de protección del medio ambiente (EPA, Environmental Protection Agency). Para la industria se trata de un proceso costoso y laborioso.

Las regulaciones permiten ampliar el intervalo de monitorización hasta un

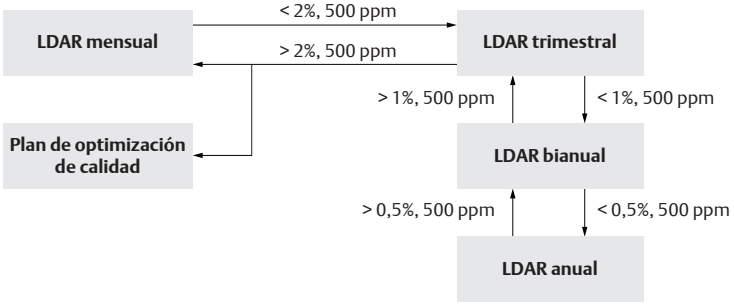


Figura 3.21 Frecuencia de medición de químicos orgánicos volátiles (VOC, Volatile Organic Chemicals) para el control de válvulas

periodo de un año, si la empresa puede demostrar un porcentaje muy bajo de válvulas con fugas (menos del 0,5% del total de válvulas que utiliza). La posibilidad de ampliar la frecuencia de medición se ilustra en la Figura 3.21.

Los sistemas de empaquetadura diseñados para requisitos de fugas sumamente bajos también amplían la duración y el desempeño de los sellos de empaquetadura para respaldar el objetivo de la monitorización anual. Un ejemplo de ello es el sistema de empaquetadura ENVIRO-SEAL. Sus sellos mejorados incorporan cuatro principios de diseño esenciales: la contención del material de sello flexible mediante un componente antiextrusión, la alineación correcta del vástago o flecha de la válvula dentro del orificio del bonete, aplicando una tensión de empaquetadura constante con resortes Belleville, y la reducción del número de anillos de sello para aminorar la consolidación, fricción y dilatación térmica.

El proceso tradicional de elección de válvula implicaba seleccionar un diseño de válvula basado en sus capacidades de presión y temperatura, características de flujo y compatibilidad de materiales. La empaquetadura del vástago que se utilizaría en la válvula estaba determinada principalmente por la temperatura de funcionamiento en la sección del prensaestopas. Las opciones de material disponible incluían el PTFE para temperaturas inferiores a 93 °C (200 °F) y el grafito para aplicaciones a temperaturas más elevadas.

Actualmente, la elección de un sistema de empaquetadura de válvula se ha vuelto mucho más complejo debido a diversas razones.

3.4.4 Normas globales sobre emisiones fugitivas

ISO 15848 es la norma de la Organización Internacional de Normalización (ISO, International Organization for Standardization) sobre los procedimientos de medición, prueba y cualificación de las emisiones fugitivas de las válvulas industriales. ISO 15848-1 es un sistema de clasificación y cualificación para el ensayo de tipo de válvulas que se creó con el fin de permitir la clasificación del comportamiento de diferentes diseños de emisiones fugitivas y de definir el ensayo de tipo para la evaluación y cualificación de válvulas en el que se especifican los estándares de emisiones fugitivas.

El ensayo de tipo significa que la prueba de cualificación se realiza en un diseño de válvula y sistema de empaquetadura, y que cualquier cualificación se traslada a todas las válvulas producidas con ese diseño de empaquetadura. El ensayo de tipo es distinto de la prueba de producción ISO 15848-2, que es una prueba de cualificación realizada en el momento del montaje y que puede aplicarse a más de un conjunto de válvula.

La norma ISO 15848-1 cubre las válvulas de control y las válvulas de aislamiento (apertura/cierre). Los requisitos de ciclo mecánico de los dos tipos de válvula son distintos, como se ilustra en la Figura 3.22. Los ciclos mecánicos se ejecutan al 10% de la carrera total en ambos lados de la posición de carrera al 50% en las válvulas de control y en la carrera completa en las válvulas de aislamiento.

Al igual que otras normas sobre emisiones fugitivas, ISO 15848-1 establece una prueba de cualificación que incluye varias combinaciones de clases de fugas, ciclos térmicos y ciclos mecánicos. Hay varias diferencias notables entre la norma ISO 15848-1 y los requisitos y normas gubernamentales de EE UU, como LDAR y la norma ANSI/FCI 91-1 para la cualificación de juntas de vástago de válvulas de control.

Tipo de válvula	Clase de ciclo mecánico	Ciclos mecánicos necesarios	Ciclos de temp.
Válvula de control	CC1	20.000	2
	CC2	60.000	3
	CC3	100.000	4
Válvula de aislamiento	CO1	205	2
	CO2	1.500	3
	CO3	2.500	4

Figura 3.22 ISO 15848-1 Requisitos de cualificación

Clase	Ciclos mecánicos (100% de carrera completa)	Ciclos térmicos	Fuga del asiento de vástago máxima según Método 21 de la EPA
A1	100.000	3	100 ppm
A2	100.000	3	500 ppm
B1	25.000	3	100 ppm
B2	25.000	3	500 ppm

Figura 3.25 FCI 91-1 Resumen de clases de fuga

ANSI/FCI 91-1 exige el "método olfativo" según el Método 21 de la EPA para una lectura de concentración de "ppm" y en ciudades de 100 ppm y 500 ppm, con varias clases de ciclo, como se muestra en la Figura 3.25.

ISO 15848-1 especifica los métodos de medición de "fuga total" por vacío o lavado descritos en el Anexo A de la norma.

Las fugas se registran como índice de fugas por tamaño de vástago medido. Ninguno de estos métodos es equivalente al Método 21 de la EPA (método olfativo) y la norma ISO 15848-1 establece que no se ha buscado la correlación entre las clases de estanqueidad cuando el fluido de la prueba es helio y cuando es metano. Consulte las figuras 3.23 y 3.24.

ISO 15848-1 Estanqueidad de fugas Clases	Índice de fugas medido (Anexo A)	
	mg.s-1.m-1 del perímetro del vástago	atm.cm3.s-1.mm-1 del diámetro del vástago
AH	$< 10^{-5}$	$< 1{,}76 \times 10^{-7}$
BH	$< 10^{-4}$	$< 1{,}76 \times 10^{-6}$
CH	$< 10^{-2}$	$< 1{,}76 \times 10^{-4}$

Nota: La clase de fuga A solo suele conseguirse con diseños de fuelle.

Nota: Las clases de fuga se denotan con "BH" o "BM", etc., para indicar el fluido de la prueba. "H" indica que la prueba se realizó con helio según el método de índice de fugas. "M" indica que la prueba se realizó con metano utilizando el Método 21 de la EPA.

Figura 3.23 ISO 15848-1 Índice de fugas medido

ISO 15848-1 Clases de estanqueidad de fugas	Concentración de fugas medida (Anexo B, método olfativo según el Método 21 de la EPA)
AM	< 50 ppm
BM	< 100 ppm
CM	< 500 ppm

Nota: La clase de fuga A solo suele conseguirse con diseños de fuelle.

Nota: Las clases de fuga se denotan con "BH" o "BM", etc., para indicar el fluido de la prueba. "H" indica que la prueba se realizó con helio según el método de índice de fugas. "M" indica que la prueba se realizó con metano utilizando el Método 21 de la EPA.

Figura 3.24 ISO 15848-1 Concentración de fugas medido

Actualmente, la elección de un sistema de empaquetadura de válvula se ha vuelto mucho más complejo debido a diversas razones.

Por ejemplo, los requisitos de control de emisiones, como los que especifica la Ley de Aire Limpio (Clean Air Act) en EE UU y la norma ISO 15848 a escala global, imponen requisitos más estrictos a la eficacia del sellado. Las demandas constantes de mejora del resultado del proceso implican que el sistema de empaquetadura de la válvula no debe afectar al comportamiento de la misma. Actualmente, la tendencia a utilizar programas de mantenimiento ampliados exige que los sistemas de empaquetadura de válvulas proporcionen el sellado requerido durante periodos más prolongados.

Dada la amplia variedad de aplicaciones de válvulas y condiciones de servicio en la industria, esas variables (capacidad de sellado, niveles de fricción en el funcionamiento, vida operativa) sean difíciles de cuantificar y de comparar. Las figuras 3.31 y 3.32 muestran un enfoque

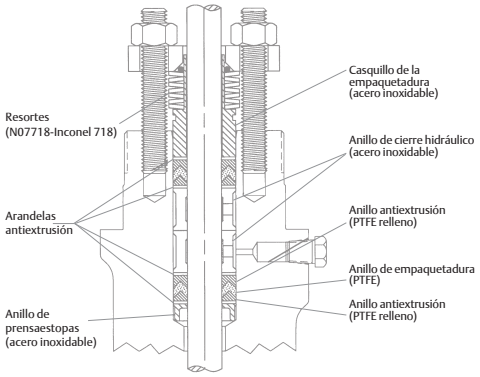


Figura 3.27 Sistema de empaquetadura ENVIRO-SEAL PTFE

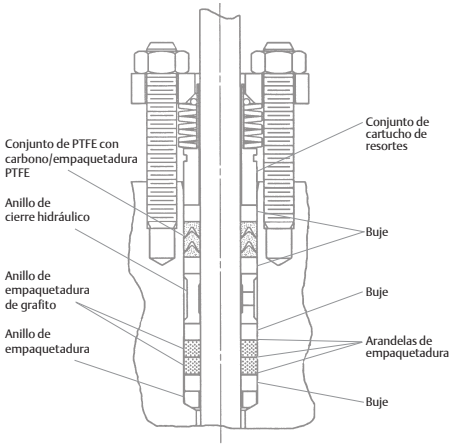


Figura 3.28 Sistema de empaquetadura ENVIRO-SEAL Duplex (PTFE y grafito

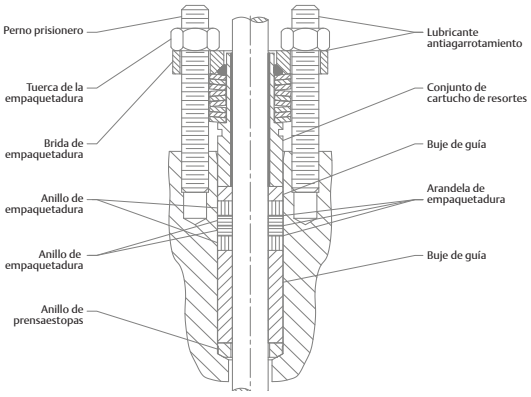


Figura 3.29 Sistema de empaquetadura ENVIRO-SEAL Graphite ULF

diseñado para una evaluación relativa de aplicabilidad y comportamiento de la empaquetadura. Sin embargo, en primer lugar, la comprensión adecuada de las tablas exige una clarificación de los nombres comerciales.

3.4.5 Empaquetadura de anillo en V de PTFE único

Para el montaje del anillo en V de PTFE único se utiliza un resorte en espiral entre la empaquetadura y el anillo del prensaestopas. Cumple el criterio de 100 ppmv para válvulas de vástago deslizante, siempre que la presión no supere 300 psi (20,7 bar) y la temperatura se encuentre entre -18 °C y 93 °C (0 °F y 200 °F). La empaquetadura del anillo en V de PTFE no se suministra con criterio de bajas emisiones para válvulas rotativas. Ofrece excelentes propiedades de sellado con la fricción de funcionamiento más baja. Consulte la Figura 3.26.

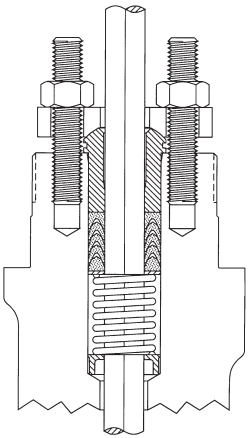


Figura 3.26 Empaquetadura de anillo en V de PTFE único

3.4.6 Empaquetadura ENVIRO-SEAL PTFE

El sistema de empaquetadura ENVIRO-SEAL PTFE es un método avanzado que emplea un diseño de resorte compacto de carga dinámica apto para aplicaciones medioambientales de hasta 750 psi y 232 °C (51,7 bar y 450 °F). Aunque la empaquetadura ENVIRO-SEAL PTFE suele considerarse un sistema de reducción de emisiones, también es adecuada para aplicaciones no medioambientales con altas temperaturas y presiones, y ofrece las ventajas de una vida útil más prolongada de las válvulas de vástago deslizante y rotativas. Consulte la Figura 3.27.

Sistema de empaquetadura	Límites de presión y temperatura máximos para servicio medioambiental[1]		Índice de rendimiento de estanqueidad	Índice de tiempo de servicio	Fricción de la empaqueta-dura
	Sistema de EE UU	Métrico			
Anillo en V de PTFE sencillo	300 psi 0 a 200 °F	20,7 bar -18 a 93 °C	Mejor	Larga	Muy baja
ENVIRO-SEAL PTFE	750 psi -50 a 450 °F	1,7 bar -46 a 232 °C	Excelente	Muy larga	Baja
ISO-Seal PTFE	6000 psig -50 a -450 °F	414 bar -46 a 232 °C	Excelente	Muy larga	Baja
ENVIRO-SEAL Duplex	750 psi -50 a -450 °F	51,7 bar -46 a 232 °C	Excelente	Muy larga	Baja
ENVIRO-SEAL Graphite ULF	1500 psi 20 a 600 °F	103 bar -7 a 315 °C	Excelente	Muy larga	Moderada
ISO-Seal Graphite	3365 psig -50 a 752 °F	232 bar -46 a 400 °C	Excelente	Muy larga	Moderada

1. Los valores indicados son solo directrices generales. Tales directrices se pueden superar a riesgo de una reducción del tiempo de servicio de la empaquetadura o aumentos de fugas. Los intervalos térmicos se aplican a la temperatura real de la empaquetadura, no a la temperatura del proceso.

Figura 3.31 Selección de empaquetaduras medioambientales para vástago deslizante

Sistema de empaquetadura	Límites de presión y temperatura máximos para servicio medioambiental[1]		Índice de rendimiento de estanqueidad	Índice de tiempo de servicio	Fricción de la empaqueta-dura
	Sistema de EE UU	Métrico			
ENVIRO-SEAL PTFE	750 psi -50 a 450 °F	103 bar -46 a 232 °C	Excelente	Muy larga	Baja
ENVIRO-SEAL grafito	1500 psi 20 a 600 °F	103 bar -18 a 315 °C	Excelente	Muy larga	Moderada
ISO-Seal Graphite	1500 psig -50 a 752 °F	103 bar -46 a 400 °C	Excelente	Muy larga	Moderada

1. Los valores indicados son solo directrices generales. Tales directrices se pueden superar a riesgo de una reducción del tiempo de servicio de la empaquetadura o aumentos de fugas. Los intervalos térmicos se aplican a la temperatura real de la empaquetadura, no a la temperatura del proceso.

Figura 3.32 Selección de empaquetaduras medioambientales para válvulas rotativas

Apertura rápida Lineal Equiporcentual

Figura 3.33 Jaulas caracterizadas para cuerpos de válvula de globo

3.4.7 Empaquetadura ENVIRO-SEAL Duplex

Este sistema de empaquetadura especial ofrece las capacidades de los componentes de PTFE y de grafito para obtener una solución resistente al fuego de baja fricción y bajas emisiones (norma API 589) para aplicaciones con temperaturas de proceso de hasta 232 °C (450 °F) en válvulas de vástago deslizante. Las válvulas rotativas no están disponibles con empaquetadura ENVIRO-SEAL Duplex. Consulte la Figura 3.28.

3.4.8 Empaquetadura ISO-Seal PTFE

Sistema de empaquetadura diseñado para presiones que superen la capacidad de la empaquetadura ENVIRO-SEAL PTFE para servicio medioambiental. Está disponible para su uso en válvulas de vástago deslizante y rotativas.

3.4.9 ENVIRO-SEAL Graphite ULF

Sistema de empaquetadura diseñado principalmente para aplicaciones medioambientales a temperaturas que superen 232 °C (450 °F). El sistema de empaquetadura ULF patentado incorpora capas de PTFE muy delgadas dentro de los anillos de la empaquetadura, así como arandelas de PTFE en cada lado de dichos anillos. La colocación estratégica del PTFE reduce los problemas de control y de fricción, facilita el sellado y amplía la vida útil del conjunto de empaquetadura. Consulte la Figura 3.29.

3.4.10 HIGH-SEAL Graphite ULF

Idéntico al sistema de empaquetadura ENVIRO-SEAL Graphite ULF que se coloca debajo del casquillo de la empaquetadura, el sistema HIGH-SEAL utiliza resortes Belleville de gran diámetro y resistencia. Dichos resortes ofrecen carrera de vástago adicional y se pueden calibrar con una báscula de carga para obtener una indicación visual de la carga y desgaste de la empaquetadura.

3.4.11 Empaquetadura ISO-Seal Graphite

Sistema de empaquetadura diseñado para temperaturas que superen la capacidad de la empaquetadura ENVIRO-SEAL Graphite ULF. Se puede utilizar para servicio medioambiental a temperaturas entre -46 y 400 °C (-50 y 752 °F). Está disponible para su uso en válvulas de vástago deslizante y rotativas.

3.4.12 ENVIRO-SEAL Graphite para válvulas rotativas

La empaquetadura de grafito ENVIRO-SEAL está diseñada para aplicaciones medioambientales de -6 a 316 °C (20 a 600 °F) o para aplicaciones que requieren protección contra incendios. Se puede utilizar con presiones hasta de 1500 psi (103 bar) y aun así satisfacer los criterios de 100 ppmv de la EPA. La empaquetadura se puede emplear a temperaturas hasta de 371 °C (700 °F) en aplicaciones no medioambientales. Consulte la Figura 3.30.

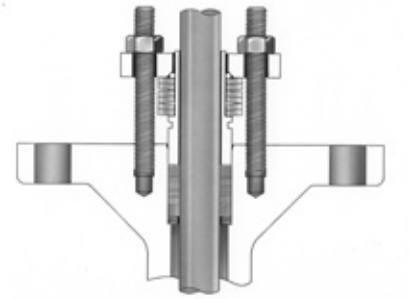


Figura 3.30 Sistema de empaquetadura ENVIRO-SEAL Graphite para válvulas rotativas

3.4.13 Cinta de grafito para válvulas rotativas

La empaquetadura de cinta de grafito está diseñada para aplicaciones no medioambientales que abarquen una amplia gama de temperaturas, desde -198 hasta 538 °C (-325 a 1000 °F).

3.4.14 Selección de empaquetaduras medioambientales para vástago deslizante

La Figura 3.31 contiene la comparación de distintas opciones de empaquetadura de vástago deslizante y una valoración relativa del comportamiento, la vida útil y la fricción de la empaquetadura en aplicaciones medioambientales. Los filamentos de grafito trenzados y el PTFE doble no son soluciones de sellado aceptables para aplicaciones medioambientales.

3.4.15 Selección de empaquetaduras medioambientales para válvulas rotativas

La Figura 3.32 corresponde a las válvulas rotativas. En el caso de las válvulas rotativas, las configuraciones de empaquetadura de PTFE único y de cinta de grafito no son las más adecuadas como soluciones de sellado de emisiones fugitivas.

Las tecnologías de sellado del vástago permiten conseguir el control de las emisiones fugitivas de la válvula y una reducción de los costes de conformidad con la normativa de la industria.
Si bien los sistemas de empaquetadura ENVIRO-SEAL se han diseñado específicamente para aplicaciones de emisiones fugitivas, dichas tecnologías también deben tenerse en cuenta para aplicaciones en las que el comportamiento de sellado y la duración de la junta sean una preocupación constante o un problema de gastos de mantenimiento. ■

3.5 Caracterización de cuerpos de válvula guiados por jaula

En los cuerpos de válvula con internos de guiado por jaula, la forma de las aberturas o ventanas de flujo en la pared de la jaula cilíndrica determina la caracterización del flujo. Cuando el obturador de la válvula se aleja del anillo de asiento, las ventanas de la jaula se abren para permitir el flujo a través de la válvula. Las jaulas estándar se han diseñado para generar características de flujo inherente lineales, equiporcentuales y de apertura rápida. También puede estar disponible la adaptación de la caracterización. Obsérvense las diferencias en las formas de las ventanas de jaula en la Figura 3.33. La relación entre caudal y carrera suministrada por las válvulas que utilizan dichas jaulas son las curvas lineales, de apertura rápida o equiporcentuales que se muestran respecto a los obturadores de válvula contorneados (Figura 3.34).

Los internos de guiado por jaula permite cambiar fácilmente la característica de flujo inherente de la válvula mediante la instalación de una jaula distinta. El cambio de jaulas para lograr una característica de flujo inherente no requiere el cambio del obturador ni del anillo de asiento de la válvula. Las jaulas estándar que se muestran se pueden utilizar con estructuras de internos estables o inestables. El asiento suave, cuando sea necesario, está disponible como una inserción retenida en el anillo de asiento y es independiente de la elección de la jaula o del obturador de la válvula.

El intercambio de jaulas se puede ampliar a diseños de jaula especiales que ofrecen atenuación de ruidos o combaten la cavitación. Esas jaulas normalmente aportan característica de flujo lineal, pero requieren que el flujo siga una dirección específica a través de las aberturas de la jaula. Por lo tanto, podría ser necesario invertir el cuerpo de la válvula en la tubería para conseguir una dirección de flujo adecuada.

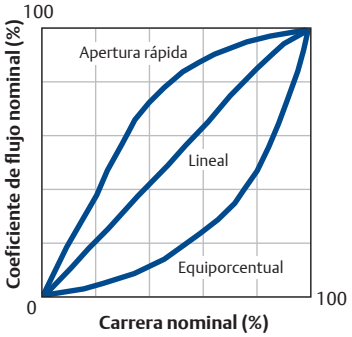


Figura 3.34 Curvas de característica de flujo inherente

3.5.1 Obturadores de válvula caracterizados

El obturador, que es la pieza móvil del conjunto de válvula de control de globo, proporciona restricción variable al flujo de fluido. Cada estilo de obturador de válvula se diseña para una característica de flujo determinada, permitir una manera concreta de guiar o de alinearse con el anillo de asiento, o de contar con una capacidad particular de cierre o de resistencia a daños.

El contorno de la superficie del obturador de la válvula junto al anillo de asiento es fundamental para determinar la característica de flujo inherente de una válvula de control caracterizada por el obturador. A medida que

el actuador se desplaza hacia el obturador de la válvula a lo largo de su carrera, la sección de flujo sin obstrucciones cambia de forma y tamaño, dependiendo del contorno del obturador de la válvula. Cuando un diferencial de presión constante se mantiene en toda la válvula, se puede representar la cambiante relación entre los porcentajes de capacidad de caudal máxima y de carrera total (Figura 3.34), que se designa como la característica de flujo inherente de la válvula.

Las características de flujo inherentes más habituales son lineal, equiporcentual y de apertura rápida. Se explican con mayor detenimiento en el Capítulo 5. ■

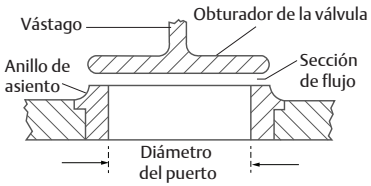


Figura 3.35 Estructura típica para obtener característica de flujo de apertura rápida

3.6 Guía del obturador de la válvula

La guía precisa del obturador de la válvula es necesaria para la alineación correcta del anillo de asiento y un control eficiente del fluido de proceso. Los métodos utilizados habitualmente y sus nombres son generalmente autodescriptivos.

Guiado por jaula: El diámetro exterior del obturador de la válvula se aproxima a la superficie de la pared interior de la jaula cilíndrica a lo largo del rango de carrera. Dado que el bonete, la jaula y el anillo de asiento son autoalineables en el conjunto, la alineación correcta del obturador y el anillo de asiento de la válvula está asegurada al cerrarse la válvula (Figura 3.15).

Guiado superior: El obturador de la válvula se alinea mediante un solo buje guía del bonete o del cuerpo de la válvula, o con la configuración de la empaquetadura.

Guiado del vástago: El obturador de la válvula se alinea con el anillo de asiento mediante un buje guía en el bonete que actúa sobre el vástago del obturador de la válvula.

Guiado superior e inferior: El obturador de la válvula se alinea mediante bujes guía situados en el bonete y en la brida inferior (consulte la Figura 3.5). Esto es habitual en las estructuras de puerto doble.

Guiado de puerto: El obturador de la

Acción directa **Acción inversa**

Figura 3.37 Actuadores de diafragma

válvula se alinea mediante el puerto del cuerpo de la válvula. ■

3.7 Internos de capacidad restringida de la válvula de control

La mayoría de los fabricantes de válvulas de control pueden suministrar válvulas con piezas de internos de capacidad reducida o restringida. El caudal reducido puede ser conveniente por alguna de las razones siguientes:

- Los internos de capacidad restringida pueden permitir la elección de un cuerpo de válvula lo bastante grande para mayores necesidades de caudal futuras, aunque con la capacidad de internos adecuadamente dimensionada para las necesidades actuales.
- Los cuerpos grandes con internos de capacidad restringida se pueden usar para reducir las velocidades de entrada y de salida del fluido.
- Se puede evitar la compra de costosos reductores de tuberías.
- Los errores de sobredimensionamiento se pueden corregir con el uso de piezas de internos con capacidad restringida.

Los cuerpos de válvula de globo convencionales se pueden equipar con anillos de asiento con puertos más pequeños de lo normal y obturadores de válvula adaptados a ellos. Las válvulas con internos de guiado por jaula suelen conseguir el efecto de capacidad reducida con el uso de obturador, jaula y anillos de asiento de una válvula similar de menor tamaño, y adaptadores situados sobre la jaula y debajo del anillo de asiento para hacer coincidir las piezas más pequeñas con el cuerpo de la válvula (Figura 3.36). Dado que el servicio de capacidad reducida suele ser frecuente, la mayoría de los fabricantes ofrecen combinaciones de internos listos para usar que llevan a cabo la función necesaria. ■

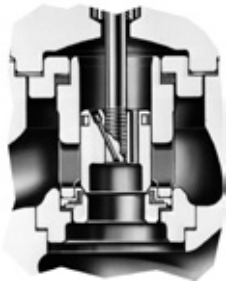


Figura 3.36 Método adaptador para reducir la capacidad de caudal

3.8 Actuadores

Los actuadores de válvula de control de accionamiento neumático son los más frecuentes, para también se hace un gran uso de actuadores eléctricos, hidráulicos y manuales. El actuador neumático de resorte y diafragma es el más especificado debido a su fiabilidad y simplicidad de diseño. Los actuadores de pistón con accionamiento neumático ofrecen una fuerza de vástago elevada para las condiciones de servicio exigentes. Las adaptaciones de actuadores de resorte y diafragma y de pistón neumático están disponibles para la instalación directa en las válvulas de control rotativas.

3.8.1 Actuadores de diafragma

- Los actuadores de diafragma con accionamiento neumático utilizan el suministro de aire de controladores, posicionadores u otras fuentes.
- Los distintos estilos incluyen: de acción directa, en el que la presión de aire creciente empuja el diafragma hacia abajo y extiende el vástago del actuador (Figura 3.37); de acción inversa, en el que la presión de aire creciente empuja el diafragma hacia arriba y retrae el vástago del actuador (Figura 3.37); reversible, en el que los actuadores se pueden montar para acción directa o inversa (Figura 3.38); con unidad de acción directa para válvulas rotativas, en el que la presión de aire creciente empuja el diafragma hacia abajo, el cual, dependiendo de la orientación de la palanca del actuador en la flecha de la válvula, puede

abrirla o cerrarla (consulte la Figura 3.39).

- El empuje de salida neto es la diferencia entre la fuerza del diafragma y la fuerza opuesta del resorte.
- Los diafragmas moldeados suministran comportamiento lineal e incremento de las carreras.
- El tamaño está determinado por el empuje de salida y la presión de aire suministrada.
- Los actuadores de diafragma son sencillos, fiables y económicos.

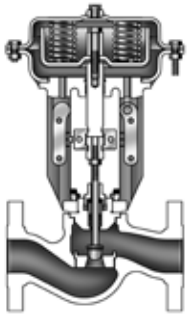


Figura 3.38 Actuador multirresorte reversible en el lugar de trabajo

Figura 3.39 Actuador de diafragma para válvula rotativa

3.8.2 Actuadores de pistón

- Los actuadores de pistón se accionan neumáticamente utilizando aire de la planta a alta presión de hasta 150 psig (10,3 bar), y no suelen necesitar regulador de presión de suministro.
- Los actuadores de pistón ofrecen empuje máximo y altas velocidades de carrera.
- Los actuadores de pistón tienen doble acción para ofrecer fuerza máxima en ambas direcciones, o retorno por resorte para suministrar funcionamiento de falla abre o falla cierra (Figura 3.40).
- Es posible incorporar diversos accesorios con el fin de preparar al pistón de doble acción para un fallo de presión de suministro, que incluyen válvulas de desconexión neumática y sistemas de bloqueo.
- Otras versiones para el servicio de válvulas de control rotativas incluyen una junta deslizante en el extremo inferior del cilindro. Esto permite el movimiento lateral del vástago del actuador, además de hacia arriba y hacia abajo sin que se presenten fugas por la presión del cilindro. Esta función permite la conexión directa del vástago del actuador montado en la flecha de la válvula rotativa, lo cual hace innecesaria una unión u origen de pérdida de movimiento.

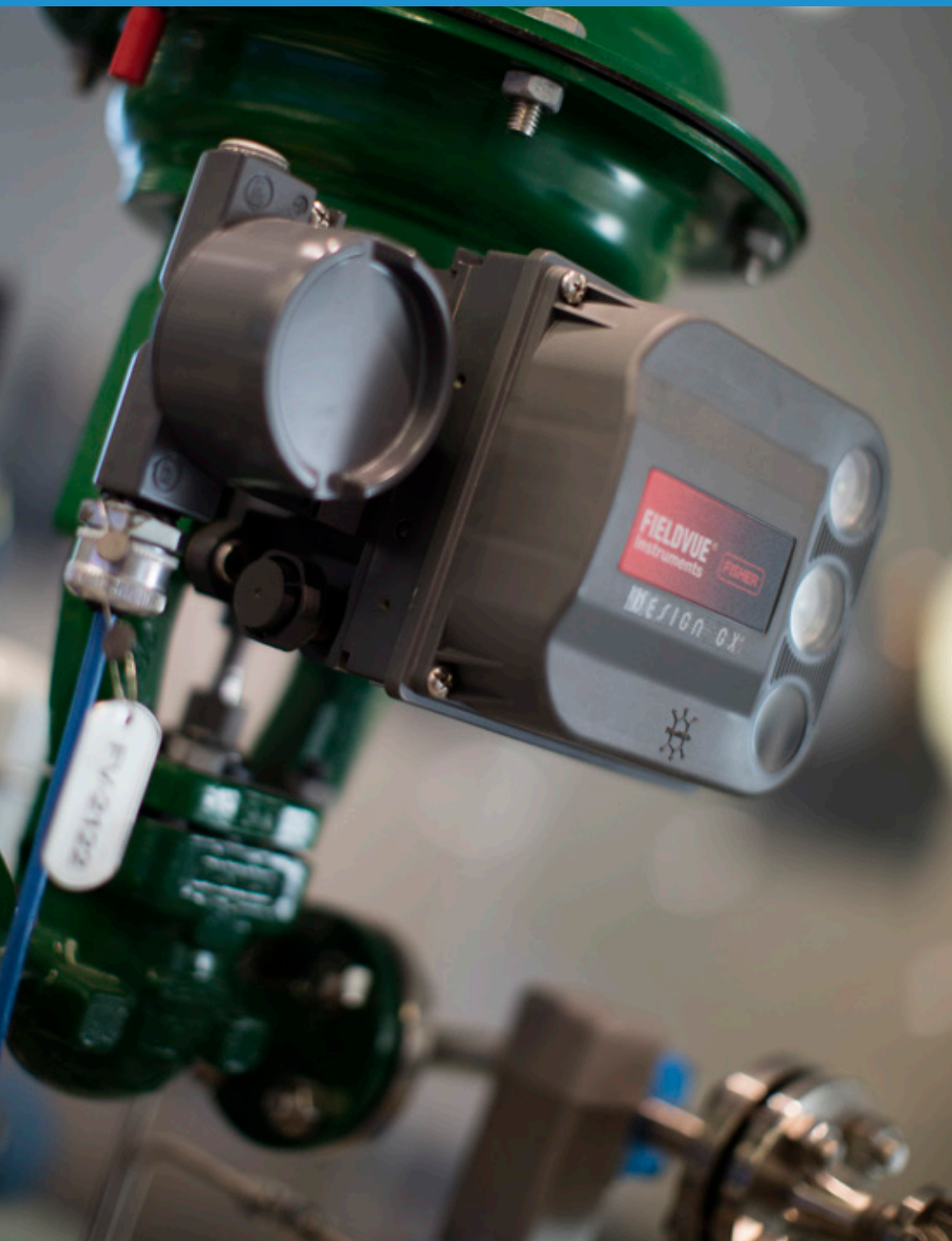
Figura 3.40 Válvula de control con actuador de pistón de doble acción

Figura 3.41 Válvula de control con actuador de pistón de yugo escocés

3.8.3 Actuadores manuales

- Los actuadores manuales son útiles cuando no se requiere el control automático pero sigue siendo necesaria la facilidad de funcionamiento y un buen control manual (figuras 3.42 y 3.43). Suelen emplearse para activar la válvula de bypass en un bucle de bypass de tres válvulas para el control manual del

Capítulo 4
Accesorios de la válvula de control



Actualmente, los sistemas de control modernos utilizan señales electrónicas para ordenar a la válvula de control que se abra, se cierre o regule el caudal. Además, esos sistemas emplean señales de retroalimentación de posición y datos de diagnóstico para validar el funcionamiento de la válvula de control. Por otra parte, las expectativas de comportamiento de las válvulas de control respecto a velocidad de respuesta, precisión, estabilidad, fiabilidad y seguridad varían en función de las necesidades de control del proceso. Dado que las válvulas de control se instalan en muchas aplicaciones diferentes y únicas, es necesario el uso de accesorios de válvula de control. Los accesorios son una amplia categoría de instrumentos que se conectan directamente al conjunto de válvula de control.

Hay cinco razones básicas por las que se añaden accesorios e instrumental a la válvula de control:

- Mejora del control del proceso
- Mayor seguridad para el proceso o el personal
- Mejor comportamiento o velocidad de respuesta de la válvula
- Control o verificación de la capacidad de respuesta de la válvula
- Diagnóstico de posibles problemas de la válvula

4.1 Consideraciones medioambientales y sobre la aplicación

Las plantas industriales, fábricas, minas y molinos sufren condiciones ambientales adversas debido a su ubicación geográfica y a los procesos de fabricación de sus productos. Por lo tanto, las válvulas e instrumentos de dichas instalaciones deben ser resistentes y fiables.

La temperatura ambiente del instrumental puede variar entre -60 y 125 °C (-76 y 257 °F). Las atmósferas corrosivas, como la exposición al agua salada y los productos químicos, pueden requerir el uso de acero inoxidable o de estructuras de resina especiales. La vibración intensa puede exigir el montaje de instrumentos muy sólidos, mecanismos internos de gran resistencia o capacidad de montaje a distancia. Los altos niveles de humedad pueden generar corrosión, por lo que puede ser necesario proteger los componentes electrónicos. Las ubicaciones peligrosas que contengan atmósferas gaseosas o polvorientas pueden requerir el uso de instrumental diseñado según conceptos de protección, como la resistencia al fuego, a las explosiones, con seguridad intrínseca o incombustibles. Se deben tener en cuenta esas condiciones ambientales y de aplicación al elegir los accesorios de válvula de control adecuados. ■

4.2 Posicionadores

Un accesorio habitual de las válvulas de control es el controlador de posición de válvula, también denominado posicionador. La función fundamental de un posicionador es suministrar aire a presión al actuador de la válvula, de modo que la posición del vástago o la flecha de la válvula se corresponda con el punto de ajuste del sistema de control. Los posicionadores suelen utilizarse cuando una válvula requiere una acción de regulación. El posicionador necesita recibir realimentación de posición desde el vástago o la flecha de la válvula y suministra presión neumática al actuador para abrir y cerrar la válvula. El posicionador debe montarse encima o cerca del conjunto de válvula de control. Hay tres categorías principales de posicionador, dependiendo del tipo de señal de control, la capacidad de diagnóstico y el protocolo de comunicación.

4.2.1 Posicionadores neumáticos

La primera categoría es la de los posicionadores neumáticos. Las unidades de proceso heredadas pueden utilizar señales de presión neumática como punto de ajuste de las válvulas de control. Normalmente, la presión se modula entre 20,7 y 103 kPa (de 3 a 15 psig) para desplazar la válvula de la posición de 0 a la de 100%.

En un diseño habitual de posicionador neumático

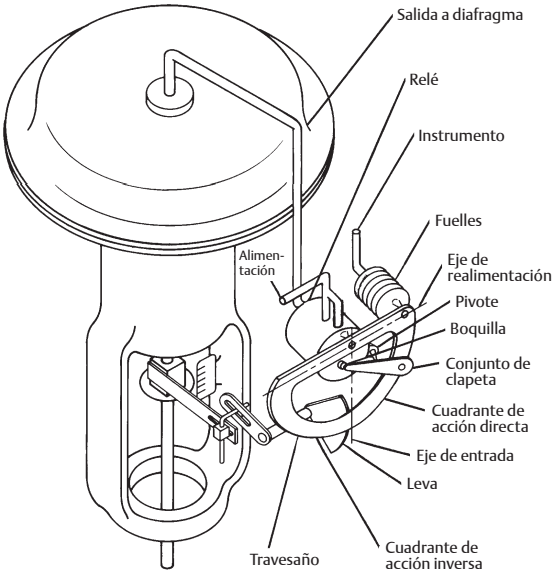


Figura 4.1 Diseño típico del posicionador neumático de acción simple

(Figura 4.1), la posición del vástago o la flecha de la válvula se compara con la de un fuelle que recibe la señal de control neumático. Al aumentar la señal de entrada, el fuelle se expande y desplaza un travesaño. El travesaño pivota en torno a un eje de entrada, que empuja una clapeta hacia a la tobera. La presión de la tobera aumenta y así también la presión de salida al actuador a través de un relé amplificador neumático. El aumento de la presión de salida al actuador hace que se mueva el vástago de la válvula. El movimiento del vástago se realimenta al travesaño mediante una leva. A medida que gira la leva, el travesaño pivota alrededor del eje de realimentación para alejar la clapeta ligeramente de la tobera. La presión de la tobera se reduce y aminora la presión de salida al actuador. Continúa el movimiento del vástago, alejando la clapeta de la tobera hasta que se alcance el equilibrio.

Al reducirse la señal de entrada, el fuelle se contrae (con la ayuda de un resorte de carrera interna) y el travesaño pivota alrededor del eje de entrada para alejar la clapeta de la tobera. Se reduce la presión de la tobera y el relé permite liberar la presión del diafragma a la atmósfera, lo que a su vez habilita el movimiento ascendente del vástago del actuador. Mediante la leva, el movimiento del vástago se realimenta al travesaño para volver a situar la clapeta cerca de la tobera. Cuando se consigue una situación de equilibrio, se detiene el movimiento del vástago y se sitúa la clapeta para impedir que siga descendiendo la presión del actuador. Consulte la Figura 4.1.

4.2.2 Posicionadores I/P analógicos

El segundo tipo es el posicionador de I/P analógico. La mayoría de las unidades de proceso modernas utilizan una señal de 4 a 20 mA CC para modular las válvulas de control. Esto introduce la electrónica en el diseño del posicionador y requiere que este convierta la señal de corriente electrónica en una señal de presión neumática (corriente a neumática o I/P).

En un posicionador de I/P analógico típico (consulte la Figura 4.2), el convertidor recibe una señal de entrada de CC y emite una señal de salida neumática proporcional mediante una configuración de tobera/clapeta. La señal de salida neumática suministra la señal de entrada al posicionador

neumático. Por lo demás, el diseño es igual al del posicionador neumático.

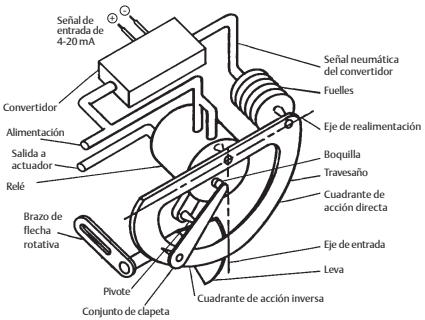


Figura 4.2 Diseño típico del posicionador de I/P analógico

4.2.3 Controladores de válvula digitales

Mientras que los posicionadores neumáticos y de I/P analógicos proporcionan un control de posición de válvula básico, los controladores de válvula digitales añaden otra dimensión a la capacidad del posicionador. Este tipo de posicionador es un instrumento basado en un microprocesador. El microprocesador permite obtener diagnósticos y la comunicación bidireccional para simplificar la configuración y la solución de problemas.

En un controlador de válvula digital típico, el microprocesador lee la señal de control, un algoritmo digital la procesa y la convierte en una señal de corriente de excitación para el convertidor de I/P. El microprocesador ejecuta el algoritmo de control de posición en lugar de activar el conjunto mecánico de travesaño, leva y clapeta. Al aumentar la señal de control, se incrementa la señal de excitación al convertidor de I/P, reforzando la presión de salida de este último. Esa presión se conduce a un relé amplificador neumático y suministra dos presiones de salida al actuador. Al aumentar la señal de control, una de las presiones de salida siempre aumenta y la otra baja.

Figura 4.3 Controlador de válvula digital montado en la válvula de control

Los actuadores de doble acción utilizan las dos salidas, en tanto que los actuadores de acción simple solo emplean una. El cambio de presión de salida provoca el movimiento del vástago o la flecha del actuador. La posición de la válvula se realimenta al microprocesador. El vástago sigue moviéndose hasta que se consigue la posición correcta. En ese punto, el microprocesador estabiliza la señal de excitación al convertidor de I/P hasta obtener el equilibrio.

Además de la función de control de la posición de la válvula, un controlador de válvula digital tiene dos capacidades adicionales: de diagnóstico y de comunicación bidireccional.

4.2.3.1 Diagnósticos

El microprocesador interno del controlador de válvula digital permite que el posicionador funcione, analice y almacene las pruebas de diagnóstico.

La información de diagnóstico es útil para determinar el estado de todo el conjunto de válvula de control. Mediante el uso de sensores de presión, de temperatura y de carrera, así como de lecturas internas, se generan representaciones gráficas del comportamiento y el estado de la válvula

de control y se recomiendan las acciones necesarias. A continuación, esos datos se utilizan para identificar elementos del conjunto de válvula de control que puedan requerir mantenimiento.

4.2.3.2 Comunicación digital bidireccional

El microprocesador interno del controlador de válvula digital también permite la comunicación del posicionador con el sistema de control mediante una señal digital. De este modo, el controlador de válvula digital puede proporcionar al sistema de control realimentación adicional, como la referida a la carrera real de la válvula y alertas de diagnóstico.

Uno de los protocolos de comunicación más utilizados es HART®. La comunicación HART utiliza una señal digital superpuesta a la señal de control tradicional de 4 a 20 mA CC. Este protocolo de comunicación permite utilizar el sistema principal para configurar, calibrar y supervisar el estado del posicionador. La comunicación HART ofrece las ventajas de la comunicación digital con la familiaridad del sistema de control de 4 a 20 mA.

FOUNDATION™ Fieldbus es otro de los protocolos estándar del sector. Es completamente digital, es decir, la señal de control (punto de ajuste) es digital y no corriente de 4 a 20 mA CC. Tal como sucede con la comunicación HART, el sistema principal también se puede utilizar para configurar, calibrar y supervisar al posicionador.

Además de los anteriores, PROFIBUS es un protocolo habitual de la industria que proporciona comunicación totalmente digital. La capa física de PROFIBUS y de FOUNDATION Fieldbus es la misma; sin embargo, los protocolos de comunicación difieren y ofrecen sus propias ventajas.

La tecnología inalámbrica es otro de los métodos para comunicar información entre el sistema de control y el controlador de válvula digital. Los posicionadores equipados con capacidad inalámbrica pueden transmitir información digital con independencia del cableado del sistema de control. ■

4.3 Transductores I/P

En algunas aplicaciones no es necesario contar con el gran nivel de exactitud de posición que suministra un posicionador. En esas aplicaciones se puede utilizar un transductor electroneumático (I/P). El transductor I/P (Figura 4.4) utiliza un módulo que convierte la entrada de corriente de 4 a 20 mA en una salida de presión proporcional. Un relé amplificador neumático interno aporta la capacidad necesaria para suministrar presión de salida al actuador de la válvula de control. No se genera realimentación de la posición de la válvula y la respuesta es muy rápida. ■

Figura 4.4 Controlador de válvula digital montado en la válvula de control

4.4 Amplificadores de caudal

Los posicionadores y los transductores I/P están diseñados para suministrar suficiente capacidad de salida neumática para accionar una válvula de control de regulación típica. Sin embargo, algunas aplicaciones necesitan mayores velocidades de carrera. Cuando el volumen del actuador es grande, la velocidad de posicionamiento de respuesta puede convertirse en un asunto crítico.

Los amplificadores de caudal se utilizan para proporcionar capacidad de salida neumática adicional al conjunto de válvula (Figura 4.5). Un cambio importante y súbito de la señal

de entrada (presión de salida desde el posicionador) genera una diferencia de presiones entre la señal de entrada y la salida del amplificador. Cuando esto sucede, el diafragma se desplaza para abrir el puerto de suministro o el puerto de salida, cualquiera que sea la acción necesaria para reducir dicha diferencia. El puerto se mantiene abierto hasta que la diferencia entre la entrada del amplificador y la presión de salida se sitúen dentro del límite de la banda muerta del amplificador.

Con la restricción de bypass ajustada para un funcionamiento estable, la señales, con menor magnitud y velocidad, pasan a través de la restricción de bypass y hacia el actuador sin iniciar el funcionamiento del amplificador. Los puertos de suministro y de salida siguen cerrados, impidiendo el consumo innecesario de aire y la posible saturación de los relés del posicionador.

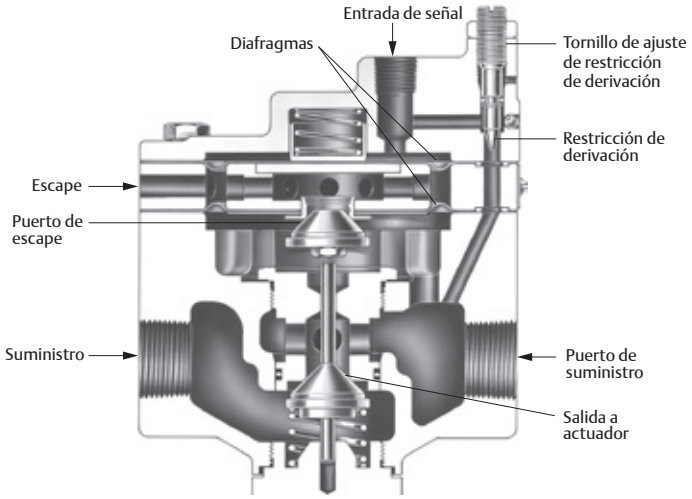


Figura 4.5 Vista en corte del amplificador de caudal

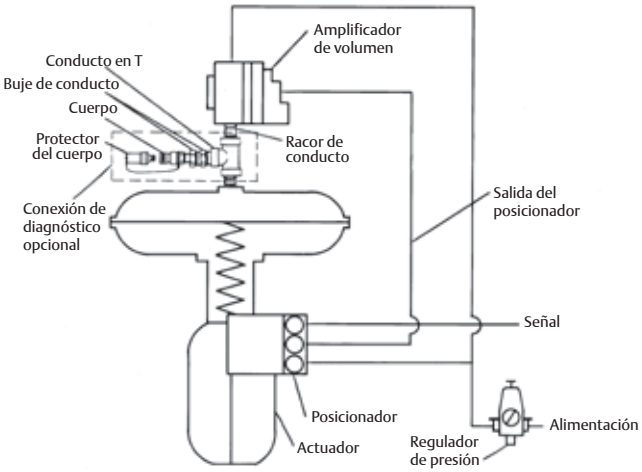


Figura 4.6 Instalación típica del amplificador con actuador de acción simple

Los actuadores de acción simple normalmente utilizan un amplificador de volumen (Figura 4.6). Los actuadores de doble acción requieren al menos dos amplificadores de volumen para alimentar cada lado del pistón del actuador. Algunas aplicaciones, como las de antisobrecarga del compresor o de bypass de turbina, pueden requerir amplificadores de volumen adicionales para suministrar el volumen neumático necesario para una respuesta de válvula rápida. ▪

4.5 Sistemas instrumentados de seguridad (SIS)

El objetivo principal de una válvula de control es modular el flujo de líquido o gas de un tubo dentro de un bucle de control de proceso. Dentro de esos mismos bucles de proceso, hay también válvulas de venteo de emergencia, de bloqueo y de aislamiento. Normalmente, son válvulas de apertura/cierre que se utilizan para situar el bucle de proceso en un estado seguro en caso de emergencia del control de proceso (Figura 4.7). Esas válvulas están controladas por un sistema de seguridad aparte, con frecuencia controlado por solucionador lógico.

4.5.1 Prueba de recorrido parcial

Dado que las válvulas de seguridad son estáticas y no modulan en condiciones normales, tienen tendencia a atascarse. Cuando se produce una emergencia, existe el riesgo de que esas válvulas no respondan a la instrucción de movimiento. Para eliminar dicho riesgo, el controlador de válvula digital se puede utilizar como dispositivo de prueba de recorrido o carrera parcial.

Una función importante del instrumento es accionar la válvula de manera periódica. Esto se lleva a cabo con una prueba de recorrido parcial (PST, partial stroke test). La PST desplaza lentamente la válvula una parte de la carrera total y a continuación la devuelve al estado normal. Esto moviliza los componentes mecánicos de la válvula de seguridad con una interrupción mínima del bucle de proceso. Además, el controlador de válvula digital tiene la capacidad de diagnosticar posibles problemas y de comunicar alertas si falla la prueba.

4.5.2 Funciones de seguridad y certificación de productos

El actuador de acción simple con retorno por muelle ofrece un modo de fallo inherente al conjunto de válvula. Durante una emergencia, el método típico para des-

Figura 4.7 Controlador de válvula digital en una válvula de seguridad

plazar la válvula al estado seguro es eliminar la presión de aire al actuador y dejar que el resorte posicione la válvula. Se puede utilizar una electroválvula o un controlador de válvula digital para que realice dicha función. Puede haber instrumentos adicionales en la válvula de seguridad, como amplificadores, transmisores de posición y sistemas de desconexión. Es necesario evaluar todos esos elementos respecto al efecto que puedan tener en el sistema de seguridad.

Dichos elementos pueden fallar y provocar una desconexión imprevista o no ser capaces de situar la válvula de seguridad en el estado seguro. El Análisis de modos de fallo, efectos y diagnósticos (FMEDA, Failure Modes, Effects, and Diagnostics Analysis) proporciona una métrica para cada componente. Permite al técnico de seguridad diseñar el sistema instrumentado de seguridad al nivel de reducción de riesgo que se desee. Consulte en el Capítulo 12 más información sobre los sistemas instrumentados de seguridad. ■

4.6 Controladores

En algunas aplicaciones, el control del proceso se realiza localmente sin necesidad de contar con un sistema de control distribuido a gran escala (DCS) ni con controlador de lógica programable (PLC). Los controladores locales se usan para medir las condiciones del proceso, como presión, temperatura o nivel, y para conducir directamente la presión de salida neumática a la válvula de control (Figura 4.8).

La entrada al controlador local es normalmente presión, presión diferencial, temperatura o desplazamiento de nivel. La medición del proceso se convierte en un movimiento del conjunto de travesaño-clapeta, conectado a un elemento de entrada. El elemento de entrada puede ser un manómetro Bourdon, el conjunto de fuelle, el conjunto de palanca de desplazamiento de líquido o una ampolla de temperatura.

Figura 4.8 Controlador neumático en la válvula de control

El elemento de entrada se conecta al puntero de proceso (regulación del punto de ajuste) y a la clapeta mediante una articulación. A medida que aumenta la entrada de proceso (en un controlador de acción directa), la clapeta avanza hacia la tobera, que restringe el caudal que pasa por la tobera y aumenta la presión en ella. Cuando esto sucede, la acción del relé aumenta la presión de salida al actuador, que modula a la válvula de control. La presión de salida se realimenta al fuelle proporcional. La acción del fuelle proporcional contrarresta el movimiento de la clapeta producido por el cambio de la entrada de proceso. A continuación aleja la clapeta de la tobera hasta que el controlador alcance un punto de equilibrio. La regulación del punto de ajuste cambia la proximidad de tobera y clapeta, al igual que un cambio en la entrada de proceso. Sin embargo, cuando se cambia el punto de ajuste, la tobera se desplaza respecto a la clapeta.

El mando de ajuste de banda proporcional sitúa la tobera en la clapeta. Con el aumento o ampliación de la banda proporcional la tobera se desplaza a una posición de

la clapeta en que esta se mueve menos, reduciendo así la ganancia del controlador. Con la reducción o el estrechamiento de la banda proporcional la tobera se desplaza a una posición donde la clapeta se mueve más, incrementando la ganancia. La acción del controlador cambia de directa a inversa girando el mando de ajuste de banda proporcional para colocar la tobera en un punto de la clapeta en el que se invierte el movimiento de la clapeta frente al movimiento de entrada. Con el controlador en modo de acción inversa, un aumento de la entrada de proceso provoca la reducción de la presión de salida al actuador. La presión de suministro se purga a través de un orificio fijo del relé y sale por la tobera. La presión de la tobera se registra en el diafragma de relé grande y modula la presión de carga en el diafragma de relé pequeño. Esto también modula la presión de salida del controlador al actuador (Figura 4.9).

Los controladores con operación proporcional más reinicio son similares a los de operación solo proporcional, con la salvedad de que la presión de salida se realimenta al fuelle de reinicio y proporcional. En el funcionamiento, los controladores con operación proporcional más reinicio reducen la diferencia entre la temperatura de proceso y el punto de ajuste.

Los controladores con operación proporcional más reinicio más regulación tienen una válvula reguladora, una restricción ajustable que mantiene brevemente la ganancia del controlador para acelerar la acción correctora en sistemas lentos (Figura 4.10). La acción reguladora retrasa la reducción de ganancia solo lo suficiente para que el sistema pueda responder al cambio, pero no tanto como para que se desestabilice el sistema. A continuación, la baja ganancia proporcionada por la acción proporcional mantiene la estabilidad del sistema. Por último, la acción de reinicio incrementa lentamente la ganancia y devuelve el proceso hacia el punto de ajuste.

El windup antirreinicio reduce el desbordamiento de la entrada del proceso que puede producirse por una desviación grande o prolongada respecto al punto de ajuste. Esta opción se puede ajustar para que funcione con presión de salida creciente o menguante. La válvula de seguridad diferencial funciona cuando la diferencia entre la presión de fuelle proporcional y la de fuelle de reinicio alcanza un valor predeterminado. ■

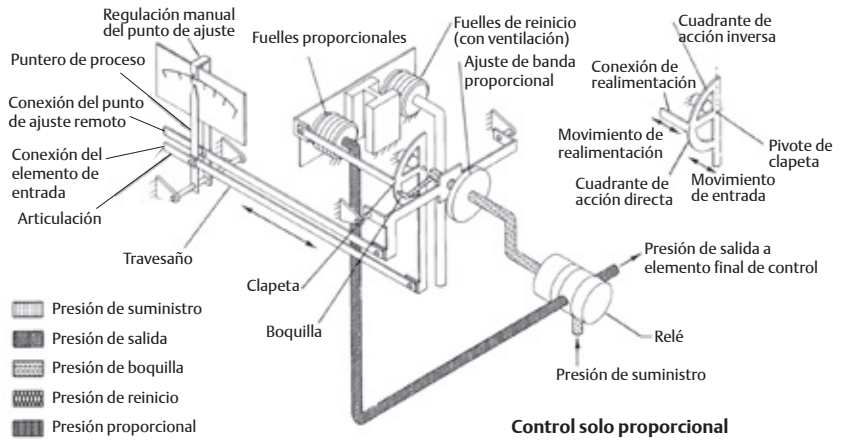


Figura 4.9 Esquema del controlador neumático

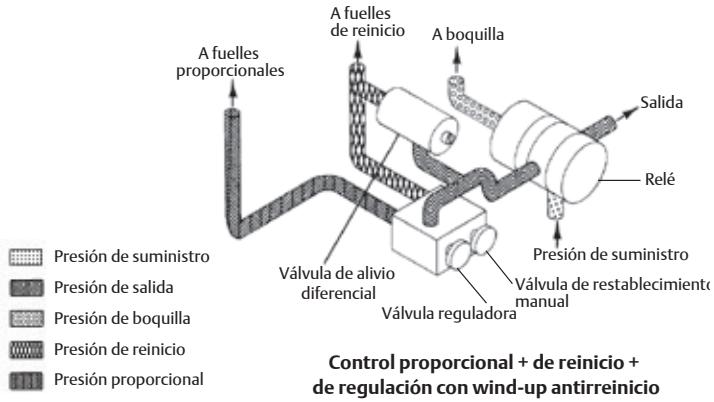


Figura 4.10 Esquema del controlador neumático

4.7 Transmisores de posición

El objetivo de un transmisor de posición es suministrar realimentación de posición de válvula independiente al sistema de control. La realimentación de posición suele utilizarse para la supervisión de proceso, solución de problemas o verificación de puesta en marcha/apagado. El transmisor de posición se monta directamente en la válvula y mide la posición del vástago o la flecha de la válvula. En una instalación conectada por cables, el transmisor de posición emite una señal de 4 a 20 mA que se corresponde con el rango de regulación de la válvula de control. En una instalación inalámbrica, el transmisor de posición emite una señal digital de 0 a 100% (Figura 4.11). ■

Figura 4.11 Monitor de posición inalámbrico montado en el actuador

4.8 Interruptores limitadores

El objetivo de un interruptor limitador es enviar una señal discreta de apertura o cierre al sistema de control cuando la válvula alcanza una posición específica dentro de su rango de carrera. Los interruptores limitadores también se emplean para la supervisión de proceso, solución de problemas o verificación de puesta en marcha/apagado. El interruptor limitador recibe realimentación de posición desde el vástago o la flecha de la válvula y envía una señal por cable o inalámbrica al sistema de control. Se dispone de muchas tecnologías de interruptores, como la de proximidad, estado sólido, magnética y de cierre por contacto. ■

4.9 Electroválvulas

Las electroválvulas se instalan en la tubería neumática que se dirige al actuador. En ciertas aplicaciones, la electroválvula descarga el aire del actuador para que la válvula pueda pasar a su estado de fallo por falta de aire. En otras aplicaciones, la electroválvula atrapa el aire del actuador para bloquear la válvula en su posición actual. Los solenoides de tres vías suelen utilizarse para accionar actuadores con retorno por muelle y los de cuatro vías para las actuadores de doble acción. La electroválvula se activa mediante la emisión o la interrupción de una señal eléctrica discreta procedente del sistema de control. Consul-

te en el Capítulo 11 más información sobre las electroválvulas. ■

4.10 Sistemas de desconexión

Los sistemas de desconexión se utilizan en las aplicaciones de control que requieren una activación específica del actuador cuando se pierde la presión de suministro (Figura 4.12). Se emplean con actuadores de doble acción que carecen de estado de fallo por falta de aire o con actuadores de simple o doble acción para realizar el bloqueo neumático.

Cuando la presión de suministro desciende por debajo del punto de desconexión, la válvula de desconexión hace que el actuador tenga un fallo, se bloquee en la última posición o tenga un fallo en posición de cierre. En las aplicaciones de doble acción, un recipiente de volumen aporta la capacidad neumática de reserva para operar la válvula hasta que se recupere la presión de suministro. Cuando la presión de suministro supera el punto de desconexión, la válvula de desconexión se reinicia automáticamente y permite que el sistema vuelva a su funcionamiento normal. ■

4.11 Volantes

Los volantes de los actuadores de diafragma suelen usarse como topes de carrera ajustables. También son un medio inmediato para posicionar la válvula de control en una emergencia.

Los volantes laterales se pueden utilizar para que la válvula realice la carrera en cualquier dirección y en cualquier punto de la carrera del vástago del actuador (Figura 4.13). El volante lateral se puede situar de modo que limite la carrera en cualquiera de las direcciones, pero no para limitar ambas a la vez. Con el volante en posición neutral, es posible el funcionamiento automático a lo largo de toda la carrera de la válvula. En cualquier otra posición, se limitará la carrera de la válvula.

Los volantes montados en la parte superior se utilizan en servicios infrecuentes para impulsar manualmente la carrera de la válvula (Figura 4.14). ■

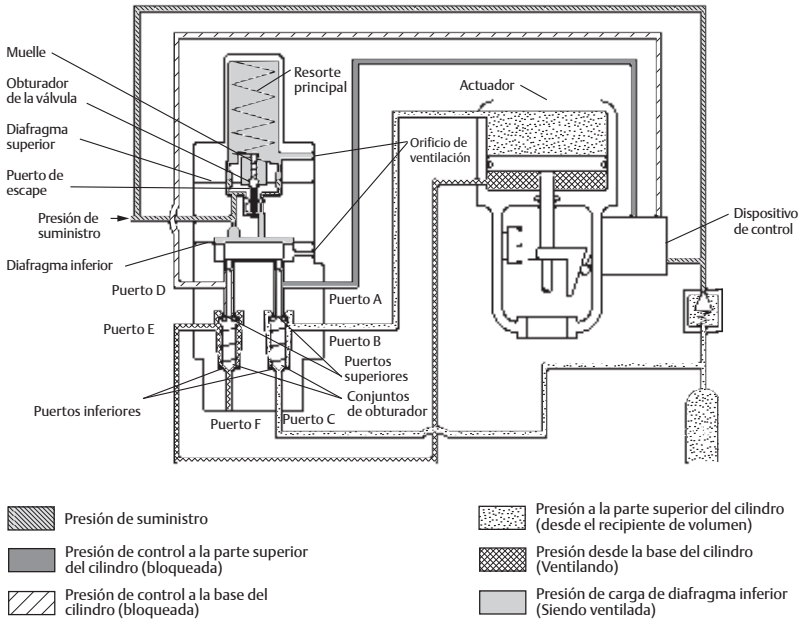


Figura 4.12 Válvula de desconexión activada

Figura 4.13 Actuador con volante lateral

Figura 4.14 Actuador con volante montado en la parte superior

Capítulo 5

Dimensionamiento de válvulas de control

Las válvulas de control manipulan todo tipo de fluidos a temperaturas desde el rango de temperaturas criogénicas a temperaturas superiores a 538 °C (1000 °F). La selección de un conjunto de cuerpo de válvula de control requiere una evaluación detallada para obtener la mejor combinación disponible de estilo de cuerpo de válvula, material y diseño de fabricación de los internos para la aplicación prevista. También se deben considerar los requisitos de capacidad en rangos de presión de funcionamiento al seleccionar una válvula de control para garantizar un funcionamiento satisfactorio sin un coste inicial indebido.

Los fabricantes reputados de válvulas de control y sus representantes se esfuerzan en ayudar a seleccionar la válvula de control más adecuada para las condiciones de servicio existentes. Debido a que existen varias opciones correctas para una aplicación, es esencial proporcionar toda la información a continuación para cualquier conjunto de condiciones que se considere de importancia:

- Tipo de fluido que manipular.
- Temperatura del fluido.
- Viscosidad del fluido.
- Concentraciones de todos los elementos, incluyendo trazas de impurezas.
- Condiciones del proceso durante el inicio, tareas habituales y el apagado.
- Limpieza con agentes químicos que se pueda realizar de forma periódica.
- Gravedad específica o densidad del fluido.
- Caudal de fluido.
- Presión de entrada en la válvula.
- Presión de salida o caída de presión.
- Caída de presión en el cierre.
- Nivel máximo de ruido permitido, si fuera pertinente, y el punto de referencia de la medición.
- Grados de sobrecalentamiento o presencia de vaporización, si fuera conocido.
- Tamaño y cédula de los conductos de entrada y salida
- Información de identificación especial requerida.
- Material del cuerpo fundido (ASTM A216 grado WCC, ASTM A217 grado WC9, ASTM A351 CF8M, etc.)
- Conexiones finales y características la de válvula (atornillada, Clase 600 bridas RFJ, Clase 1500 bridadas RTJ, etc.)
- Respuesta deseada a un fallo de aire (apertura de válvula, cierre, o mantener la última posición de control).
- Disponibilidad de alimentación de aire del instrumento.
- Señal del instrumento (3 a 15 psig, 4 a 20 mA, HART, etc.)

Además, la información siguiente requiere el acuerdo entre el cliente y el fabricante dependiendo de la adquisición y las prácticas de ingeniería seguidas.

- Número de tipo de válvula.
- Tamaño de la válvula.
- Construcción del cuerpo de válvula (angular, puerto doble, de mariposa, etc.).
- Guiado del obturador de la válvula (estilo jaula, guiado por puerto, etc.).
- Acción del obturador de la válvula (empuje hacia abajo para cerrar o empuje hacia abajo para abrir).
- Tamaño de puerto (completo o limitado).
- Materiales de internos de válvula requeridos.
- Acción del flujo (el flujo tiende a abrir la válvula o el flujo tiende a cerrar la válvula).
- Tamaño de actuador requerido.
- Estilo de bonete (sencillo, de extensión, con fuelle de estanqueidad, etc.).
- Material de empaquetadura (anillo en V de PTFE, grafito laminado, sistemas de estanqueidad medioambientales, etc.).
- Accesorios requeridos (posicionador, volante, etc.).

Algunas de estas opciones se han tratado en capítulos anteriores de este documento, y otras se tratarán en éste y los siguientes capítulos.

Proceso de selección de válvula

1. Determine las condiciones de servicio

P1, ΔP, Q, T1, propiedades del fluido, ruido permitido, etc.
Seleccione la clase de presión ANSI requerida para el cuerpo de válvula e internos.

2. Cálculo del requisito preliminar de C_v

Compruebe los niveles de ruido y cavitación.

3. Selección del tipo de internos

Si no hay ninguna indicación de ruido o cavitación, seleccione los internos estándar.
Si el ruido aerodinámico es alto, seleccione unos internos reductores de ruido.
Si hay indicaciones de un nivel alto de ruido de líquido y/o cavitación, seleccione unos internos con reducción de cavitación.

4. Selección del cuerpo de válvula y tipo de internos

Seleccione los tamaños de cuerpo de válvula e internos con el C_v requerido.
Tenga en cuenta la carrera, grupo de internos y opciones de cierre.

5. Selección de los materiales de los internos

Seleccione los materiales de los internos para la aplicación pertinente.
Compruebe que los internos seleccionados están disponibles en el grupo de internos para el tamaño de válvula seleccionado.

6. Consideración de opciones

Considere las opciones de cierre, empaquetadura del vástago, etc.

5.1 Medidas de la válvula de control

5.1.1 Medidas de superficie a superficie de válvulas de control de estilo globo con brida

Clases 125, 150, 250, 300, y 600 (medidas conforme a ANSI/ISA-75.08.01).

Tamaño de la válvula		Valores nominales de presión y conexiones finales					
		Clase 125 FF (CI) Clase 150 RF (STL)		Clase 150 RTJ (STL)		Clase 250 RF (CI) Clase 300 RF (STL)	
DN	NPS	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg
15	1/2	184	7,25	197	7,75	190	7,50
20	3/4	184	7,25	197	7,75	194	7,62
25	1	184	7,25	197	7,75	197	7,75
40	1-1/2	222	8,75	235	9,25	235	9,25
50	2	254	10,00	267	10,50	267	10,50
65	2-1/2	276	10,88	289	11,38	292	11,50
80	3	298	11,75	311	12,25	318	12,50
100	4	352	13,88	365	14,38	368	14,50
150	6	451	17,75	464	18,25	473	18,62
200	8	543	21,38	556	21,88	568	22,38
250	10	673	26,50	686	27,00	708	27,88
300	12	737	29,00	749	29,50	775	30,50
350	14	889	35,00	902	35,50	927	36,50
400	16	1016	40,00	1029	40,50	1057	41,62

Abreviaturas utilizadas: FF - superficie plana; RF - superficie elevada; RTJ - unión de tipo anillo; CI - hierro fundido

Continuación de las medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con brida...

Tamaño de la válvula		Valores nominales de presión y conexiones finales					
		Clase 300 RTJ (STL)		Clase 600 RF (STL)		Clase 600 RTJ (STL)	
DN	NPS	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg
15	1/2	202	7,94	203	8,00	203	8,00
20	3/4	206	8,12	206	8,12	206	8,12
25	1	210	8,25	210	8,25	210	8,25
40	1-1/2	248	9,75	251	9,88	251	9,88
50	2	282	11,12	286	11,25	284	11,37
65	2-1/2	308	12,12	311	12,25	314	12,37
80	3	333	13,12	337	13,25	340	13,37
100	4	384	15,12	394	15,50	397	15,62
150	6	489	19,24	508	20,00	511	20,12
200	8	584	23,00	610	24,00	613	24,12
250	10	724	28,50	752	29,62	755	29,74
300	12	790	31,12	819	32,25	822	32,37
350	14	943	37,12	972	38,25	475	38,37
400	16	1073	42,24	1108	43,62	1111	43,74
Abreviaturas utilizadas: STL - acero							

Clases 900, 1500, y 2500 (medidas conforme a ANSI/ISA-75.08.06)

Tamaño de la válvula		Clase 900				Clase 1500	
		mm		pulg		mm	
DN	NPS	Corta	Larga	Corta	Larga	Corta	Larga
15	1/2	273	292	10,75	11,50	273	292
20	3/4	273	292	10,75	11,50	273	292
25	1	273	292	10,75	11,50	273	292
40	1-1/2	311	333	12,25	13,12	311	333
50	2	340	375	13,38	14,75	340	375
65	2-1/2	---	410	---	16,12	---	410
80	3	387	441	15,25	17,38	406	460
100	4	464	511	18,25	20,12	483	530
150	6	600	714	21,87	28,12	692	768
200	8	781	914	30,75	36,00	838	972
250	10	864	991	34,00	39,00	991	1067
300	12	1016	1130	40,00	44,50	1130	1219
350	14	---	1257	---	49,50	---	1257
400	16	---	1422	---	56,00	---	1422
450	18	---	1727	---	68,00	---	1727

Continuación de las medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con brida...

Tamaño de la válvula		Clase 1500		Clase 2500			
		pulg		mm		pulg	
DN	NPS	Corta	Larga	Corta	Larga	Corta	Larga
15	1/2	10,75	11,50	308	318	12,12	12,50
20	3/4	10,75	11,50	308	318	12,12	12,50
25	1	10,75	11,50	308	318	12,12	12,50
40	1-1/2	12,25	13,12	359	381	14,12	15,00
50	2	13,38	14,75	---	400	---	16,25
65	2-1/2	---	16,12	---	441	---	17,38
80	3	16,00	18,12	498	660	19,62	26,00
100	4	19,00	20,87	575	737	22,62	29,00
150	6	24,00	30,25	819	864	32,25	34,00
200	8	33,00	38,25	---	1022	---	40,25
250	10	39,00	42,00	1270	1372	50,00	54,00
300	12	44,50	48,00	1321	1575	52,00	62,00
350	14	---	49,50	---	---	---	---
400	16	---	56,00	---	---	---	---
450	18	---	68,00	---	---	---	---

5.1.2 Medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con extremo de soldadura a tope

Clases 150, 300, 600, 900, 1500, y 2500 (medidas conforme a ANSI/ISA-75.08.05)

Tamaño de la válvula		Clases 150, 300, y 600				Clases 900 y 1500	
		mm		pulg		mm	
DN	NPS	Corta	Larga	Corta	Larga	Corta	Larga
15	1/2	187	203	7,38	8,00	194	279
20	3/4	187	206	7,38	8,25	194	279
25	1	187	210	7,38	8,25	197	279
40	1-1/2	222	251	8,75	9,88	235	330
50	2	254	286	10,00	11,25	292	375
65	2-1/2	292	311	11,50	12,25	292	375
80	3	318	337	12,50	13,25	318	460
100	4	368	394	14,50	15,50	368	530
150	6	451	508	17,75	20,00	508	768
200	8	543	610	21,38	24,00	610	832
250	10	673	752	26,50	29,62	762	991
300	12	737	819	29,00	32,35	914	1130
350	14	851	1029	33,50	40,50	---	1257
400	16	1016	1108	40,00	43,62	---	1422
450	18	1143	---	45,00	---	---	1727

Continuación de medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con extremo de soldadura a tope...

Tamaño de la válvula		Clases 900 y 1500		Clase 2500			
		pulg		mm		pulg	
DN	NPS	Corta	Larga	Corta	Larga	Corta	Larga
15	1/2	7,62	11,00	216	318	8,50	12,50
20	3/4	7,62	11,00	216	318	8,50	12,50
25	1	7,75	11,00	216	318	8,50	12,50
40	1-1/2	9,25	13,00	260	359	10,25	14,12
50	2	11,50	14,75	318	400	12,50	15,75
65	2-1/2	11,50	14,75	318	400	12,50	15,75
80	3	12,50	18,12	381	498	15,00	19,62
100	4	14,50	20,88	406	575	16,00	22,62
150	6	24,00	30,25	610	819	24,00	32,25
200	8	24,00	32,75	762	1029	30,00	40,25
250	10	30,00	39,00	1016	1270	40,00	50,00
300	12	36,00	44,50	1118	1422	44,00	56,00
350	14	---	49,50	---	1803	---	71,00
400	16	---	56,00	---	---	---	---
450	18	---	68,00	---	---	---	---

5.1.3 Medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con extremo de soldadura por enchufe

Clases 150, 300, 600, 900, 1500, y 2500 (medidas conforme a ANSI/ISA-75.08.03)

Tamaño de la válvula		Clases 150, 300, y 600				Clases 900 y 1500	
		mm		pulg		mm	
DN	NPS	Corta	Larga	Corta	Larga	Corta	Larga
15	1/2	170	206	6,69	8,12	178	279
20	3/4	170	210	6,69	8,25	178	279
25	1	197	210	7,75	8,25	178	279
40	1-1/2	235	251	9,25	9,88	235	330
50	2	267	286	10,50	11,25	292	375
65	2-1/2	292	311	11,50	12,25	292	---
80	3	318	337	12,50	13,25	318	533
100	4	368	394	14,50	15,50	368	530

Continuación de medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con extremo de soldadura por enchufe...

Tamaño de la válvula		Clases 900 y 1500		Clase 2500			
		pulg		mm		pulg	
DN	NPS	Corta	Larga	Corta	Larga	Corta	Larga
15	1/2	7,00	11,00	216	318	8,50	12,50
20	3/4	7,00	11,00	216	318	8,50	12,50
25	1	7,00	11,00	216	318	8,50	12,50
40	1-1/2	9,25	13,00	260	381	10,25	15,00
50	2	11,50	14,75	324	400	12,75	15,75
65	2-1/2	11,50	---	324	---	12,75	---
80	3	12,50	21,00	381	660	15,00	26,00
100	4	14,50	20,88	406	737	16,00	29,00

5.1.4 Medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con extremo atornillado

Clases 150, 300, y 600 (medidas conforme a ANSI/ISA-75.08.03)

Tamaño de la válvula		Clases 150, 300, y 600			
		mm		pulg	
DN	NPS	Corta	Larga	Corta	Larga
15	1/2	165	206	6,50	8,12
20	3/4	165	210	6,50	8,25
25	1	197	210	7,75	8,25
40	1-1/2	235	251	9,25	9,88
50	2	267	286	10,50	11,25
65	2-1/2	292	311	11,50	12,26

5.1.5 Medidas de superficie a línea central de válvulas de ángulo de estilo globo con superficie elevada

Clases 150, 300, y 600 (medidas conforme a ANSI/ISA-75.08.08)

Tamaño de la válvula		Clase 150		Clase 300		Clase 600	
DN	NPS	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg
25	1	92	3,62	99	3,88	105	4,12
40	1-1/2	111	4,37	117	4,62	125	4,94
50	2	127	5,00	133	5,25	143	5,62
80	3	149	5,88	159	6,25	168	6,62
100	4	176	6,94	184	7,25	197	7,75
150	6	226	8,88	236	9,31	254	10,00
200	8	272	10,69	284	11,19	305	12,00

5.1.6 Medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con brida separable

Clases 150, 300, y 600 (medidas conforme a ANSI/ISA-75.08.07)

Tamaño de la válvula		Clases 150, 300, y 600	
DN	NPS	mm	pulg
25	1	216	8,50
40	1-1/2	241	9,50
50	2	292	11,50
80	3	356	14,00
100	4	432	17,00

5.1.7 Medidas de superficie a superficie para válvulas rotativas con y sin brida (excepto de mariposa)

Clases 150, 300, y 600 (medidas conforme a ANSI/ISA-75.08.02)

Tamaño de la válvula		Clases 150, 300 y 600	
DN	NPS	mm	pulg
20	3/4	76	3,00
25	1	102	4,00
40	1-1/2	114	4,50
50	2	124	4,88
80	3	165	6,50
100	4	194	7,62
150	6	229	9,00
200	8	243	9,56
250	10	297	11,69
300	12	338	13,31
350	14	400	15,75
400	16	400	15,75
450	18	457	18,00
500	20	508	20,00
600	24	610	24,00

5.1.8 Medidas de superficie a superficie de válvulas de mariposa de brida simple (tipo orejeta) y sin brida (tipo oblea)

(medidas conforme a MSS-SP-67)

Tamaño de la válvula		Medidas de cuerpo de válvula estrecho, instalado[1][2]	
DN	NPS	pulg	mm
40	1-1/2	1,31	33,3
50	2	1,69	42,9
65	2-1/2	1,81	46,0
80	3	1,81	46,0
100	4	2,06	52,3
150	6	2,19	55,6
200	8	2,38	60,5
250	10	2,69	68,3
300	12	3,06	77,7
350	14	3,06	77,7
400	16	3,12	79,2
450	18	4,00	101,6
500	20	4,38	111,2

1. Cuerpos compatibles con bridas de hierro fundido de clase 125 o bridas de acero de clase 150.
2. Esta es la medida de superficie a superficie de la válvula tras su instalación en el conducto. No incluye el grosor de las juntas en caso de utilizar juntas separadas. Sí incluye el grosor de las juntas o elementos de estanqueidad que son una parte integral de la válvula; no obstante, esta medida se define con las juntas o elementos de estanqueidad comprimidos.

5.1.9 Medidas de superficie a superficie de válvulas de mariposa de presión alta con diseño excéntrico

Clases 150, 300, y 600 (medidas conforme a MSS SP-68)

Tamaño de la válvula		Clase 150		Clase 300		Clase 600	
DN	NPS	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
80	3	1,88	48	1,88	48	2,12	54
100	4	2,12	54	2,12	54	2,50	64
150	6	2,25	57	2,31	59	3,06	78
200	8	2,50	63	2,88	73	4,00	102
250	10	2,81	71	3,25	83	4,62	117
300	12	3,19	81	3,62	92	5,50	140
350	14	3,62	92	4,62	117	6,12	155
400	16	4,00	101	5,25	133	7,00	178
450	18	4,50	114	5,88	149	7,88	200
500	20	5,00	127	6,25	159	8,50	216
600	24	6,06	154	7,12	181	9,13	232

5.2 Clasificaciones de fuga del asiento de válvula de control

(conforme a ANSI/FCI 70-2 y IEC 60534-4)

Designación de clase de fuga	Fuga máxima permitida	Elemento de prueba	Presiones de prueba	Procedimientos de prueba requeridos para determinar la clasificación
I	---	---	---	No se requiere la prueba si así se acuerda entre el usuario y el proveedor.
II	0,5% de la capacidad nominal.	Agua u oxígeno a 10 - 52 °C (50 - 125 °F)	3 - 4 bar (45 - 60 psig) o el diferencial de funcionamiento máximo, lo que sea menor.	Aplicación de presión en la entrada de la válvula, con la salida abierta a la atmósfera o conectada a un instrumento de medición con pérdida de carga baja y con un empuje de cierre normal total proporcionado por el actuador.
III	0,1% de la capacidad nominal.	Como se indica anteriormente.	Como se indica anteriormente.	Como se indica anteriormente.
IV	0,01% de la capacidad nominal.	Como se indica anteriormente.	Como se indica anteriormente.	Como se indica anteriormente.
V	0,0005 ml de agua por minuto por pulgada de diámetro del orificio por diferencial de psi. ($5 \times 10^{-12} m^3$ de agua por segundo por mm de diámetro del orificio por diferencial de bar).	Agua a 10 - 52 °C (50 - 125 °F)	Caída de presión de servicio máxima en el obturador de la válvula, que no supere la clasificación de cuerpo de ANSI, o presión inferior bajo acuerdo.	Aplicación de presión en la entrada de la válvula después de llenar totalmente la cavidad del cuerpo y la canalización conectada con agua desplazando el obturador de válvula a su posición de cierre. Utilice el empuje de actuador máximo neto especificado, pero no más, incluso de estar disponible durante la prueba. Deje el tiempo necesario para la estabilización del flujo de fuga.
VI	No supere las cantidades indicadas en la tabla siguiente con base en el diámetro del puerto.	Aire o nitrógeno a 10 - 52 °C (50 - 125 °F)	3,5 bar (50 psig) o presión diferencial nominal máxima en el obturador de válvula, lo que sea menor.	Aplicación de presión en la entrada de la válvula. El actuador se debe ajustar a las condiciones de funcionamiento especificadas con un empuje de cierre normal total aplicado al asiento del obturador de la válvula. Deje el tiempo necesario para las estabilización del flujo de fuga y utilice un instrumento de medición adecuado.

5.3 Fuga del asiento máxima permitida de clase VI

(conforme a ANSI/FCI 70-2)

Diámetro nominal del puerto		Burbujas por minuto[1]	
pulg	mm	ml por minuto	Burbujas por minuto
1	25	0,15	1
1-1/2	38	0,30	2
2	51	0,45	3
2-1/2	64	0,60	4
3	76	0,90	6
4	102	1,70	11
6	152	4,00	27
8	203	6,75	45

1. Las burbujas por minuto indicadas en la tabla son una sugerencia alternativa determinada mediante un instrumento de medición con la calibración adecuada, en este caso un conducto de pared con un diámetro exterior de 6,3 mm (1/4 pulg) x 0,8 mm (0,032 pulg) sumergido en agua a una profundidad de 3 a 6 mm (1/8 a 1/4 pulg). El extremo del conducto debe presentar un corte perpendicular y suave sin bisel o rebabas, y el eje del conducto debe estar perpendicular a la superficie del agua. Es posible fabricar otros elementos y el número de burbujas por minuto puede diferir de los indicados siempre que indiquen de forma correcta el flujo en ml por minuto.

5.4 Características de flujo de la válvula de control

La característica de flujo de una válvula de control es la relación entre el caudal que pasa por la válvula y la variación en la posición de la carrera de la válvula de 0 a 100%. La característica de flujo inherente designa la característica observada con una caída de presión constante en la válvula. La característica de flujo instalada designa el obtenido durante el servicio cuando se producen variaciones en la caída de presión debido al flujo y otras variaciones en el sistema.

Determinar las características de las válvulas de control proporciona una estabilidad del bucle de control relativamente uniforme para una gran variedad de condiciones de funcionamiento del sistema previstas. Determinar la característica de flujo necesaria para satisfacer las necesidades de un sistema dado requiere un análisis dinámico del bucle de control. Se han realizado análisis de los procesos más habituales; no obstante, se pueden establecer algunas directrices útiles para la selección de la característica de flujo adecuada. Estas directrices se tratarán después de una descripción breve de las características de flujo utilizadas actualmente.

5.4.1 Características de flujo

La Figura 5.1 ilustra las curvas típicas de característica de flujo. La característica de flujo de apertura rápida proporciona la máxima variación de caudal con carreras bajas de válvula con una relación prácticamente lineal. Crecimientos adicionales de la carrera de válvula generan variaciones notables en el caudal, y cuando el obturador de la válvula se aproxima a la posición de apertura total, la variación de caudal se acerca a cero. En una válvula de control, el funcionamiento principal de un obturador de válvula de apertura rápida es la tarea de apertura y cierre, pero también es apto para otra aplicaciones donde un obturador de válvula lineal sería la recomendación habitual.

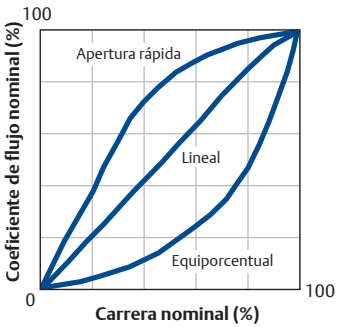


Figura 5.1 Bucle de control de realimentación

La curva de característica de flujo lineal indica que el caudal es directamente proporcional a la carrera de válvula. Esta relación proporcional produce una característica con una pendiente constante de forma que, con una caída de presión constante, la ganancia de válvula es idéntica con todos los flujos. (La ganancia de válvula es la relación de una variación incremental en la posición del obturador de válvula. Ganancia se deriva del tamaño y configuración de la válvula, condiciones de funcionamiento del sistema y características del obturador de válvula.) El obturador de válvula lineal se especifica habitualmente para el control de nivel de líquido y algunas aplicaciones de control de flujo que requieren una ganancia constante.

En la característica de flujo de igual porcentaje, los incrementos equitativos de la carrera de la válvula generan variaciones de igual porcentaje en el flujo existente. La variación del caudal siempre es proporcional al caudal justo antes de realizarse una variación en el obturador, disco o posición de bola de válvula. Cuando el obturador, disco o bola de la válvula está cerca de su asiento, el flujo es bajo; con un flujo alto, la variación del caudal será alta. Las válvulas con una característica de flujo de igual porcentaje se utilizan habitualmente para aplicaciones de control de presión y otras aplicaciones donde un amplio porcentaje de la caída de presión es habitualmente absorbida por el sistema mismo, con solo un porcentaje relativamente bajo disponible en la válvula de control. Las válvulas con una característica de igual porcentaje también se deben considerar si se prevén condiciones con una alta variación en la caída de presión.

5.4.2 Selección de características de flujo

La característica de flujo ideal sería una que produjese una característica instalada lineal y una ganancia instalada uniforme. Para un rendimiento óptimo se debe realizar un análisis dinámico completo, ya que hay muchos otros factoras además de la característica de flujo que afectan al rendimiento. Tal análisis es altamente recomendado para aplicaciones donde un control preciso es esencial. Para otra aplicaciones, una característica de flujo alejada de la ideal se puede ajustar hasta cierto punto con el equipo de control. Consulte el Capítulo 2 para más información sobre el rendimiento de las válvulas de control. ■

5.5 Dimensionamiento de válvula

Las tareas de normalización del dimensionamiento de válvulas de control se remontan a principios de la década de 1960 cuando una asociación comercial, Fluids Control Institute, publicó ecuaciones de dimensionamiento para su uso con fluidos compresibles y no compresibles. La variedad de condiciones de servicio que estas ecuaciones podían representar de forma precisa era bastante limitada, y el estándar no obtuvo una gran aceptación. En 1967, la ISA constituyó un comité para el desarrollo y publicación de ecuaciones estándar. El trabajo de este comité culminó en un procedimiento de dimensionamiento que obtuvo la aceptación de American National Standard. Posteriormente, un comité de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) utilizó el trabajo de la ISA como base para la formulación de estándares internacionales para el dimensionamiento de válvulas de control. (Parte de la información incluida en este material de introducción se ha extraído del estándar ANSI/ISA-75.01.01 con permiso del editor, la ISA.) Los estándares de dimensionamiento de válvula ANSI/ISA-75.01.01 y IEC 60534-2-1 se han armonizado, con lo que se puede utilizar cualquiera de ellos.

A pesar de que los métodos de dimensionamiento de válvula estándar son válidos para la mayoría de casos de dimensionamiento de válvula de control, es esencial tener en cuenta que los estándares definen sus límites de aplicación. Su uso fuera de sus límites establecidos se debe realizar con precaución. Los requisitos de los estándares para una precisión razonable son:

- Fluidos monocomponente monofásicos.
- Fluidos newtonianos.
- Gases ideales y vapores.

- Una relación ideal de capacidades térmicas específicas en el rango 1,08 < γ < 1,65 para gases y vapores.
- Válvulas con un $x_T \leq 0{,}84$.
- Válvulas con un $C_v/d^2 < 30$.

En las secciones a continuación se detallan la nomenclatura y los procedimientos, además de la solución de problemas de ejemplo para ilustrar su uso. Para la discusión a continuación, se asume que todos los flujos poseen una turbulencia total. Para casos con fluidos de viscosidad alta o caudales muy bajos se requieren consideraciones adicionales. ■

5.6 Abreviaturas y terminología

Símbolo		Símbolo	
C_v	Coeficiente de dimensionamiento de válvula	ΔP	Caída de presión (P_1-P_2) a lo largo de la válvula
d	Tamaño nominal de válvula	ΔP_{choked}	Caída de presión de líquido que limita el flujo por estrangulamiento
D_1, D_2	Diámetro interno de la canalización aguas arriba y aguas abajo, respectivamente	ΔP_{sizing}	Valor de la caída de presión utilizada para cálculos de dimensionamiento de líquido
F_d	Modificador de estilo de válvula, sin medida	q	Caudal volumétrico estándar(1)
F_F	Factor de relación de presión crítica del líquido, sin medida	T_1	Temperatura absoluta aguas arriba
F_γ	Relación de factores caloríficos específicos, sin medida	w	Caudal másico
F_L	Factor de recuperación de presión de líquido, sin medida	x	Relación de caída de presión a lo largo de la válvula a presión estática absoluta aguas arriba ($\Delta P/P_1$), sin medida
F_{LP}	Combinación del factor de recuperación de presión de líquido y del factor de corrección por geometría de la cañería de una válvula con racores conectados (si no hay racores conectados, F_{LP} es igual a F_L), sin medida	x_{choked}	Relación de caída de presión con estrangulamiento para un flujo compresible
F_P	Factor de corrección por geometría de la cañería, sin medida	x_{sizing}	Valor de relación de caída de presión utilizado para el dimensionamiento compresible
K	Coeficiente de pérdida de carga de un dispositivo, sin medida (indicado con ζ en los estándares de dimensionamiento)	x_T	Factor de relación de caída de presión en el flujo estrangulado, sin medida
M	Peso molecular	x_{TP}	Factor de relación de caída de presión en el flujo estrangulado con racores conectados, sin medida
N	Constante numérico, utilizado para representar varios conjuntos de unidades	Y	Factor de expansión, sin medida
P_1	Presión estática absoluta aguas arriba	Z_1	Factor de compresibilidad en las condiciones de admisión, sin medida
P_2	Presión estática absoluta aguas abajo	γ	Relación ideal de valores caloríficos específicos, sin medida
P_c	Presión crítica termodinámica absoluta	ν	Viscosidad cinemática
P_v	Presión absoluta de vapor del líquido a la temperatura de admisión	ρ_1	Densidad en condiciones de admisión
		ρ_1/ρ_o	Gravedad específica del líquido en la admisión (relación de densidad del líquido a temperatura de circulación y densidad del agua a 15,5 °C (60°F)), sin medida

1. Las condiciones estándar se definen a 15,5 °C (60 °F) y 14,7 psia (101,3 k Pa).

5.7 Constantes de ecuación

		N	w	q	P[2]	ρ	T	d, D
N_1		0,0865	---	m^3/h	kPa	---	---	---
		0,865	---	m^3/h	bar	---	---	---
		1,00	---	gpm	psia	---	---	---
N_2		0,00214 890	--- ---	--- ---	--- ---	--- ---	--- ---	mm pulg
N_5		0,00241 1000	--- ---	--- ---	--- ---	--- ---	--- ---	mm pulg
N_6		2,73	kg/h	---	kPa	kg/m^3	---	---
		27,3	kg/h	---	bar	kg/m^3	---	---
		63,3	lb/h	---	psia	lbm/ft^3	---	---
N_8		0,948	kg/h	---	kPa	---	K	---
		94,8	kg/h	---	bar	---	K	---
		19,3	lb/h	---	psia	---	deg R	---
N_9[3]	Condiciones normales	21,2	---	m^3/h	kPa	---	K	---
	T_N = 0 °C	2120	---	m^3/h	bar	---	K	---
	Condiciones estándar	22,5	---	m^3/h	kPa	---	K	---
	T_s = 15 °C	2250	---	m^3/h	bar	---	K	---
	Condiciones estándar T_s = 60 °F	7320	---	scfh	psia	---	deg R	---

1. Varias de las ecuaciones utilizadas en estos procedimientos de dimensionamiento contienen una constante numérica N con un subíndice numérico. Estas constantes numéricas permiten utilizar unidades distintas en las ecuaciones. Los valores de varias constantes y sus unidades aplicables se indican en la tabla anterior. Por ejemplo, si el caudal se expresa en U.S. gpm y las presiones en psia, N_1 tiene un valor de 1,00. Si el caudal se expresa en m^3/h y las presiones en kPa, la constante N_1 se convertiría en 0,0865.

2. Todas las presiones son absolutas.

3. La presión base es 101,3 kPa (1,013 bar) (14,7 psia).

5.8 Dimensionamiento de válvulas para líquidos

A continuación se detalla un procedimiento paso a paso para el dimensionamiento de válvulas de control para flujo líquido utilizando los procedimientos de ISA e IEC. En sentido estricto, este método de dimensionamiento solo es válido para fluidos monocomponente, aunque se pueden utilizar soluciones multicomponente con precaución.

Cada uno de estos pasos es importante y se deben tener en cuenta durante cualquier procedimiento de dimensionamiento de válvula. Es importante tener en cuenta que los valores de C_v y F_L son conjuntos emparejados. Si se utiliza una C_v distinta, el valor F_L para esa válvula y carrera de válvula se debe obtener de la documentación del producto.

1. *Defina las variables requeridas para dimensionar la válvula de la forma siguiente:*
   - Diseño deseado
   - Fluido del proceso (agua, aceite, etc.)
   - Condiciones de servicio pertinentes
   - q o w, P_1, P_2 o ΔP, T_1, ρ_1/ρ_o, P_v, P_c, y ν

La capacidad de determinar los términos óptimos para un procedimiento de dimensionamiento específico solo se adquiere con la experiencia derivada de afrontar varios dimensionamientos de válvula distintos. Si cualquiera de los términos anteriormente mencionados parecen nuevos o inusuales, consulte la tabla de Abreviaturas y terminología para una definición completa.

2. *Determine las constantes de ecuación, N_1 y N_2.*

N_1 y N_2 son constantes numéricos presentes en las ecuaciones de flujo y permiten utilizar sistemas de unidades distintos. Los valores de estas constantes y sus unidades aplicables se detallan en la tabla Constantes de ecuación.

3. *Determine F_P, el factor de corrección por geometría de la cañería, y F_{LP}, el factor de recuperación de presión del líquido ajustado para los racores conectados.*

Para estos cálculos se utiliza un valor estimado de C_v y el correspondiente valor de F_L.

F_P es un factor de corrección que representa las pérdidas de presión derivadas de racores de canalización como racores reductores, racores acodados o racores en T que se pueden conectar de forma directa a las conexiones de entrada y salida de la válvula de control que dimensionar. Si tales racores se conectan a la válvula, se deben tener en cuenta. El procedimiento de dimensionamiento estándar proporciona un método que permite calcular el factor F_P para reductores concéntricos y expansores. Por otra parte, si no hay racores conectados a la válvula, F_P tiene un valor de 1,0 y simplemente no tiene efecto en la ecuación de dimensionamiento. Asimismo, $F_{LP} = F_L$.

4. *Determine la caída de presión que aplicar para el dimensionamiento, ΔP_{sizing}.*

Cuando la diferencia de presión aguas arriba y aguas abajo es suficientemente elevada, el líquido puede comenzar a vaporizarse, generando el estrangulamiento de flujo. Si la caída de presión real en la válvula, ΔP, es superior a la caída de presión que genera el estrangulamiento de flujo, se debe utilizar la caída de presión de flujo estrangulado, ΔP_{choked}, en lugar de la caída de presión real.

5. *Calcule C_v. Si el valor de C_v no es próximo al estimado utilizado en el paso 3, repita el proceso con este valor nuevo de C_v y el valor correspondiente de F_L de la información del producto.*

5.8.1 Cálculo del factor de corrección por geometría de la cañería (F_P) y el factor de recuperación de presión del líquido (F_{LP}) ajustado para los racores

Determine un factor F_P si se va a conectar de forma directa cualquier racor como un reductor, racor acodado o racor en T a las conexiones de entrada y salida de la válvula de control que se va a dimensionar. Siempre que sea posible, se recomienda determinar los factores F_P y F_{LP} de forma práctica utilizando la válvula especificada con pruebas reales.

$$F_P = \left[1 + \frac{\Sigma K}{N_2}\left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2\right]^{-1/2}$$

No obstante, el método siguiente permite realizar aproximaciones razonables para reductores concéntricos conectados.

En la ecuación anterior, el término ΣK es la suma algebraica de los coeficientes de pérdida de carga de velocidad de todos los racores conectados a la válvula de control.

$$\Sigma K = K_1 + K_2 + K_{B1} - K_{B2}$$

Donde:

K_1 = Coeficiente de resistencia de racores aguas arriba

K_2 = Coeficiente de resistencia de racores aguas abajo

K_{B1} = Coeficiente de Bernoulli en la entrada

K_{B2} = Coeficiente de Bernoulli en la salida

Y:

$$K_{B1} = 1 - \left(\frac{d}{D_1}\right)^4$$

$$K_{B2} = 1 - \left(\frac{d}{D_2}\right)^4$$

Si la canalización aguas arriba y aguas abajo es del mismo tamaño, los coeficientes de Bernoulli también son iguales, $K_{B1} = K_{B2}$, y por ello no tienen efecto en la ecuación ΣK.

El racor utilizado de forma más habitual en instalaciones de válvula de control es el reductor concéntrico corto. Las ecuaciones para este racor son las siguientes:

- Para un reductor de entrada:

$$K_1 = 0.5\left(1 - \frac{d^2}{{D_1}^2}\right)^2$$

- Para un reductor de salida:

$$K_2 = 1.0\left(1 - \frac{d^2}{{D_2}^2}\right)^2$$

- Para una válvula instalada entre reductores idénticos:

$$K_1 + K_2 = 1.5\left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$

Utilizando el valor F_L que se corresponde con el valor C_v para la válvula seleccionada:

$$F_{LP} = \left[\frac{K_1 + K_{B1}}{N_1}\left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2 + \frac{1}{{F_L}^2}\right]^{-1/2}$$

5.8.2 Determinar la caída de presión que utilizar para el dimensionamiento (ΔP_{sizing})

Calcule el factor de relación de presión crítica en líquidos:

$$F_F = 0.96 - 0.28\sqrt{\frac{P_v}{P_c}}$$

Después, determine la caída de presión limitadora debido al estrangulamiento de líquido:

$$\Delta P_{choked} = \left(\frac{F_{LP}}{F_P}\right)^2 (P_1 - F_F P_v)$$

La caída de presión que utilizar al calcular el coeficiente de flujo requerido, ΔP_{sizing}, es entonces la inferior de la caída de presión real del sistema, ΔP, y la caída de presión de estrangulamiento, ΔP_{choked}.

Nota: Si $\Delta P_{choked} < \Delta P$, el flujo experimenta cavitación o vaporización. Si la presión de salida es superior a la presión de vapor del fluido, la cavitación está generando el flujo estrangulado. Si la presión de salida es inferior a la presión de vapor del fluido, el flujo se está vaporizando. Para más información, consulte la sección sobre cavitación y vaporización más adelante en este capítulo.

5.8.3 Cálculo del coeficiente de flujo requerido (C_v)

El coeficiente de flujo requerido de la válvula que permite el paso de una cantidad de flujo dada se determina de la forma siguiente:

$$C_v = \frac{q}{N_1 F_P \sqrt{\frac{\Delta P_{sizing}}{\rho_1/\rho_o}}}$$

5.8.4 Problema de ejemplo de dimensionamiento de líquido

Suponga una instalación tal que en la puesta en servicio inicial de la planta no funcionará a su capacidad máxima diseñada. La canalización se ha dimensionado para una capacidad de sistema máxima, pero en este momento se desea instalar una válvula de control dimensionada solo para los requisitos previstos actualmente. El tamaño del conducto es de 20 cm (8 pulg), y se ha especificado una válvula de globo de clase 300 con una jaula de igual porcentaje.

Se van a utilizar reductores concéntricos estándar para instalar la válvula en la canalización. Determine el tamaño de válvula adecuado.

1. Defina las variables requeridas para dimensionar la válvula:

- Diseño de válvula deseada: una válvula de globo de clase 300 con una jaula de igual porcentaje y un tamaño de válvula supuesto de 7,62 cm (3 pulg) y una apertura de válvula del 100% con un C_v de 121 y un F_L de 0,89.
- Fluido de proceso: propano líquido.
- Condiciones de servicio:

  q = 800gpm.

  P_1 = 300 psig = 314,7 psia

  P_2 = 275 psig = 289,7 psia

  ΔP = 25 psi

  T_1 = 21 °C (70 °F)

  ρ_1/ρ_o = 0,50

  P_v = 124,3 psia

  P_c = 616,3 psia

2. Determine las constantes de ecuación, N_1 y N_2.

Teniendo en cuenta la tabla de Constantes de ecuación, N_1 = 1,0 y N_2 = 890.

3. Determine F_P, el factor de corrección por geometría de la cañería, y F_{LP}, el factor de recuperación de presión del líquido ajustado para los racores conectados.

- En primer lugar, determine los coeficientes de resistencia requeridos cuando las medidas de canalización aguas arriba y aguas abajo son idénticas.

$$K_1 = 0.5\left(1 - \frac{d^2}{{D_1}^2}\right)^2$$
$$= 0.5\left(1 - \frac{3^2}{7.98^2}\right)^2$$
$$= 0.37$$

Y

$$K_{B1} = 1 - \left(\frac{d}{D_1}\right)^4$$
$$= 1 - \left(\frac{3}{7.98}\right)^4$$
$$= 0.98$$

Y

$$\Sigma K = 1.5\left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$
$$= 1.5\left(1 - \frac{3^2}{7.98^2}\right)^2$$
$$= 1.11$$

- Ahora, calcule F_p:

$$F_P = \left[1 + \frac{\Sigma K}{N_2}\left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2\right]^{-1/2}$$
$$= \left[1 + \frac{1.11}{890}\left(\frac{121}{3^2}\right)^2\right]^{-1/2}$$
$$= 0.90$$

- Después, calcule F_{LP}:

$$F_{LP} = \left[\frac{K_1 + K_{B1}}{N_1}\left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2 + \frac{1}{{F_L}^2}\right]^{-1/2}$$
$$= \left[\frac{0.37 + 0.98}{890}\left(\frac{121}{3^2}\right)^2 + \frac{1}{0.89^2}\right]^{-1/2}$$
$$= 0.81$$

4. Determine la caída de presión que aplicar para el dimensionamiento, ΔP_{sizing}.

- En primer lugar, determine el factor de relación de presión crítica en líquidos:

$$F_F = 0.96 - 0.28\sqrt{\frac{P_v}{P_c}}$$
$$= 0.96 - 0.28\sqrt{\frac{124.3}{616.3}}$$
$$= 0.83$$

- La caída de presión de estrangulamiento, ΔP_{sizing}, se determina de la forma siguiente:

$$\Delta P_{choked} = \left(\frac{F_{LP}}{F_P}\right)^2 (P_1 - F_F P_v)$$
$$= \left(\frac{0.81}{0.90}\right)^2 (314.7 - 0.83 \cdot 124.3)$$
$$= 171\ psi$$

- Debido a que la caída de presión real es inferior a la caída de presión de estrangulamiento:

$$\Delta P_{sizing} = \Delta P$$
$$= 25\ psi$$

5. Calcule el valor de C_v requerido.

$$C_v = \frac{q}{N_1 F_P \sqrt{\frac{\Delta P_{sizing}}{\rho_1/\rho_o}}}$$
$$= \frac{800}{1.0 \cdot 0.9\sqrt{\frac{25}{0.5}}}$$
$$= 125.7$$

Un C_v requerido de 125,7 supera la capacidad de la válvula supuesta, que posee un C_v de 121. Aunque para este ejemplo puede parecer obvio que el siguiente tamaño superior (NPS 4 (DN 100)) sería el tamaño de válvula correcto, no siempre puede ser lo correcto, y se debe repetir el procedimiento anterior.

Ahora, suponga una válvula NPS 4 (DN 100), C_v = 203 y F_L = 0,91. Estos valores se derivan a partir de la tabla de coeficiente de flujo para una válvula de globo de clase 300, NPS 4 (DN 100) Fisher ES con una jaula de igual porcentaje.

Vuelva a calcular el C_v requerido utilizando un valor supuesto de C_v de 203 en el cálculo de F_P.

$$\Sigma K = 1.5\left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$
$$= 1.5\left(1 - \frac{4^2}{7.98^2}\right)^2$$
$$= 0.84$$

Y

$$F_P = \left[1 + \frac{\Sigma K}{N_2}\left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2\right]^{-1/2}$$
$$= \left[1 + \frac{0.84}{890}\left(\frac{203}{4^2}\right)^2\right]^{-1/2}$$
$$= 0.93$$

Y

$$C_v = \frac{q}{N_1 F_P \sqrt{\frac{\Delta P_{sizing}}{\rho_1/\rho_o}}}$$
$$= \frac{800}{1.0 \cdot 0.93\sqrt{\frac{25}{0.5}}}$$
$$= 121.7$$

Esta solución solo indica que la válvula NPS 4 (DN 100) es suficientemente grande para satisfacer las condiciones de servicio dadas. No obstante, puede haber casos donde se requiera una previsión de C_v más precisa. En tales casos, el C_v requerido se debe recalcular utilizando un valor de F_p nuevo con base en el valor de C_v obtenido anteriormente.

En este ejemplo, C_v es 121,7, que da el siguiente resultado:

$$F_P = \left[1 + \frac{\Sigma K}{N_2}\left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2\right]^{-1/2}$$
$$= \left[1 + \frac{0.84}{890}\left(\frac{121.7}{4^2}\right)^2\right]^{-1/2}$$
$$= 0.97$$

Y

$$C_v = \frac{q}{N_1 F_P \sqrt{\frac{\Delta P_{sizing}}{\rho_1/\rho_o}}}$$
$$= \frac{800}{1.0 \cdot 0.97\sqrt{\frac{25}{0.5}}}$$
$$= 116.6$$

Debido a que el valor de C_v obtenido al recalcular es muy próximo al valor de C_v utilizado inicialmente para este nuevo cálculo, (116,6 frente a 121,7), el procedimiento de dimensionamiento de válvula se ha realizado, y la conclusión es que una válvula NPS 4 (DN 100) con una apertura aproximada del 75% de la carrera total debe ser adecuada para las especificaciones requeridas. Tenga en cuenta que para este caso no ha sido necesario actualizar los valores de F_L y F_{LP}. Si el valor de F_L se modificase entre repeticiones, se debería volver a actualizar estos valores y volver a calcular C_v.

5.9 Dimensionamiento de válvulas para fluido compresibles

A continuación se detalla un procedimiento de 6 pasos para el dimensionamiento de válvulas de control para flujo compresible utilizando el procedimiento estandarizado de ISA. Cada uno de estos pasos es importante y se deben tener en cuenta durante cualquier procedimiento de dimensionamiento de válvula.

1. *Defina las variables requeridas para dimensionar la válvula de la forma siguiente:*
   - Diseño de válvula deseado (p.ej., globo balanceado con jaula lineal)
   - Fluido de proceso (oxígeno, gas natural, vapor, etc.)
   - Condiciones de servicio pertinentes: q o w, P_1, P_2 o ΔP, T_1, M, γ, y Z_1 o ρ_1

La capacidad de determinar los términos óptimos para un procedimiento de dimensionamiento específico solo se adquiere con la experiencia derivada de afrontar varios dimensionamientos de válvula distintos. Si cualquiera de los términos anteriormente mencionados parecen nuevos o inusuales, consulte la tabla de Abreviaturas y terminología para una definición completa.

2. *Determine las constantes de ecuación, N_2, N_5, y N_6, N_8, o N_9, dependiendo de los datos de proceso disponibles y unidades utilizadas.*

Estos valores N son constantes numéricos presentes en las ecuaciones de flujo y permiten utilizar sistemas de unidades distintos. Los valores de estas constantes y sus unidades aplicables se detallan en la tabla Constantes de ecuación. N_6 se utiliza cuando el caudal se expresa en unidades de caudal másico y se conoce la densidad ρ_1. Si se conoce la compresibilidad en lugar de la densidad, se utiliza N_8 para unidades de caudal másico, y N_9 para unidades de volumen de caudal estándar.

3. *Determine F_P, factor de corrección por geometría de la cañería, y x_{TP}, el factor de relación de caída de presión ajustado para los racores conectados.*

Para estos cálculos se utiliza un valor estimado de C_v y el correspondiente valor de x_{TP}.

F_P es un factor de corrección que representa las pérdidas de presión derivadas de racores de canalización como racores reductores, racores acodados o racores en T que se pueden conectar de forma directa a las conexiones de entrada y salida de la válvula de control que dimensionar. Si tales racores se conectan a la válvula, se deben tener en cuenta. El procedimiento de dimensionamiento estándar proporciona un método que permite calcular

el factor F_P para reductores concéntricos y expansores. Por otra parte, si no hay racores conectados a la válvula, F_P tiene un valor de 1,0 y simplemente no tiene efecto en la ecuación, y $x_{TP} = x_T$. Puede encontrar las ecuaciones para determinar F_P en la sección Dimensionamiento de válvulas para líquidos.

4. Determine la relación de caída de presión para el dimensionamiento, x_{sizing}, y el factor de expansión , Y.

Cuando la diferencia de presión aguas arriba y aguas abajo es suficientemente elevada, el flujo puede comenzar a experimentar estrangulamiento. Si la relación de caída de presión real a lo largo de la válvula, x, es superior que la relación de caída de presión que genera el estrangulamiento de flujo, se debe utilizar la relación de caída de presión de flujo estrangulado, x_{choked}, en lugar de la caída de presión real. Cuando se estrangula el flujo, el factor de expansión es igual a 2/3.

5. Calcule C_v.

Si el valor de C_v no es próximo al estimado utilizado en el paso 3, repita el proceso con este valor nuevo de C_v y el valor correspondiente de x_T de la información del producto.

5.9.1 Cálculo del factor de corrección por geometría de la cañería (F_P) y el factor de relación de caída de presión (x_{TP}) en el flujo estrangulado con racores conectados

El valor de F_P para el dimensionamiento de flujo compresible se obtiene de la misma forma que para el dimensionamiento de líquido. Consulte la sección de dimensionamiento de líquidos para las ecuaciones de F_P y los coeficientes de resistencia asociados.

x_{TP} se determina con la ecuación siguiente, utilizando el valor de x_T pertinente para el C_v de la válvula seleccionada:

$$x_{TP} = \frac{\frac{x_T}{F_P^2}}{1 + \frac{x_T (K_1 + K_{B1})}{N_5} \left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2}$$

5.9.2 Cálculo de la relación de caída de presión para el dimensionamiento (x_{sizing}) y el factor de expansión (Y)

En primer lugar, determine el factor de relación calorífico específico, F_γ:

$$F_\gamma = \frac{\gamma}{1.4}$$

A continuación, determine la relación de caída de presión de flujo estrangulado:

$$x_{choked} = F_\gamma \cdot x_{TP}$$

La relación de caída de presión que utilizar al calcular el coeficiente de flujo requerido, x_{sizing}, es entonces la menor de la caída de presión real del sistema, x, y la caída de presión de estrangulamiento, x_{choked}.

El factor de expansión se determina utilizando x_{sizing} y x_{choked}:

$$Y = 1 - \frac{x_{sizing}}{3 \cdot x_{choked}}$$

5.9.3 Cálculo del coeficiente de flujo (C_v)

Se utiliza una de las tres ecuaciones siguientes para calcular C_v, según el formato de los datos de proceso.

- Para la relación de caudal másico y densidad:

$$C_v = \frac{w}{N_6 F_P Y \sqrt{x_{sizing} P_1 \rho_1}}$$

- Para la relación de caudal másico y compresibilidad:

$$C_v = \frac{w}{N_8 F_P P_1 Y} \sqrt{\frac{T_1 Z_1}{x_{sizing} M}}$$

- Para la relación de caudal volumétrico estándar y compresibilidad:

$$C_v = \frac{q}{N_9 F_P P_1 Y} \sqrt{\frac{M T_1 Z_1}{x_{sizing}}}$$

5.9.4 Problema de ejemplo de dimensionamiento de fluido compresible núm. 1

Determine el tamaño y porcentaje de apertura de una válvula de bola Fisher V250 funcionando bajo las condiciones de servicio siguientes. Suponga que el tamaño de válvula y conducto son iguales.

1. *Defina las variables requeridas para dimensionar la válvula:*
   - Diseño de válvula deseado: Válvula Fisher V250
   - Fluido del proceso: Gas natural
   - Condiciones de servicio:

     P_1 = 200 psig = 214,7 psia

     P_2 = 50 psig = 64,7 psia

     ΔP = 150 psi

     $x = \Delta P/P_1$ = 150/214,7 = 0,70

     T_1 = 60 °F = 520 °R

     M = 17,38

     Z_1 = 1

     γ = 1,31

     q = 6,0 x 10^6 scfh

2. *Determine las constantes de ecuación, N_2, N_5, y N_6, N_8, o N_9.*

   Para estas unidades, conforme a la tabla Constantes de ecuación, N_2 = 890 y N_5 = 1000. Para las condiciones dadas en caudal volumétrico estándar expresadas en scfh y compresibilidad, utilice N_9 = 7320.

3. *Determine F_p, factor de corrección por geometría de la cañería, y x_{TP}, el factor de relación de caída de presión ajustado para los racores conectados.*

   Debido a que la válvula presenta un dimensionamiento de línea y que no hay racores conectados, $F_p = 1$ y $x_{TP} = x_T$. Para una válvula NPS 8 (DN 200) V250 con una carrera del 100%, x_T = 0,14.

4. *Determine la relación de caída de presión para el dimensionamiento, x_{sizing}, y el factor de expansión , Y.*

En primer lugar, determine el factor de relación calorífico específico, F_γ:

$$F_\gamma = \frac{\gamma}{1.4} = \frac{1.31}{1.4} = 0.94$$

Utilice esta valor para determinar la relación de caída de presión de estrangulamiento:

$$x_{choked} = F_\gamma x_{TP} = 0.94 \cdot 0.14 = 0.131$$

La relación de caída de presión de flujo estrangulado es inferior a la relación de caída de presión real, con lo que:

$$x_{sizing} = x_{choked} = 0.131$$

El factor de expansión, Y, es:

$$Y = 1 - \frac{x_{sizing}}{3x_{choked}} = 0.667$$

5. *Calcule C_v.*

$$C_v = \frac{q}{N_9 F_P P_1 Y}\sqrt{\frac{MT_1Z_1}{x_{sizing}}} = \frac{6.0\times10^6}{7320 \cdot 1.0 \cdot 214.7 \cdot 0.667}\sqrt{\frac{17.38 \cdot 520 \cdot 1.0}{0.131}} = 1504$$

Este resultado indica que la válvula ofrece las medidas adecuadas para el paso del flujo (valor nominal C_v = 2190). Para determinar el porcentaje de apertura de válvula, tenga en cuenta que el C_v requerido se da a aproximadamente 83 grados para la válvula seleccionada. Tenga también en cuenta que, con una apertura de 83 grados, x_T tiene un valor de 0,219, notablemente distinto del valor nominal de 0,137 utilizado inicialmente en la ecuación. El paso siguiente es volver a realizar la ecuación utilizando el valor de x_T para una carrera de 83 grados.

Vuelva a calcular x_{choked}:

$$x_{choked} = F_\gamma x_{TP}$$
$$= 0.94 \cdot 0.219$$
$$= 0.205$$

El flujo sigue estrangulado, por lo que el C_v requerido es ahora:

$$C_v = \frac{q}{N_9 F_P P_1 Y}\sqrt{\frac{MT_1 Z_1}{x_{sizing}}}$$
$$= \frac{6.0\times10^6}{7320 \cdot 1.0 \cdot 214.7 \cdot 0.667}\sqrt{\frac{17.38 \cdot 520 \cdot 1.0}{0.219}}$$
$$= 1203$$

El motivo del descenso notable del C_v requerido es imputable únicamente a la diferencia de los valores de x_T con una carrera de 83 grados y nominal.

Continuar con este proceso hasta obtener el C_v requerido ofrece unos resultados de C_v = 923 y x_T = 0,372 con una carrera de unos 74 grados. ▪

5.9.5 Problema de ejemplo de dimensionamiento de fluido compresible núm. 2

Suponga que el vapor se va a suministrar a un proceso diseñado para funcionar a 250 psig (17,2 bar). La fuente de suministro es un cabezal con unos valores constantes de 500 psig (34,5 bar) y 260 °C (500 °F). La planificación incluye un conducto de cédula estándar NPS 6 (DN 150) desde el conducto principal de vapor al proceso. Asimismo, suponga que el tamaño requerido de válvula es inferior a NPS 6 (DN 150), y que se va a instalar con reductores concéntricos. Determine la válvula Fisher ED adecuada con una jaula lineal.

1. *Defina las variables requeridas para dimensionar la válvula:*

   - Diseño de válvula deseado: Válvula Fisher ED de clase 300 con una jaula lineal. Suponga un tamaño de válvula de NPS 4 (DN 100).
   - Fluido de proceso: vapor sobrecalentado.
   - El conducto de cédula estándar de 6 pulgadas presenta D = 6,1 pulgadas.
   - Condiciones de servicio:

     w = 125.000 lb/h

     P_1 = 500 psig = 514,7 psia

     P_1 = 250 psig = 264,7 psia

     ΔP = 250 psi

     $x = \Delta P/P_1$ = 250/514,7 = 0,49

     T_1 = 260 °C (500 °F)

     ρ_1 = 1,042 lbm/ft³

     γ = 1,33
   - Comience probando una válvula NPS 4 (DN 100) ED con unos internos lineales y una carrera del 100%:

     C_v = 236

     x_T = 0,690

2. *Determine las constantes de ecuación, N_2, N_5, y N_6, N_8, o N_9.*

   Para estas unidades, conforme a la tabla Constantes de ecuación, N_2 = 890 y N_5 = 1000. Para condiciones dadas de relación de caudal másico expresadas en lb/h y densidad en lbm/ft³, utilice N_6 = 63,3.

3. *Determine F_P, factor de corrección por geometría de la cañería, y x_{TP}, el factor de relación de caída de presión ajustado para los racores conectados.*

   Debido a que los conductos aguas arriba y aguas abajo presentan el mismo tamaño, los coeficientes de resistencia requeridos son:

$$K_1 = 0.5\left(1 - \frac{d^2}{{D_1}^2}\right)^2$$
$$= 0.5\left(1 - \frac{4^2}{6.1^2}\right)^2$$
$$= 0.16$$

$$K_{B1} = 1 - \left(\frac{d}{D_1}\right)^4$$
$$= 1 - \left(\frac{4}{6.1}\right)^4$$
$$= 0.82$$

Y

$$\Sigma K = 1.5\left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$
$$= 1.5\left(1 - \frac{4^2}{6.1^2}\right)^2$$
$$= 0.49$$

Ahora, calcule F_P:

$$F_P = \left[1 + \frac{\Sigma K}{N_2}\left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2\right]^{-1/2}$$
$$= \left[1 + \frac{0.49}{890}\left(\frac{236}{4^2}\right)^2\right]^{-1/2}$$
$$= 0.945$$

Por último, calcule x_{TP}:

$$x_{TP} = \frac{\frac{x_T}{F_P^2}}{1 + \frac{x_T(K_1 + K_{B1})}{N_5}\left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2}$$
$$= \frac{\frac{0.69}{0.945^2}}{1 + \frac{0.69(0.16 + 0.82)}{1000}\left(\frac{236}{4^2}\right)^2}$$
$$= 0.67$$

4. Determine la relación de caída de presión para el dimensionamiento, x_{sizing}, y el factor de expansión , Y.

En primer lugar, determine el factor de relación calorífico específico, F:

$$F_\gamma = \frac{\gamma}{1.4}$$
$$= \frac{1.33}{1.4}$$
$$= 0.95$$

Utilice esta valor para determinar la relación de caída de presión de estrangulamiento:

$$x_{choked} = F_\gamma x_{TP}$$
$$= 0.95 \cdot 0.67$$
$$= 0.64$$

La relación de caída de presión de flujo estrangulado es superior a la relación de caída de presión real, con lo que:

$$x_{sizing} = x = 0.49$$

El factor de expansión, Y, es:

$$Y = 1 - \frac{x_{sizing}}{3x_{choked}} = 0.75$$

5. Calcule C_v.

$$C_v = \frac{w}{N_6 F_P Y \sqrt{x_{sizing} P_1 \rho_1}}$$
$$= \frac{125{,}000}{63.3 \cdot 0.945 \cdot 0.75\sqrt{0.49 \cdot 514.7 \cdot 1.042}}$$
$$= 173$$

La iteración utilizando valores de x_T tomados del catálogo de productos ofrece como resultado requisitos de C_v = 169 y x_T = 0,754. Esto se da con una apertura aproximada del 66%, de forma que una válvula NPS 4 (DN 100) ED con unos internos lineales es una solución aceptable en relación a la capacidad. La siguiente válvula ED de menor tamaño con internos lineales presenta un valor nominal de C_v de solo 148, por lo que no es una válvula adecuada para este caso. ■

5.10 Coeficientes de dimensionamiento representativos

5.10.1 Coeficientes de dimensionamiento representativos para cuerpos de válvula de estilo globo de puerto único

Tamaño de válvula (NPS)	Estilo del obturador de la válvula	Características de flujo	Diám. de puerto (in.)	Carrera nominal (in.)	C_v	F_L	X_T	F_D
1/2	Guiado por poste	Igual porcentaje	0,38	0,50	2,41	0,90	0,54	0,61
3/4	Guiado por poste	Igual porcentaje	0,56	0,50	5,92	0,84	0,61	0,61
1	Micro-Form	Igual porcentaje	3/8	3/4	3,07	0,89	0,66	0,72
	---	---	1/2	3/4	4,91	0,93	0,80	0,67
	---	---	3/4	3/4	8,84	0,97	0,92	0,62
	Guiado por jaula	Lineal	1-5/16	3/4	20,6	0,84	0,64	0,34
		Igual porcentaje	1-5/16	3/4	17,2	0,88	0,67	0,38
1-1/2	Micro-Form	Igual porcentaje	3/8	3/4	3,20	0,84	0,65	0,72
	---	---	1/2	3/4	5,18	0,91	0,71	0,67
	---	---	3/4	3/4	10,2	0,92	0,80	0,62
	Guiado por jaula	Lineal	1-7/8	3/4	39,2	0,82	0,66	0,34
		Igual porcentaje	1-7/8	3/4	35,8	0,84	0,68	0,38
2	Guiado por jaula	Lineal Igual porcentaje	2-5/16 2-5/16	1-1/8 1-1/8	72,9 59,7	0,77 0,85	0,64 0,69	0,33 0,31
3	Guiado por jaula	Lineal Igual porcentaje	3-7/16	1-1/2	148 136	0,82 0,82	0,62 0,68	0,30 0,32
4	Guiado por jaula	Lineal Igual porcentaje	4-3/8	2	236 224	0,82 0,82	0,69 0,72	0,28 0,28
6	Guiado por jaula	Lineal Igual porcentaje	7	2	433 394	0,84 0,85	0,74 0,78	0,28 0,26
8	Guiado por jaula	Lineal Igual porcentaje	8	3	846 818	0,87 0,86	0,81 0,81	0,31 0,26

5.10.2 Coeficientes de dimensionamiento representativos para válvulas rotativas

Tamaño de válvula (NPS)	Estilo de la válvula	Grados de apertura de válvula	C_v	F_L	X_T	F_D
1	Válvula de bola con muesca en V	60	15,6	0,86	0,53	---
		90	34,0	0,86	0,42	---
1-1/2	Válvula de bola con muesca en V	60	28,5	0,85	0,50	---
		90	77,3	0,74	0,27	---
2	Válvula de bola con muesca en V	60	59,2	0,81	0,53	---
		90	132	0,77	0,41	---
	Válvula de mariposa de alto rendimiento	60	58,9	0,76	0,50	0,49
		90	80,2	0,71	0,44	0,70
3	Válvula de bola con muesca en V	60	120	0,80	0,50	0,92
		90	321	0,74	0,30	0,99
	Válvula de mariposa de alto rendimiento	60	115	0,81	0,46	0,49
		90	237	0,64	0,28	0,70
4	Válvula de bola con muesca en V	60	195	0,80	0,52	0,92
		90	596	0,62	0,22	0,99
	Válvula de mariposa de alto rendimiento	60	270	0,69	0,32	0,49
		90	499	0,53	0,19	0,70
6	Válvula de bola con muesca en V	60	340	0,80	0,52	0,91
		90	1100	0,58	0,20	0,99
	Válvula de mariposa de alto rendimiento	60	664	0,66	0,33	0,49
		90	1260	0,55	0,20	0,70
8	Válvula de bola con muesca en V	60	518	0,82	0,54	0,91
		90	1820	0,54	0,18	0,99
	Válvula de mariposa de alto rendimiento	60	1160	0,66	0,31	0,49
		90	2180	0,48	0,19	0,70
10	Válvula de bola con muesca en V	60	1000	0,80	0,47	0,91
		90	3000	0,56	0,19	0,99
	Válvula de mariposa de alto rendimiento	60	1670	0,66	0,38	0,49
		90	3600	0,48	0,17	0,70
12	Válvula de bola con muesca en V	60	1530	0,78	0,49	0,92
		90	3980	0,63	0,25	0,99
	Válvula de mariposa de alto rendimiento	60	2500	---	---	0,49
		90	5400	---	---	0,70
16	Válvula de bola con muesca en V	60	2380	0,80	0,45	0,92
		90	8270	0,37	0,13	1,00
	Válvula de mariposa de alto rendimiento	60	3870	0,69	0,40	---
		90	8600	0,52	0,23	---

5.11 Dimensionamiento del actuador

Los actuadores se seleccionan emparejando la fuerza requerida para generar la carrera de la válvula con un actuador capaz de suministrar esa fuerza. Para válvulas rotativas, un proceso similar empareja el par requerido para generar la carrera de la válvula con un actuador que pueda suministrar ese par. Se utiliza el mismo proceso básico para actuadores neumáticos, eléctricos e hidroeléctricos.

5.11.1 Válvulas de globo

La fuerza requerida para el funcionamiento de una válvula de globo incluye:

- La fuerza requerida para vencer el desbalance estático del obturador de la válvula.
- La fuerza requerida para suministrar la carga del asiento.
- La fuerza requerida para vencer la fricción de la empaquetadura.
- Fuerzas adicionales requeridas para algunas aplicaciones o configuraciones específicas.

Fuerza total requerida = A + B + C + D

5.11.1.1 Fuerza de desbalance (A)

La fuerza de desbalance es el resultante de la presión del fluido en el cierre, y de forma general se puede expresar como:

Fuerza de desbalance = diferencial de presión neta X área de desbalance neto

Una práctica habitual es tomar la presión aguas arriba máxima indicada mediante un medidor como el diferencial de presión neta salvo que el diseño del proceso garantice en todo momento una contrapresión en el punto de presión de entrada máxima. El área de desbalance neto es la sección del puerto en un diseño de un solo asiento con flujo ascendente. El área de desbalance puede requerir considerar la sección del vástago, dependiendo de la configuración. Las válvulas balanceadas también presentan una pequeña área de desbalance. Estos

Diámetro del puerto	Área de desbalance - Válvulas desbalanceadas de un solo asiento	Área de desbalance - Válvulas balanceadas
1/4	0,028	---
3/8	0,110	---
1/2	0,196	---
3/4	0,441	---
1	0,785	---
1-5/16	1,35	0,04
1-7/8	2,76	0,062
2-5/16	4,20	0,27
3-7/16	9,28	0,118
4-3/8	15,03	0,154
7	38,48	0,81
8	50,24	0,86

Figura 5.2 Áreas de desbalance típicas de válvulas de control.

datos se pueden obtener del fabricante. Se enumeran los áreas de puerto habituales para válvulas balanceadas de flujo ascendente y válvulas desbalanceadas en una configuración de flujo descendente.

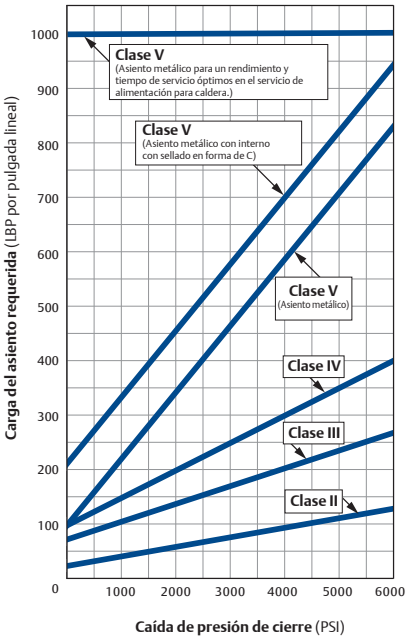


Figura 5.3 Carga del asiento mínima requerida para la optimización del tiempo servicio del asiento en válvulas de asiento metálico de clase II-V

Clase de fuga	Carga del asiento recomendada
Clase I	Según especificaciones del usuario, sin requisito de comprobación de fugas en fábrica.
Clase II	20 libras por pulgada lineal de circunferencia de puerto.
Clase III	40 libras por pulgada lineal de circunferencia de puerto.
Clase IV	Solo asiento (inferior) estándar: 40 libras por pulgada lineal de circunferencia de puerto (hasta puertos con un diámetro de 111 mm (4-3/8 pulg)). Solo asiento (inferior) estándar: 80 libras por pulgada lineal de circunferencia de puerto (mayor que puertos con un diámetro de 111 mm (4-3/8 pulg)).
Clase V	Asiento metálico: determine las libras por pulgada lineal de circunferencia de puerto con la Figura 5.2.
Clase VI	Asiento metálico: 300 libras por pulgada lineal de circunferencia de puerto.

Figura 5.4 Carga del asiento recomendada

5.11.1.2 Fuerza necesaria para proporcionar la carga del asiento (B)

La carga del asiento, expresada habitualmente en libras por pulgada lineal de la circunferencia del puerto se determina a partir de los requisitos de cierre. Utilice las directrices siguientes para determinar la carga del asiento requerida para satisfacer los ensayos de homologación de fábrica de clases de fuga II a VI de ANSI/FCI 70-2 y IEC 60534-4. Consulte la tabla para la carga del asiento recomendada.

Debido a las diferentes exigencias de las condiciones de servicio, no interprete estas clasificaciones de fugas e índices de fuga correspondientes como indicadores del rendimiento en condiciones reales. Para prolongar el tiempo de servicio del asiento y las capacidades de cierre, utilice una carga del asiento superior a la recomendada. Consulte la Figura 5.3 para cargas del asiento recomendadas. Si un cierre hermético no es un aspecto prioritario, utilice una clase de fuga inferior.

5.11.1.3 Fricción de la empaquetadura (C)

La fricción de la empaquetadura se determina por el tipo de vástago, tipo de empaquetadura, y el grado de carga de compresión aplicada a la empaquetadura por el proceso o el empernado.

Las características de fricción de la empaquetadura no ofrecen una repetibilidad total. Los diseños de empaquetadura con una carga real pueden experimentar unas fuerzas de fricción notables, en particular si se utiliza empaquetadura de grafito. La tabla enumera valores típicos de fricción de empaquetadura.

5.11.1.4 Fuerzas adicionales (D)

Puede ser necesario aplicar fuerzas adicionales para impulsar la carrera de la válvula debido a aspectos como la rigidez del fuelle, fuerzas de fricción no habituales derivados de las juntas o fuerzas de asiento particulares para juntas de metal blando, por ejemplo. El fabricante debe proporcionar tal información o se debe considerar al dimensionar un actuador.

Tamaño del vástago (pulgadas)	Clase	Empaquetadura de PTFE		Cinta de grafito / Filamento
		Sencillo	Doble	
5/16	Todos	20	30	---
3/8	125	38	56	---
	150			125
	250			---
	300			190
	600			250
	900			320
	1500			380
1/2	125	50	75	---
	150			180
	250			---
	300			230
	600			320
	900			410
	1500			500
	2500			590
5/8	125	63	95	---
	150			218
	250			---
	300			290
	600			400
3/4	125	75	112,5	---
	150			350
	250			---
	300			440
	600			660
	900			880
	1500			1100
	2500			1320
1	300	100	150	610
	600			850
	900			1060
	1500			1300
	2500			1540
1-1/4	300	120	180	800
	600			1100
	900			1400
	1500			1700
	2500			2040
2	300	200	300	1225
	600			1725
	900			2250
	1500			2750
	2500			3245

Nota: Los valores indicados son fuerzas de fricción que se producen habitualmente al utilizar procedimientos estándar de apriete de pernos de brida de empaquetadura.

Figura 5.5 Valores típicos de fricción de empaquetadura

5.11.2 Cálculos de fuerza del actuador

Los actuadores de diafragma neumáticos proporcionan una fuerza neta con la presión de aire adicional después de comprimir el resorte en la acción de aire para cerrar, o con la precompresión neta del resorte en la acción de aire para abrir. Esto se puede determinar en libras por pulgada cuadrada de diferencial de presión.

Por ejemplo: Suponga que se requiere una fuerza de 275 lbf para cerrar la válvula calculada mediante el proceso detallado anteriormente. Una opción disponible es un actuador de aire para abrir con una sección de diafragma de 100 pulgadas cuadradas y un ajuste de banco de 6 a 15 psig. El rango de funcionamiento previsto es de 3 a 15 psig. La precompresión se puede determinar como la diferencia entre el límite inferior del ajuste de banco (6 psig) y el inicio del rango de funcionamiento (3 psig). Estos 3 psig se utilizan para anular la precompresión, por lo que la fuerza de precompresión debe ser de:

3 psig X 100 sq in. = 300 lbf.

Esto es mayor que la fuerza requerida, siendo una selección adecuada.

Los actuadores de pistón con resortes se dimensionan de la misma forma. El empuje de los actuadores de pistón sin resortes se puede calcular de forma sencilla:

(Sección del pistón)(Presión de suministro mínima) = Empuje disponible

(Asegúrese de respetar la compatibilidad de las unidades.)

En algunos casos, el actuador puede suministrar demasiada fuerza, causando el colapso del vástago o un doblamiento que genere una fuga, o daños en los internos de la válvula. Esto se puede producir por una longitud excesiva del actuador, o que el suministro de aire máximo supere el suministro de aire mínimo disponible.

Habitualmente, el fabricante se hace responsable del dimensionamiento del actuador y debería tener documentados métodos de comprobación de cargas máxima del vástago.

Los fabricantes también publican datos sobre empujes de actuador, secciones de diafragma efectivas y datos de resorte. ■

5.12 Dimensionamiento del actuador para válvulas rotativas

Para la selección del actuador más económico para una válvula rotativa, los aspectos esenciales son el par requerido para abrir y cerrar la válvula y la salida de par del actuador.

Este método asume que la válvula se ha dimensionado de forma adecuada para la aplicación, y que ésta no supera las limitaciones de presión de la válvula.

5.12.1 Ecuaciones de par

El par de válvula rotativa es igual a la suma del conjunto de componentes de par. Para evitar confusiones, un conjunto de éstos se ha combinado y se ha realizado un conjunto de cálculos de antemano. Así, los pares requeridos para cada tipo de válvula se pueden representar con dos ecuaciones sencillas y prácticas.

5.12.2 Par de arranque

$T_B = A(\Delta P_{shutoff}) + B$

5.12.3 Par dinámico

$T_D = C(\Delta P_{eff})$

Los factores A, B, y C específicos a cada diseño de válvula se incluyen en las tablas siguientes. ■

5.13 Factores de par de válvula rotativa típicos

5.13.1 Factores de par para la válvula de bola con muesca en V con junta compuesta

Tamaño de válvula (NPS)	Diámetro de flecha de válvula (pulgadas)	A	B	C		T_D máximo, LBF • IN.
		Cojinetes de resina sintética		60°	70°	
2	1/2	0,15	80	0,11	0,60	515
3	3/4	0,10	280	0,15	3,80	2120
4	3/4	0,10	380	1,10	18,0	2120
6	1	1,80	500	1,10	36,0	4140
8	1-1/4	1,80	750	3,80	60,0	9820
10	1-1/4	1,80	1250	3,80	125	9820
12	1-1/2	4,00	3000	11,0	143	12.000
14	1-3/4	42	2400	75	413	23.525
16	2	60	2800	105	578	23.525
18	2-1/8	60	2800	105	578	55.762
20	2-1/2	97	5200	190	1044	55.762

5.13.2 Factores de par para la válvula de mariposa de alto rendimiento con junta compuesta

Tamaño de válvula (NPS)	Diámetro de flecha de válvula (pulgadas)	A	B	C			Par de apriete máximo, (pulg-lb)	
				60°	75°	90°	T_B de arranque	T_D dinámico
3	1/2	0,50	136	0,8	1,8	8	280	515
4	5/8	0,91	217	3,1	4,7	25	476	1225
6	3/4	1,97	403	30	24	70	965	2120
8	1	4,2	665	65	47	165	1860	4140
10	1-1/4	7,3	1012	125	90	310	3095	9820
12	1-1/2	11,4	1422	216	140	580	4670	12.000

5.13.2.1 Rotación máxima

La rotación máxima se define como el ángulo del disco o bola de válvula en la posición totalmente abierta.

Habitualmente, la rotación máxima es de 90 grados. La bola o el disco rotan 90 grados desde la posición cerrada a la posición totalmente abierta.

Algunos pistones con retorno por resorte neumáticos y actuadores de diafragma y resorte están limitados a una rotación de 60 o 75 grados.

Para actuadores de diafragma y resorte, limitar la rotación máxima permite una mayor compresión inicial del resorte, generando un par de arrancada de actuador superior. Además, la longitud efectiva de cada palanca de actuador varía con la rotación de la válvula. Los pares indicados, en particular para actuadores de pistón neumáticos, reflejan esta longitud variable de palanca. ■

5.14 Cavitación y vaporización

5.14.1 Flujo estrangulado como causa de la vaporización y la cavitación

El estándar de dimensionamiento de líquido de IEC determina una caída de presión de estrangulamiento, ΔP_{choked}. Si la caída de presión real en la válvula, como definen las condiciones de sistema P_1 y P_2, es superior a ΔP_{choked}, se puede generar vaporización o cavitación. También pueden ocurrir daños estructurales en la válvula y la canalización adyacente. El conocimiento de lo que realmente ocurre en el interior de la válvula permite seleccionar una válvula que elimine o reduzca los efectos de la cavitación y la vaporización.

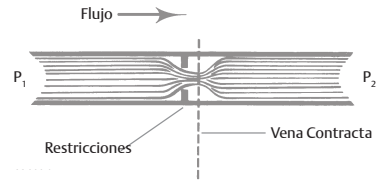


Figura 5.6 Ilustración de vena contracta.

Se utiliza el término "fenómenos físicos" para describir la vaporización y la cavitación debido a que estas condiciones representan cambios reales en la fase del medio fluido. El cambio es desde el estado líquido al estado de vapor, producido por el aumento en la velocidad del fluido en o inmediatamente aguas abajo de la mayor restricción del flujo, habitualmente el puerto de la válvula. A medida que el flujo líquido pasa por la restricción, se produce una reducción o contracción del flujo. La zona transversal mínima del flujo se produce justo aguas abajo de la restricción física real, en un punto denominado vena contracta, como se indica en la Figura 5.6.

Para mantener un flujo estable de líquido a través de la válvula, la velocidad debe ser superior en la vena contracta, donde la zona transversal es la menor. El aumento de velocidad (o energía cinética) se acompaña de una reducción notable de la presión (o energía potencial) en la vena contracta. Aguas abajo, a medida que el caudal se expande en una zona de mayor tamaño, la velocidad desciende y la presión aumenta. No obstante, la presión aguas abajo nunca se restablece por completo hasta igualar la presión existente aguas arriba de la válvula. El diferencial de presión (ΔP) presente a lo largo de la válvula es una medida de la cantidad de energía que se disipa en la válvula. La Figura 5.7 proporciona un perfil de presión que detalla la variación del rendimiento entre una válvula de recuperación alta optimizada, como una válvula de bola, y una válvula con capacidades de recuperación inferiores debido a mayores turbulencias internas y disipación de energía.

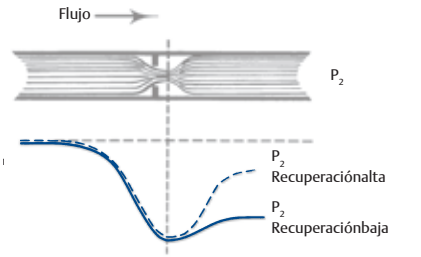


Figura 5.7 Comparación de perfiles de presión de válvulas de alta y baja recuperación.

Con independencia de las características de recuperación de la válvula, el diferencial de presión pertinente a la vaporización y cavitación es el diferencial entre la entrada de válvula y la vena contracta. Si la presión en la vena contracta desciende por debajo de la presión de vapor del fluido (debido a un aumento de velocidad del líquido en este punto) se generarán burbujas en el flujo. La generación de burbujas aumentará de forma notable a medida que la presión en la vena contracta descienda por debajo de la presión de vapor del líquido. En esta fase, no hay diferencias entre la vaporización y la cavitación, pero existe la posibilidad de producir daños estructurales en la válvula.

Si la presión en la salida de la válvula sigue siendo inferior a la presión de vapor del líquido, las burbujas permanecerán en el sistema aguas abajo, generando un proceso denominado vaporización. La vaporización

puede producir daños notables por erosión en las piezas internas de la válvula, y se caracteriza por un aspecto suave y pulido de la superficie erosionada, como muestra la Figura 5.8. Habitualmente, la vaporización es mayor en el punto de velocidad más elevada, generalmente en o cerca de la línea del asienta del obturador de válvula y anillo de asiento.

Figura 5.8 Aspecto típico de daños por vaporización

Por otra parte, si la presión aguas abajo es superior a la presión de vapor del líquido, las burbujas se colapsarán o implosionarán, generando cavitación. El colapso de burbujas de vapor libera energía y produce un ruido similar al que uno imagina si gravilla pasase por la válvula. Si las burbujas colapsan cerca de las superficies sólidas de la válvula, la energía liberada puede rasgar el material, dejando una superficie áspera de aspecto carbonizado como se muestra en la Figura 5.9. Los daños por cavitación pueden alcanzar a la canalización adyacente aguas abajo, en caso de ser el punto donde se produce la recuperación de presión y las burbujas colapsan. Las válvulas de recuperación alta tienden a sufrir más cavitación debido a que la presión en la vena contracta es inferior y más proclive a reducir la presión de vapor del líquido.

5.14.2 Selección de válvula para el servicio en condiciones de vaporización

Como se indica en la Figura 5.8, los daños por vaporización se caracterizan por un aspecto suave y pulido de las superficies erosionadas. Como recordatorio, la vaporización se produce cuando P_2 es inferior a P_v. P_2 es la presión aguas abajo de la válvula, y es una función del proceso y canalización aguas abajo. P_v es una función de la temperatura del fluido y de funcionamiento.

Por ello, la válvula no controla de forma directa las variables que definen la vaporización. La implicación adicional de ello es que no hay forma de que la válvula pueda evitar la vaporización. Debido a que la válvula no puede evitar la vaporización, la mejor solución es seleccionar una válvula con la geometría y materiales adecuados para evitar o reducir los daños.

Generalmente, la erosión se reduce de las formas siguientes:

- Evitar o reducir el impacto de la partícula (en este caso, gotas de líquido) contra las superficies de la válvula.
- Que tales superficies presenten la mayor dureza posible.
- Reducir la velocidad de flujo erosivo.

Seleccionar una válvula con el menor número posible de cambios de dirección del fluido ofrece el menor número de impactos de partícula. Las válvulas de ángulo de vástago deslizante son la solución tradicional para proporcionar un paso de flujo. Algunas válvulas rotativas, como las válvulas rotativas de obturador excéntrico y las de bola segmentada, también proporcionan pasos de flujo directos. Las válvulas con secciones de flujo expandidas aguas abajo del punto de estrangulamiento tienen un efecto positivo al reducir el índice de erosión. Para aquellas secciones donde el fluido debe impactar contra las superficies de válvula, como las superficies de asiento, seleccione los materiales más duros posibles. Habitualmente, cuanto más duro es el material, más tiempo resistirá la erosión.

Los fluidos que presentan tanto vaporización como corrosión suponen una complejidad mayor. La vaporización de agua en una válvula de acero es un ejemplo del resultado sinérgico de la corrosión y de

la erosión. El agua genera la corrosión del acero, y la vaporización erosiona la capa resultante de óxido blando. La combinación de tales efectos provoca un daño mayor que por separado. En este caso, la solución es evitar la corrosión seleccionando, por lo menos, un acero de baja aleación.

5.14.3 Selección de válvula para el servicio en condiciones de cavitación

Los daños por cavitación se caracterizan por el aspecto áspero y carbonizado de la superficie erosionada, como muestra la Figura 5.9. Es notablemente distinto del aspecto suave y pulido generado por la erosión derivada por la vaporización. La sección anterior detalla cómo se genera cavitación cuando la presión en la vena contracta es inferior a P_v, y P_2 es mayor que P_v. La cavitación se puede afrontar de varias formas.

Figura 5.9 Aspecto típico de daños por cavitación

En primer lugar se debe eliminar la cavitación, y con ello los daños al regular la caída de presión. Si es posible regular la caída de presión a lo largo de la válvula de forma que la presión local nunca sea inferior a la presión del vapor, no se generarán burbujas de vapor. Sin burbujas de vapor que puedan colapsar, no hay cavitación. Para eliminar la cavitación, se divide la caída de presión en la válvula en etapas más pequeñas mediante el uso de internos multifase. Cada una de estas gotas pequeñas mantiene una presión en la vena contracta superior a la presión de vapor, con lo que no se forman burbujas de vapor.

El segundo método no elimina la cavitación sino que reduce o aísla el daño de la misma forma que las soluciones para la vaporización. El objetivo de este método es aislar la cavitación de las superficies de la válvula así como endurecer tales superficies afectadas por la cavitación.

Un tercer método es modificar el sistema de forma que se eviten las causas de la cavitación. Si se puede aumentar P_2 lo suficiente para que la presión en la vena contracta no sea inferior a la presión de vapor, la válvula no experimenta estrangulamiento y se evita la cavitación. Se puede aumentar P_2 cambiando la válvula a una ubicación con una mayor altura estática en el lado aguas abajo. El uso de una placa con orificio o dispositivo de contrapresión similar también puede aumentar el valor de P_2 en la válvula, a riesgo de aumentar la posibilidad de que la cavitación pase de la válvula a la placa con orificio. ▪

5.15 Predicción de ruido

5.15.1 Aerodinámico

Los líderes del sector utilizan el estándar IEC 60534-8-3 de la Comisión Electrotécnica Internacional: Válvulas de control de proceso industrial - Parte 8: Consideraciones sobre el ruido - Sección 3: Método de predicción de ruido aerodinámico de válvula de control. Este método consiste en combinar las teorías de termodinámica y aerodinámica e información empírica. La formulación de este método permite la predicción del ruido de una válvula con base en una geometría medible de la válvula y las condiciones de servicio aplicadas a ella. Este estándar también permite a los proveedores de válvulas utilizar datos empíricos determinados en laboratorio dentro de un marco analítico, permitiendo predicciones más precisas. Debido a este marco analítico para la predicción de ruido de válvula, el método IEC permite una evaluación objetiva de alternativas.

El método describe dos fuentes de ruido distintas que pueden generar el ruido total producido por la válvula: el ruido de los internos y el ruido en la salida de la válvula. El ruido de los internos depende del tipo de internos y sus características geométricas. El ruido en la salida de la válvula depende

de la sección de salida de la válvula, el número Mach de la salida de la válvula y cualquier expansor aguas abajo de la válvula.

El método detalla 5 pasos básicos para realizar una predicción de ruido. Cuando sea aplicable, se deben completar estos pasos para las fuentes de ruido de los internos y de salida de la válvula, combinándolas en un nivel de ruido total de la válvula.

1. Determine la potencia de caudal total del proceso en la vena contracta.

El ruido relevante es generado por la válvula en y aguas abajo de la vena contracta. Si se puede determinar la potencia total disipada por estrangulamiento en la vena contracta, se puede determinar la porción que es potencia de ruido. Debido a que la potencia es la cantidad de energía por unidad de tiempo se puede utilizar una conocida ecuación para el cálculo de energía cinética. La ecuación de energía cinética es $1/2\ mv^2$, donde m es masa y v es velocidad. Si el índice de caudal másico se sustituye por el término de masa, la ecuación calcula la potencia. La velocidad es la velocidad en la vena contracta y se calcula mediante la ecuación de energía de la Primera ley de la termodinámica.

2. Determine la fracción de la potencia total que es potencia acústica.

El método considera las condiciones del proceso aplicadas a lo largo de la válvula para determinar el mecanismo específico fuente de ruido en la válvula. Existen 5 regímenes definidos que dependen de la relación entre la presión en la vena contracta y la presión aguas abajo. Se define y determina una eficiencia acústica para cada uno de estos regímenes. El estándar también permite eficiencias acústicas medidas en laboratorio que sustituyen estimaciones analíticas. Esta eficiencia acústica establece la fracción de la potencia total de la corriente, como se determina en el paso 1, que es potencia de ruido. La optimización de la eficiencia acústica es uno de los objetivos al diseñar una válvula silenciosa.

3. Conversión de potencia acústica a espectro de presión sonora.

El objetivo último del método de predicción de IEC es determinar un nivel de presión sonora en un punto de referencia fuera de la válvula donde la audición humana es un aspecto que considerar. El paso 2 proporciona potencia sonora, que no es medible de forma directa. La presión acústica o sonora es medible, y por ello es la expresión del ruido preferida en la mayoría de casos. La conversión de potencia sonora a un nivel de presión sonora total utiliza teoría acústica básica

Para aumentar la precisión de la predicción de ruido, el estándar utiliza un cálculo de espectro de frecuencias. Un espectro de presión sonora define la cantidad de ruido existente en cada frecuencia dentro del rango audible. La forma del espectro puede estar determinada por la geometría de la válvula, las condiciones del flujo y un espectro característico ideal dado en el estándar. El estándar también permite el uso de un espectro característico medido en laboratorio.

4. Tenga en cuenta la pérdida por transmisión de la pared del conducto y vuelva a calcular el espectro de presión sonora en la superficie exterior del conducto.

Los pasos 1 a 3 tratan el proceso de generación de ruido en el interior del conducto. Hay casos en los que este es un aspecto relevante, pero los niveles de ruido en el exterior del conducto son el aspecto prioritario.

El método debe representar la variación del ruido en la medida que la ubicación de referencia se desplaza del interior al exterior del conducto. La pared del conducto posee características físicas derivadas de su material, medidas y forma que definen el nivel de transmisión de ruido a través del conducto. El ruido generado por el fluido dentro del conducto interactúa con el interior de la pared del conducto, causando su vibración, después la vibración se transmite a través de la pared del conducto hacia la superficie exterior de la pared del conducto, que interactúa con la atmósfera generando ondas sonoras. Estos 3 pasos de transmisión del ruido dependen de la frecuencias del ruido. Este método determina

la pérdida por transmisión del conducto como una función de la frecuencia. A continuación, el método compara el espectro del ruido interno y el espectro de la pérdida por transmisión para determinar el grado de atenuación del espectro de presión sonora externa realizado por la pared del conducto.

5. *Tenga en cuenta la distancia y determine el nivel de presión sonora en la ubicación del observador.*

El paso 4 proporciona el espectro del nivel de presión sonora externa en la superficie exterior de la pared del conducto. Una vez más, se emplea teoría acústica básica para determinar el nivel de presión sonora en la ubicación del observador. La potencia acústica es constante para cualquier situación dada, pero el nivel de presión sonora asociado varía con la sección de expansión de la potencia acústica. A medida que el observador se aleja de la pared del conducto, aumenta la sección total de expansión de la potencia sonora. Esto produce la reducción del nivel de presión sonora.

5.15.2 Hidrodinámico

Habitualmente, un ruido hidrodinámico perceptible está asociado con la cavitación. La descripción habitual del ruido es el de piedras pasando por el interior del conducto. La asociación del ruido hidrodinámico con la cavitación se refleja en varios métodos de predicción disponibles hoy en día. Los métodos representan una característica de ruido de líquidos en casos con flujo sin estrangulación, y otra característica en casos con flujo con cavitación y estrangulación.

Existen varios casos donde el fluido presenta una combinación de dos fases.

Estos incluyen fluidos de dos fases líquido-gas en la entrada de la válvula, fluidos en proceso de vaporización, y fluidos que presentan desgasificación en condiciones de estrangulación. No se han desarrollado por completo métodos de predicción de ruido para estos casos. Los resultados de pruebas y estudios de campo de sistemas multifase instalados indican que estos niveles de ruido no contribuyen a los niveles totales de ruido de planta ni superan los niveles de exposición del trabajador. ■

Figura 5.10 Diseño de internos de válvula para la reducción de ruido aerodinámico.

5.16 Control de ruido

En sistemas cerrados (sin evacuación a la atmósfera), cualquier ruido generado en el proceso se propaga por el aire solo mediante la transmisión por las válvulas y la canalización adyacente que contiene el flujo. El campo sonoro del flujo fuerza la vibración de los límites sólidos. Las vibraciones provocan alteraciones ambientales que se propagan como ondas sonoras.

El control de ruido emplea el tratamiento de la fuente, el tratamiento del medio de propagación, o ambos. El tratamiento de la fuente, evitar o reducir el ruido en la fuente, es la estrategia más deseable, si es posible económica y físicamente.

La Figura 5.10 representa estrategias de tratamiento de la fuente de estilo jaula. La vista superior muestra una jaula con varias ranuras estrechas en paralelo que minimizan la turbulencia y proporcionan una distribución de la velocidad favorable en la sección de expansión. Esta estrategia económica del diseño de válvula silenciosa puede proporcionar una reducción del ruido de 15 a 20 dBA con poca o ninguna reducción de la capacidad de flujo.

La vista inferior en la Figura 5.10 muestra los internos de dos etapas y estilo jaula diseñados para una reducción óptima del

Figura 5.11 Combinación de válvula y difusor en línea

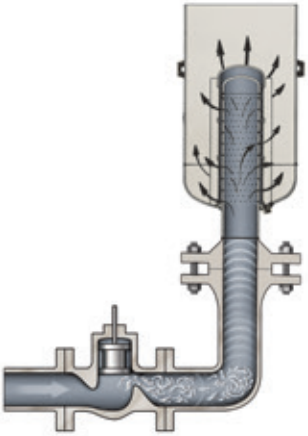


Figura 5.12 Combinación de válvula y difusor de ventilación

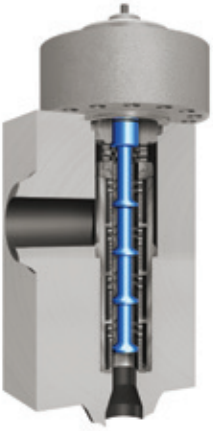


Figura 5.13 Diseño de válvula especial para la eliminación de la cavitación

ruido cuando se dan relaciones elevadas de caída de presión (ΔP/P1).

Para obtener los resultados deseados, se debe medir y separar las restricciones en la pared de la jaula principal para evitar que el ruido generado por la interacción del chorro sea inferior al ruido total generado por los chorros individuales.

Este diseño de internos puede reducir el ruido de válvula en hasta 30 dBA. El diseño final mostrado utiliza una combinación de varias estrategias de reducción del ruido que reducen el ruido de la válvula en hasta 40 dBA. Estas estrategias son:

- Un perfil de paso único que reduce la conversión de la potencia total de la corriente generada por la válvula en

potencia de ruido.

- La reducción de la presión multietapa separa la potencia de la corriente entre varias etapas ofreciendo una reducción adicional de la eficiencia de conversión acústica.
- La variación del espectro de frecuencias reduce la energía acústica en el rango audible al aprovechar la pérdida por transmisión de la canalización.
- Se preserva la independencia del chorro de salida para evitar la regeneración de ruido derivada por la unión de chorros.
- La regulación de la velocidad se obtiene con secciones que permiten albergar el gas en expansión.
- Los diseños de cuerpo complementarios evitan los impactos internos del flujo contra la pared del cuerpo y fuentes secundarias de ruido.

Para aplicaciones de válvulas de control que funcionan con relaciones de presión elevadas ($\Delta P/P_1 > 0{,}8$), la estrategia de restricción por etapas, dividir la caída de presión total entre la válvula de control y una restricción fija (difusor) aguas abajo de la válvula, puede ser eficaz para la reducción de ruido. Para optimizar la eficacia de un difusor, debe estar diseñado (forma y medidas específicas) para cada instalación dada de forma que los niveles de ruido generados por la válvula y el difusor sean los mismos. La Figura 5.11 muestra una instalación típica.

Los sistemas de control con expulsión a la atmósfera presentan habitualmente un nivel de ruido alto debido a las relaciones de presión y velocidades de salidas altas implicadas. Dividir la caída de presión total entre el propio orificio de ventilación y una válvula de control aguas arriba, mediante un difusor de ventilación, silencia la válvula y el orificio de ventilación. Una combinación adecuada de difusor de ventilación y válvula, como la mostrada en la Figura 5.12, puede reducir el nivel de ruido total del sistema en hasta 40 dBA.

El tratamiento de la fuente para problemas de ruido asociadas a la manipulación de líquido con válvulas de control se centra principalmente en eliminar o reducir la cavitación. Debido a que las condiciones del flujo que generan cavitación se pueden predecir de forma precisa, se puede eliminar el ruido de válvula derivado de la cavitación mediante la aplicación de límites adecuados a las condiciones de servicio en la válvula mediante el uso de orificios de descomposición, válvulas en serie, etc. Otra estrategia de tratamiento de la fuente es utilizar internos de válvula especial que utilicen el concepto de restricción por series para eliminar la cavitación, como muestra la Figura 5.13.

Una segunda estrategia de control de ruido es el tratamiento del medio de transmisión. La corriente de fluido es un gran medio de transmisión del ruido. El tratamiento del medio de transmisión consiste en aumentar su impedancia para reducir la energía acústica transmitida al receptor.

La disipación de energía acústica mediante materiales de absorción acústica es uno de los métodos más efectivos de tratamiento del medio de transmisión. Si es posible, el material acústico se debe ubicar en el flujo bien en o justo aguas abajo de la fuente de ruido. En sistemas de gas, los silenciadores en línea disipan de forma eficaz el ruido presente en la corriente de fluido y amortiguan el nivel de ruido transmitido a los límites sólidos. Cuando se dan índices de caudal másico altos y/o relaciones de presión altas a lo largo de la válvula, los silenciadores en línea como el mostrado en la Figura 5.14 son habitualmente la estrategia más realista y económica de control de ruido. El uso de silenciadores en línea de tipo absorción puede proporcionar prácticamente cualquier nivel de amortiguación deseado. No obstante, los aspectos económicos limitan habitualmente las pérdidas por inserción a unos 25 dBA.

Figura 5.14 Silenciador en línea típico.

El ruido que no se puede eliminar dentro de los límites de la corriente del flujo se debe eliminar mediante un tratamiento externo. Esta estrategia de reducción del ruido de la válvula de control favorece el uso de paredes gruesas donde se encuentra la canalización, aislamiento acústico de los límites sólidos expuestos de la corriente de fluido, el uso de cajas aislantes, elementos fabricados, etc., para aislar la fuente de ruido.

El tratamiento del medio de transmisión mediante paredes gruesas para la canalización o aislamiento acústico externo puede ser una técnica económica y efectiva para la reducción localizada de ruido. No obstante, el ruido se propaga a grandes distancias mediante la corriente de fluido, y la eficacia de una pared gruesa para la canalización o del aislamiento externo finaliza donde el tratamiento lo hace. ■

5.17 Resumen del ruido

El nivel de ruido generado por una propuesta de instalación de válvula de control se puede predecir de forma rápida y razonable mediante el uso de métodos estándar del sector. Estos métodos están disponibles en software informático para facilitar su uso. Tales herramientas de dimensionamiento y de predicción del ruido facilitan la selección adecuada del equipo de reducción de ruido como muestran las Figuras 5.15 y 5.16. Los requisitos de instalaciones de procesado para un impacto medioambiental bajo continuarán impulsando la necesidad de válvulas de control más silenciosas. Las tecnologías de predicción y los diseños de válvula pertinentes evolucionan de forma constante. Para información sobre los equipos o tecnología de predicción más reciente, contacte con el representante del fabricante de válvulas. ■

Figura 5.15 Válvula de estilo globo con jaula de reducción de ruido para flujo aerodinámico.

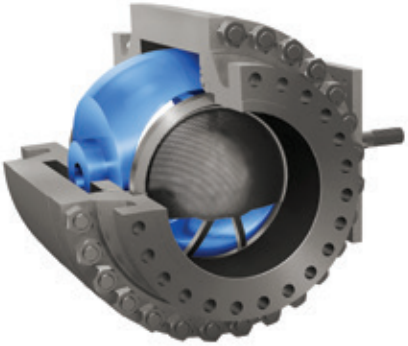


Figura 5.16 Válvula de estilo bola con atenuador para reducir el ruido hidrodinámico.

5.18 Selección de empaquetadura

Las tablas siguientes y las Figuras 5.17 y 5.18 proporcionan directrices de selección de empaquetadura para válvulas rotativas y de vástago deslizante.

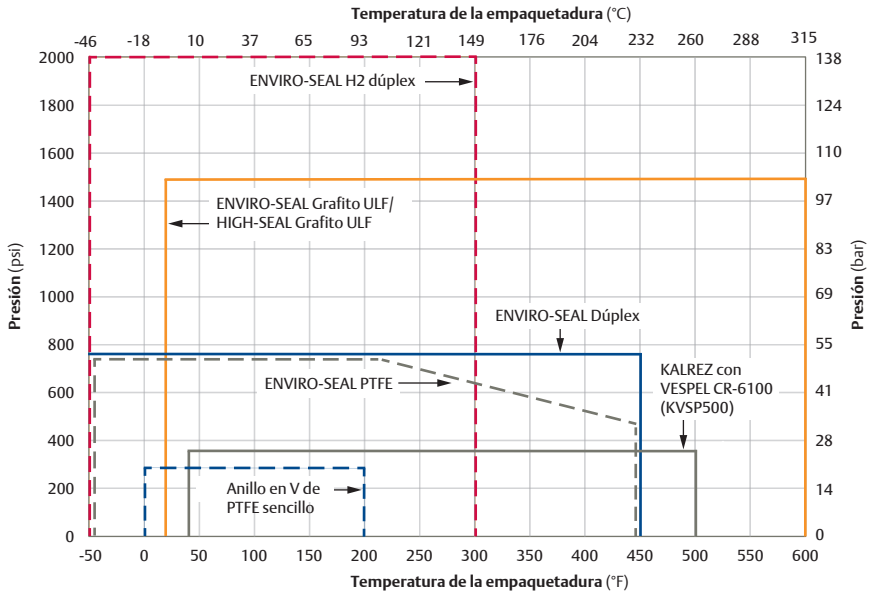


Figura 5.17 Tabla de directrices de aplicación para el servicio a 100 PPM.

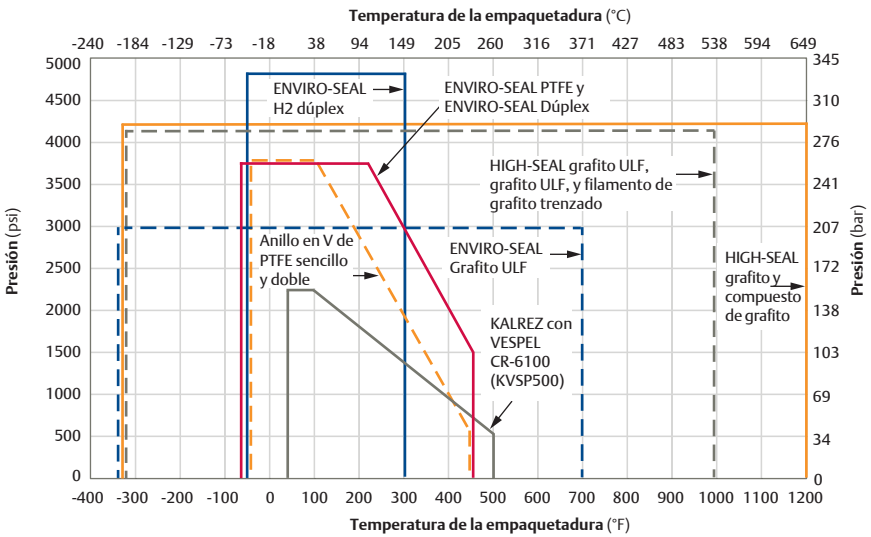


Figura 5.18 Tabla de directrices de aplicación para el servicio no ambiental.

5.18.1 Directrices para la selección de empaquetaduras de válvulas de vástago deslizante

Sistema de empaquetadura	Presión máxima y límites térmicos para servicio a 100 PPM[1]		Directriz de aplicación para servicio no medioambiental[1]	
	Métrico	Imperial	Métrico	Imperial
Anillo en V de PTFE sencillo	20,7 bar -18 a 93 °C	300 psi 0 a 200 °F	Consulte la Figura 5.15 -46 a 232 °C	Consulte la Figura 5.15 -50 a 450 °F
Anillo en V de PTFE doble	---	---	Consulte la Figura 5.15 -46 a 232 °C	Consulte la Figura 5.15 -50 a 450 °F
ENVIRO-SEAL de PTFE	Consulte la Figura 5.14 -46 a 232 °C	Consulte la Figura 5.14 -50 a 450 °F	Consulte la Figura 5.15 -46 a 232 °C	Consulte la Figura 5.15 -50 a 450 °F
ENVIRO-SEAL dúplex	51,7 bar -46 a 232 °C	750 psi -50 a 450 °F	Consulte la Figura 5.15 -46 a 232 °C	Consulte la Figura 5.15 -50 a 450 °F
ENVIRO-SEAL H2 dúplex	138 bar -46 a 149 °C	2000 psi -50 a 300 °F	330 bar -46 a 149 °C	4800 psi -50 a 300 °F
KALREZ® con Vespel® CR-6100 (K- VSP 500)[3]	24,1 bar 4 a 260 °C	350 psig 40 a 500 °F	Consulte la Figura 5.15 -40 a 260 °C	Consulte la Figura 5.15 -40 a 500 °F
ENVIRO-SEAL Grafito ULF	103 bar -7 a 315 °C	1500 psi 20 a 600 °F	207 bar -198 a 371 °C	3000 psi -325 a 700 °F
Grafito HIGH-SEAL ULF	103 bar -7 a 315 °C	1500 psi 20 a 600 °F	290 bar[4] -198 a 538 °C	4200 psi[4] -325 a 1000 °F
Compuesto de grafito / Grafito HIGH-SEAL	---	---	290 bar[4] -198 a 649 °C	4200 psi[4] -325 a 1200 °F
Filamento de grafito trenzado	---	---	290 bar -198 a 538 °C[5]	4200 psi -325 a 1000 °F[5]
Grafito ULF	---	---	290 bar -198 a 538 °C	4200 psi -325 a 1000 °F

1. Los valores indicados son solo directrices generales. Tales directrices se pueden superar a riesgo de una reducción del tiempo de servicio de la empaquetadura o aumentos de fugas. Los intervalos térmicos se aplican a la temperatura real de la empaquetadura, no a la temperatura del proceso.
2. Consulte el catálogo 14 de Fisher para valores de fricción reales.
3. Los límites de presión/temperatura para KALREZ indicados en este documento solo son válidos para aplicaciones de válvula Fisher. DuPont puede establecer límites superiores.
4. Salvo el vástago de 9,5 mm (3/8 pulg), 110 bar (1600 psi).
5. Salvo servicio oxidante, -198 a 371 °C (-325 a 700 °F).

Continuación de directrices para la selección de empaquetaduras de válvulas de vástago deslizante...

Sistema de empaquetadura	Índice de rendimiento de estanqueidad	Índice de tiempo de servicio	Fricción de la empaquetadura[2]
Anillo en V de PTFE sencillo	Mejor	Larga	Muy baja
Anillo en V de PTFE doble	Mejor	Larga	Bajo
ENVIRO-SEAL de PTFE	Óptimo	Muy prolongado	Bajo
ENVIRO-SEAL dúplex	Óptimo	Muy prolongado	Bajo
ENVIRO-SEAL H2 dúplex	Óptimo	Muy prolongado	Media
KALREZ con Vespel CR 6100 (K- VSP 500)[3]	Óptimo	Larga	Bajo
ENVIRO-SEAL Grafito ULF	Óptimo	Muy prolongado	Media
Grafito HIGH-SEAL ULF	Óptimo	Muy prolongado	Media
Compuesto de grafito / Grafito HIGH-SEAL	Mejor	Muy prolongado	Muy alta
Filamento de grafito trenzado	Buena	Moderada	Alto
Grafito ULF	Mejor	Muy prolongado	Media

1. Los valores indicados son solo directrices generales. Tales directrices se pueden superar a riesgo de una reducción del tiempo de servicio de la empaquetadura o aumentos de fugas. Los intervalos térmicos se aplican a la temperatura real de la empaquetadura, no a la temperatura del proceso.
2. Consulte el catálogo 14 de Fisher para valores de fricción reales.
3. Los límites de presión/temperatura para KALREZ indicados en este documento solo son válidos para aplicaciones de válvula Fisher. DuPont puede establecer límites superiores.
4. Salvo el vástago de 9,5 mm (3/8 pulg), 110 bar (1600 psi).
5. Salvo servicio oxidante, -198 a 371 °C (-325 a 700 °F).

5.18.2 Directrices para la selección de empaquetaduras de válvulas rotativas

Sistema de empaquetadura	Presión máxima y límites térmicos para servicio a 100 PPM[1]		Directriz de aplicación para servicio no medioambiental[1]	
	Métrico	Unidades de medida de EE.UU.	Métrico	Unidades de medida de EE.UU.
Anillo en V de PTFE sencillo	- - - - - -	- - - - - -	103 bar -46 a 232 °C	1500 psig -50 a 450 °F
ENVIRO-SEAL de PTFE	103 bar -46 a 232 °C	1500 psig -50 a 450 °F	207 bar -46 a 232 °C	3000 psig -50 a 450 °F
PTFE con carga dinámica para válvulas V250	69 bar -29 a 93 °C	1000 psig -20 a 200 °F	155 bar -46 a 232 °C	2250 psig -50 a 450 °F
KALREZ con Vespel CR 6100 (KVSP 500)[3]	24,1 bar 4 a 260 °C	350 psig 40 a 500 °F	51 bar -40 a 260 °C	750 psig -40 a 500 °F
ENVIRO-SEAL grafito	103 bar -7 a 315 °C	1500 psig 20 a 600 °F	207 bar -198 a 371 °C	3000 psig -325 a 700 °F
Cinta de grafito	- - - - - -	- - - - - -	103 bar -198 a 538 °C[2]	1500 psig -325 a 1000 °F[2]

1. Los valores indicados son solo directrices generales. Tales directrices se pueden superar a riesgo de una reducción del tiempo de servicio de la empaquetadura o aumentos de fugas. Los intervalos térmicos se aplican a la temperatura real de la empaquetadura, no a la temperatura del proceso.
2. Salvo servicio oxidante, -198 a 371 °C (-325 a 700 °F).
3. Los límites de presión/temperatura para KALREZ indicados en este documento solo son válidos para aplicaciones de válvula Fisher. DuPont puede establecer límites superiores.

Continuación de directrices para la selección de empaquetaduras de válvulas rotativas...

Sistema de empaquetadura	Índice de rendimiento de estanqueidad	Índice de tiempo de servicio	Fricción de la empaquetadura
Anillo en V de PTFE sencillo	Mejor	Larga	Muy baja
ENVIRO-SEAL de PTFE	Excelente	Muy prolongado	Bajo
PTFE con carga dinámica para válvulas V250	Excelente	Muy prolongado	Bajo
KALREZ con Vespel CR-6100 (KVSP 500)[3]	Excelente	Larga	Muy baja
ENVIRO-SEAL grafito	Excelente	Muy prolongado	Moderada
Cinta de grafito	Aceptable	Aceptable	Alto

1. Los valores indicados son solo directrices generales. Tales directrices se pueden superar a riesgo de una reducción del tiempo de servicio de la empaquetadura o aumentos de fugas. Los intervalos térmicos se aplican a la temperatura real de la empaquetadura, no a la temperatura del proceso.
2. Salvo servicio oxidante, -198 a 371 °C (-325 a 700 °F).
3. Los límites de presión/temperatura para KALREZ indicados en este documento solo son válidos para aplicaciones de válvula Fisher. DuPont puede establecer límites superiores.

5.19 Materiales del cuerpo de la válvula

La selección del material del cuerpo se realiza habitualmente dependiendo de la presión, temperatura y propiedades corrosivas y erosivas del medio del flujo. En algunos casos se debe ceder en algún aspecto al seleccionar el material. Por ejemplo, un material con una buena resistencia a la erosión puede no ser el ideal debido a una baja resistencia a la corrosión al manipular un fluido específico.

Algunas condiciones de servicio requieren el uso de aleaciones y metales poco habituales para resistir a las propiedades corrosivas específicas del fluido que circula. Estos materiales tienen un costo muy superior al de metales comunes, por lo que los aspectos económicos también pueden ser un factor al seleccionar el material. Afortunadamente, la mayoría de las aplicaciones de las válvulas de control manipulan fluidos no corrosivos a presiones y temperaturas no extremas. Por ello, el acero al carbono fundido es el material de cuerpo de válvula más extendido, y puede proporcionar un servicio satisfactorio con un costo muy inferior al de los materiales de aleaciones poco habituales.

Se han desarrollado especificaciones para el pedido de fundidos de alta aleación con una alta resistencia a la corrosión. Estas especificaciones representan soluciones a los problemas detectados con algunas de estas aleaciones. Estos problemas incluyen una resistencia a la corrosión insatisfactoria en comparación con materiales forjados, problemas de soldadura y plazos de entrega insatisfactorios. Estas aleaciones presentan también dificultadas para la fundición. Las especificaciones incluyen un proceso de cualificación de fundición, equipo de patrón dedicado, cualificación de aleación de patrón, cualificación térmica y controles minuciosos de la materia prima, inspección visual, reparaciones mediante soldadura, tratamiento térmico y pruebas no destructivas. Las designaciones para los grados comunes y los poco habituales se incluyen en la Tabla 5.36 Designaciones de materiales de cuerpo de válvula comunes.

Las descripciones y tablas a continuación proporcionan información básica sobre varios grados de moldeado extendidos utilizados para cuerpos de válvulas de control. Se incluyen designaciones de material ASTM. El uso de designaciones ASTM adecuadas se considera una buena práctica y se fomenta al especificar materiales, en particulares piezas que contienen presión.

Puede encontrar datos de ingeniería adicionales de estos y otros materiales en el capítulo 13.

Acero al carbono fundido (ASTM A216 grado WCC) - WCC es el material de acero fundido más extendido para cuerpos de válvula para servicios moderados con oxígeno, vapor saturado o sobrecalentado, líquidos y gases no corrosivos. WCC no se utiliza a temperaturas superiores a 425 °C (800 °F) ya que la fase rica en carbono se puede convertir en grafito. Habitualmente, se suelda sin tratamiento térmico postsoldadura salvo que el grosor nominal supere los 32 mm (1-1/4 pulg). Las reparaciones de soldadura profundas siempre incluyen un tratamiento térmico postsoldadura.

Acero al cromo-molibdeno fundido (ASTM A217 grado WC9) - Éste es el grado Cr-Mo de fundido estándar. WC9 ha sustituido al C5 como el estándar debido a sus propiedades superiores de moldeado y soldadura. WC9 ha sustituido con éxito al C5 en la mayoría de las aplicaciones, en particular en el servicio de alimentación para vapor y caldera. El cromo y el molibdeno proporcionan resistencia a la erosión-corrosión y a la fluencia, siendo de utilidad a 595 °C (1100 °F). Habitualmente, el WC9 recibe tratamiento térmico postsoldadura. Las reparaciones de soldadura profundas siempre incluyen un tratamiento térmico postsoldadura.

Acero inoxidable tipo 304L fundido (ASTM A351 grado CF3) - Éste es el material comúnmente propuesto para válvulas de servicio químico. Habitualmente, se prefiere el 304L fundido para ácido nítrico y otras aplicaciones de servicio químico específicas. Preserva una resistencia a la corrosión óptima incluso en estado soldado cuando se utilizan procedimientos de soldadura adecuados. CF3 no se ha evaluado para piezas de barrera de presión por encima de los 425 °C (800 °F).

Acero inoxidable tipo 316 fundido (ASTM A351 grado CF8M) - Éste es el material estándar de cuerpo fundido de acero en el sector. La suma de molibdeno otorga al tipo 316 una resistencia mayor a la corrosión, picado por corrosión, fluencia y fluidos oxidantes frente a los tipos 304 o 304L. Ofrece el rango térmico más amplio de cualquier material estándar: -254 °C (-425 °F) a 816 °C (1500 °F). Los fundidos reciben tratamiento térmico para proporcionar la resistencia máxima a la corrosión. Para temperaturas superiores a 538 °C (1000 °F), el contenido mínimo de carbono debe ser del 0,04%.

Acero inoxidable tipo 317 fundido (ASTM A351 grado CG8M) - S31700 es básicamente S31600 con un aumento del 1% del contenido de níquel y de molibdeno. Esto otorga una resistencia mayor al picado por corrosión que el que ofrece el S31600.

Al igual que el S31600, S31700 es totalmente austenítico y no magnético. Debido a que posee una resistencia similar al S31600, posee los mismo valores nominales de presión-temperatura. CG8M es la versión fundida de S31700. Contiene una cantidad notable de ferrita (15 a 35%) y debido a ello ofrece un magnetismo entre parcial y elevado. Generalmente, el tipo S31700 posee una mejor resistencia a la corrosión que el S31600 en algunos entornos debido a su mayor contenido de molibdeno. Posee una resistencia a la corrosión óptima en varias aplicaciones como de licor de digestor, dióxido de cloro seco y muchas otros entornos de pulpa y papel. Para el CG8M, la temperatura máxima para piezas de retención de presión es de 538 °C (1000 °F). ■

5.19.1 Designaciones de materiales comunes de cuerpo de válvula

Designaciones de fundido	Designaciones genéricas	Números UNS para equivalentes forjados
CD3MN	Dúplex estándar	S31803, S32205
CD3MWCuN	Super dúplex	S32760
CF3	304L	S30403
CF8	304	S30400
CF3M	316L	S31603
CF8M	316	S31600
CG3M	317L	S31703
CG8M	317	S31700
CK3MCuN	Aleación 254 SMO	S31254
CN7M	Aleación 20Cb3	N08020
CU5MCuC	Aleación 825	N08825
CW12MW	Aleación C obsoleta	N10002
CW2M	Aleación C	N10276, N06455
CX2MW	Aleación C22	N06022
CW6MC	Aleación 625	N06625
CX2M	Aleación 59	N06059
CY40	Aleación 600	N06600
CZ100	Aleación de níquel 200	N02200
LCB	LCB	J03003
LCC	LCC	J02505
M35-1	Aleación 400	N04400
N12MV	Aleación B	N10001
N7M	Aleación B2	N10665
WCB	WCB	J03002
WCC	WCC	J02503
Titanio C3	C3	R50550
Circonio 702C	702C	R60702
Circonio 705C	705C	R60705

5.20 Valores nominales de presión-temperatura

5.20.1 Valores nominales de presión-temperatura para válvulas fundidas ASTM A216 grado WCC de clase estándar

(conforme a ASME B16.34-2013)

Temperatura	Presiones de funcionamiento por clase				
	150	300	600	900	1500
°C	Bar				
-29 a 38	19,8	51,7	103,4	155,1	258,6
50	19,5	51,7	103,4	155,1	258,6
100	17,7	51,5	103,0	154,6	257,6
150	15,8	50,2	100,3	150,5	250,8
200	13,8	48,6	97,2	145,8	243,2
250	12,1	46,3	92,7	139,0	231,8
325	9,3	41,4	82,6	124,0	206,6
350	8,4	40,0	80,0	120,1	200,1
375	7,4	37,8	75,7	113,5	189,2
400	6,5	34,7	69,4	104,2	173,6
425	5,5	28,8	57,5	86,3	143,8
°F	psig				
-20 a 100	290	750	1.500	2.250	3.750
200	260	750	1.500	2.250	3.750
300	230	730	1.455	2.185	3.640
400	200	705	1.405	2.110	3.520
500	170	665	1.330	1.995	3.325
600	140	605	1.210	1.815	3.025
650	125	590	1.175	1.765	2.940
700	110	555	1.110	1.665	2.775
750	95	505	1.015	1.520	2.535
800	80	410	825	1.235	2.055

5.20.2 Valores nominales de presión-temperatura para válvulas fundidas ASTM A217 grado WC9 de clase estándar

(conforme a ASME B16.34-2013)

Temperatura	Presiones de funcionamiento por clase				
	150	300	600	900	1500
°C	Bar				
-29 a 38	19,8	51,7	103,4	155,1	258,6
50	19,5	51,7	103,4	155,1	258,6
100	17,7	51,5	103,0	154,6	257,6
150	15,8	50,3	100,3	150,6	250,8
200	13,8	48,6	97,2	145,8	243,4
250	12,1	46,3	92,7	139,0	321,8
300	10,2	42,9	85,7	128,6	214,4
325	9,3	41,4	82,6	124,0	206,6
350	8,4	40,3	80,4	120,7	201,1
375	7,4	38,9	77,6	116,5	194,1
400	6,5	36,5	73,3	109,8	183,1
425	5,5	35,2	70,0	105,1	175,1
450	4,6	33,7	67,7	101,4	169,0
475	3,7	31,7	63,4	95,1	158,2
500	2,8	28,2	56,5	84,7	140,9
538	1,4	18,4	36,9	55,3	92,2
°F	psig				
-20 a 100	290	750	1.500	2.250	3.750
200	260	750	1.500	2.250	3.750
300	230	730	1.455	2.185	3.640
400	200	705	1.410	2.115	3.530
500	170	665	1.330	1.995	3.325
600	140	605	1.210	1.815	3.025
650	125	590	1.175	1.765	2.940
700	110	570	1.135	1.705	2.840
750	95	530	1.065	1.595	2.660
800	80	510	1.015	1.525	2.540
850	65	485	975	1.460	2.435
900	50	450	900	1.350	2.245
950	35	385	755	1.160	1.930
1000	20	265	535	800	1.335
1050	20[1]	175	350	525	875
1100	20[1]	110	220	330	550

1. Los valores nominales de extremo embridado llegan a 538 °C (1000 °F)

5.20.3 Valores nominales de presión-temperatura para válvulas fundidas ASTM A351 grado CF3 de clase estándar

(conforme a ASME B16.34-2013)

Temperatura	Presiones de funcionamiento por clase				
	150	300	600	900	1500
°C	Bar				
-29 a 38	19,0	49,6	99,3	148,9	248,2
50	18,3	47,8	95,6	143,5	239,1
100	15,7	40,9	81,7	122,6	204,3
150	14,2	37,0	74,0	111,0	185,0
200	13,2	34,5	69,0	103,4	172,4
250	12,1	32,5	65,0	97,5	162,4
325	9,3	30,2	60,4	90,7	151,1
350	8,4	29,6	59,3	88,9	148,1
375	7,4	29,0	58,1	87,1	145,2
400	6,5	28,4	56,9	85,3	142,2
425	5,5	28,0	56,0	84,0	140,0
°F	psig				
-20 a 100	275	720	1.440	2.160	3.600
200	230	600	1.200	1.800	3.000
300	205	540	1.075	1.615	2.690
400	190	495	995	1.490	2.485
500	170	465	930	1.395	2.330
600	140	440	885	1.325	2.210
650	125	430	865	1.295	2.160
700	110	420	845	1.265	2.110
750	95	415	825	1.240	2.065
800	80	405	810	1.215	2.030

5.20.4 Valores nominales de presión-temperatura para válvulas ASTM A351 grados CF8M y CG8M de clase estándar[1]

(conforme a ASME B16.34-2013)

Temperatura	Presiones de funcionamiento por clase				
	150	300	600	900	1500
°C	Bar				
-29 a 38	19,0	49,6	99,3	148,9	248,2
50	18,4	48,1	96,2	144,3	240,6
100	16,2	42,2	84,4	126,6	211,0
150	14,8	38,5	77,0	115,5	192,5
200	13,7	35,7	71,3	107,0	178,3
250	12,1	33,4	66,8	100,1	166,9
300	10,2	31,6	63,2	94,9	158,1
325	9,3	30,9	61,8	92,7	154,4
350	8,4	30,3	60,7	91,0	151,6
375	7,4	29,9	59,8	89,6	149,4
400	6,5	29,4	58,9	88,3	147,2
425	5,5	29,1	58,3	87,4	145,7
450	4,6	28,8	57,7	86,5	144,2
475	3,7	28,7	57,3	86,0	143,4
500	2,8	28,2	56,5	84,7	140,9
538	1,4	25,2	50,0	75,2	125,5
550	1,4[2]	25,0	49,8	74,8	124,9
575	1,4[2]	24,0	47,9	71,8	119,7
600	1,4[2]	19,9	39,8	59,7	99,5
625	1,4[2]	15,8	31,6	47,4	79,1
650	1,4[2]	12,7	25,3	38,0	63,3
675	1,4[2]	10,3	20,6	31,0	51,6
700	1,4[2]	8,4	16,8	25,1	41,9
725	1,4[2]	7,0	14,0	21,0	34,9
750	1,4[2]	5,9	11,7	17,6	29,3
775	1,4[2]	4,6	9,0	13,7	22,8
800	1,2[2]	3,5	7,0	10,5	17,4
816	1,0[2]	2,8	5,9	8,6	14,1

Continuación de valores nominales de presión-temperatura para válvulas ASTM A351 grados CF8M y CG8M de clase estándar[1]...

Temperatura	Presiones de funcionamiento por clase				
	150	300	600	900	1500
°F	psig				
-20 a 100	275	720	1.440	2.160	3.600
200	235	620	1.240	1.860	3.095
300	215	560	1.120	1.680	2.795
400	195	515	1.025	1.540	2.570
500	170	480	955	1.435	2.390
600	140	450	900	1.355	2.255
650	125	440	885	1.325	2.210
700	110	435	870	1.305	2.170
750	95	425	855	1.280	2.135
800	80	420	845	1.265	2.110
850	65	420	835	1.255	2.090
900	50	415	830	1.245	2.075
950	35	385	775	1.160	1.930
1000	20	365	725	1.090	1.820
1050	20	360	720	1.080	1.800
1100	20[2]	305	610	915	1.525
1150	20[2]	235	475	710	1.185
1200	20[2]	185	370	555	925
1250	20[2]	145	295	440	735
1300	20[2]	115	235	350	585
1350	20[2]	95	190	290	480
1400	20[2]	75	150	225	380
1450	20[2]	60	115	175	290
1500	15[2]	40	85	125	205

1. CG8M está limitado a 538 °C (1000 °F).
2. Los valores nominales de extremo embridado llegan a 538 °C (1000 °F) para CF8M.

5.21 Abreviaturas de material no metálico

Designaciones de ASTM y marcas registradas	Descripción genérica
CR	Cloropreno
EPDM	Terpolímero de etileno-propileno
FFKM, Kalrez[1], Chemraz[2]	Perfluorelastómero
FKM, Viton[1]	Fluoroelastómero
FVMQ	Fluorosilicona
NBR	Nitrilo
NR	Caucho natural
PUR	Poliuretano
VMQ	Silicona
PEEK	Polieteretercetona
PTFE	Politetrafluoroetileno
PTFE reforzado con carbono	Politetrafluoroetileno reforzado con carbono
PTFE reforzado con vidrio	Politetrafluoroetileno reforzado con vidrio
TCM Plus[3]	PTFE reforzado con mineral y MoS^2
TCM Ultra[3]	PTFE reforzado con PEEK y MoS^2
Junta de composición	Junta compuesta
Grafito flexible, Grafoil[4]	Grafito flexible

1. Marca registrada de DuPont Performance Elastomers.
2. Marca registrada de Greene, Tweed & Co.
3. Marca registrada de Fisher Controls International LLC.
4. Marca registrada de GrafTech Intl.

5.22 Procedimientos de prueba no destructivos

Se requiere realizar con éxito evaluaciones no destructivas específicas de válvulas para el servicio nuclear, y puede ser un requisito de normativas o clientes en aplicaciones no nucleares, en particular el sector energético.

Asimismo, superar las evaluaciones con éxito puede permitir la mejora de cualificación de válvulas con extremo de soldadura a tope de clase estándar ASME a una cualificación de clase especial. La cualificación de clase especial permite el uso de válvulas con extremo de soldadura a tope a presiones superiores a las permitidas para válvulas de clase estándar. Los procedimientos requeridos para la mejora de cualificación a la clase especial se detallan en el estándar B16.34 de ASME.

Si bien no es posible proporcionar los detalles completos de requisitos normativos para evaluaciones no destructivas, este documento resumirá los principios y procedimientos de 4 tipos principales de evaluaciones no destructivas definidas en los estándares de ANSI, ASME y ASTM.

5.22.1 Evaluación (superficie) de partícula magnética

La evaluación de partícula magnética solo se puede aplicar a materiales que se pueden magnetizar. El principio incluye la aplicación de corriente continua a través de una pieza para inducir un campo magnético en ella. Los defectos en la superficie y subsuperficiales de poca profundidad distorsionan el campo magnético de forma que se genera un segundo campo magnético alrededor del defecto. Si un polvo magnético, en condición seca o suspendida en líquido, se esparce sobre la pieza magnética, las zonas del campo magnético distorsionado serán visibles, proporcionando una indicación

de la zona de distorsión en la pieza. Tras desmagnetizar la pieza invirtiendo la corriente magnética, existe la posibilidad de una reparación por soldadura del defecto, o puede ser necesario sustituir la pieza. Tras la reparación o sustitución, se debe repetir la evaluación de partícula magnética.

5.22.2 Evaluación (superficie) de penetración de líquidos

Este método de evaluación permite detectar defectos superficiales invisibles a simple vista. La superficie que evaluar se limpia y seca de forma minuciosa. El líquido penetrante colorante, lavable con agua o con disolvente, se aplica mediante la inmersión, pincel o pulverización, y se deja el tiempo necesario para su penetración. El penetrante sobrante se lava o limpia (dependiendo del penetrante utilizado). La superficie se seca nuevamente de forma minuciosa, y se aplica un revelador fotográfico (líquido o en polvo). Se realiza la inspección bajo la fuente de iluminación aplicable. (Dependiendo del penetrante, algunos reveladores requieren el uso de luz ultravioleta o negra para revelar las zonas defectuosas.) Si se descubren los defectos y se reparan mediante soldadura, se debe volver a evaluar la pieza tras la reparación.

5.22.3 Evaluación (volumétrica) radiográfica

La radiografía de piezas de válvula de control parte del principio de que los rayos X y gamma atraviesan objetos metálicos impenetrables por la luz visible, siendo expuestos en película fotográfica o mediante sensores digitales de rayos X. El número e intensidad de los rayos que atraviesan el objeto metálico depende de la densidad del material. Los defectos subsuperficiales suponen variaciones en la densidad del metal, y por ello se pueden detectar de forma radiográfica. La pieza que inspeccionar se coloca entre la fuente de rayos X o gamma y la película fotográfica o sensores digitales de rayos X. La sensibilidad de los detalles y del contraste se determinan radiografiando una o más placas planas pequeñas de grosor específico a la vez que se expone el objeto siendo evaluado. La placa plana pequeña, denominada penetrámetro, presenta varios orificios taladrados de diámetros especificados. Su imagen en la película expuesta o imagen digital, junto con el cuerpo de válvula u otro objeto de prueba, permite determinar la sensibilidad de los detalles y del contraste de la radiografía.

La radiografía puede detectar defectos de fundición como gas y sopladuras, inclusiones de arena, contracción interna, fisuras, grietas de contracción e inclusiones de escoria. En fundidos para el servicio nuclear, algunos defectos como fisuras y grietas de contracción quedan expresamente prohibidos y no se pueden reparar. El criterio y la experiencia de los radiógrafos es esencial ya que deben comprar la radiografía con los criterios de aceptabilidad (radiografías de referencia de la ASTM) para determinar la idoneidad del fundido. Cuando se requieren reparaciones por soldadura, se debe radiografiar el fundido nuevamente tras la reparación.

5.22.4 Evaluación (volumétrica) ultrasónica

Este método monitoriza la reflexión de las ondas sonoras sobre la pieza siendo inspeccionada para determinar la profundidad y tamaño de cualquier defecto. La evaluación ultrasónica puede detectar materiales extraños e irregularidades en metal de grano fino, siendo apta para la evaluación volumétrica de estructuras como placas, barras y forjaduras. La prueba se realiza habitualmente con un aceite especial llamado "couplant" o gel de ultrasonidos que garantiza la transmisión eficiente de las ondas sonoras. Las ondas sonoras se generan mediante una sonda con cristal y reflexionan sobre cada superficie de la pieza siendo probada, esto es, sobre la superficie exterior de la pieza y sobre cada superficie de una sección interna dañada o malformada. Estas reflexiones son percibidas por la sonda con cristal y se muestran en pantalla para indicar la ubicación y gravedad de la indicación. ■

Capítulo 6

Válvulas de control especiales

Como se ha tratado en capítulos anteriores, las válvulas de control estándar son adecuadas para una gran variedad de aplicaciones de control. La variedad de aplicaciones estándar se puede definir como lo comprendido entre los límites siguientes: de presión atmosférica a 414 bar (6000 psig), de -101 °C (-150 °F) a 232 °C (450 °F), valores de coeficiente de flujo C_v de 1,0 a 25000, y los límites impuestos por los estándares comunes del sector. Obviamente, las propiedades corrosivas y la viscosidad del fluido, el índice de fugas y otros aspectos requieren atención incluso para aplicaciones estándar. Puede que la necesidad de una evaluación cuidadosa al seleccionar una válvula sea aún más esencial para aplicaciones fuera de los límites estándar detallados anteriormente.

Este capítulo trata algunas aplicaciones especiales y modificaciones de válvula de control útiles a la hora de afrontar estas aplicaciones, diseños y materiales para el servicio exigente y requisitos de prueba útiles para válvulas de control utilizadas para el servicio en central nuclear.

6.1 Válvulas de control de alta capacidad

Generalmente, las válvulas estilo globo mayores que NPS 12, válvulas de bola mayores que NPS 24, y válvulas de mariposa mayores que NPS 48 pertenecen a la categoría de válvula especial. A mayor tamaño aritmético de la válvula, mayor aumento geométrico de las cargas de presión estática en el cierre. Debido a ello, la resistencia de la flecha, las cargas del cojinete, las fuerzas de desbalance y el empuje de actuador disponible tienen una mayor importancia a mayor tamaño de válvula. Habitualmente, la caída de presión máxima permitida se reduce para válvulas de gran tamaño para mantener los requisitos de diseño y del actuador dentro de unos límites razonables. Incluso con la reducción de valores nominales de presión de funcionamiento, la capacidad de flujo de algunas válvulas de flujo alto sigue siendo muy elevada.

Los niveles de ruido requieren una reflexión especial para todas las instalaciones de flujo alto ya que los niveles de presión sonora aumentan de forma proporcional a la magnitud del flujo. Para mantener el ruido generado por válvula dentro de unos límites tolerables se han desarrollado diseños de cuerpo de válvula fundido o fabricado de gran tamaño (Figura 6.1). Estos cuerpos, habitualmente con una fabricación estilo jaula, presentan una carrera de obturador de válvula notablemente prolongada, un número alto de pequeñas aperturas de flujo en la pared de la jaula, y una conexión a línea de salida expandida para reducir la generación de ruido y reducir la velocidad del fluido.

Figura 6.1 Cuerpo de válvula de flujo alto para la reducción de ruido

Obviamente, los requisitos del actuador son exigentes, y habitualmente se especifican pistones neumáticos de acción doble y recorrido largo para aplicaciones de flujo alto. El tamaño y peso físicos de la válvula y de los componentes del actuador presentan complejidades para los procedimientos de instalación y mantenimiento.

La instalación del conjunto de cuerpo de válvula en el conducto y la extracción y sustitución de las piezas esenciales de los internos requieren grúas de alto rendimiento. El personal de mantenimiento debe seguir con atención los manuales de instrucciones del fabricante para reducir el riego de daños. ■

6.2 Válvulas de control de flujo bajo

Figura 6.2 Válvula de control especial diseñada para caudales muy bajos

Además de en los sectores de procesado generales, hay varias aplicaciones en laboratorios y plantas piloto que requieren el control de caudales extremadamente bajos. Habitualmente, estas aplicaciones se afrontan con una de las dos formas siguientes. En primer lugar, a menudo hay internos especiales disponibles para cuerpos de válvula de control estándar. La composición típica de unos internos especiales presenta un anillo de asiento y un obturador de válvula que se han diseñado y mecanizado con tolerancias muy ajustadas para permitir un control preciso de flujos muy pequeños. Este tipo de combinaciones pueden manipular coeficientes de flujo tan bajos como 0,03. El uso de estos internos especiales en válvulas de control estándar reduce los costos al reducir la necesidad de un inventario de piezas de repuesto para válvulas y actuadores especiales. La adopción de esta estrategia también facilita el aumento futuro del flujo ya que solo requiere sustituir los componentes de los internos del cuerpo de válvula de control estándar.

Las válvulas de control diseñadas específicamente para caudales muy bajos (Figura 6.2) también son aptas para estas aplicaciones. Estas válvulas pueden manipular coeficientes de flujo tan bajos como 0,000001. Además de estos flujos muy bajos, estas válvulas de control especiales son compactas y ligeras ya que son de uso común en entornos de laboratorio, donde se utilizan canalizaciones con cédulas muy bajas. Estos tipos de válvulas de control se diseñan de forma específica para un control preciso en aplicaciones de fluido líquido o gaseoso con un flujo muy bajo. ■

6.3 Válvulas de control para temperaturas altas

Las válvulas de control para el servicio a temperaturas superiores a 232 °C (450 °F) se deben diseñar y especificar teniendo en cuenta las condiciones térmicas. A temperaturas elevadas, como las presentes en sistemas de alimentación para caldera y de derivación de sobrecalentador, puede que los materiales estándar para la fabricación de válvulas de control no sean adecuados. Por ejemplo, los materiales plásticos, los elastómeros y las juntas estándar son en la práctica generalmente inadecuados, y se deben sustituir por materiales de mayor durabilidad. Siempre se utilizan materiales de asiento metal con metal. Los materiales de empaquetadura semimetálicos o de grafito flexible laminado son de uso común, y las juntas espiraladas de acero inoxidable y de grafito flexible son necesarias.

Los aceros Cr-Mo se utilizan habitualmente para fundidos de cuerpo de válvula para temperaturas superiores a 538 °C (1000 °F). El ASTM A217 grado WC9 se utiliza para temperaturas máximas de 593 °C

(1100 °F). Para temperaturas de hasta 816 °C (1500 °F), la elección habitual de material es el acero inoxidable ASTM A351 grado CF8M, tipo 316. Para temperaturas entre 538 °C (1000 °F) y 816 °C (1500 °F), el contenido de carbono se debe regular al límite superior del rango, de 0,04 a 0,08%. Los materiales 9% Cr - 1% Mo - V, como fundidos ASTM A217 grado C12a y forjaduras ASTM A182 grado F91 se utilizan para temperaturas máximas de 650 °C (1200 °F).

Los bonetes de extensión facilitan proteger las piezas del prensaestopas frente a temperaturas extremadamente altas. Los materiales de internos típicos incluyen una aleación basada en cobalto 6, 316 con cementado de aleación 6, y acero inoxidable 422 niturado. ■

6.4 Válvulas de servicio criogénico

La criogenia es la ciencia que trata materiales y procesos a temperaturas inferiores a -101 °C (150 °F). Para aplicaciones de válvula de control en servicios criogénicos, se deben considerar varios de los mismos aspectos pertinentes a las válvulas de control para temperaturas altas. Los componentes plásticos y elastoméros suelen dejar de funcionar de forma adecuada a temperaturas inferiores a -18 °C (0 °F). En estos rangos de temperatura, los componentes como la empaquetadura y las juntas del obturador requieren una especial atención. Para juntas de obturador, una junta blanda estándar se endurecerá de forma notable, perdiendo elasticidad y por ello cesando de proporcionar el cierre requerido a un asiento suave. Se han aplicado estas temperaturas a elastómeros especiales, pero requieren una carga especial para obtener un cierre hermético.

La empaquetadura es un problema en las aplicaciones criogénicas debido a la escarcha que se puede formar sobre las válvulas. La humedad ambiental se condensa sobre las superficies más frías, y donde la superficie presenta una temperatura por debajo del punto de congelación, la humedad se congela formando una capa de escarcha. A medida que ésta escarcha y hielo se forman sobre las secciones de bonete y vástago de las válvulas de control, y a medida que el actuador desplaza el vástago, la capa de escarcha sobre el vástago es empujada por la empaquetadura generando grietas y por ello la pérdida de estanqueidad. La solución es utilizar bonetes de extensión (Figura 6.3) que permiten que la sección del prensaestopas de la válvula de control se caliente por la temperatura ambiental, evitando así la formación de escarcha sobre las secciones del vástago y del prensaestopas. La longitud del bonete de extensión depende de la temperatura de la aplicación y de los requisitos de aislamiento. Cuanto más fría sea la aplicación, mayor debe ser la longitud del bonete de extensión.

Los materiales de fabricación para aplicaciones criogénicas son habitualmente CF8M para el cuerpo y un material de internos de acero inoxidable de serie 300 para el bonete. Para aplicaciones con vaporización, puede ser necesario el cementado para combatir la erosión. ■

Figura 6.3 Bonete de extensión típico

6.5 Válvulas expuestas a cavitación y fluidos con material particulado

La temperatura y la presión en las instalaciones de procesado y extracción de petróleo actuales continúan aumentando. A medida que aumentan tales presiones así como las caídas de presión resultantes, también aumenta la probabilidad de cavitación.

Con ello también puede aparecer material particulado adicional en el fluido. A medida que aumentan las impurezas en el fluido, aumenta la probabilidad de obstruir los orificios pequeños utilizados para la reducción de la cavitación.

Hay internos especiales disponibles que pueden afrontar caídas de presión superiores a 6000 psig, pero permitiendo el paso de material particulado de hasta 1,27 cm (½ pulg). ■

6.6 Características personalizadas, reducción de ruido e internos de mitigación de la cavitación

Aunque las características de válvula de control utilizadas para válvulas de control estándar (Figura 6.4) satisfacen los requisitos de la mayoría de aplicaciones, con regularidad se requieren características personalizadas para una aplicación dada. En estos casos, se pueden fabricar diseños especiales de internos que satisfacen tales requisitos. Para obturadores contorneados se puede modificar el diseño de la punta del obturador para que a medida que se desplace por su rango de carrera, la sección de flujo sin obstrucción modifique su tamaño para generar una característica de flujo específica. Asimismo, también se pueden crear diseños nuevos de jaula para satisfacer características específicas. Esto es muy común en internos de reducción de ruido y de tipo anticavitación donde se puede requerir un grado alto de protección a caudales bajos, aunque se requieren grados muy inferiores de protección para condiciones de caudal más elevado. ■

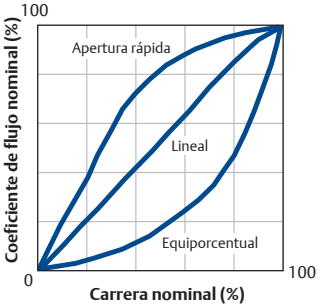


Figura 6.4 Característica inherente de válvula

6.7 Válvulas de control para el servicio nuclear en EE.UU.

Desde 1970, los fabricantes y proveedores estadounidenses de componentes para centrales nucleares están sujetos a los requisitos del *Apéndice B, Título 10, Parte 50* del *Code of Federal Regulations* (Código de Regulaciones Federales), de título *Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants and Fuel Reprocessing Plants* (Criterios de control de calidad para plantas de energía nuclear y plantas de reprocesado de combustible). La Comisión Reguladora Nuclear (Nuclear Regulatory Commission) de EE.UU. impone esta normativa. La responsabilidad última de garantizar el cumplimento del Apéndice B recae sobre el propietario de las instalaciones, que a su vez depende de que los fabricantes de los distintos componentes de las instalaciones proporcionen evidencias documentales de que los componentes se han fabricado, inspeccionado y evaluado con técnicas probadas realizadas por personal cualificado en conformidad con los procedimientos documentados.

De acuerdo con los requisitos del *Código de regulaciones federales*, la mayoría de los componentes de central nuclear presentan especificaciones conformes a la *Sección III* del *ASME Boiler and Pressure Vessel Code* (Código de Calderas y Recipientes a Presión de ASME), de título *Nuclear Power Plant Components* (Componentes de central nuclear). Se deben documentar todos los aspectos del proceso de fabricación en un manual de control de calidad, así como inspeccionados

y homologados por ASME antes de la fabricación real de los componentes. Todas las tareas y materiales de fabricación siguientes deben estar revisados por un inspector autorizado. Todas las válvulas fabricadas conforme a los requisitos de la Sección III obtienen una placa de identificación con código y un marcado N que simboliza la idoneidad para el servicio en aplicaciones de central nuclear.

La Sección III no se aplica a piezas no asociadas a la función de retención de presión, actuadores y accesorios salvo que sean piezas de retención de presión, al deterioro de componentes de válvula por radiación, corrosión, erosión, cualificaciones sísmicas o ambientales, o a los requisitos de limpieza, pintura o embalaje.

No obstante, es habitual que las especificaciones del cliente traten estos aspectos. La Sección III sí se aplica a materiales utilizados para piezas de retención de presión, criterios de diseño, procedimientos de fabricación, procedimientos de prueba no destructivos para piezas de retención de presión, pruebas hidrostáticas y a los procedimientos de marca y estampación. La Sección III de ASME se revisa mediante un apéndice de publicación semestral que se puede utilizar después de la fecha de publicación, siendo de obligado cumplimiento pasados 6 meses de la fecha de publicación. ■

6.8 Válvulas expuestas al agrietamiento por tensiones en presencia de sulfuro

NACE International es una sociedad técnica que aborda la corrosión y sus problemas relacionados. NACE es responsable de un gran número de estándares, pero sin duda el más influyente y conocido es el MR0175, denominado anteriormente "Sulfide Stress Cracking-Resistant Metallic Materials for Oilfield Equipment" (Materiales metálicos resistentes al agrietamiento por tensiones en presencia de sulfuro para equipo de yacimiento petrolífero). NACE publicó el MR0175 en 1975 para proporcionar directrices para la selección de materiales resistentes al fallo en entornos de producción de petróleo y gas con presencia de ácido sulfhídrico. MR0175 ha sido tan ampliamente citado que, en el sector de procesado, el término "NACE" es prácticamente sinónimo de "MR0175". No obstante, esta situación cambió en 2003.

MR0175 experimentó una notable modificación en una revisión del 2003 para tratar el agrietamiento por corrosión derivado de tensiones en presencia de cloruro, además del agrietamiento por tensiones en presencia de sulfuro. Posteriormente, a finales del 2003, el documento fue revisado y publicado como un documento conjunto de NACE/ISO denominado NACE MR0175/ISO 15156, "Petroleum and Natural Gas Industries—Materials for Use in H2S-Containing Environments in Oil and Gas Production" (Sectores de gas natural y petróleo: materiales de uso para entornos con contenido de H2S en la producción de petróleo y gas).

En abril de 2003, NACE también publicó un estándar nuevo, MR0103, denominado "Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking in Corrosive Petroleum Refining Environments" (Materiales resistentes al agrietamiento por tensiones en presencia de sulfuro en entornos corrosivos de refinado de petróleo). Este estándar es básicamente el "NACE MR0175" del sector de refinado. MR0103 solo aborda el agrietamiento por tensiones en presencia de sulfuro, y por ello presenta varios aspectos similares a las revisiones anteriores al 2003 del MR0175. El uso del estándar MR0103 en el sector de refinado es cada vez mayor.

En 2013, el documento experimentó una revisión, reformato y publicación como un documento ISO, denominado ISO 17945 y de título "Petroleum, Petrochemical, and Natural Gas Industries – Metallic Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking in Corrosive Petroleum Refining Environments" (Sectores del petróleo, petroquímicos y de gas natural - Materiales metálicos resistentes al agrietamiento por tensiones en presencia de sulfuro en entornos corrosivos de refinado del petróleo). En 2015, fue adoptado por NACE como MRO103/ISO 17945.

Tenga en cuenta que la conformidad con ciertas revisiones de NACE MR0175 o NACE MR0175/ISO 15156 es una exigencia legal en algunos estados y regiones de EE.UU. A día de hoy, NACE MR0103ISO 17945 no es una exigencia legal de ningún organismo gubernamental.

6.8.1 Revisiones anteriores a 2003 de NACE MR0175

Los enunciados siguientes, si bien basados en la información y los requisitos detallados en revisiones anteriores al 2003 del MR0175, no se pueden desarrollar con el detalle que proporciona el estándar real, y no garantizan la idoneidad de ningún material dado para entornos ácidos con presencia de ácido sulfhídrico. Se recomienda al lector que consulte el estándar real antes de seleccionar válvulas de control para el servicio en ambientes ácidos.

- La mayoría de los metales ferrosos están expuestos al riesgo de agrietamiento por tensiones en presencia de sulfuro (SSC, "sulfide stress cracking") debido al endurecimiento por tratamiento térmico y/o el uso en ambientes fríos. Por otra parte, varios metales ferrosos pueden recibir un tratamiento térmico para optimizar su resistencia al SSC.
- Los aceros al carbono y de aleación baja deben recibir un tratamiento térmico adecuado para presentar resistencia al SSC. Se aplica un límite de dureza máxima de HRC 22 para aceros al carbono y de aleación baja.
- Los aceros inoxidables austeníticos presentan una mayor resistencia al SSC en estado recocido, y algunos grados específicos y condiciones de aceros inoxidables son aceptables hasta 35 HRC.
- Las aleaciones basadas en cobre son por naturaleza resistentes al SSC, pero generalmente no se utilizan para piezas esenciales de la válvula sin la aprobación del comprador por cuestiones de corrosión general.
- Las aleaciones de níquel generalmente proporcionan la mayor resistencia al SSC. Algunas aleaciones de níquel con envejecimiento térmico son también de uso aceptable en aplicaciones que requieran una solidez y/o dureza altas de hasta 40 HRC.
- El cromo, níquel y otros tipos de revestimiento no ofrecen protección frente al SSC. Su uso se permite en aplicaciones en ambientes ácidos por su resistencia al desgaste, pero no se pueden utilizar para la protección de un material base no resistente al SSC.
- Las reparaciones y fabricaciones por soldadura con aceros de aleación baja con contenido de carbono se deben procesar de forma adecuada para garantizar su conformidad con el requisito de dureza máxima de 22 HRC del metal base, de la zona afectada térmicamente (HAZ), y del depósito de soldadura. Las aleaciones de acero requieren un tratamiento térmico postsoldadura, también muy extendido para aceros al carbono.
- El marcado de identificación convencional se admite en zonas de tensión baja, como el diámetro externo de las bridas de línea. Se debe utilizar un marcado de identificación de tensión baja ("low-stress stamping") para otras zonas.
- El estándar prohíbe el uso de empernado ASTM A193 grado B7 para aplicaciones que se consideran "expuestas". El uso de materiales de empernado resistentes al SSC (como ASTM A193 Grade B7M) requiere en algunos casos la reducción del régimen normal para válvulas diseñadas originalmente para el uso de empernado B7. Por ejemplo, para una válvula de globo de clase 600 se ha utilizado habitualmente el empernado 17-4PH H1150 DBL para evitar la reducción del régimen normal.

6.8.2 NACE MR0175/ISO 15156

NACE MR0175/ISO 15156 introdujo cambios notables en el estándar. No obstante, varios usuarios finales continúan respetando las especificaciones del NACE MR0175-2002, considerando que satisface de forma adecuada sus necesidades de obtención de un tiempo de servicio óptimo. Los cambios más notables del NACE MR0175/ISO 15156 incluyen:

- El empernado 17-4PH H1150 DBL utilizado previamente para el empernado expuesto con régimen total para una válvula de globo de clase 600 ya no está permitido.
- La revisión aborda el agrietamiento por tensiones en presencia de sulfuro y el agrietamiento por corrosión derivado de tensiones en presencia de cloruro.

Las versiones anteriores simplemente calificaban los materiales como aceptable o no aceptable. Debido a que su ámbito se expandió para tratar el agrietamiento por corrosión derivado de tensiones en presencia de cloruro, el estándar nuevo enumera todas las aleaciones resistentes a la corrosión como aceptables dentro de unos límites, referidos como "límites o restricciones ambientales". Habitualmente se expresan en términos de presión parcial, temperatura máxima, ppm de cloruro, y de presencia de sulfuro libre en el H2S.

- El uso de 316 aún está permitido pero sujeto a unas condiciones ambientales muy limitadas. El efecto de ello, si se respeta de forma estricta, es que este material tiene muy pocos usos.
- El estándar solo se aplica a la producción, perforación, recolección y equipo de canalización de flujo del sector petrolífero y a instalaciones de procesado sobre el terreno utilizadas para el servicio de hidrocarburos con contenido de H2S. No se aplica a refinerías.
- Se otorga una responsabilidad clara al comprador o usuario de especificar los materiales adecuados. El fabricante solo es responsable de satisfacer los requisitos metalúrgicos del MR0175/ ISO 15156, pero no de especificar los materiales adecuados.

6.8.3 NACE MR0103

Como se ha detallado, NACE MR0103 presenta varios aspectos similares a las revisiones anteriores al 2003 del NACE MR0175. A continuación se detallan algunas de las diferencias más destacadas:

- MR0103 utiliza definiciones distintas, basadas en refinería, de lo que caracteriza un ambiente ácido. El usuario es responsable de obligar al cumplimento de los requisitos del MR0103 donde sean aplicables.
- La revisión del 2002 y anteriores del MR0175 incluían restricciones ambientales sobre algunos materiales, continuadas en ediciones posteriores. MR0103 solo aborda el agrietamiento por tensiones en presencia de sulfuro. No impone límites ambientales sobre ningún material. Los materiales son aceptables o no.
- Los materiales base de acero al carbono clasificados como aceros P-No. 1, grupo 1 o 2 en el Código de Calderas y Recipientes a Presión de ASME son aceptables de acuerdo al MR0103 sin requisitos de dureza del metal base. P-No. 1 grupos 1 y 2 incluye fundidos WCC y LCC, forjados A105, placa A516 grado 70, y los otros materiales comunes de acero al carbono para recipientes a presión.
- MR0103 impone controles de soldadura para aceros al carbono más exigentes que los impuestos por el MR0175-2002. MR0103 requiere que los aceros al carbono P-No. 1 se suelden conforme a otro documento de NACE, denominado RP0472 "Methods and Controls to Prevent In-Service Environmental Cracking of Carbon Steel Weldments in Corrosive Petroleum Refining Environments" (Métodos y controles para evitar el agrietamiento por el ambiente de soldaduras de acero al carbono durante el servicio en entornos corrosivos de refinado de petróleo). RP0472 impone controles para garantizar que el depósito de soldadura y la zona afectada térmicamente (HAZ) de una soldadura sean suficientemente blandas para resistir al agrietamiento por tensiones en presencia de sulfuro. RP0472 impone una prueba de dureza real de depósitos de soldadura utilizados en la producción, aunque se excluye la prueba de dureza si se utilizan ciertas combinaciones de proceso de soldadura y material de relleno. Se puede regular la dureza de la HAZ bien mediante un tratamiento térmico postsoldadura (PWHT, "post-weld heat treatment") o mediante restricciones sobre la composición química del material base como la imposición de un carbono equivalente (CE) máximo.
- Al igual que las revisiones del 2003 y posteriores del MR0175, MR0103 no permite el uso de S17400 doble H1150 para el empernado. Esto implica que el empernado 17-4PH H1150 DBL utilizado previamente para el empernado expuesto con régimen total para una válvula de clase 600 ya no está permitido. ■

Capítulo 7
Acondicionamiento de vapor

7.1 Descripción de la atemperación

El vapor sobrecalentado es una excelente fuente de energía para la producción de potencia mecánica. No obstante, hay varios casos en los que el vapor a temperaturas muy reducidas próximas, a la saturación, es un elemento más práctico. Este es el caso para la mayoría de aplicaciones de transferencia de calor. Se requiere un control preciso de la temperatura para optimizar la eficiencia térmica, eliminar el sobrecalentamiento no deseado en procesos de regulación o proteger los elementos y/o equipo aguas abajo frente a daños por temperaturas altas. Un método para reducir la temperatura es la instalación de un atemperador.

Un atemperador inyecta una cantidad regulada y predefinida de agua en un flujo de vapor para reducir la temperatura del vapor. Para realizarlo de forma eficiente, el atemperador se debe diseñar y seleccionar de forma adecuada para la aplicación. A pesar del diseño aparentemente sencillo, el atemperador debe acompañar a un gran número de variables térmicas y de dinámica de flujo complejas para ser eficaz.

El control de la cantidad de agua, y con ella la temperatura del vapor, se obtiene mediante un bucle de control de temperatura. Este bucle incorpora un dispositivo sensor de temperatura aguas abajo, un controlador para interpretar el valor detectado de temperatura en relación al punto de ajuste deseado, y la transmisión de una señal proporcional a un conjunto de válvula/actuador de regulación de agua para determinar la cantidad de agua requerida.

El éxito o el fallo de una instalación de atemperador específica depende de varios factor físicos, térmicos y geométricos. Algunos son evidentes y otros de difícil interpretación, pero todos tienen un impacto distinto sobre el rendimiento del equipo y del sistema donde se instala.

El primer factor, y posiblemente el más importante, para un funcionamiento eficiente del atemperador es seleccionar el diseño adecuado para la aplicación pertinente. Los atemperadores están disponibles en todo tipo de formas y tamaños, y emplean varias técnicas mecánicas y de transferencia de energía para obtener el rendimiento deseado dentro de los límites impuestos por el sistema en el que se integra. Otra sección detalla las diferencias entre los tipos de atemperadores disponibles y el rendimiento esperado.

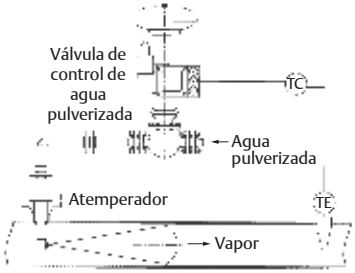


Figura 7.1 Bucle de control de temperatura e instalación de atemperador de estilo inserción típico

7.1.1 Aspectos técnicos de la atemperación

Algunos de los parámetros físicos que afectan al rendimiento de un sistema de atemperación incluyen:

- Orientación de instalación
- Longitud del conducto recto aguas abajo.
- Temperatura y presión del agua de pulverización.
- Cantidad del agua de pulverización.
- Medidas de canalización o revestimiento.
- Densidad del vapor.
- Método de pulverización.
- Velocidad el vapor.
- Equipo frente a la reducción o "turndown" del sistema.

La orientación de instalación es un factor a menudo ignorado aunque esencial para el rendimiento del sistema. El posicionamiento adecuado del atemperador puede tener un mayor impacto sobre el funcionamiento del sistema que el diseño de la propia unidad. Para la mayoría de unidades, la

orientación óptima es en un conducto vertical con flujo ascendente. Esto es contrario a la mayoría de las instalaciones actuales que se pueden encontrar en el sector. Otros factores de orientación incluyen racores de conducto, codos o cualquier otro tipo de obstrucción de la canalización presente aguas abajo del punto de inyección de agua.

La Figura 7.2 muestra variantes de instalación de un atemperador. Es importante tener en cuenta que prácticamente cualquier orientación puede ser funcional si se integran de forma correcta todos los parámetros en el diseño del sistema.

La temperatura del agua de pulverización puede tener un impacto notable sobre el rendimiento del atemperador. A pesar de ser contrario al conocimiento tradicional, el agua a una temperatura alta es más eficaz para el enfriamiento. A medida que aumenta la temperatura del agua de pulverización, las características de caudal y las térmicas se optimizan, afectando a lo siguiente:

- Tensión superficial.
- Distribución del tamaño de gota.
- Calor latente de vaporización.
- Índice de vaporización.

La optimización de todos estos factores, derivada de un aumento en la temperatura del agua de pulverización, optimiza el rendimiento general del sistema.

De igual importancia es la caída de presión presente en todo el sistema de agua de pulverización (válvula de agua de pulverización y boquilla). El aumento de la caída de presión disponible en todo el sistema puede generar unos requisitos de longitud de conducto recto notablemente reducidos aguas abajo del dispositivo de atemperación.

La cantidad de agua que inyectar tendrá un efecto directamente proporcional en el momento de vaporización. El proceso de transferencia de calor depende del tiempo, y por ello la cantidad de agua de pulverización modificará el periodo necesario para una vaporización completa y la estabilidad térmica.

Para determinar el agua de pulverización requerida (Qw) como una función del flujo de vapor de entrada (Q1), realice un sencillo cálculo de equilibrio térmico con la ecuación siguiente:

$$Qw(mass) = Q1 * \left(\frac{H1-H2}{H2-Hw}\right)$$

Donde Q es el caudal másico en PPH y H son los valores de entalpía individuales en la entrada, salida y de agua de pulverización.

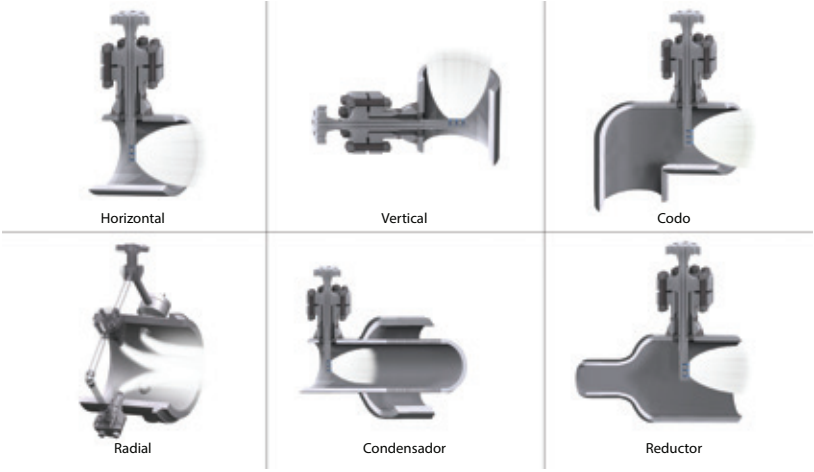


Figura 7.2 Instalaciones de atemperación

Cuando se realiza el cálculo como una función del flujo de vapor de salida (Q2), esto es, la combinación del flujo de vapor de entrada y agua de pulverización para la atemperación, utilice la ecuación siguiente:

$$Qw(mass) = Q2 * \left(\frac{H1-H2}{Hw-H1}\right)$$

Para realizar un cálculo básico de C_v para el dimensionamiento inicial del atemperador, es necesario convertir Qw(mass) (masa) a Qw(volumetric) (volumétrico). Con unidades inglesas, la conversión se realiza de la forma siguiente:

$$Qw(volumetric) = \frac{Qw(mass) * 0{,}1247}{pw}$$

Qw(volumetric) está en GPM, y pw es la densidad del agua de pulverización en lbm/Ft^3. Con base en esta conversión, se puede completar el dimensionamiento con el cálculo de C_v siguiente para cada conjunto de condiciones:

$$C_v = Qw(volumetric) * \sqrt{\frac{SG}{\Delta Pdsh}}$$

Donde SG es la gravedad específica del agua de pulverización y ΔPdsh el diferencial de presión a lo largo del atemperador propuesto.

Al diseñar una instalación nueva de atemperador, otro aspecto que considerar para un rendimiento adecuado del sistema es el tamaño del conducto. A mayor longitud del conducto, más atención requiere la velocidad de penetración de la pulverización y su alcance en la corriente de flujo (Figura 7.3).

Algunos atemperadores de punto único y de tipo inyección poseen una boquilla de potencia insuficiente para alcanzar toda la sección de flujo transversal del conducto. Debido a ello, el patrón de pulverización colapsa y se produce la estratificación térmica. Se forma un núcleo central subenfriado que es rodeado por vapor sobrecalentado. Este estado desaparece habitualmente cuando la corriente de flujo experimenta varios cambios de dirección de la canalización, pero esto no es siempre posible dentro de los límites del sistema de control o proceso. El posicionamiento adecuado de unidades multiboquilla de gran potencia en los conductos de mayor tamaño suelen evitar la formación de estratificación térmica.

Las velocidades máxima y mínima del vapor afectan de forma directa al mezclado adecuado del agua. La velocidad afecta de forma directa al tiempo de permanencia disponible para que el agua se mezcle con el vapor. Cuando la velocidad máxima es demasiado alta, es posible que no exista el tiempo suficiente para que el agua se mezcle antes de encontrar una obstrucción de canalización como un racor acodado o en T. La velocidad máxima ideal en conductos está habitualmente entre 46 - 76 metros por segundo (150 - 250 pies por segundo). Tenga en cuenta que una velocidad superior situada en el punto de inyección puede ser positiva. Cuando la velocidad mínima es demasiado baja, se reduce la turbulencia y las gotas de agua tienden a perder su estado de suspensión en

Figura 7.3 Penetración de la pulverización del atemperador

el vapor. Como norma, una velocidad de vapor mínima para que el agua permanezca suspendida es de unos 4,5 - 9 metros por segundo (15 - 30 pies por segundo) para boquillas accionadas por resorte. Para aplicaciones a velocidades inferiores, se puede obtener una mezcla adecuada mediante atemperadores que proporcionen un Venturi o vapor de atomización.

Uno de los conceptos más sobreutilizados y malinterpretados en el ámbito de la atemperación es la reducción o "turndown". Cuando se aplica a un elemento de control final como una válvula, el "turndown" es una relación sencilla del caudal máximo y mínimo regulables. "Turndown" se utiliza a veces como sinónimo de rangeabilidad. No obstante, el significado preciso presenta diferencias notables en términos de comparación real del rendimiento.

Un sobrecalentador no es un elemento de control final, y como tal su rendimiento no está directamente relacionado con su entorno de sistema. Cada componente del sistema de atemperación posee su propia rangeabilidad (válvula de alivio de presión del vapor, válvula de control de temperatura del agua, velocidad del vapor en conducto o boquilla de presión diferencial). El "turndown" del sistema real es más bien una función de los parámetros del sistema en lugar de ser producto de las variaciones de flujo empíricas del equipo. Una vez se ha comprendido esto, es obvio que un atemperador de calidad no puede corregir los defectos de un sistema de baja calidad. Se deben evaluar con base en sus propias características, y ponderar de forma debida.

Incluso con la tecnología optimizada de diseño de boquilla, a menudo se especifican revestimientos de conducto, en particular para zonas del generador de vapor por recuperación de calor donde se requieren atemperadores intermedios o de fase final. El uso de revestimientos en aplicaciones de bypass (derivación) de turbina es esporádico.

Debido al material particulado que se encuentra con frecuencia en los sistemas de pulverización de agua y en la canalización, el uso de mallas filtrantes es obligatorio. La abertura de malla depende del tamaño específico de la boquilla seleccionada para la aplicación, y se especificará como parte del diseño. No respetar estos tamaños de abertura de malla puede producir una atemperación inadecuada o daños en el conducto.

Los cálculos y recomendaciones anteriores proporcionan la información necesaria para seleccionar el diseño y tamaño adecuados de atemperador. Esta selección se debe basar en varias consideraciones de la aplicación como:

- Rangeabilidad del requisito de carga mínima a máxima.
- Velocidad máxima y mínima del vapor.
- Longitud del conducto recto y distancia del sensor de temperatura aguas abajo respecto al atemperador.
- Cédula y tamaño del conducto de vapor.
- Diferencial de presión entre el agua y el vapor. ■

7.2 Diseños típicos de atemperador

7.2.1 Diseño de boquilla de geometría fija

El diseño de boquilla de geometría fija (Figura 7.4) es un sencillo atemperador de atomización mecánica con una o varias boquillas de pulverización de geometría fija. Está diseñada para aplicaciones con cambios de carga de baja variabilidad (rangeabilidad de hasta 5:1) y permite una atomización adecuada con velocidades de flujo de vapor tan bajas como 7,60 - 9,1 metros por segundo (25 - 30 pies por segundo) en condiciones óptimas.

Figura 7.4 Diseño de boquilla de geometría fija

La instalación estándar de este tipo de unidad se realiza mediante una conexión de derivación bridada en T a un conducto de vapor de tamaño NPS 6 (DN 150) o superior. Este diseño no suele estar disponible para requisitos altos de C_v. Esta unidad requiere una válvula de control de agua externa para regular el flujo de agua a partir de una señal emitida por un sensor de temperatura situado en el conducto de vapor aguas abajo.

7.2.2 Diseño de boquilla de geometría variable

El diseño de boquilla de geometría variable (Figura 7.5) es también un sencillo atemperador de atomización mecánica, pero utiliza una o varias boquillas de pulverización de geometría variable activadas por contrapresión. Debido a la geometría variable, esta unidad es apta para aplicaciones que requieren el control de cambios de carga moderados (rangeabilidad de hasta 20:1) y permite una atomización adecuada con velocidades de flujo de vapor tan bajas como 7,60 - 9,1 metros por segundo (25 - 30 pies por segundo) en condiciones óptimas. La instalación estándar de este tipo de unidad se realiza mediante una conexión de derivación bridada en T a un conducto de vapor de tamaño NPS 8 (DN 200) o superior. Estas unidades están disponibles para requisitos moderados de C_v. Este diseño requiere una válvula de control de agua externa para regular el flujo de agua a partir de una señal emitida por un sensor de temperatura situado en el conducto de vapor aguas abajo.

Figura 7.5 Diseño de boquilla de geometría variable

7.2.3 Diseño autónomo

El diseño autónomo (Figura 7.6) también presenta una atomización mecánica con una o varias boquillas de pulverización de geometría variable activadas por contrapresión. Como característica especial, esta unidad incorpora un elemento de control de flujo de agua combinado con un dispositivo de atemperación. Esta combinación funciona como una válvula de agua de pulverización y un atemperador separados, pero forman un conjunto para reducir las restricciones de espacio y modificación de canalización requerida en instalaciones existentes. Debido a la sincronía precisa entre el elemento de control integrado y la o las boquillas de geometría variable, esta unidad es apta para aplicaciones que requieren el control de cambios de carga moderados a altos (rangeabilidad de hasta 25:1). Proporciona una atomización adecuada con velocidades de flujo de vapor tan bajas como 7,60 - 9,1 metros por segundo (25 - 30 pies por segundo) en condiciones óptimas. La instalación estándar de este tipo de unidad se realiza mediante una conexión de derivación bridada en T a un conducto de vapor de tamaño NPS 8 (DN 200) o superior. Estas unidades están disponibles para requisitos moderados de C_v.

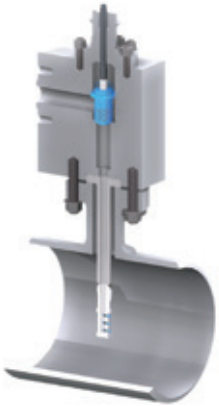


Figura 7.6 Diseño autónomo

7.2.4 Diseño de atomización por vapor

El diseño de atomización por vapor (Figura 7.7) integra el uso de vapor a alta presión para una atomización rápida y completa del agua de pulverización. Es particularmente útil en conductos de vapor con una velocidad de vapor baja. El vapor de atomización, habitualmente al doble o más de la presión del conducto de vapor principal, se combina con el agua en la cámara de la boquilla de pulverización, donde la energía del vapor de atomización en expansión se utiliza para atomizar el agua en gotas de tamaño muy pequeño. Estas gotas de menor tamaño permiten una conversión más rápida al estado de vapor y permiten que el agua permanezca suspendida en un flujo de vapor de velocidad

baja, permitiendo así la vaporización total. Por ello, el diseño de la atomización por vapor puede mezclar de forma adecuada agua con flujos de vapor de velocidad tan baja como unos 3 metros por segundo (10 pies por segundo) en condiciones óptimas. Este diseño es apto para aplicaciones que requieren cambios de carga muy altos (rangeabilidad de hasta 50:1).

La instalación estándar de este tipo de unidad se realiza mediante una conexión de derivación bridada en T a un conducto de vapor de tamaño NPS 8 (DN 200) o superior. Este diseño está disponible para requisitos moderados de C_v. Requiere una válvula de control de agua externa para regular el flujo de agua a partir de una señal emitida por un sensor de temperatura situado en el conducto de vapor aguas abajo. Este sistema también requiere una válvula de apertura y cierre separada para el suministro de vapor de atomización.

7.2.5 Diseño de oblea asistido por geometría

El diseño de oblea asistido por geometría (Figura 7.9) se desarrolló originalmente para tamaños pequeños de conducto de vapor inferiores a NPS 6 (DN 150) que no podían incorporar un atemperador de estilo inserción. La unidad presenta un diseño de tipo oblea que se instala entre dos bridas en el conducto de vapor. Un venturi con un cuello de diámetro reducido permite la pulverización total de agua en torno a la oblea, y admite varios puntos de pulverización bien a través de orificios taladrados o boquillas pequeñas. Además, el venturi aumenta la velocidad del vapor en el punto de inyección, optimizando la atomización y la mezcla con velocidades de caudal de vapor tan bajas como aproximadamente 4,6 metros por segundo (15 pies por segundo) en condiciones óptimas. Es apto para aplicaciones que requieren el control de cambios de carga moderados (rangeabilidad de hasta 20:1). Se

Figura 7.7 Diseño de atomización por vapor

Figura 7.9 Diseño de oblea asistido por geometría

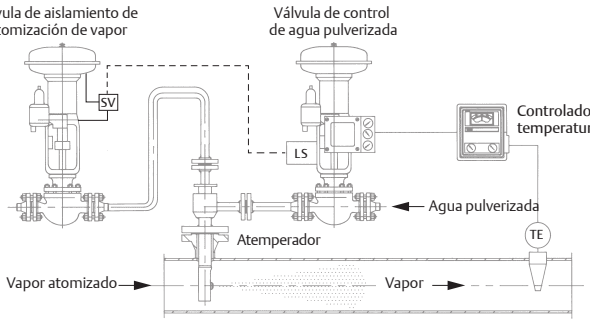


Figura 7.8 Bucle de control con atemperador asistido por vapor

puede instalar en tamaños de conducto de vapor de NPS 1 a NPS 24 (DN 25 a DN 600), y está disponible para requisitos moderados de C_v. Este diseño requiere una válvula de control de agua externa para regular el flujo de agua a partir de una señal emitida por un sensor de temperatura situado en el conducto de vapor aguas abajo. ■

7.3 Descripción de las válvulas de acondicionamiento de vapor

Una válvula de acondicionamiento de vapor se utiliza para la reducción simultánea de la presión y de la temperatura del vapor a los niveles requeridos para una aplicación dada. Habitualmente, estas aplicaciones afrontan presiones de entrada y temperaturas altas, y requieren una reducción notable de ambas magnitudes. Por ello, su fabricación óptima es con un cuerpo forjado y fabricado que puede soportar mejor cargas de vapor a presiones y temperaturas altas. Los materiales forjados permiten un diseño para tensiones más altas, una estructura de grano optimizada y una integridad física inherente frente a los cuerpos de válvula fundidos. La fabricación por forja también permite al fabricante proporcionar categorías de clase 4500 como máximo así como categorías de clase intermedias. Los fundidos siguen siendo una opción cuando se requieren cuerpos de estilo globo o se dan presiones y temperaturas inferiores.

Debido a las variaciones extremas y frecuentes de las propiedades del vapor debido a la reducción de la temperatura y de la presión, el diseño de cuerpo de válvula forjado y fabricado permite añadir una salida expandida para regular la velocidad del vapor de salida a la presión mínima. De forma similar, con una presión de salida reducida, el diseño forjado y fabricado permite al fabricante proporcionar distintas categorías de clase para las conexiones de entrada y salida para coincidir mejor con la canalización adyacente.

Otras ventajas de combinar la reducción de presión y la función del atemperador en la misma válvula frente a disponer de dos dispositivos independientes incluyen:

- Optimización de la mezcla con el agua de pulverización debido al uso óptimo de la zona de expansión de turbulencia aguas abajo de los elementos de reducción de presión.
- Rangeabilidad optimizada.
- Fácil instalación y servicio con un solo dispositivo.

Disponibilidad de varios diseños de válvula de acondicionamiento de vapor para satisfacer varias aplicaciones. A continuación se proporcionan ejemplos típicos. ■

7.4 Válvulas de acondicionamiento de vapor

Las válvulas de acondicionamiento de vapor representan la vanguardia en el control de la presión y de la temperatura del vapor al combinar ambas funciones en una sola unidad de control. Estas válvulas abordan la necesidad de un mayor control de las condiciones del vapor derivadas del aumento del costo energético y un funcionamiento de las centrales más exigente. Las válvulas de acondicionamiento de vapor también proporcionan un mejor control de la temperatura, optimización de la reducción del ruido, e imponen menos restricciones de canalización e instalación que la estación de atemperador y de reducción de presión equivalente.

La válvula de acondicionamiento de vapor que se muestra en la Figura 7.10 combina el control de presión y de temperatura en una sola válvula. En su desarollo se han utilizado herramientas de análisis por elementos finitos (FEA, Finite Element Analysis) y de dinámica de fluidos computacional (CFD, computational fluid dynamic) para evaluar su integridad estructural así como para optimizar el rendimiento operativo de la válvula y su fiabilidad general. El diseño sólido de esta válvula de acondicionamiento de vapor demuestra su capacidad de afrontar caídas de presión total en el conducto de vapor, mientras que su configuración de flujo ascendente junto con la tecnología de reducción de ruido de válvula de control evita producir un exceso de ruido y vibraciones.

La configuración de internos simplificada (Figura 7.10) utilizada en la válvula de acondicionamiento de vapor es apta para oscilaciones rápidas de temperatura, como las producidas durante un disparo de turbina. La jaula está cementada para ofrecer un tiempo de servicio máximo, y se permite su expansión durante variaciones inducidas térmicamente. El obturador de válvula

experimenta un guiado continuo y utiliza revestimientos basados en cobalto para las bandas de guía y para proporcionar un cierre hermético de metal a metal contra el asiento.

Figura 7.10 Vista transversal de una válvula de acondicionamiento de vapor

La válvula de acondicionamiento de vapor incorpora un colector de agua de pulverización aguas abajo de su etapa de reducción de presión. El colector incorpora boquillas de pulverización de geometría variable activadas por contrapresión que aumentan la mezcla y vaporización rápida del agua de pulverización.

La boquilla de pulverización (Figura 7.11) se desarrolló originalmente para sistemas de descarga de condensador donde la presión del vapor aguas abajo podía descender por debajo del nivel de saturación. Este tipo de boquillas permiten optimizar el "turndown" del equipo al reducir el flujo mínimo. Esto se obtiene mediante una contrapresión de boquilla con una presión diferencial menor. Otro efecto positivo es que un aumento de la presión diferencial de la boquilla con aperturas inferiores permite que el agua pase de forma rápida por la salida de la boquilla en lugar de por los internos de la válvula de agua de pulverización.

La carga por resorte del tapón interno de la boquilla de pulverización impide cualquiera de estas variaciones al forzar el cierre del tapón cuando se produce vaporización. Cuando se produce vaporización varía la compresibilidad del fluido, y el resorte de la boquilla fuerza el cierre y la represurización de la sección del fluido. Al finalizar esto, el fluido recupera sus propiedades líquidas y restablece el flujo al condensador.

Figura 7.11 Boquilla de pulverización activada por contrapresión de geometría variable

La válvula de acondicionamiento de vapor inyecta el agua de pulverización en el centro del conducto y alejada de la pared del conducto. El número de puntos de inyección depende de la aplicación. Con diferenciales altos en la presión del vapor, el tamaño de la salida de la válvula aumenta de forma notable para dar cabida a los volúmenes específicos mayores. En consecuencia, se dispone un número mayor de boquillas en torno a la circunferencia de la salida para una distribución más homogénea y completa del agua de pulverización.

La disposición de internos simplificada en la válvula de acondicionamiento de vapor permite ampliar su uso a temperaturas de funcionamiento y clases de presión superiores (hasta ANSI Clase 2500 o superior). Su configuración de obturador balanceado proporciona un cierre de Clase V y una característica de flujo lineal.

La válvula de acondicionamiento de vapor utiliza habitualmente actuadores de pistón neumático de alto rendimiento en combinación con un controlador de válvula digital para obtener un desplazamiento completo en menos de 2 segundos a la vez que preserva una respuesta escalonada precisa.

Si el sistema de canalización lo requiere, la válvula de acondicionamiento de vapor se puede proporcionar en componentes separados, permitiendo el control de presión en el cuerpo de la válvula y una reducción de temperatura aguas abajo mediante un enfriador de vapor. También se pueden proporcionar cuerpos de globo fundidos para su uso en combinación con atemperadores de estilo inserción para fines de reducción de costos.

7.4.1 Atemperador de vapor

El atemperador de vapor (Figura 7.12) se utiliza habitualmente cuando una aplicación requiere el funcionamiento separado de atemperación y de la reducción de presión. El enfriador de vapor incorpora un colector de suministro de agua. El colector (también es posible la integración de varios colectores) proporciona un flujo de agua de enfriamiento a varias boquillas de pulverización individuales instaladas en la pared de conducto de la sección de salida. El resultado es un rociado fino inyectado de forma radial en el punto de turbulencia alta del flujo axial de vapor. La combinación de una zona superficial de contacto extensa de agua y una turbulencia alta del vapor produce una mezcla eficaz y una vaporización rápida.

Figura 7.12 Atemperador de estilo anillo con revestimiento

7.4.2 Rociador de vapor

Los rociadores de vapor (Figura 7.13) son dispositivos reductores de presión utilizados para descargar vapor de forma segura en un condensador o un conducto de escape de turbina. Además, el rociador de vapor proporciona contrapresión a la válvula de bypass de turbina, limita la velocidad del vapor y permite utilizar un un conducto de tamaño menor entre la válvula de bypass y el rociador. El diseño y la instalación del rociador son dos aspectos esenciales al considerar el ruido general del sistema. El diseño del rocador es esencial para el funcionamiento adecuado del sistema de bypass de turbina. Para tratar el ruido generado por flujo, los rociadores de vapor pueden utilizar varias tecnologías de reducción de ruido. ■

Figura 7.13 Rociador de vapor con tecnología de control de ruido del orificio taladrado

7.5 Descripción de los sistemas de bypass de turbina

El sistema de bypass de turbina ha evolucionado durante las últimas décadas en consonancia con los cambios en el funcionamiento de las centrales eléctricas. Se utiliza de forma habitual en compañías eléctricas que requieren una respuesta rápida a grandes oscilaciones en la demanda de energía. Una jornada típica en el funcionamiento de una central eléctrica puede comenzar con una carga mínima, aumentar a la capacidad máxima durante la mayor parte de la jornada, volver con rapidez al suministro mínimo para volver otra vez al rendimiento máximo, todo ello dentro de un periodo de 24 horas. Las calderas, las turbinas, los condensadores y otro equipo asociado no pueden responder de forma adecuada a cambios tan rápidos sin algún tipo de sistema de bypass de turbina.

El sistema de bypass de turbina permite que la caldera funcione de forma independiente de la turbina. En el modo de arranque, o con una reducción rápida del requisito de producción, el bypass de turbina no solo proporciona un paso de flujo alternativo para el vapor, sino que regula el vapor a la misma presión y temperatura generalmente producidas por el proceso de expansión de la turbina. Al proporcionar un paso de flujo alternativo para el vapor, el sistema de bypass de turbina protege la turbina, la caldera y el condensador de daños que se pudieran producir por las variaciones térmicas y de

presión. Por ello, varios sistemas de bypass de turbina requieren unos tiempos de respuesta de apertura y cierre muy rápidos para proporcionar la mayor protección del equipo. Esto se obtiene con un sistema de accionamiento que proporciona las fuerzas y los controles para tal tarea.

Además, para la puesta en servicio de una central nueva, el sistema de bypass de turbina permite el arranque y la comprobación de la caldera de forma independiente a la turbina.

Esto permite una puesta en servicio de central más rápida, ofreciendo beneficios económicos atractivos. Otra implicación es que este sistema de bucle cerrado puede evitar pérdidas a la atmósfera de agua de alimentación tratada y reducir las emisiones de ruido ambientales. ■

7.6 Componentes del sistema de bypass de turbina

Los elementos principales de un sistema de bypass de turbina son las válvulas de bypass de turbina, las válvulas de control de agua de bypass de turbina y el sistema de accionamiento.

7.6.1 Válvulas de bypass de turbina

Bien para aplicaciones con presión baja, intermedia o alta, las válvulas de bypass de turbina habitualmente requieren un cierre hermético (Clase V). Debido a estos requisitos específicos de instalación, estas válvulas de diseño colector se separan ocasionalmente en dos piezas; la sección de reducción de presión de la válvula y la sección de enfriamento de colector/salida, situada más próxima al condensador.

La selección de una válvula de control de bypass de turbina requiere en primer lugar comprender los objetivos de rendimiento que se deben alcanzar, la geometría de canalización real ya presente o planificada, y determinar los controles de proceso necesarios. Tras conocer estos aspectos, se pueden incorporar otros factores como el tamaño y tipo de válvula de control, los requisitos de control y presión de flujo, requisitos de especificaciones de ruido, requisitos de material y las prácticas operativas del proceso. Hay múltiples variaciones posibles, desde cuerpos de globo separados con atemperadores aguas abajo a dispositivos que integran el control de presión y de la temperatura en una sola unidad.

Los diseños de válvula de bypass de turbina pueden variar notablemente, así como las aplicaciones que deben afrontar. Cada uno presenta características u opciones específicas que proporcionan un funcionamiento eficiente para una gran variedad de condiciones y requisitos especificados por el comprador. Las válvulas de bypass de turbina se personalizan para instalaciones específicas de forma habitual. En contadas ocasiones se pueden encontrar dos instalaciones de válvulas de bypass de turbina idénticas.

Se pueden seleccionar cuerpos de válvula de globo o de ángulo separados con dispositivos de atemperación aguas abajo que se instalan con facilidad en las arquitecturas de canalización ya presentes. Las válvulas de control de vástago deslizante se diseñan para proporcionar un control preciso del flujo. También integran internos de reducción de ruido, a menudo necesarios para las amplias caídas de presión presentes en sistemas de descarga de presión y de bypass de turbina. Esta estrategia es adecuada para rangos de aplicación moderados a exigentes.

7.6.2 Válvulas de control de agua de bypass de turbina

Estas válvulas son necesarias para controlar el flujo de agua que va a las válvulas de bypass de turbina. Debido a requisitos de protección de equipo, es obligatorio que estas válvulas presenten un cierre hermético (Clase V). Los requisitos de internos de la válvula pueden ir desde estilos de internos estándar a de reducción de cavitación.

7.6.3 Accionamiento

Es una práctica habitual en sistemas de bypass típicos indicar a las válvulas de derivación que realicen una apertura predefinida de acuerdo con la demanda de caudal predefinida durante un evento de central. No obstante, las válvulas deben permanecer en modo manual durante un periodo específico hasta que los sistemas se estabilicen antes de pasar al funcionamiento automático. Esto requiere algoritmos y una lógica de control especializadas que aumentan la complejidad del funcionamiento que, hasta hace unos años, era inevitable.

No obstante, en el mercado energético actual se están forzando los límites de los sistemas de bypass de turbina. En lugar de estar atento para poner las válvulas de derivación en modo manual durante un evento de central, las instalaciones están empleando un accionamiento de alto rendimiento para responder con un control rápido y preciso a las distintas demandas de la central.

Las válvulas de bypass de turbina deben ofrecer una reacción rápida para proteger las turbinas esenciales, y de alto costo, de daños durante las transiciones. También deben ser precisas para permitir el funcionamiento con la eficacia máxima.

Comprender los requisitos de velocidad y control del desplazamiento puede requerir paquetes de accionamiento complejos diseñados para satisfacer los requisitos del proceso. Generalmente se requieren de 2 a 4 segundos para modificar la posición de la válvula desde cualquier posición al 85 - 100% de la carrera. Se requiere una tecnología de accionamiento precisa no solo para activar la válvula con rapidez sino para también hacerlo con una precisión de posicionamiento superior al 1% incluso para válvulas de control de gran tamaño.

La configuración y el ajuste se debe realizar en unos minutos, y la capacidad de hacerlo de forma remota es muy recomendable. En cuanto al software, esto se realiza mediante paquetes de software que proporcionan parámetros de ajuste con una configuración específica para este tipo de válvulas. Los parámetros se deben ajustar para optimizar la respuesta a pasos con un intervalo pequeño al anular el punto de ajuste, ajustar la respuesta de forma asimétrica para una configuración independiente de los tiempos de apertura y cierre, e integrar gráficos en tiempo real para permitir el ajuste remoto.

En cuanto al hardware, se dispone de soluciones neumáticas o hidráulicas para realizar esta difícil tarea. Ambas soluciones presentan una amplia adopción en el sector, y se pueden configurar para alcanzar un mismo objetivo con unos requisitos de mantenimiento mínimos. ■

Figura 7.14 Paquete de accionamiento típico de uso en aplicaciones de bypass de turbina

Capítulo 8

Instalación y mantenimiento

La eficiencia de la válvula de control afecta de forma directa a la rentabilidad de la planta de procesos. A menudo se ignora el papel que tiene la válvula de control en la optimización de procesos. Muchos responsables de planta de procesos centran la mayoría de recursos en sistemas de control distribuido y sus funcionalidades para la optimización de la eficiencia de la producción. No obstante, es el elemento de control final (habitualmente una válvula de control) el que realmente produce un cambio en la variable de los procesos. Si la válvula no funciona de forma adecuada, ninguna cantidad de electrónica avanzada en la etapa inicial corregirá problemas producidos en la válvula. Como demuestran varias investigaciones, a menudo se ignora la importancia de las válvulas de control hasta el punto de convertirlas en el eslabón débil en el esquema de control de procesos.

Las válvulas de control deben funcionar de forma adecuada, sin importar la complejidad del sistema de automatización o la precisión de los instrumentos. Un funcionamiento adecuado de válvula permite obtener un rendimiento elevado, productos de calidad, el máximo de beneficios y un ahorro energético.

La optimización de la eficiencia de la válvula de control depende de:

1. Seleccionar la válvula de control adecuada para la aplicación.
2. Almacenamiento y protección adecuados.
3. Técnicas de instalación adecuadas.
4. Un programa de mantenimiento predictivo eficaz.

La selección de la válvula de control se trata en el Capítulo 5. El almacenamiento y la protección adecuados, las técnicas de instalación y el mantenimiento predictivo se detallan en este capítulo. ■

8.1 Almacenamiento y protección adecuados

El almacenamiento y la protección adecuados se debe considerar en las primeras fases del proceso de selección, antes del envío de la válvula. Habitualmente, los fabricantes poseen estándares de empaquetado que dependen del destino y periodo de almacenamiento previsto antes de la instalación. Debido a que la mayoría de las válvulas llegan su destino con cierta antelación antes de la instalación, se pueden evitar varios problemas si los detalles de la planificación de la instalación se comparten y abordan con el fabricante en la fase de selección de válvula. Además, es recomendable disponer medidas especiales de precaución para el momento de entrega de la válvula en su destino final. Por ejemplo, la válvula se debe almacenar en un entorno limpio y seco alejado de cualquier zona de tránsito o actividad que pudiera dañar la válvula. ■

8.2 Técnicas de instalación adecuadas

Observe en todo momento las instrucciones de instalación de la válvula de control y medidas de precaución indicadas por el fabricante. A continuación se resumen las instrucciones habituales.

8.2.1 Lea el manual de instrucciones

Antes de instalar la válvula, lea el manual de instrucciones. Los manuales de instrucciones describen el producto y abordan problemas de seguridad y precauciones que se adoptar antes y durante la instalación. Observar las directrices proporcionadas en el manual facilita garantizar una instalación sencilla y correcta.

8.2.2 Compruebe la limpieza del conducto

Las partículas extrañas en el conducto pueden dañar la superficie de asiento de la válvula o incluso obstruir el desplazamiento del obturador, bola o disco de la válvula, impidiendo un cierre adecuado. Para reducir la posibilidad de que se produzca una situación de riesgo, limpie todos los conductos antes de la instalación. Asegúrese de eliminar las incrustaciones en el conducto, partículas metálicas, escoria de soldadura y otras partículas extrañas. Además, inspeccione las bridas de conducto

para garantizar una superficie de estanqueidad uniforme. Si la válvula presenta conexiones de extremo atornillado, aplique un compuesto sellante de conducto de grado óptimo en las roscas macho del conducto. No utilice sellante para las roscas hembra ya que la porción sobrante de un compuesto aplicado a ellas podría ser empujado al interior del cuerpo de la válvula.

El sobrante del compuesto podría generar adherencia en el obturador de la válvula o la acumulación de suciedad, que podría impedir el cierre adecuado de la válvula.

Figura 8.1 Flecha ilustrando la dirección del flujo para una válvula de bola de asiento metálico

8.2.3 Inspeccione la válvula de control

Aunque los fabricantes de válvulas adoptan medidas para evitar daños en el transporte, es posible que se produzcan, y se debería detectar e informar de ellas antes de instalar la válvula.

No instale una válvula de control si se conoce que ha sufrido daños durante el transporte o el almacenamiento.

Antes de la instalación, compruebe y retire todos los topes instalados para el envío así como tapones de protección o cubiertas de superficie de junta. Inspeccione el interior del cuerpo de la válvula para comprobar que no hay partículas extrañas.

8.2.4 Aplique prácticas recomendadas de canalización

La mayoría de las válvulas de control se pueden instalar en cualquier posición. No obstante, el método más extendido es con el actuador en posición vertical sobre el cuerpo de la válvula. Si se requiere el montaje en horizontal del actuador, considere utilizar un soporte vertical adicional para el actuador. Asegúrese de que el cuerpo se instala de forma que la dirección del flujo de fluido sea la indicada por la flecha de dirección de flujo (Figura 8.1) o en el manual de instrucciones.

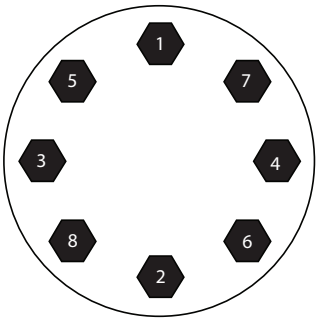


Figura 8.2 Apriete los pernos siguiendo un patrón cruzado

Asegúrese de dejar un espacio amplio sobre y bajo la válvula para facilitar la extracción del actuador o del obturador de la válvula para las tareas de inspección y mantenimiento. Habitualmente, el fabricante de la válvula proporciona las distancias de holgura en forma de ilustraciones de medidas homologadas. Para cuerpos de válvula con brida, compruebe que las bridas presentan un alineamiento correcto que permite un contacto uniforme de las superficies de junta. Tire suavemente de los pernos hacia arriba después de disponer el alineamiento adecuado de la brida. Realice su apriete final siguiendo un patrón cruzado (Figura 8.2). Un apriete adecuado evitará la aplicación de una carga no uniforme sobre la junta y reducirá la posibilidad de fugas. También facilitará evitar los riesgos de daños o incluso rotura de la brida. Esta precaución es particularmente importante al conectar bridas que no son del mismo material que las bridas de la válvula.

Las tomas de presión instaladas aguas arriba y abajo de la válvula de control permiten comprobar la capacidad de flujo o la caída de presión. Sitúe tales tomas en tramos rectos del conducto, alejadas de codos, reductores o expansores. Esta disposición reduce las imprecisiones derivadas de la turbulencia del fluido.

Utilice tubos o conductos de 6 o 10 milímetros (1/4 o 3/8 pulg) entre la conexión

de presión del actuador a los instrumentos. Mantenga esta distancia relativamente corta y reduzca el número de racores y codos para reducir el retardo del sistema. Si la distancia es obligatoriamente larga, utilice un posicionador de válvula o un amplificador de caudal para reducir cualquier retardo.

8.2.5 Internos de puesta en servicio/ hidro/cavitación

Al soldar en línea válvulas de extremo de soldadura a tope o por enchufe, se deben retirar los internos de la válvula de control para evitar dañar las piezas de los internos. También se deben sustituir los internos por unos internos temporales que desechar mientras se realiza la prueba hidrostática del sistema y su purga.

Nota: *Es muy recomendable no instalar los internos finales para la aplicación hasta soldar la válvula en línea, purgar, y realizar la prueba hidrostática del conducto.*

Habitualmente, existen requisitos de purga o de prueba hidrostática tras soldar la o las válvulas en línea. No es extraño que el sistema hidrostático se conforme a normas que exijan realizar una prueba hidrostática a 1-1/2 veces la presión del funcionamiento en frío del sistema o presión para la que fue diseñada. Generalmente, los únicos componentes de válvula que pueden experimentar un efecto dañino debido a este nivel de presión hidrostática (suponiendo que la válvula está en posición abierta durante el proceso) son las empaquetaduras del vástago de válvula. La empaquetadura PTFE puede presentar cierta extrusión derivada de una prueba hidrostática a presión alta, y por ello se recomienda al menos sustituir las empaquetaduras PTFE tras una prueba hidrostática.

No es necesario sustituir una empaquetadura de grafito si la válvula va a reanudar su servicio en un periodo breve. Dejar una empaquetadura de grafito mojada en una válvula inactiva durante un periodo prolongado puede producir la corrosión galvánica del vástago de la válvula.

No obstante, debido a que habitualmente se purga el sistema en el mismo momento, se debe instalar un juego de internos temporal para afrontar la prueba hidrostática y la purga.

Con algunas válvulas de control y válvulas de acondicionamiento de vapor, el proceso de purga no atraviesa la válvula desde su entrada hasta su salida. Debido al diseño de la válvula o la aplicación, la purga puede acceder por la entrada o la salida de la válvula (dependiendo de la configuración) y salir por la apertura del bonete. Este tipo de internos para la purga se conoce habitualmente como internos de purga ("blow down") o de expulsión ("blow out").

La purga del sistema presenta ciertas características que pueden dañar los internos de la válvula de control. Algunas de ellas pueden incluir el paso de escoria de soldadura, óxido, corrosión, etc., a través de la válvula. Estos materiales pueden dañar la superficie de asiento de la válvula, y posiblemente obstruir orificios taladrados o internos de disco apilados. Por ello, se recomienda en cualquier caso retirar los internos de la válvula e instalar algún tipo de internos desechables para la purga. Después de soldar válvulas en línea, habitualmente hay escoria de soldadura en el interior del conducto además de la escoria desprendida del interior de la canalización de la válvula debido a las temperaturas generadas por el proceso de soldadura. Si este material fluyese por la válvula, posiblemente obstruirá los internos de la válvula y dañará la integridad del asiento de la válvula. ▪

8.3 Mantenimiento de la válvula de control

Observe en todo momento las instrucciones del fabricante para el mantenimiento de la válvula de control . Aquí puede ver un resumen de los aspectos típicos del mantenimiento.

La optimización de los activos de válvula de control dependen de una gestión y planificación del mantenimiento eficientes. A continuación se detallan las tres estrategias básicas:

Reactiva - Se adoptan medidas tras producirse el hecho. Se espera a que algo ocurra con la válvula, y después se repara o sustituye.

Preventiva - Se adoptan medidas siguiendo una planificación temporal, esto es, se

intenta evitar que ocurra un acontecimiento negativo.

Predictiva - Se adoptan medidas con base en dispositivos de análisis y pruebas de diagnóstico vanguardistas y no intrusivas, o se utilizan instrumentos inteligentes.

Aunque los programas reactivos y preventivos funcionan, no optimizan el rendimiento potencial de la válvula. A continuación se detallan algunas de las desventajas de cada estrategia.

8.3.1 Mantenimiento reactivo

El mantenimiento reactivo impide detectar y tratar insuficiencias sutiles ya que simplemente no existe ninguna indicación de problema clara. Es posible desatender incluso válvulas esenciales hasta que presentan un exceso de fugas o un desplazamiento inadecuado. En algunos casos, la información proporcionada por la producción permite que se realice el mantenimiento antes de que algunos problemas graves evolucionen, pero es posible que se retiren válvulas de forma innecesaria debido a sospechas de funcionamiento defectuoso. Las válvulas de gran tamaño o aquellas soldadas en línea pueden requerir un día o más para su extracción, desmontaje, inspección y reinstalación. Es posible malgastar tiempo y recursos sin solucionar el problema en caso de que los síntomas sean provocados por otra parte del sistema.

8.3.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es generalmente una mejora notable. No obstante, debido a que los calendarios de mantenimiento se realizan sin obtener mucha información sobre las válvulas en funcionamiento, muchas plantas simplemente reacondicionan todas las válvulas de control conforme a un calendario rotativo. Esta planificación produce que se preste servicio a algunas válvulas que no precisan reparación o ajuste, omitiendo otras en el sistema que no presentan un funcionamiento eficiente desde hace tiempo.

8.3.3 Mantenimiento predictivo

A día de hoy, los operadores de planta extienden el periodo entre inspecciones generales a 3 o 4 años, incluso más, para maximizar el tiempo de funcionamiento de la planta. Estos periodos prolongados de funcionamiento presentan menos oportunidades para los diagnósticos de válvula tradicionales fuera de servicio.

El proceso de mantenimiento tradicional se compone de 4 modos diferenciados:

Detección de fallos - La mayoría de las tareas de mantenimiento de válvula se destinan a su monitorización durante el servicio para detectar la aparición de un fallo. Cuando se detecta un fallo, el proceso de mantenimiento pasa a la fase de identificación del fallo.

Identificación del fallo - Durante este modo, se analizan los aspectos funcionales de la válvula para determinar la causa del fallo y definir un plan de medidas correctivas.

Recuperación del proceso - Las medidas correctivas se ponen en práctica para corregir el origen del fallo.

Validación - En este modo final se analizan los aspectos funcionales de la válvula con respecto a su estado como nuevo o el último estado de referencia definido. Tras superar la validación, el proceso de mantenimiento vuelve al estado de detección de fallos.

8.3.4 Uso de los diagnósticos de válvula de control

La aparición de instrumentos basados en microprocesador con funcionalidades de diagnóstico en servicio ha permitido a las empresas rediseñar sus prácticas de tareas de mantenimiento de válvula de control.

Estos dispositivos digitales optimizan de forma notable la detección de fallos y acciones de identificación respecto a los programas de mantenimiento tradicionales.

Por ejemplo, los diagnósticos en servicio (Figura 8.3) pueden detectar problemas de calidad del aire instrumental, fugas y restricciones de la presión de suministro, así

como identificar problemas de válvula como una fricción excesiva, banda muerta o pérdida de calibración. Cuando se ha identificado el problema se informa de su gravedad, se enumeran las causas posibles y se proporciona un plan de medidas. Habitualmente, estos diagnósticos ofrecen como resultado uno de los tres estados siguientes:

- No se ha detectado ningún fallo (estado verde). La válvula debe seguir en servicio, y la monitorización debe continuar.
- Una advertencia de detección de fallo, pero el control permanece sin cambios (estado amarillo). Esta es una indicación predictiva de que el problema detectado podría afectar al control, y que se debe planificar un mantenimiento futuro.
- Un informe de fallo sobre la detección de un fallo que afecta al control (estado rojo). Generalmente, esto fallos requieren una atención inmediata.

De forma más específica, los diagnósticos en servicio supervisan fugas de aire instrumental, presión de suministro, desviación de la carrera y ajuste de relé, calidad del aire instrumental, fricción, etc.

8.3.4.1 Fuga de aire instrumental

Los diagnósticos de caudal másico de aire miden el flujo de aire instrumental a través del conjunto del actuador. Mediante varios sensores, este diagnóstico puede detectar un caudal másico de aire positivo (alimentación) y negativo (escape) desde el controlador de válvula digital. Este diagnóstico no solo detecta fugas en el actuador o canalización asociada, sino también problemas mucho más complejos. Por ejemplo, para actuadores de pistón, el diagnóstico de caudal másico de aire puede detectar juntas de pistón con fugas, o juntas tóricas dañadas.

8.3.4.2 Presión de suministro

El diagnóstico de presión de suministro detecta problemas de válvula de control asociados a la presión de suministro. Este diagnóstico en servicio detecta lecturas de presión de suministro alta y baja. Además de comprobar si la presión de suministro es adecuada, este diagnóstico también permite detectar y medir reducciones de la alimentación de aire durante variaciones amplias de la carrera. Es particularmente útil para identificar restricciones en el conducto de alimentación.

8.3.4.3 Desviación de la carrera y ajuste del relé

El diagnóstico de desviación de la carrera permite monitorizar la presión del actuador y la desviación de la carrera respecto al punto de ajuste. Este diagnóstico es útil

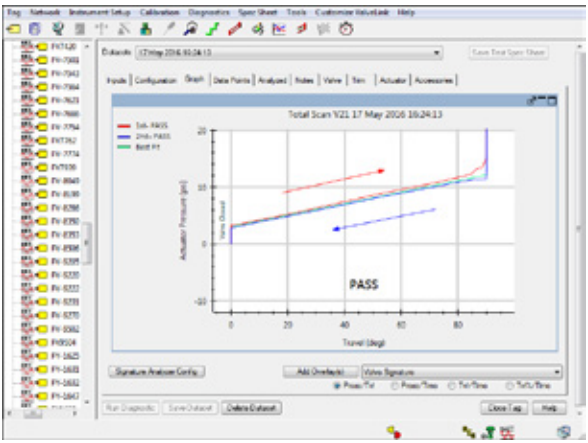


Figura 8.3 Programa de diagnósticos no intrusivos para el mantenimiento predictivo

para detectar una válvula de control atascada, interbloqueos activos, una presión de suministro baja o variaciones en la calibración de la carrera.

El diagnóstico de ajuste del relé permite monitorizar presiones cruzadas en actuadores de acción doble. Si la presión cruzada es demasiado baja, el actuador pierde rigidez, haciendo posible que las fuerzas de los procesos modifiquen la posición del obturador de válvula. Si la presión cruzada presenta un ajuste demasiado alto, las dos cámaras estarán próximas al estado de alimentación, las fuerzas neumáticas serán prácticamente iguales, la fuerza del resorte será dominante y el actuador pasará a su posición de fallo de resorte.

8.3.4.4 Calidad del aire instrumental

El diagnóstico de monitorización de I/P y relé permite identificar problemas como la obturación en I/P principal o en la boquilla de I/P, fallos del diafragma instrumental, fallos de la junta tórica instrumental de I/P, y variaciones en la calibración de I/P. Este diagnóstico es particularmente útil para identificar problemas derivados de partículas contaminantes en el suministro de aire y de temperaturas extremas.

8.3.4.5 Fricción en servicio y tendencias de fricción

El diagnóstico de fricción en servicio y de banda muerta determina la fricción en el conjunto de válvula durante su control por el sistema de control. Se recopilan datos de diagnósticos de fricción y se define la tendencia para detectar cambios de válvula que puedan afectar al control de procesos.

8.3.4.6 Otros ejemplos

Se pueden configurar los diagnósticos en servicio personalizados para recopilar y representar en una gráfica cualquier variable medible de una válvula inteligente. Los diagnósticos personalizados permiten ubicar e identificar fallos indetectables por otros medios. A menudo, estos fallos son complejos y requieren especialistas externos. En tales casos, el personal de mantenimiento local recopila los datos y los remiten a un especialista de monitorización de estado de válvula para un análisis adicional. Así, se evitan los costos y retrasos inherentes a una visita a las instalaciones.

8.3.5 Desarrollo continuo de diagnósticos

En general, los sectores de procesos continuarán exigiendo una mayor eficiencia en los ámbitos de calidad, rendimiento y fiabilidad. De forma individual, los productores continuarán prolongando los periodos entre inspecciones generales. Estas exigencias reducen las oportunidades disponibles de prestar servicios de reparación de instrumentos. La solución inevitable a este déficit será el desarrollo futuro de diagnósticos centrados en funcionalidades de análisis y prueba en servicio no intrusivos, como la monitorización del estado de la válvula.

La capacidad de analizar el rendimiento de la válvula mediante los diagnósticos en servicio optimiza la planificación de las inspecciones generales, ya que la información recopilada se puede utilizar para delimitar el mantenimiento que requiere la válvula, y determinar qué válvulas presentan un estado óptimo.

Figura 8.4 Actuador de diafragma y resorte típico

Una solución es el uso de instrumentos de válvula inteligente basadas en microprocesador que analizan el estado de funcionamiento del conjunto de válvula de control durante su servicio. Los datos se recopilan sin interferir con las tareas de procesado

habituales. Esta tecnología analiza la información en tiempo real, proporcionando recomendaciones de mantenimiento para cada problema de funcionamiento identificado de la válvula. ■

8.4 Servicio y piezas para la reparación

8.4.1 Repuestos recomendados

Muchas empresas identifican piezas como repuestos recomendados y proporcionan una lista de estas piezas para una válvula o actuador dado. Esta lista se denomina "Lista de repuestos recomendados" (RSPL, Recommended Spare Parts List). La lista se basa en la noción de que algunos componentes se desgastarán. Estos componentes son las piezas que realizan el trabajo. En una válvula puede ser un elemento de control (p.ej., obturador/vástago, jaula, disco, bola, flecha, cojinetes, etc.) o las piezas de sellado (p.ej., asiento, anillo de sello, junta de equilibrio, empaquetadura, etc.). En un actuador puede ser el diafragma, las juntas tóricas, los bujes, etc.

El usuario debe considerar adquirir y almacenar los repuestos recomendados para su disponibilidad cuando la válvula requiera mantenimiento. Debido a que puede ser una inversión notable y un gran número de piezas, se deben considerar varios factores al decidir qué almacenar. El primer factor es considerar la importancia de la válvula o activo. El segundo es considerar el riesgo de que la unidad no funcione de la forma prevista durante un periodo dado fuera de servicio del activo. El tercero es la disponibilidad de las piezas necesarias, si se encuentran en las instalaciones o a través del fabricante de forma rápida.

Es posible que el fabricante pueda proporcionar una lista estable de repuestos donde se identifican piezas que se pueden utilizar en varias válvulas. Si realiza un pedido de piezas para modificar el diseño original debido a cambios en las características del proceso u otros factores, informe a su socio comercial o centro de ventas de Emerson sobre el número de serie que va a modificar. Esto nos permite actualizar la tarjeta serie para reflejar los cambios nuevos y garantizar que la siguiente vez que realice un pedido de piezas, reciba las adecuadas y pueda eliminar un periodo adicional fuera de servicio.

8.4.2 Uso de piezas del fabricante original del equipo (OEM, Original Equipment Manufacturers)

Para preservar la seguridad e integridad de la planta y garantizar el rendimiento previsto por el diseño de la válvula, es obligatorio obtener las piezas de mantenimiento del OEM. El OEM o su agente autorizado son las únicas fuentes que disponen de las especificaciones requeridas para las piezas de mantenimiento.

8.4.3 Considere actualizar los internos de la válvula

Durante el ciclo de mantenimiento, siempre es esencial inspeccionar las piezas y considerar si es necesario actualizarlas. Las consideraciones pueden ser el ruido de la válvula durante su funcionamiento, daños excesivos en los internos, o si los parámetros de funcionamiento del sistema han variado respecto al diseño original. Hay varios casos en los que modificar los internos de la válvula pueden corregir estos problemas. ■

8.5 Mantenimiento del actuador

8.5.1 Actuadores de diafragma y resorte

La mayoría de los actuadores de diafragma y resorte neumáticos (Figura 8.4) utilizan un diafragma moldeado. El diafragma moldeado facilita la instalación, proporciona una sección efectiva relativamente uniforme en todo el desplazamiento de la válvula y permite un desplazamiento mayor que el posible con un diafragma de chapa plana. El aire dirigido al diafragma proporciona la fuerza del actuador en una dirección, y el resorte proporciona la fuerza en la dirección opuesta. Debido a que el aire solo proporciona la fuerza en una dirección, a menudo estos actuadores se denominan actuador de acción sencilla.

8.5.2 Actuadores de pistón

Los actuadores de pistón utilizan un pistón con una junta tórica o anillos de junta de sección en "X" dentro del cilindro. El aire se puede suministrar a los dos lados del pistón para proporcionar la fuerza del actuador en cualquier dirección, siendo denominados actuadores de acción doble. Un actuador de pistón también puede utilizar un resorte para sustituir al aire en un lado del pistón o proporcionar fuerza adicional a la proporcionada por el aire.

8.5.3 Empaquetadura del vástago

La empaquetadura (Figura 8.5), que proporciona el cierre a presión en torno al vástago de un cuerpo de válvula de estilo globo o estilo ángulo, se debe sustituir si aparecen fugas en torno al vástago, o si la válvula se desmonta por completo para su mantenimiento o inspección. Antes de aflojar las tuercas de la empaquetadura, compruebe que no hay presión en el cuerpo de la válvula.

Figura 8.5 Conjuntos de empaquetadura del vástago de válvula típicos

Retirar la empaquetadura sin retirar el actuador es una tarea compleja y no recomendada. Asimismo, no intente expulsar los anillos de empaquetadura antiguos aplicando presión en el orificio de engrase del bonete. Esto presenta riesgos y no funciona de forma óptima, ya que muchos conjuntos de empaquetadura disponen aproximadamente la mitad de sus anillos bajo el orificio de engrase.

Un método más recomendado es retirar el actuador y el bonete de la válvula y tirar del vástago hacia fuera. Empuje la empaquetadura antigua hacia fuera por la parte superior del bonete. No utilice el vástago de la válvula ya que hay riesgo de dañar las roscas.

Limpie el prensaestopas. Compruebe si el vástago presenta signos de raspaduras o imperfecciones que pudieran dañar la empaquetadura nueva. Compruebe los internos y otras piezas de la forma adecuada. Después de volver a montar, apriete el empernado del cuerpo y bonete en una secuencia similar a la descrita anteriormente en este capítulo para las bridas.

Deslice las piezas de empaquetadura nueva sobre el vástago en el orden adecuado, evitando que las roscas del vástago dañen los anillos de empaquetadura. Ajuste la empaquetadura siguiendo las instrucciones del fabricante.

8.5.4 Anillos del asiento

Las condiciones de servicio exigentes pueden dañar la superficie de asiento de el o los anillos de asiento, evitando el cierre adecuado de la válvula. Un lapeado adecuado de las superficies de asiento corregirán el cierre si los daños no son profundos. En caso de daños profundos, sustituya el anillo de asiento.

8.5.4.1 Sustitución de anillos del asiento

Siga las instrucciones del fabricante. Los anillos del asiento se pueden enroscar en el cuerpo, fijar (sujetas mediante una jaula u otra pieza), empernadas o suspendidas (conectadas a la jaula). Para anillos de asiento roscados, utilice un extractor de anillo de asiento. Antes de intentar retirar el o los anillos de asiento, compruebe para determinar si el anillo se ha soldado por puntos al cuerpo de la válvula. De ser así, elimine la soldadura.

Para cuerpos de puerto doble, uno de los anillos de asiento es de tamaño inferior al otro. Para válvulas de acción directa (acción de empujar hacia abajo para cerrar, PDTC), instale el anillo de menor tamaño en el puerto de cuerpo más alejado del bonete

antes de instalar el anillo de mayor tamaño. Para válvulas de acción inversa (acción de empujar hacia abajo para abrir, PDTO), instale el anillo de menor tamaño en el puerto de cuerpo más próximo al bonete antes de instalar el anillo de mayor tamaño.

Retire todo el compuesto para conducto sobrante antes de apretar el anillo de asiento roscado. Suelde por puntos un anillo de asiento roscado en el lugar pertinente para garantizar que no se afloje cuando sea necesario.

8.5.4.2 Conexiones: Obturador a vástago, bola a flecha y disco a flecha

La conexión entre el elemento de control (obturador, bola o disco) y el vástago o flecha es esencial para obtener el funcionamiento seguro y previsto de la válvula. Esto puede exigir requisitos especiales para el procedimiento de instalación o montaje. Es esencial respetar las instrucciones de montaje proporcionadas por el OEM. Considere siempre adquirir obturadores y vástagos como un conjunto para garantizar un rendimiento adecuado y seguro. Una conexión inadecuada para producir un control inestable y un exceso de fugas en la empaquetadura.

8.5.5 Ajuste de banco

El ajuste de banco es la compresión inicial aplicada al resorte del actuador con un ajustador de resorte. Para válvulas de aire para abrir, el ajuste de banco inferior determina la cantidad de fuerza disponible y la presión requerida para iniciar el desplazamiento de apertura de válvula. Para válvulas de aire para cerrar, el ajuste de banco inferior determina la presión requerida para iniciar el desplazamiento de cierre de válvula. La fuerza de asiento se determina por la presión aplicada restando el ajuste de banco y la compresión del resorte debida al desplazamiento (Figura 8.6). Debido a las tolerancias del resorte, pueden existir variaciones en el ángulo del resorte. El ajuste de banco, cuando la válvula está asentada, requiere la precisión máxima. Consulte las instrucciones del fabricante para ajustar el resorte.

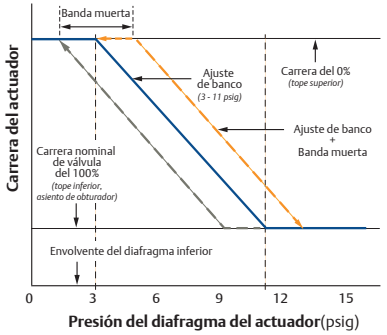


Figura 8.6 Fuerza de asiento de ajuste de banco

8.5.6 Desplazamiento de válvula

Un desplazamiento de válvula adecuado es esencial para obtener un rendimiento adecuado de la válvula de control. Un desplazamiento insuficiente puede impedir que la válvula proporcione el caudal previsto. El sobredesplazamiento puede reducir la carga de asiento del actuador, afectando al cierre y provocando daños en los internos. Otro problema achacado al sobredesplazamiento es que el obturador puede contactar con la parte inferior del bonete, provocando que se tire del vástago hacia fuera del obturador. El desplazamiento de válvula de vástago deslizante tiene un mayor peso que el desplazamiento de válvula rotativa. Por ello, es esencial atender a los detalles al ajustar el desplazamiento de válvula de vástago deslizante. Consulte el manual de instrucciones del fabricante para el procedimiento adecuado de ajuste del desplazamiento de válvula. ■

Capítulo 9
Normas y homologaciones

9.1 Normas referentes a las válvulas de control

Son numerosas las normas que se aplican a las válvulas de control. Las normas internacionales y mundiales son cada vez más importantes para las empresas que participan en los mercados globales. A continuación se enumeran los códigos y normas que han sido o serán importantes en el diseño y la aplicación de válvulas de control.

9.1.1 American Petroleum Institute (API) (Instituto Estadounidense del Petróleo)

- Espec. 6D, Especificación de válvulas de tuberías (válvulas de compuerta, obturadoras, de bola y de retención)
- 598, Inspección y prueba de válvulas
- 607, Prueba pirométrica de válvulas de cuarto de vuelta con asiento suave
- 609, Válvulas de mariposa de tipo orejeta y oblea

9.1.2 American Society of Mechanical Engineers (ASME) (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos)

- B16.1, Bridas de tubo y accesorios bridados de hierro fundido
- B16.4, Accesorios roscados de fundición gris
- B16.5, Bridas de tubos y accesorios bridados (para acero, aleaciones de níquel y otras aleaciones)
- B16.10, Medidas de superficie a superficie y de terminal a terminal de las válvulas (consulte las normas ISA sobre medidas de la mayoría de válvulas de control)
- B16.24, Bridas de tubo y accesorios bridados de aleación de cobre fundido
- B16.25, Terminales soldados a tope
- B16.34, Válvulas: bridadas, roscadas y con terminal soldado
- B16.42, Bridas de tubo y accesorios bridados de hierro dulce
- B16.47 Bridas de acero de gran diámetro (NPS 26 a NPS 60)

9.1.3 European Committee for Standardization (CEN) (Comité Europeo de Normalización)

9.1.3.1 Estándares europeos de válvulas industriales

- EN 19, Marcado
- EN 558-1, Medidas de superficie a superficie y de centro a superficie de válvulas metálicas para sistemas de tubos bridados - Parte 1: PN - Válvulas designadas
- EN 558-2, Medidas de superficie a superficie y de centro a superficie de válvulas metálicas para sistemas de tubos bridados - Parte 2: Válvulas designadas por clase
- EN 593, Válvulas de mariposa
- EN 736-1, Terminología - Parte 1: Definición de tipos de válvulas
- EN 736-2, Terminología - Parte 2: Definición de componentes de válvulas
- EN 736-3, Terminología - Parte 3: Definición de términos
- EN 1349, Válvulas de control de procesos industriales
- EN 12266-1, Prueba de válvulas - Parte 1: Pruebas, procedimientos de prueba y criterios de aceptación
- EN 12516-1, Resistencia del diseño del alojamiento - Parte 1: Método de tabulación para válvulas de acero
- EN 12516-2, Resistencia del diseño del alojamiento - Parte 2: Método de cálculo para válvulas de acero
- EN 12516-3, Resistencia del diseño del alojamiento - Parte 3: Método experimental
- EN 12627, Diseño de terminal con soldadura a tope
- EN 12760, Diseño de terminal con soldadura por enchufe
- EN 12982, Medidas de terminal a terminal para válvulas con terminal soldado a tope

9.1.3.2 Estándares de material europeos

- EN 10213-1, Condiciones técnicas del suministro de piezas de acero fundidas para aplicaciones de presión - Parte 1: Información general
- EN 10213-2, Condiciones técnicas del suministro de piezas fundidas para aplicaciones de presión - Parte 2: Grados de acero para su uso a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas
- EN 10213-3, Condiciones técnicas del suministro de piezas fundidas para aplicaciones de presión - Parte 3: Grados de acero para su uso a bajas temperaturas
- EN 10213-4, Condiciones técnicas del suministro de piezas fundidas para aplicaciones de presión - Parte 4: Grados de acero austenítico y austeno-ferrítico
- EN 10222-2, Condiciones técnicas del suministro de piezas forjadas para aplicaciones de presión - Parte 2: Aceros ferríticos y martensíticos para su uso a elevadas temperaturas
- EN 10222-3, Condiciones técnicas del suministro de piezas forjadas para aplicaciones de presión - Parte 3: Aceroníquel para bajas temperaturas
- EN 10222-4, Condiciones técnicas del suministro de piezas forjadas para aplicaciones de presión - Parte 4: Acero de grano fino
- EN 10222-5, Condiciones técnicas del suministro de piezas forjadas para aplicaciones de presión - Parte 5: Acero inoxidable austenítico martensítico y austeno-ferrítico

9.1.3.3 Estándares europeos de bridas

- EN 1092-1, Parte 1: Bridas de acero con designación PN
- EN 1092-2, Parte 2: Bridas de hierro fundido con designación PN
- EN 1759-1, Parte 1: Bridas de acero con designación de clase

9.1.4 Fluid Controls Institute (FCI) (Instituto de Control de Fluidos)

- 70-2, Fuga de asiento de válvula de control

9.1.5 Instrument Society of America (ISA) (Sociedad Estadounidense de Instrumentación)

- S51.1, Terminología referente al instrumental de procesos
- 75.01.01, Ecuaciones de flujo para el dimensionamiento de válvulas de control
- 75.02.01, Procedimientos de prueba de capacidad de válvulas de control
- 75.05.01, Terminología
- 75.07, Medición en laboratorio del ruido aerodinámico generado por las válvulas de control
- 75.08.01, Medidas de superficie a superficie para cuerpos de válvula de control estilo globo integrados (clases ANSI 125, 150, 250, 300 y 600)
- 75.08.02, Medidas de superficie a superficie para válvulas de control sin brida (clases ANSI 150, 300 y 600)
- 75.08.03, Medidas de superficie a superficie para válvulas de control de estilo globo con terminales soldados a tope y terminales roscados (clases 150, 300, 600, 900, 1500 y 2500)
- 75.08.04 Medidas de superficie a superficie de válvulas de estilo globo con terminales soldados a tope (clase 4500)
- 75.08.05, Medidas de superficie a superficie para válvulas de control de estilo globo con terminales soldados a tope (clases ANSI 150, 300, 600, 900, 1500 y 2500)
- 75.08.06, Medidas de superficie a superficie para cuerpos de válvula de control estilo globo bridados (clases ANSI 900, 1500 y 2500)
- 75.08.07, Medidas de superficie a superficie para válvulas de control estilo globo bridadas separables (clases 150, 300 y 600)
- 75.08.08, Medidas de superficie a línea central para cuerpos de válvula de control estilo globo bridados (clases 150, 300 y 600)
- 75.08.09, Medidas de superficie a superficie para válvulas de control sin brida con vástago deslizante (clases 150, 300 y 600)

- 75.11.01, Característica de flujo inherente y rangeabilidad de válvulas de control
- 75.13.01, Método para evaluar el comportamiento de posicionadores con señales de entrada analógicas
- 75.17, Predicción de ruido aerodinámico de válvulas de control
- 75.19.01, Prueba hidrostática de válvulas de control
- 75.26.01, Adquisición e informe de datos de diagnóstico de válvulas de control
- RP75.23, Consideraciones para la evaluación de cavitación de válvulas de control

9.1.6 International Electrotechnical Commission (IEC) (Comisión Electrotécnica Internacional)

La mayoría de las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) sobre válvulas de control, varias de las cuales se basan en las normas ISA, se han vuelto a publicar como normas EN y tienen el prefijo EN. La IEC recomienda su adopción a las comisiones nacionales y la retirada de las normas nacionales correspondientes. Los fabricantes y compradores aplican cada vez más las normas IEC. A continuación se enumeran las normas IEC respecto a las válvulas de control de procesos industriales (serie 60534).

- 60534-1, Parte 1: Terminología y consideraciones generales sobre las válvulas de control
- 60534-2-1, Parte 2: Capacidad de caudal - Sección uno: Ecuaciones de dimensionamiento para flujo de fluido incompresible en condiciones de instalación
- 60534-2-3, Parte 2-3: Capacidad de caudal - Sección tres: Procedimientos de prueba
- 60534-2-4, Parte 2-4: Capacidad de caudal - Sección cuatro: Características y rangeabilidad de flujo inherentes 60534-4, Parte 4: Inspección y pruebas periódicas
- 60534-5, Parte 5: Marcado
- 60534-6-1, Parte 6: Detalles sobre el montaje de posicionadores en actuadores de válvula de control - Sección 1: Montaje de posicionador en actuadores lineales
- 60534-6-2, Parte 6-2: Detalles sobre el montaje de posicionadores en actuadores de válvula de control - Sección 2: Montaje de posicionador en actuadores rotativos
- 60534-7, Parte 7: Hoja de datos de válvula de control
- 60534-8-1, Parte 8-1: Consideraciones sobre el ruido - Sección uno: Medición en laboratorio del ruido generado por el flujo aerodinámico a través de las válvulas de control
- 60534-8-2, Parte 8-2: Consideraciones sobre el ruido - Sección dos: Medición en laboratorio del ruido generado por el flujo hidrodinámico a través de las válvulas de control
- 60534-8-3, Parte 8-3: Consideraciones sobre el ruido - Sección tres: Método de predicción de ruido aerodinámico de válvulas de control
- 60534-8-4, Parte 8-4: Consideraciones sobre el ruido - Sección cuatro: Predicción del ruido generado por el flujo hidrodinámico

9.1.7 Manufacturers Standardization Society (MSS) (Sociedad de Fabricantes para la Normalización)

- SP-6, Acabados estándar de superficies de contacto de bridas de tubos y bridas de conexión de terminales de válvulas y accesorios
- SP-25, Marcado estándar de sistemas para válvulas, accesorios, bridas y uniones
- SP-44, Bridas de línea de tubos de acero
- SP -67, Válvulas de mariposa
- SP-68, Válvulas de mariposa de alta presión con diseño excéntrico
- SP-147, Norma de calidad del acero fundido empleado en válvulas de acero de clase estándar

9.1.8 NACE International

- NACE MR0175/ISO 15156, Industrias de petróleo y gas natural – Materiales usados en entornos con H2S en la producción de petróleo y gas
- NACE MR0175-2002, Materiales metálicos resistentes a fisuración por corrosión bajo tensión por acción del sulfuro para equipos de campos petrolíferos
- NACE MR0103/ISO 17945, Industrias petroleras, petroquímicas y de gas natural – Materiales metálicos resistentes a fisuración por corrosión bajo tensión por acción del sulfuro en entornos de refinado de petróleo corrosivos
- NACE MR0103, Materiales resistentes a fisuración por corrosión bajo tensión por acción del sulfuro en entornos de refinado de petróleo corrosivos
- NACE RP0472, Métodos y controles para prevenir la fisuración en servicio de soldaduras de acero al carbono en entornos de refinado de petróleo corrosivos ■

9.2 Homologaciones de producto para zonas peligrosas (clasificadas)

EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD: *La información de las secciones siguientes tiene por fin aportar una amplia descripción de las clasificaciones, tipos de técnicas de protección correspondientes y calificación de envolventes en zonas peligrosas. La información tiene un fin educativo y no debe utilizarse en sustitución de otras fuentes o documentos reguladores.*

9.2.1 Homologaciones y definiciones de zonas peligrosas

Cuando deban utilizarse equipos de válvula de control, mecánicos y eléctricos, en atmósferas de gas explosivo o en la presencia de una atmósfera de polvo explosivo, es imprescindible llevar a cabo una evaluación de riesgos de inflamación. Dicha evaluación identifica las posibles fuentes de ignición que estarán presentes o activas durante la vida útil del equipo. El conocimiento de dichas fuentes de ignición es fundamental para poder reducir el riesgo de explosión o incendio provocado por ellas.

Atmósfera de gas explosiva: Mezcla de aire, en condiciones atmosféricas, con sustancias inflamables en forma de gas o vapor, que después de la ignición permite una propagación autosostenida.

Atmósfera de polvo explosivo: Mezcla de aire, en condiciones atmosféricas, con sustancias inflamables en forma de polvo, fibra o partículas en suspensión que después del encendido permite una propagación autosostenida.

Zona (o ubicación) peligrosa: Lugar en el que se prevea la presencia de una atmósfera de gas o polvo explosivo (o ambas) en cantidades suficientes que requieran medidas de precaución especiales en la construcción, instalación y uso de equipos.

Organismo de homologación: Organización, empresa o agencia con la autoridad para conceder, autorizar o avalar determinados elementos, generalmente en forma de certificado.

Sistemas de certificación: Grupo o consenso de organismos de homologación que acuerda operar según un sistema unificado de normas y regulaciones. Ejemplos son, entre otros, la Unión Europea, Unión Económica Euroasiática, organismo IECEx, Consejo de Cooperación para los Estados Árabes del Golfo, etc. ■

9.3 Sistemas de clasificación

Se utilizan dos sistemas para clasificar las zonas peligrosas, el sistema de clases/divisiones y el sistema de zonas. El sistema de clases/divisiones es generalmente utilizado en Estados Unidos y Canadá, aunque las instalaciones nuevas pueden emplear el sistema de zonas. El resto del mundo aplica en general el sistema de zonas.

9.3.1 Sistema de clases/divisiones

Las zonas (o ubicaciones) peligrosas según el sistema de clases/divisiones se clasifican

de acuerdo con la clase, la división y el grupo.

Clase: La clase define la naturaleza general del material peligroso en la atmósfera circundante.

- **Clase I:** Lugares en los que gases o vapores inflamables están o pueden estar presentes en el aire en cantidades suficientes para generar mezclas explosivas o inflamables.
- **Clase II:** Lugares que son peligrosos por la presencia de polvo combustible.
- **Clase III:** Lugares en los que puede haber presencia de fibras o partículas en suspenso fácilmente inflamables, pero que son insuficientes para generar mezclas inflamables.

División: La división define la probabilidad de presencia de material peligroso en una concentración inflamable en la atmósfera circundante.

- **División I:** Lugares en los que hay concentraciones inflamables de material peligroso en condiciones operativas normales (de manera continua, intermitente o periódica) o frecuente debido a operaciones de reparación, mantenimiento o a causa de fugas. Probabilidad elevada.
- **División II:** Lugares en los que se supone peligro solo en condiciones anómalas. Probabilidad baja.

Grupo: El grupo define las características explosivas de la mezcla en el aire de gases, vapores o polvo del material específico en cuestión. Los grupos A, B, C y D corresponden a la clase I, en tanto que los grupos E, F y G corresponden a la clase II.

- **Grupo A:** Acetileno.
- **Grupo B:** Atmósferas cuya distancia máxima de abertura segura (MESG, maximum experimental safe gap) es inferior o igual a 0,45 mm o con una relación de corriente de encendido mínima (MIC, minimum igniting current) inferior o igual a 0.40. Algunos ejemplos son gas de hidrógeno, butadieno, óxido de etileno, acroleína y formaldehído.
- **Grupo C:** Atmósferas cuya distancia de abertura segura (MESG) es superior a 0,45 mm o con una relación de corriente de encendido mínima (MIC) superior a 0.40 pero inferior o igual a 0.80. Algunos ejemplos incluyen etileno, éter etílico, metoxietano, éter dipropílico, nitrometano e hidrazina.
- **Grupo D:** Atmósferas cuya distancia máxima de abertura segura (MESG) es superior a 0,75 mm o con una relación de corriente de encendido mínima (MIC) superior a 0.80. Algunos ejemplos son propano, gas natural, metano, amoniaco, benceno, acetona y butano.
- **Grupo E:** Atmósferas que contienen polvos metálicos combustibles como aluminio, magnesio y sus aleaciones comerciales.
- **Grupo F:** Atmósferas que contienen polvos carbonosos combustibles con un 8% o más de retención de sustancias volátiles, como negro de humo de gas natural y polvo de carbón o coque.
- **Grupo G:** Atmósferas con polvos combustibles que no estén incluidos en los grupos E o F. Los polvos típicos son harina, almidón, grano, madera, plástico y de productos químicos.

Todos los equipos eléctricos deben estar probados, marcados y homologados para el lugar peligroso concreto en el que se vayan a utilizar, por ej., clase, división y grupo en el sistema de clase/división. Esta regla tiene excepciones que se pueden encontrar en las prácticas de cableado del reglamento nacional de instalaciones eléctricas (NEC, National Electric Code) estadounidense o del reglamento canadiense de instalaciones eléctricas (CEC, Canadian Electric Code).

9.3.2 Sistema de zonas

Los lugares peligrosos en función del sistema de zonas se clasifican de acuerdo con la frecuencia y la duración de la atmósfera explosiva. Las zonas 0, 1 y 2 corresponden a las atmósferas de gas explosivo, en tanto que las zonas 20, 21 y 22 se encuadran en las atmósferas de polvo explosivo.

- **Zona 0:** Atmósfera de gas explosivo que está presente de manera continua, durante largos periodos o con frecuencia.
- **Zona 1:** Atmósfera de gas explosivo que puede producirse de manera periódica u ocasional durante las operaciones normales.
- **Zona 2:** Atmósfera de gas explosivo que no es probable que se produzca en operaciones normales, pero que si lo hace será solo durante un periodo breve.
- **Zona 20:** Atmósfera de polvo explosivo que está presente de manera continua, durante largos periodos o con frecuencia.
- **Zona 21:** Atmósfera de polvo explosivo que puede producirse de manera periódica u ocasional durante las operaciones normales.
- **Zona 22:** Atmósfera de gas explosivo que no es probable que se produzca en operaciones normales, pero que si lo hace será solo durante un periodo breve.

Es importante tener en cuenta que la asignación de un número de clasificación de zona solo indica la probabilidad de un entorno explosivo. No especifica la naturaleza explosiva ni las características del gas, los vapores o polvos específicos. Lo ideal es que el equipo se sitúe fuera de dichas zonas, aunque eso no sería realista. Por lo tanto, el equipo destinado a esas zonas se prueba, marca y autoriza, de modo que la naturaleza explosiva y las características del material se tengan plenamente en cuenta. Para hacerlo el equipo se divide en grupos, subgrupos, el tipo de protección que se utiliza, el grado de protección, la asignación de un nivel de protección de equipos (EPL) y un código de temperaturas, que se explica a continuación.

9.3.3 Grupos de equipos

Los equipos se organizan en los grupos indicados a continuación de acuerdo con las definiciones siguientes.

- **Grupo I:** Equipos destinados a minas susceptibles de acumular grisú.
- **Grupo II:** Equipos destinados al uso en atmósferas de gas explosivo que no sean minas.
- **Grupo III:** Equipos destinados al uso en atmósferas de polvo explosivo que no sean minas.

9.3.4 Subgrupos de equipos

El grupo I de equipos no tiene subgrupo. Solo los grupos II y III de equipos se subdividen de acuerdo con la naturaleza explosiva de la atmósfera de gas y la de polvo, respectivamente, a la que estén destinados. El número de grupo va seguido de las letras A, B o C, dependiendo de las definiciones siguientes.

9.3.4.1 Grupo II (conocido habitualmente como "grupo del gas")

- **IIA:** Atmósferas cuya distancia máxima de abertura segura (MESG) es superior o igual a 0,9 mm o con una relación de corriente de encendido mínima (MIC) superior a 0.80. Ejemplo: el gas propano
- **IIB:** Atmósferas cuya distancia de abertura segura (MESG) es superior a 0,5 mm o con una relación de corriente de encendido mínima (MIC) superior o igual a 0.45 pero inferior o igual a 0.80. Ejemplo: el gas etileno
- **IIC:** Atmósferas cuya distancia máxima de abertura segura (MESG) es inferior o igual a 0,5 mm o con una relación de corriente de encendido mínima (MIC) inferior a 0.45. Ejemplo: el gas hidrógeno

9.3.4.2 Grupo III (conocido habitualmente como "grupo del polvo")

- **IIIA:** Atmósferas que contienen partículas en suspenso o fibras combustibles, incluidas partículas sólidas con un tamaño nominal generalmente superior a 500 um. Ejemplos: fibras de rayón, algodón, sisal, yute, cáñamo o cacao.
- **IIIB:** Atmósferas que contienen polvo no conductor cuya resistividad eléctrica es

mayor de 103 Ωm. Ejemplos: nailon, harina de trigo, carbón (activado), hulla, coque, gilsonita

- **IIIC:** Atmósferas que contienen polvo conductor cuya resistividad eléctrica es inferior o igual a 103 Ωm. Ejemplos: aluminio, magnesio

Los equipos con la marca IIB son aptos para aplicaciones que requieran equipos del grupo IIA. De igual manera, los equipos con la marca IIC son aptos para aplicaciones que requieran equipos del grupo IIB o IIA. De igual manera, los equipos con la marca IIIB son aptos para aplicaciones que requieran equipos del grupo IIIA. También los equipos con la marca IIIC son aptos para aplicaciones que requieran equipos del grupo IIIB o IIIA. Consulte la Figura 9.1.

	Grupos de equipos	Aplicaciones adecuadas
Gas	IIC	IIC, IIB, IIA
	IIB	IIB, IIA
	IIA	IIA
Polvo	IIC	IIC, IIB, IIA
	IIB	IIB, IIA
	IIA	IIA

Figura 9.1 Grupos de equipos

9.3.5 Tipo de protección

9.3.5.1 Equipo eléctrico

Hay gran cantidad de técnicas y métodos que se pueden aplicar a los equipos eléctricos para evitar la ignición de la atmósfera explosiva circundante. Casi todos esos métodos y técnicas han recibido un nombre específico junta con una letra minúscula que indica su tipo de protección en la placa de marcado. Es importante tener en cuenta que no todos los tipos de protección son adecuados para las atmósferas de gas y de polvo. El tipo de técnicas y métodos, por nombre y letra asignados, junto con el tipo de atmósfera explosiva, que se pueden utilizar en (indicado entre paréntesis) son los siguientes:

- **Seguridad intrínseca – Ex i (gas y polvo)**: Protección basada en la restricción de la energía eléctrica en el equipo y en la interconexión de cables expuestos a la atmósfera explosiva (de gas o polvo) a un nivel por debajo del que puede provocar la ignición a causa de chispas o calentamiento. El equipo se estructura de modo que lo circuitos que no sean intrínsecamente seguros no afecten negativamente a los circuitos intrínsecamente seguros.
- **Envolvente ignífugo – Ex d (gas):** Tipo de protección por la cual las piezas capaces de encender una atmósfera de gas explosivo se suministran con un envolvente o armario capaz de resistir la presión desarrollada por la explosión interna de una mezcla explosiva y que impide la transmisión de la explosión a la atmósfera de gas explosivo que rodea al envolvente.
- **Encapsulado – Ex m (gas y polvo):** Tipo de protección por la cual las piezas capaces de encender una atmósfera explosiva (gas o polvo) mediante chispas o calor se encierran en un alojamiento de material compuesto o no metálico de modo que la atmósfera explosiva no pueda encenderse en condiciones operativas o de instalación.
- **Seguridad incrementada – Ex e (gas):** Tipo de protección que se utiliza en equipos eléctricos a los que se aplican medidas adicionales para aumentar la seguridad frente a la posibilidad de temperaturas excesivas y la formación de arcos voltaicos y chispas en el servicio normal o en condiciones anómalas especificadas.
- **Tipo n – Ex n (gas):** Tipo de protección que se aplica a los equipos eléctricos de manera que en operaciones normales y en ciertas condiciones anómalas especificadas no puedan encender una atmósfera de gas explosivo circundante.
- **Presurización – Ex p (gas y polvo):** Tipo de protección contra la penetración en un envolvente de la atmósfera explosiva exterior mediante el mantenimiento de un gas protector a una presión superior a la de la atmósfera externa.

- **Inmersión en aceite – Ex o (gas):** Tipo de protección mediante la cual el equipo eléctrico o partes de él se sumergen en un líquido protector de manera que no se encienda la atmósfera de gas explosivo que pueda haber sobre el líquido o fuera del alojamiento.
- **Relleno de polvo – Ex q (gas):** Tipo de protección por la cual las piezas capaces de encender una atmósfera de gas explosivo se fijan en su posición y se rodean por completo de material de relleno para impedir el encendido de una atmósfera de gas explosivo externa.
- **Envolvente – Ex t (polvo):** Tipo de protección por la cual todo el equipo eléctrico se resguarda con un envolvente para impedir el encendido de una capa o nube de polvo y para limitar las temperaturas superficiales.
- **Protección especial – Ex s (gas y polvo):** Tipo de protección que permite diseñar un producto que no se puede compatibilizar por completo con otros tipos de protección reconocidos o cuando las normas de los tipos de protección reconocidos no cubren las condiciones operativas necesarias.

9.3.5.2 Equipo no eléctrico

La mayoría de los equipos eléctricos suelen contener fuentes de ignición efectivas a las que se deben aplicar alguno de los métodos de protección antes descritos. Sin embargo, esto no se puede hacer con la mayoría de equipos mecánicos. En realidad, el funcionamiento normal de la mayoría de equipos mecánicos dentro de estos parámetros de diseño no provocaría el encendido de una atmósfera explosiva. Cuando se tienen en cuenta posibles desperfectos, gran parte del equipo mecánico se puede diseñar de modo que esos desperfectos no se conviertan en fuente de ignición mediante la elección adecuada de medidas constructivas de capacidad demostrada.

Se han reconocido los siguientes tipos de medidas de protección, designados por nombre y letra, contra la ignición de los equipos no eléctricos.

- **Envolvente con restricción de flujo – Ex fr:** Tipo de protección contra la ignición en el que un sellado efectivo y uniones herméticas pueden reducir la penetración de la atmósfera explosiva y su acumulación en el interior del envolvente. Es necesario tener en cuenta las diferencias de presión y los cambios de temperatura.
- **Envolvente ignífugo – Ex d:** Tipo de protección contra la ignición por la cual las piezas capaces de encender una atmósfera de gas explosivo se suministran con un envolvente o armario capaz de resistir la presión desarrollada por la explosión interna de una mezcla explosiva y que impide la transmisión de la explosión a la atmósfera de gas explosivo que rodea al envolvente.
- **Seguridad constructiva – Ex c:** Tipo de protección contra la ignición por la cual se aplican medidas constructivas con el fin de proteger contra la posibilidad de ignición provocada por superficies calientes, chispas y la compresión adiabática generadas por piezas móviles o incluso por desperfectos.
- **Control de las fuentes de ignición – Ex b:** Tipo de protección contra la ignición por la cual sensores integrados detectan el inminente funcionamiento del equipo que podría provocar una ignición y por lo tanto desencadenan medidas de control para impedir que la fuente de ignición posible se convierta en efectiva.
- **Presurización – Ex p:** Tipo de protección contra la ignición que impide la penetración en un envolvente de la atmósfera explosiva exterior mediante el mantenimiento de un gas protector a una presión superior a la de la atmósfera externa.
- **Inmersión en líquido – Ex k:** Tipo de protección contra la ignición por la que las fuentes se desactivan mediante la inmersión en un líquido o el humedecimiento constante con una película de líquido.

9.3.6 Grado de protección

Dependiendo del tipo de protección utilizado con el equipo, se asigna una letra (o letra secundaria) de grado de protección que puede ser a, b, c, o incluso no se asigna letra alguna. La letra del grado de protección, si se asigna, sigue a la letra del tipo de protección y se considera el grado de protección del equipo que brinda el tipo concreto de protección que se utiliza. La letra del grado de protección denota la probabilidad de que el equipo se convierta en fuente de ignición. Una vez más, es importante destacar que el grado de protección (a, b, c, o no designado por letra) asignado depende estrictamente del tipo de protección aplicado al equipo. La razón es que no se pueden aplicar todos los tipos de protección que generen un grado muy alto o incluso alto de protección que no se convierta en fuente de ignición ante desperfectos tanto inusuales como previstos. Además, el grado de protección asignado guarda una relación muy estrecha con la calificación EPL general del equipo (esto se tratará posteriormente).

Aunque no se define explícitamente, la letra del grado de protección se puede generalizar de la manera siguiente:

- **a:** Grado de protección muy alto.
- **b:** Grado de protección alto.
- **c, o sin letra:** Grado de protección mejorado.

La asignación del grado de protección a un tipo determinado de equipo eléctrico es como sigue:

- **Ex i – Seguridad intrínseca:** Ex ia, Ex ib, Ex ic
- **Ex d – Ignífugo:** Ex da, Ex db, Ex dc
- **Ex m – Encapsulado:** Ex ma, Ex mb, Ex mc
- **Ex i – Seguridad incrementada:** Ex eb, Ex ec
- **Ex n – Tipo n:** A este tipo de protección no se asigna letra. Este tipo de protección solo es adecuado para lugares designados como Zona 2.
- **Ex p – Presurización:** Ex pxb, Ex pyb, Ex pzc
- **Ex o – Inmersión en aceite:** Ex ob, Ex oc
- **Ex q – Relleno de polvo:** A este tipo de protección no se asigna letra. Este tipo de protección solo es adecuado para lugares designados como Zona 1 y Zona 2.
- **Ex t – Envolvente para polvo:** Ex ta, Ex tb, Ex tc
- **Ex s – Protección especial:** Ex sa, Ex sb, Ex sc

9.3.7 Grado de protección de equipos (EPL, Equipment Protection Level)

La calificación EPL es una asignación a equipos basada en la probabilidad de que se conviertan en fuente de ignición en una atmósfera de gas o polvo explosivo, incluidas las de las minas.

- **EPL Ma:** Equipo para la instalación en minas susceptibles de contener grisú, con un grado muy alto de protección que hace improbable que se convierta en fuente de ignición en operaciones normales, durante desperfectos previstos o desperfectos anómalos.
- **EPL Mb:** Equipo para la instalación en minas susceptibles de contener grisú, con un grado alto de protección que hace improbable que se convierta en fuente de ignición en operaciones normales o durante desperfectos previstos.
- **EPL Ga:** Equipo para atmósferas de gas explosivo con un grado muy alto de protección que hace improbable que se convierta en fuente de ignición en operaciones normales, durante desperfectos previstos o desperfectos anómalos.
- **EPL Gb:** Equipo para atmósferas de gas explosivo con un grado alto de protección que hace improbable que se convierta en fuente de ignición en operaciones normales o durante desperfectos previstos.
- **EPL Gc:** Equipo para atmósferas de gas explosivo con un grado de protección mejorado que hace improbable que se convierta en fuente de ignición en operaciones normales y que puede contar con protección adicional para garantizar que se mantenga inactivo como fuente de ignición.

- **EPL Da:** Equipo para atmósferas de polvo explosivo con un grado muy alto de protección que hace improbable que se convierta en fuente de ignición en operaciones normales, durante desperfectos previstos o desperfectos anómalos.
- **EPL Db:** Equipo para atmósferas de polvo explosivo con un grado alto de protección que hace improbable que se convierta en fuente de ignición en operaciones normales o durante desperfectos previstos.
- **EPL Dc:** Equipo para atmósferas de polvo explosivo con un grado de protección mejorado que hace improbable que se convierta en fuente de ignición en operaciones normales y que puede contar con protección adicional para garantizar que se mantenga inactivo como fuente de ignición.

La relación por defecto entre zonas y grados de protección de equipos (EPL) se puede resumir en las figuras 9.2 y 9.3. ■

Zona	Equipment Protection Level (EPL) (grado de protección de equipos)
0	Ga
1	Ga o Gb
2	Ga o Gb o Gc
20	Da
21	Da o Db
22	Da o Db o Dc

Figura 9.2 Zonas y grados de protección de equipos

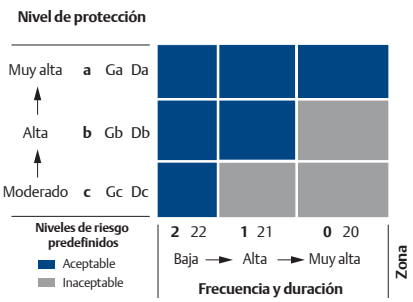


Figura 9.3 Zonas y grados de protección de equipos

9.4 Código de temperaturas

Si una atmósfera de gas explosivo hace contacto con una superficie muy caliente, es probable que se produzca la ignición aunque no haya chispas o llamas presentes. Las condiciones en las que una superficie caliente puede encender la atmósfera de gas explosivo dependen de la amplitud de dicha superficie, su temperatura y el grupo específico de gases presentes. Para facilitar la clasificación y el marcado, los códigos de temperatura se explican en la Figura 9.4.

Código T	Temperatura superficial máxima
T1	450 °C (842 °F)
T2	300 °C (572 °F)
T3	200 °C (392 °F)
T4	135 °C (275 °F)
T5	100 °C (212 °F)
T6	85 °C (185 °F)

Figura 9.4 Códigos de temperaturas

El equipo que se ha probado recibe un código de temperatura que indica la temperatura superficial máxima que ha mostrado. Con independencia del sistema de clasificación utilizado, la temperatura superficial máxima puede ser interna o externa al equipo, lo cual está determinado por el grado de protección empleado.

Las atmósferas de polvo explosivo tienen características distintas de las atmósferas de gas, pero también puede encenderlas una superficie caliente. Las limitaciones adicionales de la ignición de la atmósfera de polvo explosivo incluyen, entre otras cosas, la concentración de polvo atmosférico, la dispersión del polvo, el grosor de las capas de polvo y demás. El equipo para atmósferas de polvo explosivo se marca con la temperatura superficial máxima en la placa de características, pero no con el código de temperatura.

En el caso de equipos para el control de proceso (como las válvulas), la temperatura superficial máxima depende del fluido, de la temperatura ambiente, de la elección de los materiales de fabricación y de su geometría

física. En la mayoría de los casos, solo el usuario final sabrá cuáles con las verdaderas condiciones de funcionamiento a las que estará sujeto el equipo. Por lo tanto, ese equipo tendrá la marca 'TX', que significa para el usuario final que la temperatura superficial máxima del equipo depende de las condiciones de funcionamiento. Es necesario tener muy en cuenta y evaluar la adición de calor a un tubería de proceso que podría acceder a una atmósfera explosiva. ■

9.5 Nomenclatura

9.5.1 Sistema de clases/divisiones

En el sistema de clases/divisiones no se utiliza nombre o término formal para describir la calificación de una clase o división determinada. Sin embargo, en la industria se utilizan ampliamente los términos siguientes para relacionarlos con la calificación de una clase o división determinada.

- Antideflagrante: clase I, división 1
- No inflamable: clase I, división 2
- A prueba de polvos combustibles; clase II, división 1.
- Equipo IS (Intrínsecamente Seguro): clase I división 1 o clase I, II, III división 1

El equipo (o aparato) intrínsecamente seguro es único porque la energía está limitada y se puede homologar solo para atmósferas de gas o para atmósferas de gas y de polvo. El equipo intrínsecamente seguro siempre se sitúa en la división 1.

9.5.2 Sistema de zonas

En el sistema de zonas, una letra en minúscula representa el grado de protección que se haya aplicado al equipo. Está bien definido el nombre relacionado con un tipo de protección determinado. Consulte el tipo de protección para ver la descripción.

9.5.3 Prácticas de cableado

No se puede destacar lo suficiente la importancia que tiene la práctica del cableado del equipo durante la instalación para prevenir explosiones en lugares peligrosos. Las siguientes prácticas de cableado son ampliamente utilizadas.

- Reglamento nacional de instalaciones eléctricas (NEC, National Electric Code) – EE UU.
  - Los artículos del 500 al 504 tratan sobre las instalaciones que utilizan el sistema de clase/división.
  - Los artículos del 505 al 506 tratan sobre las instalaciones que utilizan el sistema de zonas.
- Reglamento canadiense de instalaciones eléctricas (CEC, Canadian Electric Code) – Canadá.
  - La sección 18 trata sobre las instalaciones que utilizan el sistema de zonas.
  - La sección J trata sobre las instalaciones que utilizan el sistema de clase/división.
- IEC 60079-14 (Diseño, elección y construcción de instalaciones eléctricas) – Todo el mundo
  - Trata sobre las instalaciones eléctricas según el sistema de zonas

9.5.4 Unión Europea (UE) - Directiva ATEX 2014/34/EU

Según la directiva ATEX, solo hay dos grupos de equipos, tres categorías de equipos y dos entornos de atmósfera explosiva.

Grupo

- **Grupo I:** Equipos utilizados en minas subterráneas susceptibles de la presencia de grisú.
- **Grupo II:** Equipos que se utilizan en lugares que no son minas.

Categoría

- **Categoría 1:** Equipos diseñados para ofrecer un grado de protección muy alto.
- **Categoría 2:** Equipos diseñados para ofrecer un grado de protección alto.

- **Categoría 3:** Equipos diseñados para ofrecer un grado de protección normal (moderado o mejorado).

Entorno

- **G:** Equipos destinados al uso en atmósferas de gas explosivo.
- **D:** Equipos destinados al uso en atmósferas de polvo explosivo.

En los equipos homologados por ATEX debe aparecer la siguiente marca de ATEX junto a los requisitos generales de la marca.

- Símbolo de protección contra explosiones
- Grupo de equipo – I o II
- Categoría de equipo – 1, 2 o 3
- Entorno – G o D

En la Figura 9.5 se ilustra la relación entre las calificaciones de grupo de equipos IEC frente a la definición de la directiva ATEX de las calificaciones de grupo de equipos.

9.5.5 Ejemplos de marca

Clase/división

- **CL I DIV 1 GP BCD:** Homologación de antideflagrante para la clase I, división 1, grupos B, C, D;
- **CL 1 DIV 2 GP ABCD:** Homologación de no inflamable para la clase I, división 2, grupos A, B, C, D;

	Calificaciones IEC de equipos		Calificaciones ATEX de equipos	
	Según la serie IEC 60079		Directiva 2014/34/EU	
	EPL	Grupo	Grupo de equipos	Categoría y entorno de equipos
Minas	Ma	I	I	M1
	Mb			M2
Gas	Ga	II	II	1G
	Gb			2G
	Gc			3G
Polvo	Da	III		1D
	Db			2D
	Dc			3D

Figura 9.5 Calificaciones IEC y calificaciones ATEX

- **I.S. CL I DIV 1 GP ABCD:** Homologación de intrínsecamente seguro (EE UU) para atmósferas de gas de los grupos A, B, C, D
- **I.S. CL I,II,III DIV 1 GP ABCDEFG:** Homologación de intrínsecamente seguro (EE UU) para atmósferas de gas y polvo de todos los grupos
- **Ex ia INTRINSICALLY SAFE CL I DIV 1 GP CD:** Homologación de intrínsecamente seguro (Canadá) para atmósferas de gas de los grupos C, D
- **CL I,II,III DIV 2 GP ABCDEFG:** Homologación solo aplicable a los lugares de división 2 para gas y polvo

Zona

- **Clase I Zona 0 AEx ia IIB T4 Ga:** Homologación de zona de EE UU que utiliza seguridad intrínseca con un grado de protección muy alto para grupos de gas IIB cuyo código de temperaturas es T4 con una calificación EPL de Ga.
- **Ex db IIC T5 Gb con II 2 G:** Homologación de ATEX que utiliza técnicas ignífugas con un grado de protección alto para grupos de gas IIC cuyo código de temperaturas es T5 con una calificación EPL de Gb.
- **Ex ia IIC T6 Ga:** Homologación de intrínsecamente seguro con grado de protección muy alto para grupos de gas IIC con código de temperaturas T6 y calificación EPL de Ga.
- **Ex e mb IIB T4 Gb:** Equipo que utiliza seguridad mejorada y encapsulado con grado de protección alto para grupos de gas IIB con código de temperaturas T4 y calificación EPL de Gb. ■

9.6 Técnicas y métodos de protección

Los dos puntos siguientes son muy importantes respecto a los métodos y técnicas de protección utilizados en equipos:

- Cada método y técnica de protección es único para la atmósfera de gas, la de polvo o para ambas.
- Cada método y técnica de protección difiere en cuanto al grado de protección que puede suministrar, es decir, muy alto, alto o mejorado.

9.6.1 Técnica a prueba de explosiones o de incendios

Adecuada para atmósferas de gas – clase I, división 1 (o 2), zona 1 (o 2).

Con este tipo de protección se utiliza un envolvente capaz de resistir gas o vapor explosivo en su interior y previene la transmisión de gases calientes combustibles fuera del envolvente, que podría estar rodeado de una atmósfera de gas explosivo. Dicho de manera sencilla, contiene la explosión dentro del envolvente e impide la ignición de la atmósfera de gas explosivo fuera de este.

Ventajas

- Los usuarios están familiarizados con la técnica y entienden sus principios y aplicaciones.
- Un alojamiento resistente protege los componentes internos del equipo.
- Un alojamiento a prueba de explosiones también lo es a prueba de agua.

Desventajas

- Es necesario desactivar los circuitos o eliminar los peligros del lugar antes de retirar las cubiertas del alojamiento.
- La apertura de una cubierta en una zona peligrosa invalida toda la protección.
- En general, esta técnica requiere el uso de envolventes totalmente empernados o atornillados.
- Los rangos de temperatura ampliados requieren factores de seguridad adicionales que tal vez el diseño no pueda incorporar.
- Para mantener la calificación de antideflagrante y reducir la acumulación de presión, es necesario utilizar sellos de conductos o cableado antideflagrante.

9.6.2 Técnica intrínsecamente segura

Adecuada para atmósferas de gas o polvo – clase I, división 1 (o clase II, III, división 1), zona 0 (o 1 o 2), zona 20 (o 21 o 22).

Este tipo de protección actúa mediante la limitación de las emisiones de energía eléctrica o térmica disponible en los circuitos y equipos a niveles incapaces de encender una atmósfera explosiva determinada. El equipo se diseña para grupos específicos de gas y polvo, junto con diversos grados de protección que tienen en cuenta condiciones consideradas normales y anómalas (excepto en el caso de equipos de clase/división que siempre se evalúan como división 1).

Ventajas

- No es necesaria una gran protección del cableado y se rebajan costes.
- Se dispone de mayor flexibilidad dado que esta técnica permite el uso sin certificación de componentes sencillos, como interruptores, cierres de contactos, termopares, RTD y otros instrumentos que no almacenan energía.
- El mantenimiento y la reparación en el lugar de trabajo son más sencillos. No es necesario interrumpir la alimentación eléctrica antes de ajustar o calibrar los equipos. El sistema se mantiene seguro aunque el equipo se averíe porque el nivel de energía es muy bajo como para encender la mezcla más inflamable. El equipo de diagnóstico y calibración debe estar homologado para la zona peligrosa.

Desventajas

- Esta técnica requiere el uso de una barrera intrínsecamente segura para limitar el voltaje, la corriente y la potencia entre la zona peligrosa y la zona segura para evitar la formación de chispas o focos calientes en la circuitería del equipo.
- Los usuarios deben sentirse cómodos con esta técnica y las prácticas de cableado relacionadas con ella.
- Las aplicaciones con alto consumo de energía no pueden aplicar esta técnica debido a que la energía está limitada en origen (barrera). Esta técnica está limitada a las aplicaciones de baja potencia como los circuitos de CC, los posicionadores y convertidores electroneumáticos, los transductores, etc.

9.6.3 Técnica no inflamable (o de tipo N)

Adecuada para atmósferas de gas – clase I, división 2, zona 2.

Tipo de protección por la cual el equipo es incapaz, en condiciones de funcionamiento normales, de provocar encendido debido a arcos voltaicos, chispas o efectos térmicos en su interior. Este tipo de protección también es apto para equipos que contengan arcos voltaicos o chispas, siempre que estén protegidos de alguna de las maneras especificadas en la norma.

Ventajas

- El equipo se diseña de modo que no genere arcos voltaicos ni chispas, ni desarrolle temperaturas elevadas.
- En general, el equipo es más económico que otros tipos de protección porque no es necesario contar con armarios a prueba de explosiones ni barreras limitadoras de energía.
- En las aplicaciones de clase I división 2, si se conecta a un circuito no inflamable, el usuario puede utilizar cualquier cableado estándar.

Desventajas

- Esta técnica se limita a las aplicaciones de división 2 o zona 2.
- En las aplicaciones de clase I división 2, el cableado debe estar muy protegido.
- Los circuitos no inflamables representan un gasto adicional para el usuario final porque debe limitar la energía a niveles seguros en caso de circuito abierto, cortocircuito o cortocircuito a masa del cableado.

9.6.4 Seguridad incrementada

Adecuada para entornos de gas – zona 1 (o 2).

Este tipo de protección es adecuado para equipos eléctricos o componentes autónomos (Ex) en los que se aplican medidas adicionales para incrementar la seguridad frente a la posibilidad de temperaturas excesivas y la formación de arcos voltaicos o chispas. Esta protección solo es adecuada para equipos que no contengan dispositivos inflamables (arcos voltaicos o chispas) en el funcionamiento normal. Algunos ejemplos son las cajas de conexiones, cajetines de derivación, etc. Suele emplearse junto con equipos ignífugos homologados.

Ventajas

- Los envolventes con seguridad incrementada ofrecen al menos una calificación de cierre IP54.
- Su instalación y mantenimiento son más sencillos que en el caso de los envolventes ignífugos.
- Esta técnica ofrece unos costes de cableado sensiblemente menores que los de envolventes ignífugos.

Desventajas

- Esta técnica se limita al aparato con el que se puede utilizar. Normalmente se emplean para aparatos tales como cajas de conexiones y compartimentos.

9.6.5 A prueba de ignición de polvo o envolvente a prueba de polvo

Adecuada para atmósferas de gas – clase II, división 1 (o 2), zona 20 (o 21 o 22).

Este tipo de protección consiste en un envolvente que excluye las cantidades combustibles de polvo y no permite que se generen arcos voltaicos, chispas o calor en su interior que provoquen la ignición de la atmósfera de polvo externa en suspensión o en capas.

Ventajas

- La instalación no requiere barrera, a diferencia de los equipos se seguridad intrínseca para polvo.
- Puede usarse en aplicaciones de gran energía.

Desventajas

- Ciertos aparatos tienen unas características por las que la seguridad intrínseca es la única opción. ▪

9.7 Calificaciones de envolventes

Los envolventes de equipos eléctricos suelen probarse con el fin de determinar su capacidad para impedir la entrada de líquidos o polvos. Las normas de calificación de envolventes más utilizadas son NEMA 250 y UL 50 (Estados Unidos), CSA C22.2 N.º 94 (Canadá), además de IEC 60529 (en todo el mundo). Las normas UL 50 y CSA C22.2 N.º 94 son muy semejantes a la norma NEMA 250 en cuanto a las calificaciones.

Algunas de las calificaciones de envolventes más habituales que se definen en NEMA 250 respecto a ubicaciones sin clasificar (ubicaciones en general) son las siguientes:

- **Tipo 3 – Envolvente para interior o exterior, hermético a la lluvia y al polvo, resistente al hielo:** Destinado al uso en interior o exterior, principalmente para suministrar un grado de protección contra la caída de suciedad, polvo empujado por el viento, lluvia, aguanieve, nieve y los daños provocados por la acumulación de hielo en el envolvente.
- **Tipo 3X – Envolvente para interior o exterior, hermético a la lluvia y al polvo, resistente al hielo y la corrosión:** Destinado al uso en interior o exterior, se emplea principalmente para suministrar un grado de protección contra la caída de suciedad, polvo empujado por el viento, lluvia, aguanieve, nieve, los daños provocados por la acumulación de hielo en el envolvente y la corrosión.
- **Tipo 3R – Envolvente para interior o exterior, hermético a la lluvia y resistente al hielo:** Destinado al uso en interior o exterior, principalmente para suministrar un grado de protección contra la caída de suciedad, lluvia, aguanieve, nieve y los daños provocados por la acumulación de hielo en el envolvente.
- **Tipo 3RX – Envolvente para interior o exterior, hermético a la lluvia y resistente al hielo y la corrosión:** Destinado al uso en interior o exterior, se emplea principalmente para suministrar un grado de protección contra la caída de suciedad, lluvia, aguanieve, nieve, los daños provocados por la acumulación de hielo en el envolvente y la corrosión.
- **Tipo 3S – Envolvente para interior o exterior, hermético a la lluvia y al polvo, a prueba de hielo:** Destinado al uso en interior o exterior, principalmente para suministrar un grado de protección contra la caída de suciedad, polvo empujado por el viento, lluvia, aguanieve, nieve y para el uso de mecanismos externos con acumulación de hielo.
- **Tipo 3SX – Envolvente para interior o exterior, hermético a la lluvia y al polvo, a prueba de hielo y resistente a la corrosión:** Destinado al uso en interior o exterior, principalmente para suministrar un grado de protección contra la caída de suciedad, polvo empujado por el viento, lluvia, aguanieve, nieve, corrosión y para el uso de mecanismos externos con acumulación de hielo.
- **Tipo 4 – Envolvente para interior o exterior, hermético a la lluvia, al agua y al polvo, resistente al hielo:** Destinado al uso en interior o exterior, principalmente para suministrar un grado de protección contra la caída de suciedad, polvo empujado por el viento, lluvia, aguanieve, nieve, salpicaduras de agua y los daños provocados por la acumulación de hielo en el envolvente.

- **Tipo 4X – Envolvente para interior o exterior, hermético a la lluvia, al agua y al polvo, resistente al hielo y la corrosión:** Destinado al uso en interior o exterior, principalmente para suministrar un grado de protección contra la caída de suciedad, polvo empujado por el viento, lluvia, aguanieve, nieve, salpicaduras de agua, chorros de agua de mangueras, daños provocados por la acumulación de hielo en el envolvente y corrosión.

La norma NEMA 250 también define las calificaciones de envolventes para ubicaciones clasificadas de la manera siguiente:

- **Tipo 7 – Envolvente para interior, con homologación de clase I división 1:** Destinado al uso en interior en aplicaciones antideflagrantes.
- **Tipo 8 – Envolvente para interior o exterior, con homologación de clase I división 1, hermético a la lluvia y resistente al hielo:** Destinado al uso en interior o exterior en aplicaciones antideflagrantes para suministrar un grado de protección contra la lluvia, aguanieve, nieve y los daños provocados por la acumulación de hielo en el envolvente.
- **Tipo 9 – Envolvente para interior, con homologación de clase II división 1:** Destinado al uso en interior en aplicaciones ignífugas.

Las calificaciones NEMA para ubicaciones clasificadas suelen malinterpretarse. Debería ser evidente que una calificación NEMA 7 o NEMA 8 es básicamente la misma que la de clase I división 1. La calificación NEMA 9 es básicamente la misma que la de clase II división 1. Según NEC y CEC, todos los equipos deben marcarse adecuadamente con la clase, división y grupo que se les hayan asignado. Por lo tanto, un producto marcado solo como NEMA 7, NEMA 8 o NEMA 9 sin marca adicional que identifique su clase, división o grupo es inaceptable y no se admite. La mayoría de los organismos de homologación desaconsejan la aplicación de NEMA 7, NEMA 8 o NEMA 9 por esa misma razón y no la admiten.

Los envolventes que se prueban según IEC 60529 pueden marcarse con el código de protección contra entradas (IP, Ingress Protection) que especifica su calificación. El código IP consta de las letras “IP” seguida de dos números característicos que indican el grado de conformidad asignado. El primer número indica el grado de protección frente al contacto humano o el acercamiento a partes electrizadas, el contacto humano con piezas móviles del interior del envolvente y la entrada de objetos sólidos extraños. El segundo número indica el grado de protección proporcionado por el envolvente contra la entrada de agua. Consulte la Figura 9.7 para obtener más información. ■

Grado de protección frente a las condiciones siguientes		Cláusula de prueba	Tipo de envolvente							
			3	3X	3R	3RX	3S	3SX	4	4X
Información general	Acceso a partes peligrosas	5,2	X	X	X	X	X	X	X	X
Entrada de objetos extraños sólidos	Caída de suciedad	5.5.2	X	X	X	X	X	X	X	X
	Polvo empujado por el viento, pelusa de fibras	5.5.1	X	X			X	X	X	X
Entrada de agua	Goteo y salpicaduras ligeras	5,3	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lluvia, nieve, aguanieve, hielo*	5,4	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lluvia, nieve, aguanieve, hielo**	5,6					X	X		
	Chorros de agua de mangueras y salpicaduras	5,7							X	X
Protección adicional	Corrosión	5.9 y 5.10		X		X		X		X

** No es necesario accionar mecanismos operativos externos cuando el envolvente está cubierto de hielo.*
*** Los mecanismos operativos externos están operativos cuando el envolvente está cubierto de hielo.*

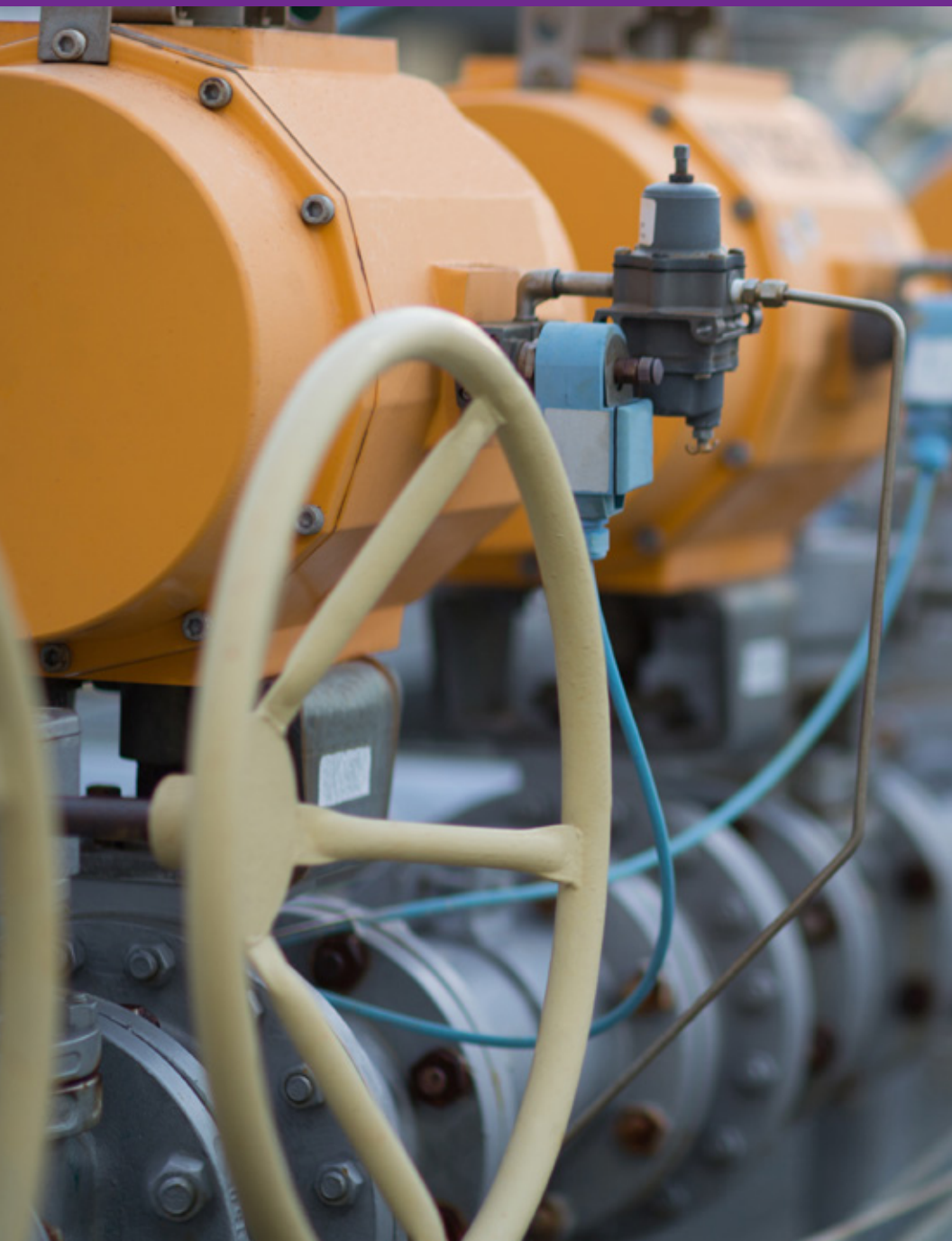
Figura 9.6 Explicación de la calificación de envolventes

Primer número de protección contra cuerpos sólidos	Segundo número de protección contra líquidos
0 - Sin protección	0 - Sin protección
1 - Objetos mayores de 50 mm	1 - Goteo de agua vertical
2 - Objetos mayores de 12,5 mm	2 - Goteo de agua en ángulo (75 a 90 grados)
3 - Objetos mayores de 2,5 mm	3 - Rocío de agua
4 - Objetos mayores de 1 mm	4 - Salpicadura de agua
5 - Protección contra el polvo	5 - Chorros de agua a presión
6 - Hermético al polvo	6 - Chorros de agua a gran presión
	7 - Inmersión temporal
	8 - Inmersión permanente
	9 - Chorros de agua a presión y temperatura elevadas

Figura 9.7 Descripción de los números correspondientes a la protección contra entradas

Capítulo 10

Válvulas de aislamiento



Este capítulo se ha extraído de "IPT's Pipe Trades Handbook" (Manual de Tubería Comercial de IPT), por Robert A. Lee, con autorización.

10.1 Tipos básicos de válvula

Existen varios tipos, estilos, tamaños y formas de válvulas disponibles para su uso en los sectores industriales. Aunque se puede seleccionar entre docenas de variedades de válvulas, su fin principal es el mismo; detener o permitir el paso de flujo, o regularlo.

La regulación del flujo incluye el estrangulamiento, evitar la inversión del flujo, y aliviar o regular la presión interna de un sistema.

La selección de válvulas para un sistema se basa en el servicio previsto para la válvula y su diseño funcional. Hay ocho diseños básicos de válvula disponibles.

- Compuerta
- Globo
- Retención
- Diafragma
- Bola
- Mariposa
- Obturador
- Alivio

10.1.1 Válvulas de compuerta

Las válvulas de compuerta se utilizan para el servicio de apertura/cierre, y se diseñan para funcionar de forma totalmente abierta o totalmente cerrada.

Debido al exceso de vibraciones y el desgaste producidos por compuertas parcialmente cerradas, las válvulas no están diseñadas para el estrangulamiento o la regulación de flujo. Las válvulas de compuerta están disponibles en estilos de cuña sólida, cuña flexible, cuña dividida y de disco doble. La Figura 10.1 ilustra una válvula de compuerta típica y sus partes principales.

Para tamaños y medidas, consulte las Tablas 10.1 y 10.3 a 10.7 en este capítulo.

Las válvulas de compuerta de tipo cuña incorporan una cuña cónica que se introduce entre dos asientos cónicos cuando la válvula se cierra. El diseño de cuña sólida (Figura 10.2) está muy extendido, y es apto para servicios de aire, gas, petróleo, vapor y agua. Las válvulas de compuerta de cuña flexible se utilizan en servicios proclives a trabar las de diseño de cuña sólida por oscilaciones térmicas extremas.

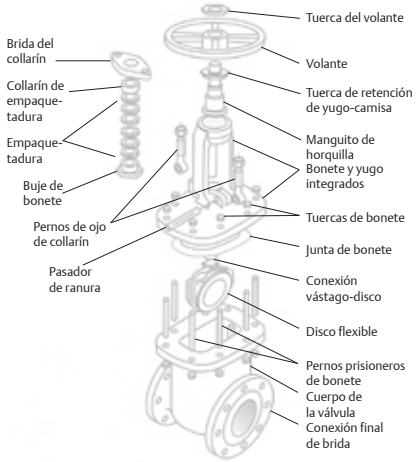


Figura 10.1 Válvula de compuerta

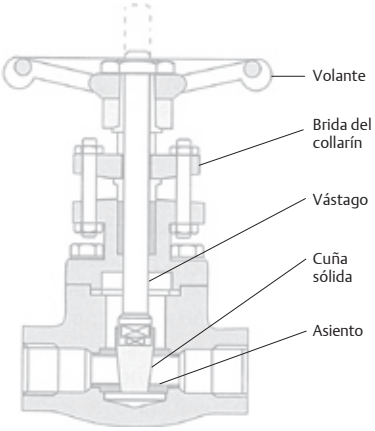


Figura 10.2 Válvula de compuerta de cuña sólida

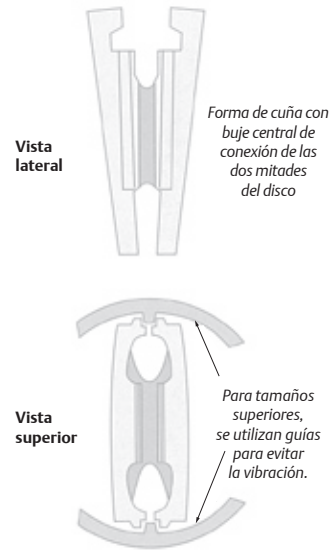


Figura 10.3 Disco con cuña flexible

El diseño de cuña flexible (ilustrado en la Figura 10.3) ofrece características de asiento óptimas (apertura y cierre) para una amplia escala de temperaturas a la vez que proporciona un cierre positivo.

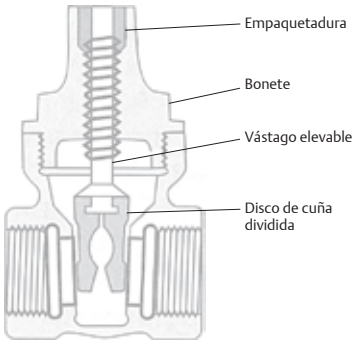


Figura 10.4 Válvula de compuerta de cuña dividida

Las válvulas de compuerta de cuña dividida y de disco doble incorporan discos o cuñas compuestas de dos piezas. Para el diseño de cuña dividida (Figura 10.4), el último giro del volante fuerza el desplazamiento de los dos discos contra los asientos cónicos. La válvula de compuerta de disco doble incorpora discos en paralelo y asientos. El cierre del disco doble se obtiene mediante un separador o cuña que fuerza el desplazamiento de los discos en paralelo contra los asientos. La Figura 10.5 ilustra una válvula de compuerta de disco doble.

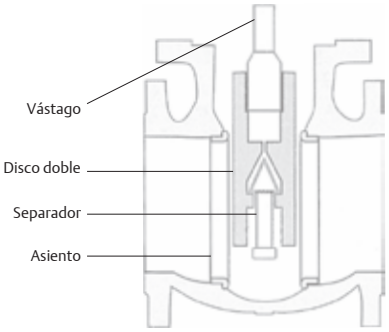


Figura 10.5 Válvula de compuerta de disco doble

La fricción, que produce desgaste en los asientos y discos, es mínima para las válvulas de compuerta de cuña dividida y de disco doble ya que el asiento y el disco solo entran en contacto durante el cierre de la válvula.

Al instalar una válvula de compuerta de cuña dividida o de disco doble, el vástago de la válvula debe estar en posición vertical (válvula en vertical) para garantizar que los discos no se atasquen en posición separada antes del cierre.

10.1.2 Válvulas de globo

Las válvulas de globo, a diferencia de las válvulas de compuerta, se utilizan para aplicaciones que requieren un funcionamiento regular y/o el estrangulamiento del flujo. El diseño de la válvula de globo (ilustrado en la Figura 10.6) ofrece una erosión mínima del asiento, además de facilitar las tareas de servicio. Cuando el flujo se introduce en una válvula de diseño de globo, el disco se aleja por completo del asiento reduciendo así la erosión y los cortes ("wire drawing").

Para tamaños y medidas, consulte las Figuras 10.30 y 10.36 a 10.42 en este capítulo.

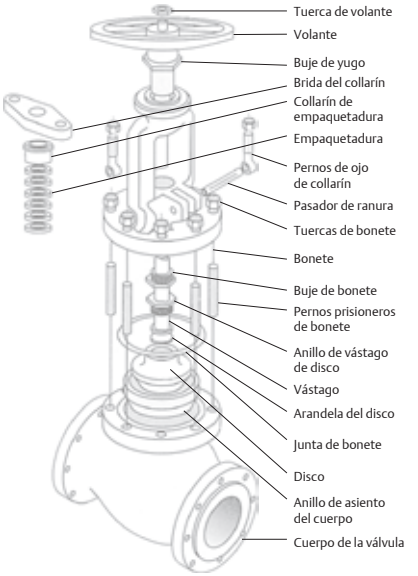


Figura 10.6 Válvula de globo

Las válvulas de globo están disponibles en tres estilos de cuerpo: cuerpo angular, cuerpo con patrón en "Y" o "T", o cuerpo de paso recto (el más habitual). Los tres estilos de cuerpo son aptos para el estrangulamiento, pero cada uno posee sus propias características de flujo e idoneidad para un servicio específico.

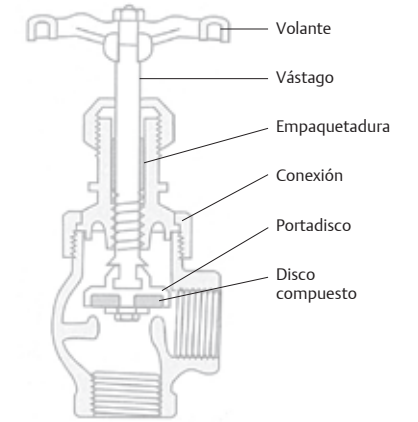


Figura 10.7 Válvula de globo angular (disco compuesto)

Las válvulas de cuerpo angular proporcionan un cambio de dirección de 90 grados, (consulte la Figura 10.7) que en algunas instalaciones ahorran espacio, material y el tiempo necesario para su instalación.

El diseño interno de la válvula de cuerpo angular ofrece una restricción menor del flujo que el patrón "T" tradicional, pero mayor que las válvulas de globo con patrón en "Y".

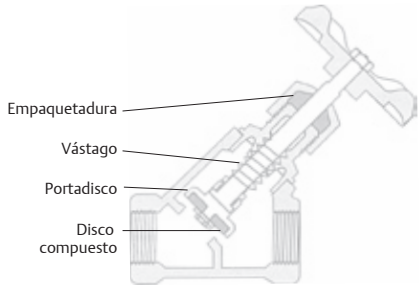


Figura 10.8 Válvula de globo con patrón en "Y" (disco compuesto)

Las válvulas de globo con patrón en "Y" ofrecen una restricción del flujo muy reducida debido al ángulo del vástago (45 o 60 grados respecto a la carrera). La Figura 10.8 ilustra una válvula de globo con patrón en "Y" típica. La válvula de globo con patrón en "Y" es idónea para aplicaciones que requieren un flujo casi total en la válvula, pero con las características de una válvula de globo.

Las aplicaciones para la válvula de globo con patrón en "Y" incluyen la descarga de caldera y servicios con presencia de lodo, arenilla y/o fluidos viscosos.

Los tipos principales de válvula de globo según sus configuraciones de asiento son:

- Disco convencional
- Obturador de disco
- Disco compuesto
- Válvula de aguja

Las válvulas de globo con disco compuesto utilizan un disco cónico de poca longitud que se acopla en un asiento cónico para el cierre y el estrangulamiento (se muestra en la Figura 10.9). Cuando las condiciones del flujo son proclives a generar depósitos o coque en los asientos de válvula, se suele preferir el diseño de válvula de disco convencional. El disco estrecho utilizado en la válvula de disco convencional habitualmente rompe los

depósitos, generando un asiento positivo, en lugar de compactar los depósitos.

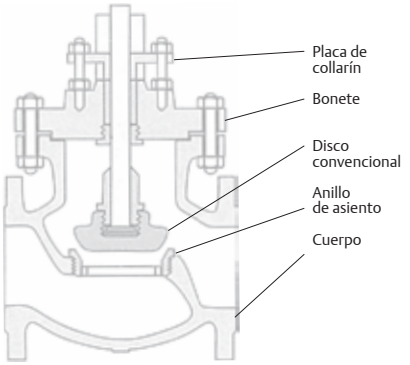


Figura 10.9 Válvula de globo de disco convencional

El obturador de disco se diferencia del disco convencional debido a que el obturador de disco y la configuración del asiento son más prolongados y cónicos. La sección mayor del obturador y del asiento proporcionan a la válvula de obturación la resistencia máxima frente a la erosión producida por flujo. La Figura 10.10 ilustra un ejemplo de válvula de globo de obturador de disco.

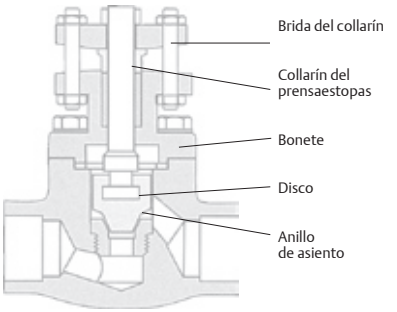


Figura 10.10 Válvula de globo de obturador de disco

La válvula de globo de disco compuesto presenta un disco compuesto plano que contacta al ras contra el asiento en lugar de dentro del asiento. Esta configuración se puede ver en la Figura 10.11.

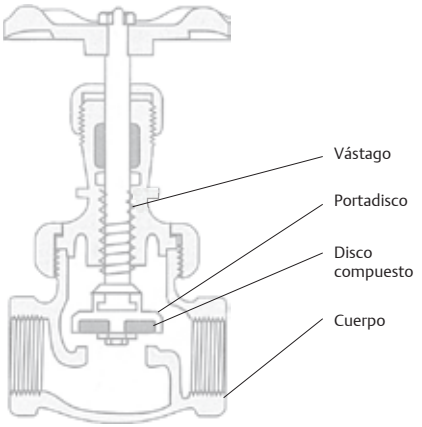


Figura 10.11 Válvula de globo de disco compuesto

Se pueden utilizar varios materiales compuestos para el portadisco dependiendo del servicio previsto para la válvula. Al modificar el material del disco compuesto, la válvula puede pasar de un servicio a otro. Debido a la naturaleza más blanda de ciertos compuestos utilizados en el disco, las partículas extrañas se suelen incrustar en el disco en lugar de producir una fuga o cortes en el asiento.

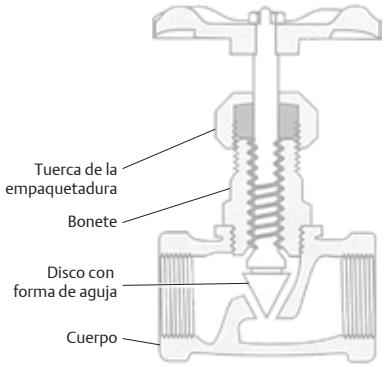


Figura 10.12 Válvula de aguja

La válvula de aguja es otro tipo de válvula de globo que se utiliza para un estrangulamiento preciso en servicios a presión alta y/o temperatura alta.

Las válvulas de aguja se diseñan para conductos de diámetro estrecho que requieren un estrangulamiento preciso de gases, vapor, petróleo de baja viscosidad, agua o cualquier otro líquido ligero.

La válvula presenta un vástago afilado y puntiagudo (con forma de aguja) que regula el flujo que pasa a través del asiento. La Figura 10.12 ilustra una válvula de aguja típica.

10.1.3 Válvulas de retención

Las válvulas de retención permiten evitar la inversión de flujo en los sistemas de canalización y el equipo conectado. Los dos diseños de válvula de retención más comunes son:

- Retención de charnela
- Retención de pistón

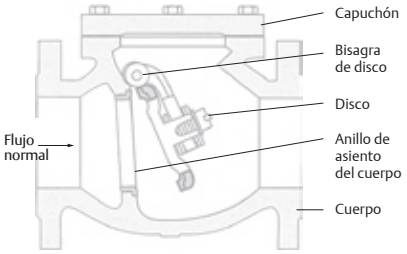


Figura 10.13 Válvula de retención de charnela

El diseño de la válvula de retención de charnela (ilustrada en la Figura 10.13) consiste en un disco articulado que bascula a la posición de apertura cuando el flujo se introduce en la dirección deseada, y a la posición de cierre en condiciones de inversión de flujo. Debido al movimiento basculante del disco, es esencial instalar todas las válvulas de retención de charnela de forma que el disco ofrezca un cierre positivo por la fuerza de la gravedad. En la posición totalmente abierta, la retención de charnela presenta una resistencia al flujo inferior frente al diseño de la válvula de retención de pistón.

En condiciones de flujo con presencia de cierre por impacto y/o vibración del disco, se puede utilizar otras variantes de válvulas de retención de charnela para facilitar la reducción de los problemas. Para tamaños y medidas, consulte las Tablas 10.8 a 10.14 en este capítulo.

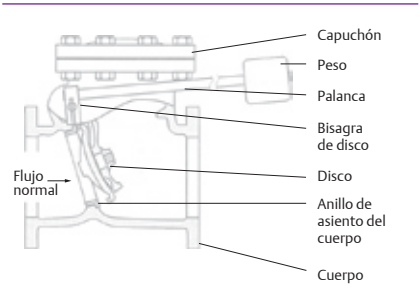


Figura 10.14 Válvula de retención de charnela con palanca y peso

Las válvulas de retención de charnela con conjuntos de palanca y peso externos (ilustradas en la Figura 10.14) o con discos con resorte pueden proporcionar un cierre inmediato frente a una inversión de flujo. Este cierre inmediato reduce al mínimo la posibilidad de daños por impacto y vibración del disco en los sistemas. La válvula de retención de charnela con disco basculante es otro tipo de válvula de retención de charnela que permite evitar el golpeo (consulte la Figura 10.15).

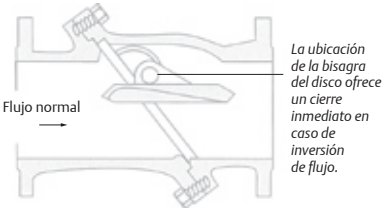


Figura 10.15 Válvula de retención basculante

El diseño de la válvula de retención de pistón (ilustrada en la Figura 10.16) se utiliza en condiciones donde la caída de presión no se considera crítica. El patrón del paso del flujo por la válvula se corresponde con el de una válvula de globo. Las válvulas de retención de pistón están disponibles en diseños horizontal y vertical.

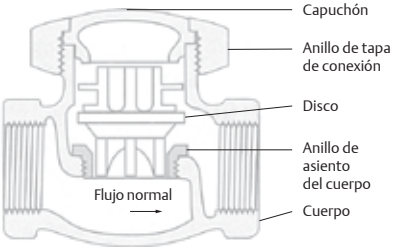


Figura 10.16 Válvula de retención de pistón horizontal

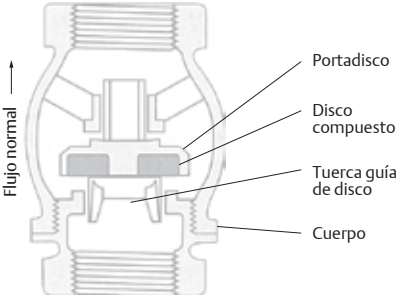
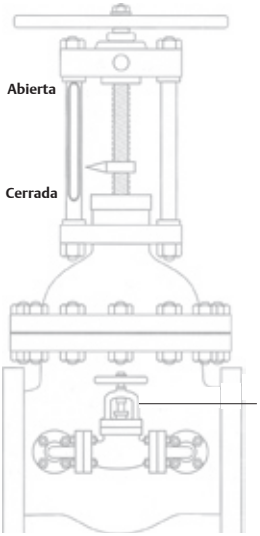


Figura 10.17 Válvula de retención de pistón vertical

Las válvulas de retención de diseño vertical (ilustradas en la Figura 10.17) se utilizan exclusivamente en conductos verticales de alimentación ascendente y no funcionan en posición invertida u horizontal. Para la instalación de cualquier válvula de retención de pistón, es esencial que el disco o la bola se eleve en vertical durante su funcionamiento.

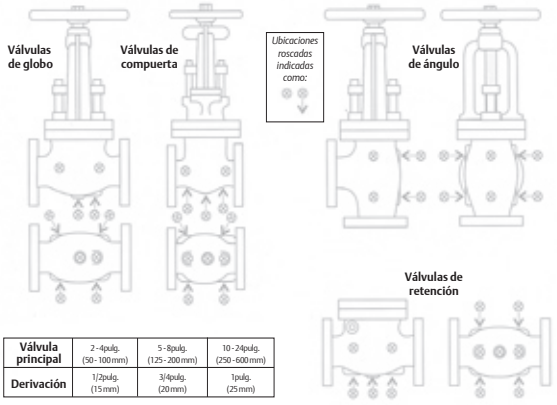
10.1.4 Válvulas de derivación

En condiciones con válvulas de gran tamaño con presencia de presiones altas y/o temperaturas altas, habitualmente se instala una válvula de derivación de menor tamaño para compensar la presión y/o permitir que el conducto aguas abajo se caliente antes de la apertura de la válvula de mayor tamaño. La Figura 10.18 ilustra una configuración de derivación típica, mientras que la Figura 10.19 ilustra la ubicación y el tamaño de la derivación y de la conexión auxiliar.



Válvula de derivación típica utilizada en servicios de alta presión y/o alta temperatura con los vástagos de las dos válvulas en paralelo.

Figura 10.18 Válvula de derivación



Válvula principal	2 - 4pulg. (50 - 100 mm)	5 - 8pulg. (125 - 200 mm)	10 - 24pulg. (250 - 600 mm)
Derivación	1/2pulg. (15 mm)	3/4pulg. (20 mm)	1pulg. (25 mm)

Figura 10.19 Derivación y conexiones auxiliares

10.1.5 Válvulas de diafragma

Las válvulas de diafragma (a veces denominadas válvulas Saunders) permiten regular el flujo en servicios corrosivos en los que el contenido del conducto puede dañar los componentes de la válvula. Otras aplicaciones de válvulas de diafragma son en servicios donde está prohibida la contaminación por fuentes externas, como por ejemplo en los sectores farmacéuticos y alimentarios.

Las válvulas de diafragma se diferencian de otras válvulas debido a que el cuerpo de la válvula y el contenido del conducto se aíslan de todas las piezas móviles de la válvula mediante un diafragma flexible. Este sellado por diafragma flexible evita fugas en la empaquetadura del vástago del contenido del conducto y la contaminación del flujo por los lubricantes de la empaquetadura.

Aunque existen muchas variantes de diseño de válvula de diafragma, la mayoría se pueden clasificar en tipo vertedero o tipo paso recto.

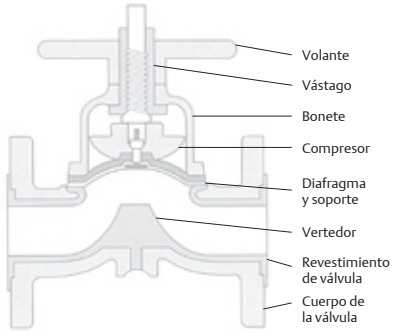


Figura 10.20 Válvula de diafragma de tipo vertedero

Las válvulas de diafragma de tipo vertedero son el tipo de válvula de diafragma más utilizado. La Figura 10.20 ilustra una válvula de tipo vertedero típica y sus componentes principales.

La válvula de diafragma de tipo vertedero incorpora una sección elevada (vertedor) en el centro de la válvula que actúa como el punto de cierre del diafragma flexible. Debido a la disposición del vertedor en el cuerpo se reduce el desplazamiento del diafragma, que a su vez prolonga el tiempo de servicio del diafragma y reduce el mantenimiento general.

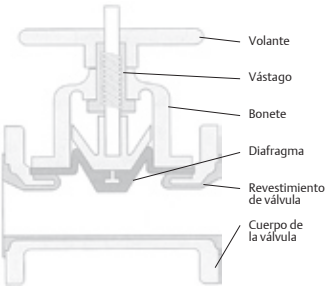


Figura 10.21 Válvula de diafragma de tipo paso recto

Las válvulas de tipo paso recto no incorporan ningún vertedor en el diseño de la válvula. La Figura 10.21 ilustra una válvula de paso recto típica. Este diseño proporciona a la válvula un paso sin obstrucciones apto para flujos viscosos o con partículas sólidas.

Existen varios tipos de materiales de diafragma disponibles, dependiendo de las condiciones del servicio y térmicas.

Debido a que la válvula de tipo paso recto requiere un desplazamiento mayor del diafragma comparado con el tipo vertedero, los materiales seleccionables son más limitados para la válvula de tipo paso recto.

10.1.6 Válvula de pinzamiento

La válvula de pinzamiento, al igual que la válvula de diafragma, utiliza un diafragma flexible para la apertura y el cierre de la válvula. Las válvulas de pinzamiento utilizan una manga hueca flexible que se cierra por compresión de forma manual o eléctrica para detener el flujo. La Figura 10.22 ilustra una válvula de pinzamiento sencilla accionada por aire.

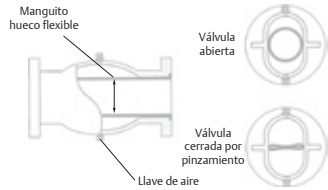


Figura 10.22 Válvula de pinzamiento accionada por aire

Las válvulas de pinzamiento son idóneas para servicios con partículas suspendidas, lodo y flujos de polvos sólidos.

10.1.7 Válvulas de bola

La válvula de bola, como indica su nombre, contiene un obturador con forma de bola dentro del cuerpo de la válvula que regula el flujo. La bola presenta un orificio circular o paso de flujo por su centro, y cuando gira un cuarto de vuelta, el flujo se detiene. Las válvulas de bola responden a tres patrones generales:

- Paso Venturi
- Paso total
- Paso reducido (a veces denominado paso normal)

Las patrones de paso indican el diámetro interno del paso de flujo de la bola.

Las válvulas de bola también se pueden clasificar por su estilo de cuerpo. Los estilos de cuerpo son de una pieza o de varias piezas.

La Figura 10.23 ilustra una válvula típica de bola de paso reducido (o paso normal) con cuerpo de varias piezas.

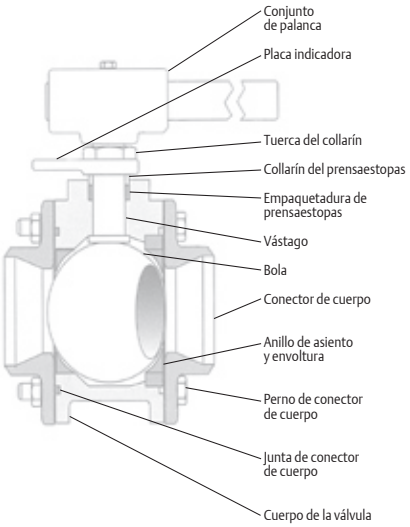


Figura 10.23 Válvula de bola de paso reducido

10.1.8 Válvulas de mariposa

La válvula de mariposa presenta un diseño sencillo que es ligero, compacto y económico, en particular en válvulas de gran tamaño. Incorpora un disco circular plano y articulado en su centro que se cierra o abre totalmente con un cuarto de vuelta. El asiento del disco es metálico o de materiales de tipo resiliente como elastómeros y plásticos. Debido a los beneficios derivados del material de asiento, las válvulas de mariposa tienen una amplia aceptación en los sectores del petróleo, gas, químicos, de agua y de procesos. La válvula se utiliza habitualmente en lugar de una válvula de compuerta, con el beneficio añadido de la regulación de flujo.

Las válvulas de mariposa están disponibles en dos tipos básicos de cuerpo:

- Tipo oblea
- Tipo doble brida

El tipo oblea (ilustrada en la Figura 10.24) se monta entre dos bridas, y se fija en su posición mediante pernos de brida.

En casos donde el desmontaje de equipo o conductos puedan requerir la desconexión de una de las bridas de sujeción, se puede utilizar una válvula de mariposa de orejeta-oblea. La válvula de mariposa de orejeta-oblea (ilustrada en la Figura 10.25) incorpora orejetas roscadas donde se atornillan los pernos de brida para fijar la válvula en su posición, incluso cuando se retira una brida. Para la mayoría de las válvulas de mariposa de oblea, la junta de elastómero también actúa como su propia junta de brida.

La válvula de mariposa de brida doble (ilustrada en la Figura 10.26) incorpora dos extremos de brida que se empernan de forma individual a las bridas de la canalización o del equipo. Se utilizan juntas entre los extremos de válvula y las bridas de conexión.

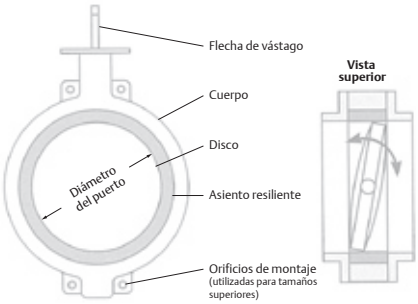


Figura 10.24 Válvula de mariposa de tipo oblea

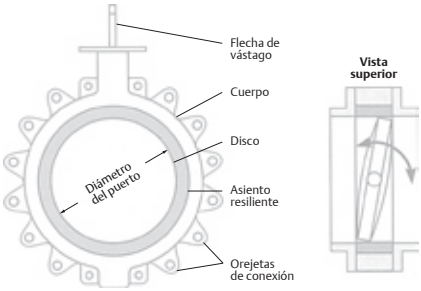


Figura 10.25 Válvula de mariposa de orejeta

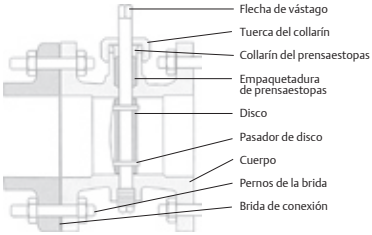


Figura 10.26 Válvula de mariposa de brida doble

10.1.9 Válvulas de obturación

Las válvulas de obturación (también denominadas válvulas de llave) incorporan un obturador lateral cónico o en paralelo que se puede girar un cuarto de vuelta dentro del cuerpo de la válvula. El cuarto de vuelta produce un funcionamiento totalmente abierto o totalmente cerrado de la válvula. Hay dos tipos básicos de válvulas de obturación disponibles:

- Obturador lubricado
- Obturador no lubricado

La Figura 10.27 ilustra una variante del obturador lubricado.

La diferencia entre el obturador lubricado y el no lubricado es que el primero proporciona los medios para lubricar las superficies de asiento de la válvula. Esta lubricación permite evitar el agarrotamiento de la válvula sin impedir el sellado positivo. Los obturadores lubricados no se deben utilizar si la contaminación del flujo es una preocupación.

El diseño de la válvula de obturación también permite su uso en configuraciones de válvula multipuerto como ilustra la Figura 10.28.

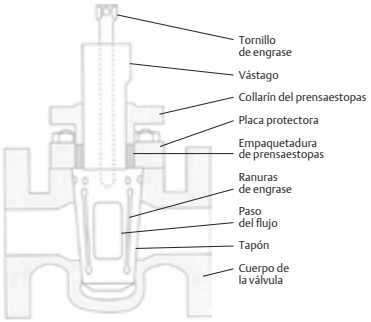


Figura 10.27 Válvula de obturador lubricado

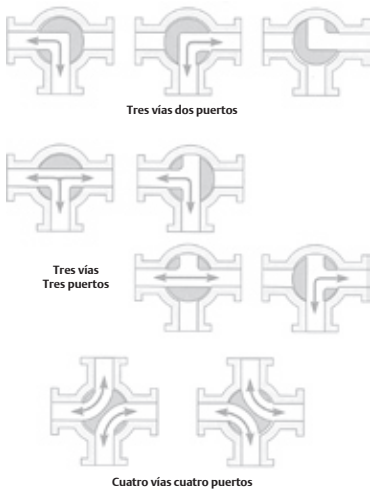


Figura 10.28 Válvula de obturador multipuerto

Válvulas de compuerta de hierro fundido / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm)
(realizadas de superficie a superficie de la válvula)

Válvulas de compuerta de hierro fundido / Clase ANSI 125, 250, 800													
Nominal Tamaño de conducto		Superficie plana / Clase 125				Superficie elevada / Clase 250				Superficie elevada / Clase 800			
		Cuña sólida		Disco doble		Cuña sólida		Disco doble		Cuña sólida		Disco doble	
pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
1/4	8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/8	10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2	15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/4	20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1	25	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1-1/4	32	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1-1/2	40	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2	50	7,00	177,8	7,00	177,8	8,50	215,9	8,50	215,9	11,50	292,1	11,50	292,1
2-1/2	65	7,50	190,5	7,50	190,5	9,50	241,3	9,50	241,3	13,00	330,2	13,00	330,2
3	80	8,00	203,2	8,00	203,2	11,12	282,5	11,12	282,5	14,0	355,6	14,00	355,6
4	100	9,00	228,6	9,00	228,6	12,00	304,8	12,00	304,8	17,00	431,8	17,00	431,8
5	125	10,00	254,0	10,00	254,0	15,00	381,0	15,00	381,0	---	---	---	---
6	150	10,50	266,7	10,50	266,7	15,88	403,4	15,88	403,4	22,00	558,8	22,00	558,8
8	200	11,50	292,1	11,50	292,1	16,50	419,1	16,50	419,1	26,00	660,4	26,00	660,4
10	250	13,00	330,2	13,00	330,2	18,00	457,2	18,00	457,2	31,00	787,4	31,00	787,4
12	300	14,00	355,6	14,00	355,6	19,75	501,7	19,75	501,7	33,00	838,2	33,00	838,2
14	350	15,00	381,0	---	---	22,50	571,5	22,50	571,5	---	---	---	---
16	400	16,00	406,4	---	---	24,00	609,6	24,00	609,6	---	---	---	---
18	450	17,00	431,8	---	---	26,00	660,4	26,00	660,4	---	---	---	---
20	500	18,00	457,2	---	---	28,00	711,2	28,00	711,2	---	---	---	---
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
24	600	20,00	508,0	---	---	31,00	787,4	31,00	787,4	---	---	---	---
26	650	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
28	700	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
30	750	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
32	800	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
34	850	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
36	900	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Notas
1. (---) Indica que el tamaño de válvula no se proporciona conforme a los estándares ASME/ANSI, pero que puede estar disponible para su venta.
2. Las medidas en milímetro se redondean hacia abajo a la primera cifra decimal.
3. Las medidas se basan en el estándar ASME/ANSI B16.10.

Figura 10.29 Válvulas de compuerta de hierro fundido

Válvulas de globo de hierro fundido / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm)
(realizadas de superficie a superficie para válvulas de paso recto, centro a superficie para válvulas de ángulo)

Válvulas de globo de hierro fundido / Clase ANSI 125 y 250													
Nominal Tamaño de conducto		Superficie plana / Clase 125						Superficie elevada / Clase 250					
		Paso recto		Globo en ángulo		Estilo de regulación		Paso recto		Globo en ángulo		Estilo de regulación	
pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
1/4	8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/8	10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2	15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	7,50	190,5
3/4	20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	7,62	193,5
1	25	---	---	---	---	7,25	190,5	---	---	---	---	7,55	196,9
1-1/4	32	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1-1/2	40	---	---	---	---	8,75	222,3	---	---	---	---	9,25	235,0
2	50	8,00	203,2	4,00	101,6	10,00	254,0	10,50	266,7	5,25	133,4	10,50	266,7
2-1/2	65	8,50	215,9	4,25	107,0	10,88	276,4	11,50	292,1	5,75	146,1	11,50	292,1
3	80	9,50	241,3	4,75	120,7	11,75	298,5	12,50	317,5	6,25	158,8	12,50	317,5
4	100	11,50	292,1	5,75	146,1	13,88	352,6	14,00	355,6	7,00	177,8	14,50	368,3
5	125	13,00	330,2	6,50	165,1	---	---	15,75	400,1	7,88	200,2	---	---
6	150	14,00	355,6	7,00	177,8	17,75	450,9	17,50	444,5	8,75	222,3	18,62	473,0
8	200	19,50	495,3	9,75	247,7	21,38	543,1	21,00	533,4	10,50	266,7	22,38	568,5
10	250	24,50	622,3	12,25	311,1	26,50	673,1	24,50	622,3	12,25	311,2	27,88	708,2
12	300	27,50	698,5	13,75	349,3	29,00	736,6	28,00	711,2	14,00	355,6	30,50	774,7
14	350	31,00	787,4	15,50	393,7	35,00	889,0	---	---	---	---	36,50	927,1
16	400	36,00	914,4	18,00	457,2	40,00	1016,0	---	---	---	---	41,62	1057,2
18	450	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
20	500	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
24	600	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
26	650	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
28	700	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
30	750	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
32	800	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
36	900	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Notas
1. (---) Indica que el tamaño de válvula no se proporciona conforme a los estándares ASME/ANSI, pero que puede estar disponible para su venta.
2. Las medidas en milímetro se redondean hacia abajo a la primera cifra decimal.
3. Las medidas se basan en el estándar ASME/ANSI B16.10.
4. Las medidas de las válvulas de retención de charnela y de pistón de paso recto estándar son iguales para la válvula de globo de paso recto (salvo retenciones basculantes en vertical de 400 mm (16")).
5. Las medidas de las válvulas de retención de pistón angulares estándar son iguales para la válvula de globo angular.

Figura 10.30 Válvulas de globo de hierro fundido

Válvulas de compuerta de acero / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm) *(realizadas de superficie a superficie y de extremo a extremo de las válvulas)*									
Válvulas de compuerta de acero / Clase ANSI 150									
Tamaño nominal del conducto		**Superficie elevada / Clase 150**				**Extremo biselado / Clase 150**			
		Cuña sólida		**Disco doble**		**Cuña sólida**		**Disco doble**	
pulg	**mm**	**pulg**	**mm**	**pulg**	**mm**	**pulg**	**mm**	**pulg**	**mm**
1/4	8	4,00	101,6	4,00	101,6	4,00	101,6	4,00	101,6
3/8	10	4,00	101,6	4,00	101,6	4,00	101,6	4,00	101,6
1/2	15	4,25	108,0	4,25	108,0	4,25	108,0	4,25	108,0
3/4	20	4,62	117,4	4,62	117,4	4,62	117,4	4,62	117,4
1	25	5,00	127,0	5,00	127,0	5,00	127,0	5,00	127,0
1-1/4	32	5,50	139,7	5,50	139,7	5,50	139,7	5,50	139,7
1-1/2	40	6,50	165,1	6,50	165,1	6,50	165,1	6,50	165,1
2	50	7,00	177,8	7,00	177,8	8,50	215,9	8,50	215,9
2-1/2	65	7,50	190,5	7,50	190,5	9,50	241,3	9,50	241,3
3	80	8,00	203,2	8,00	203,2	11,12	282,5	11,12	282,5
4	100	9,00	228,6	9,00	228,6	12,00	304,8	12,00	304,8
5	125	10,00	254,0	10,00	254,0	15,00	381,0	15,00	381,0
6	150	10,50	266,7	10,50	266,7	15,88	403,4	15,88	403,4
8	200	11,50	292,1	11,50	292,1	16,50	419,1	16,50	419,1
10	250	13,00	330,2	13,00	330,2	18,00	457,2	18,00	457,2
12	300	14,00	355,6	14,00	355,6	19,75	501,7	19,75	501,7
14	350	15,00	381,0	15,00	381,0	22,50	571,5	22,50	571,5
16	400	16,00	406,4	16,00	406,4	24,00	609,6	24,00	609,6
18	450	17,00	431,8	17,00	431,8	26,00	660,4	26,00	660,4
20	500	18,00	457,2	18,00	457,2	28,00	711,2	28,00	711,2
22	550	---	---	---	---	30,00	762,0	30,00	762,0
24	600	20,00	508,0	20,00	508,0	32,00	812,8	32,00	812,8
26	650	22,00	558,8	22,00	558,8	---	---	34,00	863,6
28	700	24,00	609,6	24,00	609,6	---	---	36,00	914,4
30	750	24,00	609,6	24,00	609,6	---	---	36,00	914,4
32	800	---	---	---	---	---	---	38,00	965,2
34	850	---	---	---	---	---	---	40,00	1016
36	900	28,00	711,2	28,00	711,2	---	---	40,00	1016

Figura 10.31 Válvula de compuerta de acero (Clase 150)

Válvulas de compuerta de acero / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm) *(realizadas de superficie a superficie y de extremo a extremo de las válvulas)*									
Válvulas de compuerta de acero / Clase ANSI 300									
Tamaño nominal del conducto		**Superficie elevada / Clase 300**				**Extremo biselado / Clase 300**			
		Cuña sólida		**Disco doble**		**Cuña sólida**		**Disco doble**	
pulg	**mm**	**pulg**	**mm**	**pulg**	**mm**	**pulg**	**mm**	**pulg**	**mm**
1/4	8	---	---	---	---	---	---	---	---
3/8	10	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2	15	5,50	139,7	---	---	5,50	139,7	---	---
3/4	20	6,00	152,4	---	---	6,00	152,4	---	---
1	25	6,50	165,1	---	---	6,50	165,1	---	---
1-1/4	32	7,00	177,8	---	---	7,00	177,8	---	---
1-1/2	40	7,50	190,5	7,50	190,5	7,50	190,5	7,50	190,5
2	50	8,50	215,9	8,50	215,9	8,50	215,9	8,50	215,9
2-1/2	65	9,50	241,3	9,50	241,3	9,50	241,3	9,50	241,3
3	80	11,12	282,5	11,12	282,5	11,12	282,5	11,12	282,5
4	100	12,00	304,8	12,00	304,8	12,00	304,8	12,00	304,8
5	125	15,00	381,0	15,00	381,0	15,00	381,0	15,00	381,0
6	150	15,88	403,4	15,88	403,4	15,88	403,4	15,88	403,4
8	200	16,50	419,1	16,50	419,1	16,50	419,1	16,50	419,1
10	250	18,00	457,2	18,00	457,2	18,00	457,2	18,00	457,2
12	300	19,75	501,7	19,75	501,7	19,75	501,7	19,75	501,7
14	350	30,00	762,0	30,00	762,0	30,00	762,0	30,00	762,0
16	400	33,00	838,2	33,00	838,2	33,00	838,2	33,00	838,2
18	450	36,00	914,4	36,00	914,4	36,00	914,4	36,00	914,4
20	500	39,00	990,6	39,00	990,6	39,00	990,6	39,00	990,6
22	550	43,00	1092,2	43,00	1092,2	43,00	1092,2	43,00	1092,2
24	600	45,00	1143,0	45,00	1143,0	45,00	1143,0	45,00	1143,0
26	650	49,00	1244,6	49,00	1244,6	49,00	1244,6	49,00	1244,6
28	700	53,00	1346,2	53,00	1346,2	53,00	1346,2	53,00	1346,2
30	750	55,00	1397,0	55,00	1397,0	55,00	1397,0	55,00	1397,0
32	800	60,00	1524,0	60,00	1524,0	60,00	1524,0	60,00	1524,0
34	850	64,00	1625,6	64,00	1625,6	64,00	1625,6	64,00	1625,6
36	900	68,00	1727,2	68,00	1727,2	68,00	1727,2	68,00	1727,2

Figura 10.32 Válvula de compuerta de acero (Clase 300)

Válvulas de compuerta de acero / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm)
(realizadas de superficie a superficie y de extremo a extremo de las válvulas)

Válvulas de compuerta de acero / Clase ANSI 400 y 600															
Tamaño nominal del conducto		Superficie elevada y extremo biselado / Clase 400				Superficie elevada / Clase 600				Extremo biselado / Clase 600					
		Cuña sólida		Disco doble		Cuña sólida		Disco doble		Cuña sólida		Disco doble		Patrón corto	
pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
1/2	15	6,5	165,1	---	---	6,5	165,1	---	---	6,50	165,1	---	---	---	---
3/4	20	7,5	190,5	---	---	7,5	190,5	---	---	7,5	190,5	---	---	---	---
1	25	8,5	215,9	8,5	215,9	8,5	215,9	8,5	215,9	8,5	215,9	8,5	215,9	5,25	133,4
1-1/4	32	9,0	228,6	9,0	228,6	9,0	228,6	9,0	228,6	9,0	228,6	9,0	228,6	5,75	146,1
1-1/2	40	9,5	241,3	9,5	241,3	9,5	241,3	9,5	241,3	9,5	241,3	9,5	241,3	6,0	152,4
2	50	11,5	292,1	11,5	292,1	11,5	292,1	11,5	292,1	11,5	292,1	11,5	292,1	7,0	177,8
2-1/2	65	13,0	330,2	13,0	330,2	13,0	330,2	13,0	330,2	13,0	330,2	13,0	330,2	8,5	215,9
3	80	14,0	355,6	14,0	355,6	14,0	355,6	14,0	355,6	14,0	355,6	14,0	355,6	10,0	254,0
4	100	16,0	406,4	16,0	406,4	17,0	431,8	17,0	431,8	17,0	431,8	17,0	431,8	12,0	304,8
5	125	18,0	457,2	18,0	457,2	20,0	508,0	20,0	508,0	20,0	508,0	20,0	508,0	15,0	381,0
6	150	19,5	495,3	19,5	495,3	22,0	558,8	22,0	558,8	22,0	558,8	22,0	558,8	18,0	457,2
8	200	23,5	596,9	23,5	596,9	26,0	660,4	26,0	660,4	26,0	660,4	26,0	660,4	23,0	584,2
10	250	26,5	673,1	26,5	673,1	31,0	787,4	31,0	787,4	31,0	787,4	31,0	787,4	28,0	711,2
12	300	30,0	762,0	30,0	762,0	33,0	838,2	33,0	838,2	33,0	838,2	33,0	838,2	32,0	812,8
14	350	32,5	825,5	32,5	825,5	35,0	889,0	35,0	889,0	35,0	889,0	35,0	889,0	35,0	889,0
16	400	35,5	901,7	35,5	901,7	39,0	990,6	39,0	990,6	39,0	990,6	39,0	990,6	39,0	990,6
18	450	38,5	977,9	38,5	977,9	43,0	1092,2	43,0	1092,2	43,0	1092,2	43,0	1092,2	43,0	1092,2
20	500	41,5	1054,1	41,5	1054,1	47,0	1193,8	47,0	1193,8	47,0	1193,8	47,0	1193,8	47,0	1193,8
22	550	45,0	1143,0	45,0	1143,0	51,0	1295,4	51,0	1295,4	51,0	1295,4	51,0	1295,4	---	---
24	600	48,5	1231,9	48,5	1231,9	55,0	1397,0	55,0	1397,0	55,0	1397,0	55,0	1397,0	55,0	1397,0
26	650	---	---	---	1308,1	57,0	1447,8	57,0	1447,8	57,0	1447,8	57,0	1447,8	---	---
28	700	---	---	---	1397,0	61,0	1549,4	61,0	1549,4	61,0	1549,4	61,0	1549,4	---	---
30	750	---	---	---	1524,0	65,0	---	65,0	1651,0	65,0	1651,0	65,0	1651,0	---	---
32	800	---	---	---	1651,0	---	---	70,0	1778,0	---	---	70,0	1778,0	---	---
34	850	---	---	---	1778,0	---	---	76,0	1930,4	---	---	76,0	1930,4	---	---
36	900	---	---	---	1879,6	---	---	82,0	2082,8	---	---	82,0	2082,8	---	---

Figura 10.33 Válvula de compuerta de acero (Clase 400 y 600)

Válvulas de compuerta de acero / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm)
(realizadas de superficie a superficie y de extremo a extremo de las válvulas)

Válvulas de compuerta de acero / Clase ANSI 900 y 1500													
Tamaño nominal del conducto		Superficie elevada y extremo biselado Clase 900				Extremo biselado / Clase 900		Superficie elevada y extremo biselado Clase 1500					
		Cuña sólida		Disco doble		Patrón corto		Cuña sólida		Disco doble		Patrón corto	
pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
3/4	20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1	25	10,00	254,0	---	---	5,50	139,7	10,00	254,0	---	---	5,50	139,7
1-1/4	32	11,00	279,4	---	---	6,50	165,1	11,00	279,4	---	---	6,50	165,1
1-1/2	40	12,00	304,8	---	---	7,00	177,8	12,00	304,8	---	---	7,00	177,8
2	50	14,50	368,3	14,50	368,3	8,50	215,9	14,50	368,3	14,50	368,3	8,50	215,9
2-1/2	65	16,50	419,1	16,50	419,1	10,00	254,0	16,50	419,1	16,50	419,1	10,00	254,0
3	80	15,00	381,0	15,00	381,0	12,00	304,8	18,50	469,9	18,50	469,9	12,00	304,8
4	100	18,00	457,2	18,00	457,2	14,00	355,6	21,50	546,1	21,50	546,1	16,00	406,4
5	125	22,00	558,8	22,00	558,8	17,00	431,8	26,50	673,1	26,50	673,1	19,00	482,6
6	150	24,00	609,6	24,00	609,6	20,00	508,0	27,75	704,9	27,75	704,9	22,00	558,8
8	200	29,00	736,6	29,00	736,6	26,00	660,4	32,75	831,9	32,75	831,9	28,00	711,2
10	250	33,00	838,2	33,00	838,2	31,00	787,4	39,00	990,6	39,00	990,6	34,00	863,6
12	300	38,00	965,2	38,00	965,2	36,00	914,4	44,50	1130,3	44,50	1130,3	39,00	990,6
14	350	40,50	1028,7	40,50	1028,7	39,00	990,6	49,50	1257,3	49,50	1257,3	42,00	1066,8
16	400	44,50	1130,3	44,50	1130,3	43,00	1092,2	54,50	1384,3	54,50	1384,3	47,00	1193,8
18	450	48,00	1219,2	48,00	1219,2	---	---	60,50	1536,7	60,50	1536,7	53,00	1346,2
20	500	52,00	1320,8	52,00	1320,8	---	---	65,50	1663,7	65,50	1663,7	58,00	1473,2
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
24	600	61,00	1549,4	61,00	1549,4	---	---	76,50	1943,1	76,50	1943,1	---	---

Figura 10.34 Válvula de compuerta de acero (Clase 900 y 1500)

Válvulas de compuerta de acero / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm)
(realizadas de superficie a superficie y de extremo a extremo de las válvulas)

VÁLVULAS DE COMPUERTA DE ACERO / CLASE ANSI 2500											
Tamaño nominal del conducto		Superficie elevada / Clase 2500				Extremo biselado / Clase 2500					
		Cuña sólida		Disco doble		Cuña sólida		Disco doble		Patrón corto	
pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
1/2	15	10,38	263,7	---	---	10,38	263,7	---	---	---	---
3/4	20	10,75	273,1	---	---	10,75	273,1	---	---	---	---
1	25	12,12	307,9	---	---	12,12	307,9	---	---	7,31	185,7
1-¼	32	13,75	349,3	---	---	13,75	349,3	---	---	9,12	231,7
1-½	40	15,12	384,1	---	---	15,12	384,1	---	---	9,12	231,7
2	50	17,75	450,9	17,75	450,9	17,75	450,9	17,75	450,9	11,00	279,4
2-½	65	20,00	508,0	20,00	508,0	20,00	508,0	20,00	508,0	13,00	330,2
3	80	22,75	577,9	22,75	577,9	22,75	577,9	22,75	557,9	14,50	368,3
4	100	26,50	673,1	26,50	673,1	26,50	673,1	26,50	673,1	18,00	457,2
5	125	31,25	793,8	31,25	793,8	31,25	793,8	31,25	793,8	21,00	533,4
6	150	36,00	914,4	36,00	914,4	36,00	914,4	36,00	914,4	24,00	609,6
8	200	40,25	1022,4	40,25	1022,4	40,25	1022,4	40,25	1022,4	30,00	762,0
10	250	50,00	1270,0	50,00	1270,0	50,00	1270,0	50,00	1270,0	36,00	914,4
12	300	56,00	1422,4	56,00	1422,4	56,00	1422,4	56,00	1422,4	41,00	1041,4
14	350	---	---	---	---	---	---	---	---	44,00	1117,6
16	400	---	---	---	---	---	---	---	---	49,00	1244,6
18	450	---	---	---	---	---	---	---	---	55,00	1397,0

Notas
1. (---) Indica que el tamaño de válvula no se proporciona conforme a los estándares ASME/ANSI, pero que puede estar disponible para su venta.
2. Las medidas en milímetro se redondean hacia abajo a la primera cifra decimal.
3. Las medidas se basan en el estándar ASME/ANSI B16.10.
4. Las medidas de patrón corto se aplican a válvulas con bonete de cierre a presión o sin brida (opción de bonetes empernados).

Figura 10.35. Válvula de compuerta de acero (Clase 2500)

Válvulas de globo y de retención de acero / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm)
(realizadas de superficie a superficie y extremo a extremo para válvulas de paso recto, centro a superficie y centro a extremo para válvulas de ángulo)

Válvulas de globo y de retención de acero / Clase ANSI 150											
Nominal Tamaño de conducto		Superficie elevada y extremo biselado / Clase 150									
		Paso recto Globo		Globo en ángulo		Globo con patrón en "Y"		Válvula de control Globo (*)		Retención de charnela	
pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
1/4	8	4,00	101,6	2,00	50,8	---	---	---	---	4,00	101,6
3/8	10	4,00	101,6	2,00	50,8	---	---	---	---	4,00	101,6
1/2	15	4,25	108,0	2,25	57,2	5,50	139,7	---	---	4,25	108,0
3/4	20	4,62	117,4	2,50	63,5	6,00	152,4	---	---	4,62	117,4
1	25	5,00	127,0	2,75	69,9	6,50	165,1	7,25	184,2	5,00	127,0
1-¼	32	5,50	139,7	3,00	76,2	7,25	184,2	---	---	5,50	139,7
1-½	40	6,50	165,1	3,25	82,6	8,00	203,2	8,75	222,3	6,50	165,1
2	50	8,00	203,2	4,00	101,6	9,00	228,6	10,00	254,0	8,00	203,2
2-½	65	8,50	215,9	4,25	108,0	11,00	279,4	10,88	276,4	8,50	215,9
3	80	9,50	241,3	4,75	120,7	12,50	317,5	11,75	298,5	9,50	241,3
4	100	11,50	292,1	5,75	146,1	14,50	368,3	13,88	352,6	11,50	292,1
5	125	14,00	355,6	7,00	177,8	---	---	---	---	13,00	355,6
6	150	16,00	406,4	8,00	203,2	18,50	469,9	17,75	450,9	14,00	406,4
8	200	19,50	495,3	9,75	247,7	23,50	596,9	21,38	543,1	19,50	495,3
10	250	24,50	622,3	12,25	311,2	26,50	673,1	26,50	673,1	24,50	622,3
12	300	27,50	698,5	13,75	349,3	30,50	774,7	29,00	736,6	27,50	698,5
14	350	31,00	787,4	15,50	393,7	---	---	35,00	889,0	31,50	787,4
16	400	36,00	914,4	18,00	457,2	---	---	40,00	1016,0	34,00	914,4
18	450	---	---	---	---	---	---	---	---	38,50	977,9
20	500	---	---	---	---	---	---	---	---	38,50	977,9
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---	42,00	1066,8
24	600	---	---	---	---	---	---	---	---	51,00	1295,4
26	650	---	---	---	---	---	---	---	---	51,00	1295,4
28	700	---	---	---	---	---	---	---	---	57,00	1447,8
30	750	---	---	---	---	---	---	---	---	60,00	1524,0
32	800	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
34	850	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
36	900	---	---	---	---	---	---	---	---	77,00	1955,8

Nota: Las medidas de válvula de control solo se aplican a válvulas de brida de superficie elevada.

Figura 10.36 Válvula de retención / globo de acero (Clase 150)

Válvulas de globo y de retención de acero / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm)
(realizadas de superficie a superficie y extremo a extremo para válvulas de paso recto, centro a superficie y centro a extremo para válvulas de ángulo)

Válvulas de globo y de retención de acero / Clase ANSI 300									
Nominal Tamaño de conducto		Superficie elevada y extremo biselado / Clase 300							
		Globo de paso recto		Globo en ángulo		Válvula de control Globo (*)		Retención de charnela	
pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
1/4	8	---	---	---	---	---	---	---	---
3/8	10	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2	15	6,00	152,4	3,00	76,2	7,50	190,5	---	---
3/4	20	7,00	177,8	3,50	88,9	7,62	193,6	---	---
1	25	8,00	203,2	4,00	101,6	7,75	196,9	8,50	215,9
1-1/4	32	8,50	215,9	4,25	108,0	---	---	9,00	228,6
1-1/2	40	9,00	228,6	4,50	114,3	9,25	235,0	9,50	241,3
2	50	10,50	266,7	5,25	133,4	10,50	266,7	10,50	266,7
2-1/2	65	11,50	292,1	5,75	146,1	11,50	292,1	11,50	292,1
3	80	12,50	317,5	6,25	158,8	12,50	321,3	12,50	317,5
4	100	14,00	355,6	7,00	177,8	14,50	368,3	14,00	355,6
5	125	15,75	400,1	7,88	200,2	---	---	15,75	400,1
6	150	17,50	444,5	8,75	222,3	18,62	473,0	17,50	444,5
8	200	22,00	558,8	11,00	279,4	22,38	568,5	21,00	533,4
10	250	24,50	622,3	12,25	311,2	27,88	708,2	24,50	622,3
12	300	28,00	711,2	14,00	355,6	30,50	774,7	28,00	711,2
14	350	---	---	---	---	36,50	927,1	33,00	838,2
16	400	---	---	---	---	41,62	1057,2	34,00	863,6
18	450	---	---	---	---	---	---	38,50	977,9
20	500	---	---	---	---	---	---	40,00	1016,0
22	550	---	---	---	---	---	---	44,00	1117,6
24	600	---	---	---	---	---	---	53,00	1346,2
26	650	---	---	---	---	---	---	53,00	1346,2
28	700	---	---	---	---	---	---	59,00	1498,6
30	750	---	---	---	---	---	---	62,75	1593,9
32	800	---	---	---	---	---	---	---	---
34	850	---	---	---	---	---	---	---	---
36	900	---	---	---	---	---	---	82,00	2082,8

Las medidas de válvula de control solo se aplican a válvulas de brida de superficie elevada.

Figura 10.37 Válvula de retención / globo de acero (Clase 300)

Válvulas de globo y de retención de acero / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm)
(realizadas de superficie a superficie y extremo a extremo para válvulas de paso recto, centro a superficie y centro a extremo para válvulas de ángulo)

								Patrón largo					
Nominal Tamaño de conducto		Superficie elevada y extremo biselado / Clase 400						Superficie elevada y extremo biselado / Clase 600					
		Globo de paso recto		Globo en ángulo		Retención de charnela		Globo de paso recto		Globo en ángulo		Retención de charnela	
pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
1/2	15	6,50	165,1	3,25	82,6	6,50	165,1	6,50	165,1	3,25	82,6	6,50	165,1
3/4	20	7,50	190,5	3,75	95,3	7,50	190,5	7,50	190,5	3,75	95,3	7,50	190,5
1	25	8,50	215,9	4,25	108,0	8,50	215,9	8,50	215,9	4,25	108,0	8,50	215,9
1-¼	32	9,00	228,6	4,50	114,3	9,00	228,6	9,00	228,6	4,50	114,3	9,00	228,6
1-½	40	9,50	241,3	4,75	120,7	9,50	241,3	9,50	241,3	4,75	120,7	9,50	241,3
2	50	11,50	292,1	5,75	146,1	11,50	292,1	11,50	292,1	5,75	146,1	11,50	292,1
2-½	65	13,00	330,2	6,50	165,1	13,00	330,2	13,00	330,2	6,50	165,1	13,00	330,2
3	80	14,00	355,6	7,00	177,8	14,00	355,6	14,00	355,6	7,00	177,8	14,00	355,6
4	100	16,00	406,4	8,00	203,2	16,00	406,4	17,00	431,8	8,50	215,9	17,00	431,8
5	125	18,00	457,2	9,00	228,6	18,00	457,2	20,00	508,0	10,00	254,0	20,00	508,0
6	150	19,50	495,3	9,75	247,7	19,50	495,3	22,00	558,8	11,00	279,4	22,00	558,8
8	200	23,50	596,9	11,75	298,5	23,50	596,9	26,00	660,4	13,00	330,2	26,00	660,4
10	250	26,50	673,1	13,25	336,6	26,50	673,1	31,00	787,4	15,50	393,7	31,00	787,4
12	300	30,00	762,0	15,00	381,0	30,00	762,0	33,00	838,2	16,50	419,1	33,00	838,2
14	350	---	---	---	---	35,00	889,0	---	---	---	---	35,00	889,0
16	400	---	---	---	---	35,50	901,7	---	---	---	---	39,00	990,6
18	450	---	---	---	---	40,00	1016,0	---	---	---	---	43,00	1092,2
20	500	---	---	---	---	41,50	1054,1	---	---	---	---	47,00	1193,8
22	550	---	---	---	---	45,00	1143,0	---	---	---	---	51,00	1295,4
24	600	---	---	---	---	55,00	1397,0	---	---	---	---	55,00	1397,0
26	650	---	---	---	---	55,00	1397,0	---	---	---	---	57,00	1447,8
28	700	---	---	---	---	63,00	1600,2	---	---	---	---	63,00	1600,2
30	750	---	---	---	---	65,00	1651,0	---	---	---	---	65,00	1651,0
32	800	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
34	850	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
36	900	---	---	---	---	82,00	2082,8	---	---	---	---	82,00	2082,8

Figura 10.38 Válvula de retención / globo de acero (Clase 400 y 600)

Válvulas de globo y de retención de acero / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm)
(realizadas de superficie a superficie y extremo a extremo para válvulas de paso recto, centro a superficie y centro a extremo para válvulas de ángulo)

Tamaño nominal del conducto		Patrón corto							
		Extremo biselado / Clase 600							
		Globo de paso recto		Globo en ángulo		Retención de charnela		Globo de válvula de control	
pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
1/2	15	---	---	---	---	---		8,00	203,2
3/4	20	---	---	---	---	---		8,12	206,3
1	25	5,25	133,4	---	---	5,25	133,4	8,25	209,6
1-1/4	32	5,75	146,1	---	---	5,75	146,1	---	---
1-1/2	40	6,00	152,4	---	---	6,00	152,4	9,88	251,0
2	50	7,00	177,8	4,25	108,0	7,00	177,8	11,25	285,8
2-1/2	65	8,50	215,9	5,00	127,0	8,50	215,9	12,25	311,2
3	80	10,00	254,0	6,00	152,4	10,00	254,0	13,25	336,6
4	100	12,00	304,8	7,00	177,8	12,00	304,8	15,50	393,7
5	125	15,00	381,0	8,50	215,9	15,00	381,0	---	---
6	150	18,00	457,2	10,00	254,0	18,00	457,2	20,00	508,0
8	200	23,00	584,2	---	---	23,00	584,2	24,00	609,6
10	250	28,00	711,2	---	---	28,00	711,2	29,62	752,4
12	300	32,00	812,8	---	---	32,00	812,2	32,25	819,2
14	350	---	---	---	---		---	38,25	971,6
16	400	---	---	---	---	---	---	43,62	1108,0
18	450	---	---	---	---	---	---	---	---
20	500	---	---	---	---	---	---	---	---
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---
24	600	---	---	---	---	---	---	---	---
26	650	---	---	---	---	---	---	---	---
28	700	---	---	---	---	---	---	---	---
30	750	---	---	---	---	---	---	---	---
32	800	---	---	---	---	---	---	---	---
34	850	---	---	---	---	---	---	---	---
36	900	---	---	---	---	---	---	---	---

Figura 10.39 Válvula de retención / globo de acero (Clase 600)

Válvulas de globo y de retención de acero / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm)
(realizadas de superficie a superficie y extremo a extremo para válvulas de paso recto, centro a superficie y centro a extremo para válvulas de ángulo)

Válvulas de globo y de retención de acero / Clase ANSI 900													
Tamaño nominal del conducto		Patrón largo						Patrón corto					
		Superficie elevada y extremo biselado / Clase 900						Extremo biselado / Clase 900					
		Globo de paso recto		Globo en ángulo		Retención de charnela		Globo de paso recto		Globo en ángulo		Retención de charnela	
pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
1/2	15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/4	20	9,00	228,6	4,50	114,3	9,00	228,6	---	---	---	---	---	---
1	25	10,00	254,0	5,00	127,0	10,00	254,0	---	---	---	---	---	---
1-¼	32	11,00	279,4	5,50	139,7	11,00	279,4	---	---	---	---	---	---
1-½	40	12,00	304,8	6,00	152,4	12,00	304,8	---	---	---	---	---	---
2	50	14,50	368,3	7,25	184,2	14,50	368,3	---	---	---	---	---	---
2-½	65	16,50	419,1	8,25	209,6	16,50	419,1	10,00	254,0	---	---	10,00	254,0
3	80	15,00	381,0	7,50	190,5	15,00	381,0	12,00	304,8	6,00	152,4	12,00	304,8
4	100	18,00	457,2	9,00	228,6	18,00	457,2	14,00	355,6	7,00	177,8	14,00	355,6
5	125	22,00	558,8	11,00	279,4	22,00	558,8	17,00	431,8	8,50	215,9	17,00	431,8
6	150	24,00	609,6	12,00	304,8	24,00	609,6	20,00	508,0	10,00	254,0	20,00	508,0
8	200	29,00	736,6	14,50	368,3	29,00	736,6	26,00	660,4	13,00	330,2	26,00	660,4
10	250	33,00	838,2	16,50	419,1	33,00	838,2	31,00	787,4	15,50	393,7	31,00	787,4
12	300	38,00	965,2	19,00	482,6	38,00	965,2	36,00	914,4	18,00	457,2	36,00	914,4
14	350	40,50	1028,7	20,25	514,4	40,50	1028,7	39,00	990,6	19,50	495,3	39,00	990,6
16	400	---	---	26,00	660,4	44,50	1130,3	43,00	1092,2	---	---	43,00	1092,2
18	450	---	---	29,00	736,6	48,00	1219,2	---	---	---	---	---	---
20	500	---	---	32,50	825,5	52,00	1320,8	---	---	---	---	---	---
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
24	600	---	---	39,00	990,6	61,00	1549,4	---	---	---	---	---	---

Figura 10.40 Válvula de retención / globo de acero (Clase 900)

Válvulas de globo y de retención de acero / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm)
(realizadas de superficie a superficie y extremo a extremo para válvulas de paso recto, centro a superficie y centro a extremo para válvulas de ángulo)

Válvulas de globo y de retención de acero / Clase ANSI 1500											
Nominal Tamaño de conducto		Patrón largo						Patrón corto			
		Superficie elevada y extremo biselado / Clase 1500						Extremo biselado / Clase 1500			
		Globo de paso recto		Globo en ángulo		Retención de charnela		Globo de paso recto		Retención de charnela	
pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
1/2	15	8,50	215,9	4,25	108,0	---	---	---	---	---	---
3/4	20	9,00	228,6	4,50	114,3	9,00	228,6	---	---	---	---
1	25	10,00	254,0	5,00	127,0	10,00	254,0	---	---	---	---
1-¼	32	11,00	279,4	5,50	139,7	11,00	279,4	---	---	---	---
1-½	40	12,00	304,8	6,00	152,4	12,00	304,8	---	---	---	---
2	50	14,50	368,3	7,25	184,2	14,50	368,3	8,50	215,9	8,50	215,9
2-½	65	16,50	419,1	8,25	209,6	16,50	419,1	10,00	254,0	10,00	254,0
3	80	18,50	469,9	9,25	235,0	18,50	469,9	12,00	304,8	12,00	304,8
4	100	21,50	546,1	10,75	273,1	21,50	546,1	16,00	406,4	16,00	406,4
5	125	26,50	673,1	13,25	336,6	26,50	673,1	19,00	482,6	19,00	482,6
6	150	27,75	704,9	13,88	352,6	27,75	704,9	22,00	558,8	22,00	558,8
8	200	32,75	831,9	16,38	416,1	32,75	831,9	28,00	711,2	28,00	711,2
10	250	39,00	990,6	19,50	495,3	39,00	990,6	34,00	863,6	34,00	863,6
12	300	44,50	1130,3	22,25	565,2	44,50	1130,3	39,00	990,6	39,00	990,6
14	350	49,50	1257,3	24,75	628,7	49,50	1257,3	42,00	1066,8	42,00	1066,8
16	400	---	---	---	---	54,50	1384,3	47,00	1193,8	47,00	1193,8
18	450	---	---	---	---	60,50	1536,7	---	---	---	---
20	500	---	---	---	---	65,50	1663,7	---	---	---	---
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
24	600	---	---	---	---	76,50	1943,1	---	---	---	---

Figura 10.41 Válvula de retención / globo de acero (Clase 1500)

Válvulas de globo y de retención de acero / medidas indicadas en pulgadas y milímetros (mm)
(realizadas de superficie a superficie y extremo a extremo para válvulas de paso recto, centro a superficie y centro a extremo para válvulas de ángulo)

Válvulas de globo y de retención de acero / Clase ANSI 2500											
Nominal Tamaño de conducto		Patrón largo						Patrón corto			
		Superficie elevada y extremo biselado / Clase 2500						Extremo biselado / Clase 2500			
		Globo de paso recto		Globo en ángulo		Retención de charnela		Globo de paso recto		Retención de charnela	
pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
1/2	15	10,38	263,7	5,19	131,8	10,38	263,7	---	---	---	---
3/4	20	10,75	273,1	5,38	136,7	10,75	273,1	---	---	---	---
1	25	12,12	307,9	6,06	153,9	12,12	307,9	---	---	---	---
1-1/4	32	13,75	349,3	6,88	174,8	13,75	349,3	---	---	---	---
1-1/2	40	15,12	384,0	7,56	192,0	15,12	384,0	---	---	---	---
2	50	17,75	450,9	8,88	225,6	17,75	450,9	11,00	279,4	11,00	279,4
2-1/2	65	20,00	508,0	10,00	254,0	20,00	508,0	13,00	330,2	13,00	330,2
3	80	22,75	577,9	11,38	289,1	22,75	577,9	14,50	368,3	14,50	368,3
4	100	26,50	673,1	13,25	336,6	26,50	673,1	18,00	457,2	18,00	457,2
5	125	31,25	793,8	15,62	396,8	31,25	793,8	21,00	533,4	21,00	533,4
6	150	36,00	914,4	18,00	457,2	36,00	914,4	24,00	609,6	24,00	609,6
8	200	40,25	1022,4	20,12	511,1	40,25	1022,4	30,00	762,0	30,00	762,0
10	250	50,00	1270,0	25,00	635,0	50,00	1270,0	36,00	914,0	36,00	914,0
12	300	56,00	1422,4	28,00	711,2	56,00	1422,4	41,00	1041,4	41,00	1041,4
14	350	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
16	400	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18	450	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Notas
1. (---) Indica que el tamaño de válvula no se proporciona conforme a los estándares ASME/ANSI, pero que puede estar disponible para su venta.
2. Las medidas en milímetro se redondean hacia abajo a la primera cifra decimal.
3. Las medidas se basan en el estándar ASME/ANSI B16.10.
4. Las medidas de válvula de retención de pistón de paso recto estándar son iguales para las medidas de válvula de globo de paso recto indicadas anteriormente.
5. Las medidas de válvula de retención de pistón angular son iguales para las medidas de válvula de globo angular detalladas en las tablas.
6. Las medidas de patrón corto se aplican a válvulas con bonete de cierre a presión o sin brida (opción de bonetes empernados).

Figura 10.42 Válvula de retención / globo de acero (Clase 2500)

Capítulo 11
Electroválvulas

11.1 Electroválvulas

Una válvula accionada por solenoide (SOV, solenoid-operated valve) es una válvula electromagnética de apertura/cierre controlada por una señal eléctrica discreta emitida por un sistema de control. En aplicaciones de control de procesos, las SOV se utilizan habitualmente para presurizar o despresurizar actuadores de apertura/cierre. Una SOV de 3 vías se utiliza para aplicaciones con actuador de retorno de resorte, y una SOV de 4 vías se utiliza para aplicaciones de actuador de acción doble (consulte las Figuras 11.1 y 11.2).

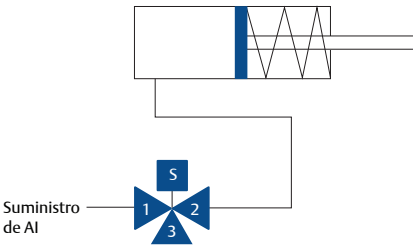


Figura 11.1 Diafragma de actuador de retorno de resorte

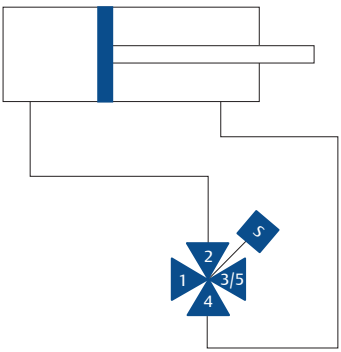


Figura 11.2 Diafragma de actuador de acción doble

Las aplicaciones de válvula de control habitualmente utilizan una electroválvula entre el controlador de válvula digital y la válvula de control (Figura 11.3). La SOV recibirá alimentación mientras el controlador de válvula digital controle la válvula de control. La señal neumática del controlador de válvula digital pasa por la SOV durante el funcionamiento normal.

La SOV se instala para permitir un cierre rápido de la válvula de control que es independiente del controlador de válvula digital. Tanto la electroválvula como el controlador de válvula digital pueden poner la válvula de control en un estado de cierre o de seguridad. Este tipo de configuración se denomina configuración "1-out-of-2" (1oo2). Esta nomenclatura indica que 1 de los 2 dispositivos, sin importar cual, puede poner la válvula de control en estado de seguridad. Los dispositivos son el controlador de válvula digital y la SOV.

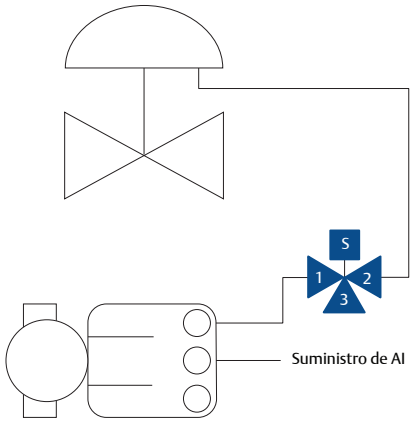


Figura 11.3 Electroválvula y controlador de válvula digital en una configuración 1oo2

Al seleccionar una SOV para su uso en una aplicación de válvula de control, se debe comprobar que el funcionamiento de la SOV es apto para todo el rango de presión del actuador de válvula de control y del controlador de válvula digital. Habitualmente, el rango de presión para estas aplicaciones es de 0-15 psi. Para funcionar de forma eficiente en rangos de presión más amplios, se debe utilizar una SOV de acción directa (Figura 11.4) o de pilotaje externo (Figura 11.5). Una SOV de acción directa se acciona exclusivamente por la fuerza electromagnética del solenoide. Una SOV de pilotaje externo utiliza la presión de aire externo para modificar el estado de la SOV. El efecto de la presión de aire externo se activa y

desactiva mediante el piloto de solenoide electromagnético de acción directa integrado en la SOV. La presión de aire externo permite a este tipo de SOV modificar el estado sin ninguna presión de aire en la sección principal de la SOV.

Figura 11.4 Conjunto de electroválvula de acción directa

Figura 11.5 Electroválvula pilotada

Hay varias configuraciones de SOV disponibles para su uso dependiendo de las preferencias y necesidades del usuario final. Consulte la Figura 11.6 para una configuración 1oo2 típica utilizada en sistemas donde se requiere que cualquier SOV individual ponga el elemento de control final en su estado de seguridad. Consulte la Figura 11.7 para una configuración de SOV 2oo2 SOV que requiere que las dos SOV pongan el elemento de control final en estado de seguridad. Hay configuraciones de SOV más complejas disponibles. Un aspecto esencial que recordar sobre la configuración de SOV es que la nomenclatura definida como XooY tiene un significado específico. Cualquier SOV X del total de las SOV Y deben modificar el estado bajo demanda para así poner el elemento de control final en su estado de seguridad. Un solo solenoide utilizado de forma individual se considera 1oo1.

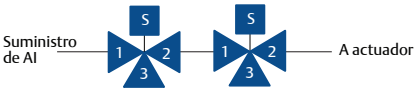


Figura 11.6 Configuración de válvula accionada por solenoide 1oo2

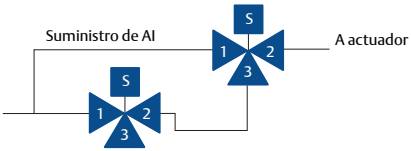


Figura 11.7 Configuración de válvula accionada por solenoide 2oo2

Las SOV están disponibles en varios diseños, desde válvulas de acción directa de 3 vías a diseños más complejos de válvulas de restablecimiento manual y sistemas de solenoide redundantes. Las SOV de restablecimiento manual se utilizan cuando se requiere la verificación de un operador antes de poner la SOV en servicio. Habitualmente, la SOV recibe alimentación eléctrica pero no funcionará hasta que un operador desplace de forma manual una palanca a la posición pertinente. Los sistemas SOV redundantes se utilizan en aplicaciones críticas para evitar desconexiones espurias y/o garantizar que se produzca el cierre de un elemento de control final cuando se solicite. ■

Figura 11.8 SOV redundante

Figura 11.9 SOV de restablecimiento manual de 3 vías

Figura 11.10 Conjunto colector de SOV

Capítulo 12

Sistemas instrumentados de seguridad

12.1 Seguridad y niveles de protección

La seguridad se proporciona mediante niveles de protección. Estos niveles de protección comienzan con un control eficiente de los procesos, continúan con niveles de prevención de seguridad manuales y automáticos, y por último con niveles para corregir los efectos de un evento.

El primer nivel es el sistema básico de control de procesos (BPCS, Basic Process Control System). El sistema de control de procesos proporciona por sí mismo un alto grado de seguridad mediante un diseño adecuado del control de procesos.

El siguiente nivel de protección también se proporciona por el sistema de control y los operadores del sistema de control. Las rutinas de parada automatizada del sistema de control de procesos junto con la intervención del operador para detener los procesos componen el siguiente nivel de seguridad.

A continuación se encuentra el sistema instrumentado de seguridad. Es un sistema de seguridad independiente del sistema de control de procesos. Incorpora sensores, válvulas y un solucionador lógico independientes. Su único cometido es la seguridad. Este sistema no realiza ningún control de procesos.

Los niveles de intervención del operador y del sistema instrumentado de seguridad se diseñan para evitar un evento relacionado con la seguridad. Si se produce un evento relacionado con la seguridad, hay niveles adicionales diseñados para reducir el efecto del evento.

El nivel siguiente es un nivel de protección activa. Este nivel puede incorporar válvulas o discos de ruptura diseñados para proporcionar un punto de descarga que evite una emisión descontrolada que pueda provocar una explosión o un incendio.

El nivel siguiente es un nivel de protección pasiva. Puede consistir en un dique u otra barrera pasiva que permita contener

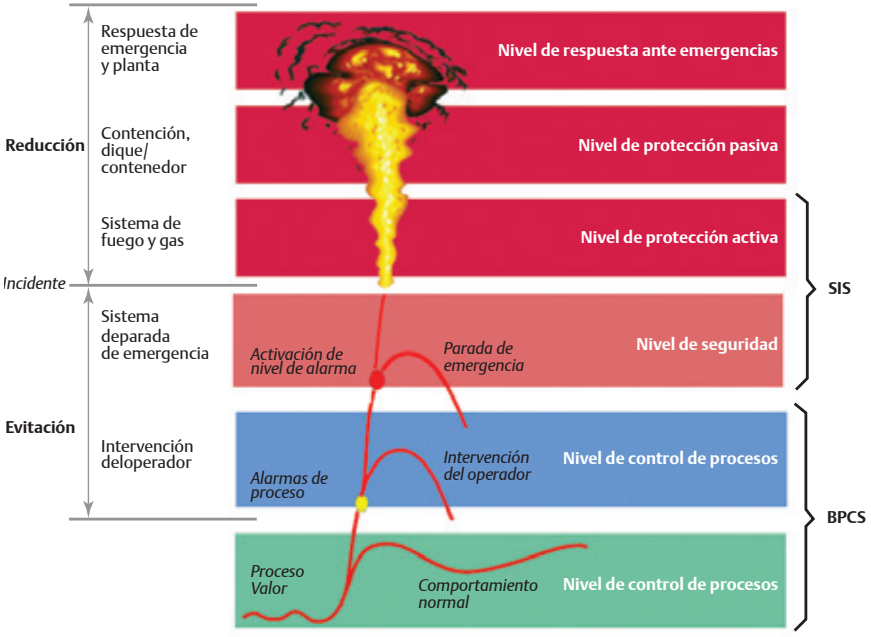


Figura 12.1 Niveles de protección

un incendio o dirigir la energía de una explosión en una dirección que reduzca el alcance del daño.

El nivel último es la planta y la respuesta en caso de emergencia. Si se produce un evento de seguridad grave, este nivel ofrece una respuesta que reduce el riesgo existente de daños, lesiones, o daños fatales. Puede incluir planes de evacuación, extinción de incendios, etc.

La seguridad general se determina por la interacción entre los niveles. ■

12.2 Sistemas instrumentados de seguridad (SIS)

Un sistema instrumentado de seguridad (SIS) se considera de forma separada del sistema básico de control de procesos (BPCS) ya que su función es llevar el proceso a un "estado seguro" en caso de producirse una situación crítica.

El SIS se compone de varias funciones instrumentadas de seguridad (SIF, Safety Instrumented Functions). Cada función instrumentada de seguridad posee un nivel de integridad de seguridad (SIL, Safety Integrity Level) definido, que se requiere para obtener un funcionamiento seguro. Cada SIF es un bucle separado o interconectado compuesto de sensores, solucionador lógico (LS, Logic Solver), y el elemento final de control (FE, Final Control Element) como muestra la Figura 12.2.

Sensores: Los sensores de campo se utilizan para recopilar la información necesaria para determinar si existe una situación de emergencia. El fin de estos sensores es medir los parámetros de los procesos (esto es, temperatura, presión, flujo, densidad, etc.) para determinar si el equipo o los procesos presentan un estado seguro. Los tipos de sensor pueden ser desde conmutadores neumáticos o eléctricos sencillos a transmisores inteligentes con sistemas de diagnóstico integrados. Estos sensores están dedicados al servicio del SIS e incorporan tomas de proceso individuales y distintas de las tomas de proceso utilizadas por los sensores de información de procesos normales.

Solucionador lógico: El fin de este componente del SIS es determinar la medida que se debe adoptar de acuerdo a la información recopilada. Se utilizan solucionadores lógicos de alta fiabilidad, que proporcionan funcionamientos a prueba de fallos y tolerante a fallos. Habitualmente, es un controlador que analiza las señales emitidas por los sensores y que realiza acciones programadas previamente para evitar un riesgo al emitir una salida para el o los elementos de control final. Los solucionadores lógicos son habitualmente dispositivos con

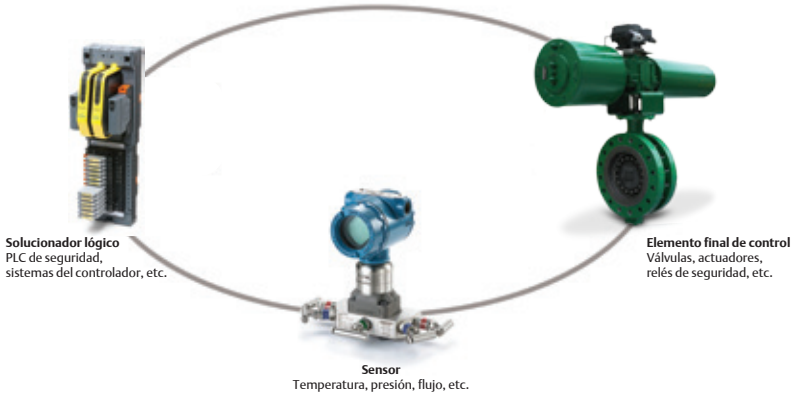


Figura 12.2 Componentes de un sistema instrumentado de seguridad (SIS)

un alto grado de programación o que no son programables, pero también pueden ser dispositivos mecánicos en forma de conmutadores configurados para iniciar una función de seguridad.

Elemento final de control: Los elementos finales de control ponen en práctica la medida determinada por el solucionador lógico. El elemento final de control es habitualmente una válvula de apertura/cierre automatizada, con una función de válvula de falla cierra o falla abre.

Es esencial que los 3 elementos de la función del SIS estén diseñados de forma que aíslen de forma segura la planta de procesos en caso de emergencia. ■

12.3 Normas de seguridad

En una planta de procesos no existe un funcionamiento carente de riesgos o con una fiabilidad total. Por ello, una de las primeras tareas del diseñador del SIS es realizar un análisis de tolerancia a fallos para determinar el grado de seguridad necesario. El estándar IEC 61508 ("Functional Safety of Electric, Electronic and Programmable Electronic Systems", seguridad funcional de sistemas eléctricos, electrónicos y electrónicos programables) es un estándar general que aborda la seguridad funcional relacionada con todo tipo de planificaciones de procesado y fabricación. Los estándares IEC 61511 e ISA S84.01 (sustituida por ISA 84.00.01-2004) son estándares específicos a los sectores de procesos. Los tres estándares utilizan un modelo de ciclo de vida basado en el rendimiento y definen niveles precisos de seguridad, mejores prácticas y evidencias cuantificables de conformidad. ■

12.4 Nivel de integridad de seguridad (SIL)

Los niveles de integridad de seguridad (SIL) son una medida cuantificable del riesgo. Desde que se presentaron, los niveles de integridad de seguridad se han utilizado de forma cuantificable para definir objetivos de rendimiento seguro para los SIS. Las normas IEC definen 4 niveles de integridad de seguridad (SIL 1, SIL 2, SIL 3, SIL 4), como muestra la Figura 12.3. No obstante, ISA S84.01 solo reconoce hasta SIL 3.

Determinar el objetivo de nivel de integridad de seguridad requiere:

- La identificación de los riesgos asociados.
- La evaluación de la posibilidad de aparición de cada uno de los riesgos identificados.
- La evaluación de otros niveles de protección independientes (IPL, Independent Protection Layers) que puedan estar presentes.

Los riesgos se pueden identificar mediante varias técnicas. Una técnica extendida es el Análisis Funcional de Operabilidad (HAZOP, análisis de "HAZard" (riesgo) y "OPerability" (funcionalidad)).

Para ello, se debe determinar un factor de riesgo para cada riesgo definido, donde el riesgo se define como una función de la probabilidad (frecuencia) y las consecuencias (gravedad) de cada evento de riesgo.

El análisis HAZOP permite identificar el riesgo para el personal y o para el equipo, y se realiza mediante un equipo

RRF (Risk Reduction Factor, factor de reducción de riesgo)	**PFD_{avg}** (Probabilidad de fallo en demanda = 1/RRF)	**SIL** (Nivel de integridad de seguridad)
100000 a 10000	$>=10^{-5}$ a $<10^{-4}$	4
10000 a 1000	$>=10^{-4}$ a $<10^{-3}$	3
1000 a 100	$>=10^{-3}$ a $<10^{-2}$	2
100 a 10	$>=10^{-2}$ a $<10^{-1}$	1

Figura 12.3 Niveles de integridad de seguridad y cifras de PFD_{avg} y RRF asociadas

multidisciplinar (equipo HAZOP).

Una vez que se identifica el riesgo, el HAZOP/análisis de riesgos en procesos (PHA, Process Hazard Study) define el requisito para la reducción del riesgo, definiendo así el nivel SIL requerido.

Se requiere comprobar criterios adicionales para garantizar que las SIF satisfacen el SIL requerido, y habitualmente se dividen en los puntos siguientes:

- Integridad del sistema: Todos los elementos de las SIF deben ser aptas para su uso para el nivel SIL definido.
- Límites de la arquitectura: La tolerancia a fallos de hardware (HFT, Hardware Fault Tolerance) y la redundancia de la arquitectura deben satisfacer los estándares de seguridad funcional existentes.
- Integridad frente a fallo aleatorios (PFDavg): Se utilizan los índices de fallo de cada dispositivo para calcular la probabilidad media de fallo en demanda. ■

12.5 Probabilidad de fallo en demanda

Al comprender cómo pueden fallar los componentes del SIS se puede determinar la probabilidad de fallo en demanda (PFD, Probability of Failure upon Demand). Un SIS puede fallar de dos formas básicas. La primera forma se denomina habitualmente como una desconexión falsa o espuria, que habitualmente deriva en una parada de procesos imprevista pero relativamente segura. Aunque este tipo de fallo de SIS presenta un riesgo mínimo inherente, los costos operativos pueden ser muy elevados. El segundo tipo de fallo no produce una parada de procesos o desconexión espuria. En su lugar, el fallo no se detecta con lo que continúa el funcionamiento de los procesos de forma no segura y peligrosa. Si se produce una demanda de emergencia, el SIS no será capaz de responder de forma adecuada. Estos fallos son conocidos como fallos ocultos o encubiertos, y aumentan la probabilidad (PFD) de un fallo del sistema en demanda de forma peligrosa.

La PFD para el SIS es la suma de las PFD de cada elemento del sistema.

$$PFD_{total} = PFD_{sensor} + PFD_{solucionador\ lógico} + PFD_{elemento\ final}$$

Para determinar el PFD de cada elemento, el analista requiere datos documentados de los índices de fallo de cada elemento. Este índice de fallo (peligroso) se utiliza con el intervalo de prueba (TI, Test Interval) para determinar el PFD. Este intervalo de prueba refleja el periodo transcurrido antes de detectar mediante pruebas un fallo encubierto. El aumento del intervalo de prueba afecta de forma directa al valor de PFD de manera lineal. Esto es, si se duplica el intervalo entre pruebas, se duplica la probabilidad de un fallo en demanda, que a su vez duplica la complejidad de satisfacer el objetivo de SIL.

Las normas vigentes de sistemas instrumentados de seguridad especifican que los operadores de planta deben determinar y documentar que el equipo se diseña, recibe mantenimiento, inspecciona, comprueba y utiliza de forma segura. Por ello, es esencial probar los componentes del sistema instrumentado de seguridad con una regularidad que permita reducir la PFD y satisfacer el objetivo de SIL. ■

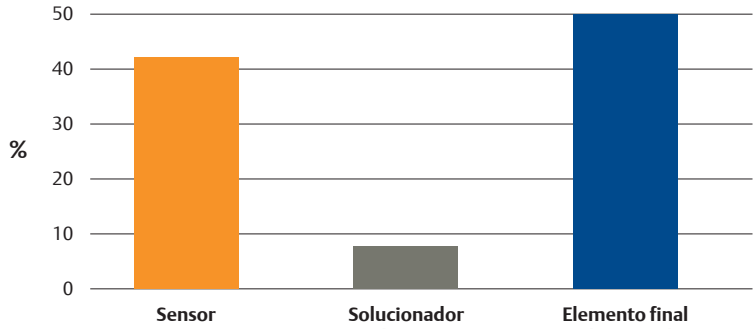


Figura 12.4 Datos OREDA

12.6 Elementos finales, pruebas de evaluación y técnicas de prueba de recorrido parcial

Los elementos finales son las válvulas, los actuadores y los instrumentos de la válvula. Dependiendo de la aplicación, en el SIS se utilizan válvulas de bola, mariposa o control, para la parada de emergencia (ESD, Emergency Shutdown), válvulas de purga (BDV, Blowdown Valves) u otras para llevar el proceso a un estado seguro.

Debido a que los elementos finales son solo una parte de las SIF, es complejo determinar el SIL requerido sin considerar el iniciador y el solucionador lógico como parte del bucle. Se pueden utilizar los datos estadísticos disponibles de los sectores de procesos para obtener una estimación de la conformidad con el SIL requerido. Los datos de OREDA (Offshore and Onshore Reliability Data, datos de fiabilidad terrestre y marítima) detallan que hasta el 50% de los fallos de las SIF son achacables al elemento final, como se muestra en la Figura 12.4.

Debido a que los elementos finales representan el 50% de los fallos, es importante seleccionar válvulas que satisfagan las condiciones de diseño del producto y el objetivo de SIL, además de ser probadas de forma periódica para garantizar su funcionalidad. Se deben realizar pruebas funcionales del SIS mediante pruebas de evaluación de cada dispositivo de forma periódica, con una regularidad definida mediante los análisis de prueba del SIS, para mantener el SIL requerido para las SIF y durante todo el ciclo de vida de las instalaciones. Una prueba de evaluación de un elemento final debe incluir una inspección visual y comprobación de la función de seguridad, que incluye un recorrido completo de la válvula y que también puede incluir una comprobación del periodo de seguridad y fugas de la válvula. ■

12.7 Prueba de recorrido parcial

Hay situaciones en las que el periodo entre pruebas de evaluación no se adapta de forma óptima a la parada programada o a los periodos de mantenimiento. Para evitar la parada de los procesos para la prueba se puede utilizar una derivación para omitir el elemento final. No obstante, la prueba con una derivación deja potencialmente el proceso sin protección frente a una demanda de seguridad. Una alternativa es prolongar los intervalos entre pruebas de evaluación utilizando una prueba de recorrido parcial (PST, Partial Stroke Testing). La prueba de recorrido parcial acciona una carrera parcial sobre la carrera completa de la válvula para comprobar no está atascada y para revelar otras formas de fallo sin detectar que puedan presentar un riesgo, como el atasco de la flecha de la válvula, problemas de la empaquetadura de la válvula, problemas con la línea de aire del actuador y otras formas de fallo que podrían evitar el desplazamiento de la válvula a la posición de seguridad en caso de una demanda de seguridad.

La prolongación del periodo entre pruebas de evaluación mediante pruebas de recorrido parcial depende del objetivo de SIL, regularidad de las pruebas, y del alcance de los diagnósticos (la relación entre los índices de fallo detectados y el índice de fallo total). ■

12.8 Métodos de prueba en línea para el elemento final

La comprobación de una válvula se puede realizar instalando una válvula de derivación que omita cada válvula de seguridad. Al poner la derivación en servicio, se puede realizar una prueba de recorrido completo de la válvula sin realizar una parada de los procesos.

Para eliminar los problemas operativos, económicos y normativos asociados a la prueba mediante derivación, se han desarrollado otros métodos.

Los métodos mecánicos de limitación de la carrera implican el uso de algún dispositivo mecánico como un pasador, un collarín de vástago de válvula, un volante de válvula, etc., que limite la carrera de la válvula al 15% o menos del recorrido de la válvula.

El método de paneles neumáticos para la prueba también utiliza un pasador que se debe enganchar antes de iniciar la prueba de carrera parcial.

Estas estrategias de prueba en línea presentan algunos inconvenientes. Un gran inconveniente de estos métodos es que la función de parada de seguridad no está disponible durante el periodo de comprobación. De hecho, el proceso se deja sin protección durante la comprobación, y para algunos sectores este tipo de prueba es inaceptable. Otro inconveniente es la posibilidad de que la válvula de seguridad se deje de forma imprevista en la posición de derivación después de la prueba, o que no se retire el bloqueo mecánico o el pasador tras finalizar la prueba. Esto dejaría el proceso sin ninguna protección hasta detectar el fallo cometido. Además, estos métodos de prueba poseen un alto grado de riesgo de parada por desconexiones espurias provocadas por la prueba. Otro inconveniente es que el proceso de prueba se debe iniciar de forma manual en campo, y que las pruebas requieren un alto nivel de mano de obra y están sujetas a fallo. ■

12.9 Uso de un controlador de válvula digital para la prueba de recorrido parcial

Los controladores de válvula digital son instrumentos conversores de corriente a presión neumática basados en microprocesador y de comunicación con funcionalidad de lógica interna. Además de la función tradicional de convertir una señal de corriente en una señal de presión para accionar la válvula, estos controladores de válvula digital utilizan el protocolo de comunicación HART para permitir un acceso sencillo a información crítica para pruebas de seguridad. El controlador de válvula digital recibe información de la posición de carrera de la válvula además de las presiones de alimentación y neumáticas del actuador. Esto permite al controlador de válvula digital evaluar su propio estado de funcionamiento, el de la válvula y del actuador en el cual está instalado.

La prueba de recorrido parcial confirma el funcionamiento correcto de la válvula sin afectar al proceso. Debido a que se puede programar todo el proceso de prueba en el controlador de válvula digital, se puede realizar la prueba de recorrido parcial de forma automática. Este permite reducir los intervalos de prueba tanto como sea necesario (cada hora, diaria, semanal, etc.) para satisfacer los valores del objetivo de SIL. El operador puede iniciar la prueba manualmente simplemente pulsando el botón. No obstante, la propia secuencia de la prueba es totalmente automática, eliminando así cualquier fallo o posibles desconexiones espurias además del costo de capital de trabajo de las planificaciones de prueba tradicionales. Si se produce una demanda de seguridad durante la prueba de recorrido parcial, se anula la prueba y el controlador de válvula digital pondrá la válvula en su estado de seguridad.

Habitualmente, la prueba de recorrido parcial desplaza la válvula un 10% respecto a su posición original, aunque puede ser de hasta el 30% si lo permite la normativa de seguridad de la planta. A pesar de que la prueba de recorrido parcial no elimina la necesidad de una prueba de recorrido completo (requerida para comprobar el asiento de válvula, etc.), sí reduce la frecuencia de la prueba de recorrido completo hasta el punto de que podría ser solo necesaria durante la inspección general de planta.

Añadir un controlador de válvula digital a un sistema instrumentado de seguridad puede reducir el costo del equipo básico, el periodo de prueba y los requisitos de mano de obra al eliminar la necesidad de adquirir paneles neumáticos de prueba de alto costo y de personal cualificado para poder realizar la prueba. El uso de un controlador de válvula digital puede proporcionar una información completa sobre cualquier evento de emergencia, y también sobre todo el proceso de prueba, y se puede poner a disposición de aseguradoras como prueba de evaluación. También permite la configuración de prueba remota, que permite ahorrar tiempo al reducir el requisito de desplazamientos al campo para inspecciones de mantenimiento. También se puede aumentar la seguridad del personal de planta al eliminar la necesidad de que se desplacen al campo para la realización de pruebas. ■

12.10 Sistema de protección de presión de alta integridad (HIPPS)

Los sistemas de protección de presión de alta integridad (HIPPS, High-Integrity Pressure Protection System) forman parte del sistema instrumentado de seguridad y están diseñados para evitar la sobrepresión. Comparado con los sistemas tradicionales de alivio de presión como el uso de válvulas de seguridad o de alivio mecánicas, los HIPPS funcionan deteniendo la fuente y aislando la presión aguas arriba del sistema, proporcionando así una barrera entre las secciones a presión alta y a presión baja de una instalación de producción. El cierre hermético impide las fugas aguas abajo y elimina las emisiones fugitivas. En este aspecto, se puede considerar al HIPPS como la "última línea de defensa".

El HIPPS es una solución económica y respetuosa con el medioambiente comparado con los sistemas de alivio tradicionales. La Figura 4 muestra un HIPPS en una configuración ajustada para satisfacer el SIL 3. ■

12.11 Funcionalidad del HIPPS

Al igual que las SIF, un HIPPS se compone habitualmente de los dispositivos y funcionalidades siguientes:

Sensores de presión: Tres sensores de presión individuales situados en la sección aguas arriba del HIPPS, dispuestos en una estructura de votación "2 out of 3" (2oo3, 2 de 3), proporcionan al operador la disponibilidad del sistema y la fiabilidad para respaldar las SIF.

Solucionador lógico: En caso de que dos de tres sensores (2oo3) detecten una presión superior a la especificada/permitida, el solucionador lógico apagará los dos elementos finales y se emitirá una alarma a la sala de control.

Elementos finales: Dos válvulas de aislamiento en serie (configuración 1oo2, 1 de 2) para proporcionar redundancia y una integridad de seguridad optimizada. ■

12.12 Requisitos de prueba

Para garantizar que el HIPPS satisfaga el SIL requerido durante todo el ciclo de vida de seguridad de la instalación, se requiere la comprobación de elementos distintos:

Sensor de presión: Se requiere retirar del servicio los sensores de presión para su prueba, pero ya que la configuración es 2oo3, es posible aislar un sensor para la prueba y preservar la misma redundancia siempre que se modifique la votación en el solucionador lógico de 2oo3 a 1oo2. Esto se realiza habitualmente mediante un sistema de interbloqueo siempre que se indique al solucionador lógico que un sensor no está disponible por motivos de prueba.

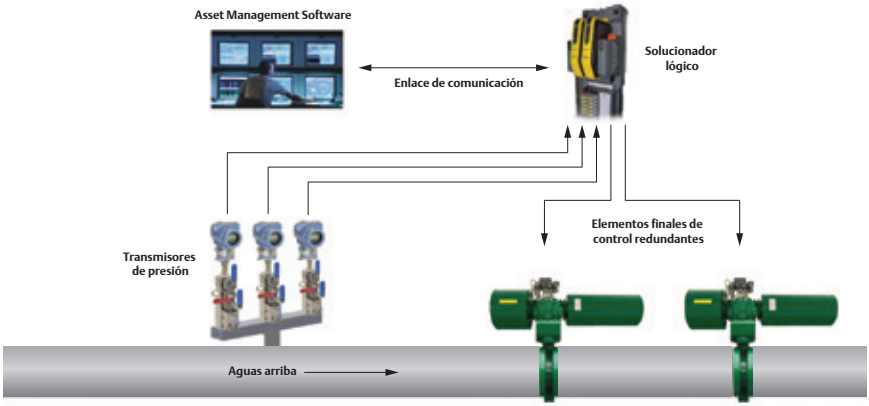


Figura 12.5 Configuración típica de HIPPS

Solucionador lógico: Los solucionadores lógicos habitualmente funcionan con un procesador dual y realizan autodiagnósticos de forma constante. En caso de detectar un fallo, se puede configurar para apagar el elemento final o pasar a un solucionador lógico redundante.

Elemento final de control: Las normas vigentes de sistemas instrumentados de seguridad especifican que los operadores de planta deben determinar y documentar que el equipo se diseña, recibe mantenimiento, inspecciona, comprueba y utiliza de forma segura. Por ello, es esencial comprobar los componentes del sistema instrumentado de seguridad con una regularidad que permita reducir la PFD y satisfacer el objetivo de

SIL: Se requiere realizar una prueba de evaluación o de recorrido completo a intervalos programados, aunque debido a las características de esta prueba se debe realizar fuera de servicio. Para prolongar el periodo entre pruebas de evaluación, se pueden realizar pruebas en línea como la prueba de recorrido parcial para detectar una notable cantidad de fallos además de proporcionar diagnósticos predictivos para la adopción de medidas por parte del operador. ■

Capítulo 13
Datos de ingeniería

13.1 Especificaciones estándar para materiales de válvula de retención de presión

Consulte la sección 13.2 para especificaciones adicionales, correlacionadas con números de código de material.

1. Acero al carbono fundido ASTM A216 Grado WCC:

Escala de temperaturas:
- *De -30 a 427 °C (-20 a 800 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,25 máx.*
- *Mn = 1,2 máx.*
- *P = 0,035 máx.*
- *S = 0,035 máx.*
- *Si = 0,6 máx.*

2. Acero al carbono fundido ASTM A352 Grado LCC:

Escala de temperaturas:
- *De -45 a 343 °C (-50 a 650 °F)*

Composición (%):
- *Igual que ASTM A216 grado WCC*

3. Barra de acero al carbono AISI 1018, UNS G10180:

Escala de temperaturas:
- *De -29 a 427 °C (-20 a 800 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,14 a 0,2*
- *Mn = 0,6 a 0,9*
- *P = 0,04 máx.*
- *S = 0,05 máx.*

4. Barra de acero al plomo AISI 12L14, UNS G12144:

Escala de temperaturas:
- *De -29 a 427 °C (-20 a 800 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,15 máx.*
- *Mn = 0,85 a 1,15*
- *P = 0,04 a 0,09*
- *S = 0,26 a 0,35*
- *Pb = 0,15 a 0,35*

5. Acero Cr-Mo AISI 4140:

Similar a material de perno ASTM A193 Grado B7.

Escala de temperaturas:
- *De -48 a 538 °C (-55 a 1000 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,38 a 0,43*
- *Mn = 0,75 a 1,0*
- *P = 0,035 máx.*
- *S = 0,040 máx.*
- *Si = 0,15 a 0,35*
- *Cr = 0,8 a 1,1*
- *Mo = 0,15 a 0,25*
- *Fe = porcentaje restante*

6. Aceroníquel 3-1/2% forjado ASTM A352 Grado LC3:

Escala de temperaturas:
- *De -101 a 343 °C (-150 a 650 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,15 máx.*
- *Mn = 0,5 a 0,8*
- *P = 0,04 máx.*
- *S = 0,045 máx.*
- *Si = 0,6 máx.*
- *Ni = 3,0 a 4,0*

7. Acero Cr-Mo fundido ASTM A217 Grado WC6:

Escala de temperaturas:
- *De -30 a 595 °C (-20 a 1100 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,05 a 0,2*
- *Mn = 0,5 a 0,8*
- *P = 0,035 máx.*
- *S = 0,035 máx.*
- *Si = 0,60 máx.*
- *Cr = 1,0 a 1,5*
- *Mo = 0,45 a 0,65*

8. Acero Cr-Mo fundido ASTM A217 Grado WC9:

Escala de temperaturas:
- *De -30 a 595 °C (-20 a 1100 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,05 a 0,18*
- *Mn = 0,4 a 0,7*
- *P = 0,035 máx.*
- *S = 0,035 máx.*
- *Si = 0,6 máx.*
- *Cr = 2,0 a 2,75*
- *Mo = 0,9 a 1,2*

9. Acero Cr-Mo forjado ASTM A182 Grado F22:

Escala de temperaturas:
- *De -30 a 593 °C (-20 a 1100 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,05 a 0,15*
- *Mn = 0,3 a 0,6*
- *P = 0,04 máx.*
- *S = 0,04 máx.*
- *Si = 0,5 máx.*
- *Cr = 2,0 a 2,5*
- *Mo = 0,87 a 1,13*

10. Acero Cr-Mo fundido ASTM A217 Grado C5:

Escala de temperaturas:
- *De -30 a 649 °C (-20 a 1200 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,2 máx.*
- *Mn = 0,4 a 0,7*
- *P = 0,04 máx.*
- *S = 0,045 máx.*
- *Si = 0,75 máx.*
- *Cr = 4,0 a 6,5*
- *Mo = 0,45 a 0,65*

11. Acero inoxidable tipo 302 ASTM A479 Grado UNS S30200:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 399 °C (-325 a 750 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,15 máx.*
- *Mn = 2,0 máx.*
- *P = 0,045 máx.*
- *S = 0,03 máx.*
- *Si = 1,0 máx.*
- *Cr = 17,0 a 19,0*
- *Ni = 8,0 a 10,0*
- *N = 0,1 máx.*
- *Fe = porcentaje restante*

12. Acero inoxidable tipo 304L ASTM A479 Grado UNS S30403:

Escala de temperaturas:
- *De -254 a 425 °C (-425 a 800 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,03 máx.*
- *Mn = 2,0 máx.*
- *P = 0,045 máx.*
- *S = 0,03 máx.*
- *Si = 1,0 máx.*
- *Cr = 18,0 a 20,0*
- *Ni = 8,0 a 12,0*
- *Fe = porcentaje restante*

13. Acero inoxidable fundido tipo 304L ASTM A351 Grado CF3:

Escala de temperaturas:
- *De -254 a 425 °C (-425 a 800 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,03 máx.*
- *Mn = 1,5 máx.*
- *Si = 2,0 máx.*
- *S = 0,040 máx.*
- *P = 0,040 máx.*
- *Cr = 17,0 a 21,0*
- *Ni = 8,0 a 11,0*
- *Mo = 0,50 máx.*

14. Acero inoxidable tipo 316L ASTM A479 Grado UNS S31603:

Escala de temperaturas:
- *De -254 a 450 °C (-425 a 850 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,03 máx.*
- *Mn = 2,0 máx.*
- *P = 0,045 máx.*
- *S = 0,03 máx.*
- *Si = 1,0 máx.*
- *Cr = 16,0 a 18,0*
- *Ni = 10,0 a 14,0*
- *Mo = 2,0 a 3,0*
- *Fe = porcentaje restante*

15. Acero inoxidable tipo 316 ASTM A479 Grado UNS S31600:

Escala de temperaturas:
- *De -255 a 816 °C (-425 a 1500 °F)*
- *Sobre 538 °C (1000 °F), se requiere un mínimo de 0,04 de C*

Composición (%):
- *C = 0,08 máx.*
- *Mn = 2,0 máx.*
- *P = 0,045 máx.*
- *S = 0,03 máx.*
- *Si = 1,0 máx.*
- *Cr = 16,0 a 18,0*
- *Ni = 10,0 a 14,0*
- *Mo = 2,0 a 3,0*
- *Fe = porcentaje restante*

16. Acero inoxidable fundido tipo 316 ASTM A351 Grado CF8M:

Escala de temperaturas:
- *De -254 a 816 °C (-425 a 1500 °F)*
- *Sobre 538 °C (1000 °F), se requiere un mínimo de 0,04 de C*

Composición (%):
- *C = 0,08 máx.*
- *Mn = 1,5 máx.*
- *Si = 1,5 máx.*
- *P = 0,04 máx.*
- *S = 0,04 máx.*
- *Cr = 18,0 a 21,0*
- *Ni = 9,0 a 12,0*
- *Mo = 2,0 a 3,0*

17. Acero inoxidable tipo 317 ASTM A479 Grado UNS S31700:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 816 °C (-325 a 1500 °F)*
- *Sobre 538 °C (1000 °F), se requiere un mínimo de 0,04 de C*

Composición (%):
- *C = 0,08 máx.*
- *Mn = 2,0 máx.*
- *P = 0,045 máx.*
- *S = 0,03 máx.*
- *Si = 1,0 máx.*
- *Cr = 18,0 a 20,0*
- *Ni = 11,0 a 15,0*
- *Mo = 3,0 a 4,0*
- *Fe = porcentaje restante*

18. Acero inoxidable fundido tipo 317 ASTM A351 Grado CG8M:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 538 °C (-325 a 1000 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,08 máx.*
- *Mn = 1,5 máx.*
- *Si = 1,5 máx.*
- *P = 0,04 máx.*
- *S = 0,04 máx.*
- *Cr = 18,0 a 21,0*
- *Ni = 9,0 a 13,0*
- *Mo = 3,0 a 4,0*

19. Acero inoxidable tipo 410 ASTM A479 Grado S41000:

Escala de temperaturas:
- *De -29 a 538 °C (-20 a 1000 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,08 a 0,15*
- *Mn = 1,0 máx.*
- *P = 0,04 máx.*
- *S = 0,03 máx.*
- *Si = 1,0 máx.*
- *Cr = 11,5 a 13,5*
- *Fe = porcentaje restante*

20. Acero inoxidable tipo 17-4PH ASTM A564 Grado 630, UNS S17400:

Escala de temperaturas:
- *De -29 a 343 °C (-20 a 650 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,07 máx.*
- *Mn = 1,0 máx.*
- *Si = 1,0 máx.*
- *P = 0,04 máx.*
- *S = 0,03 máx.*
- *Cr = 15,0 a 17,5*
- *Nb = 0,15 a 0,45*
- *Cu = 3,0 a 5,0*
- *Ni = 3,0 a 5,0*
- *Fe = porcentaje restante*

21. Acero inoxidable tipo 254 SMO ASTM A479 Grado UNS S31254:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 399 °C (-325 a 750 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,02 máx.*
- *Mn = 1,0 máx.*
- *P = 0,03 máx.*
- *S = 0,01 máx.*
- *Si = 0,8 máx.*
- *Cr = 18,5 a 20,5*
- *Ni = 17,5 a 18,5*
- *Mo = 6,0 a 6,5*
- *N = 0,18 - 0,22*
- *Fe = porcentaje restante*

22. Acero inoxidable fundido tipo 254 SMO ASTM A351 Grado CK3MCuN:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 399 °C (-325 a 750 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,025 máx.*
- *Mn = 1,2 máx.*
- *Si = 1,0 máx.*
- *P = 0,045 máx.*
- *S = 0,01 máx.*
- *Cr = 19,5 a 20,5*
- *Ni = 17,5 a 19,5*
- *Mo = 6,0 a 7,0*
- *N = 0,18 a 0,24*

23. Acero inoxidable tipo 2205, dúplex S31803 ASTM A479 Grado UNS S31803:

Escala de temperaturas:
- *De -50 a 316 °C (-60 a 600 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,03 máx.*
- *Mn = 2,0 máx.*
- *P = 0,03 máx.*
- *S = 0,02 máx.*
- *Si = 1,0 máx.*
- *Cr = 21,0 a 23,0*
- *Ni = 4,5 a 6,5*
- *Mo = 2,5 a 3,5*
- *N = 0,08 a 0,2*
- *Fe = porcentaje restante*

24. Acero inoxidable fundido tipo 2205, S31803 ASTM A890 Grado 4a CD3MN:

Escala de temperaturas:
- *De -50 a 316 °C (-60 a 600 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,03 máx.*
- *Mn = 1,5 máx.*
- *Si = 1,0 máx.*
- *P = 0,04 máx.*
- *S = 0,02 máx.*
- *Cr = 21,0 a 23,5*
- *Ni = 4,5 a 6,5*
- *Mo = 2,5 a 3,5*
- *Cu = 1,0 máx.*
- *N = 0,1 a 0,3*
- *Fe = porcentaje restante*

25. Hierro fundido ASTM A126 Clase B, UNS F12102:

Escala de temperaturas:
- *De -29 a 232 °C (-20 a 450 °F)*

Composición (%):
- *P = 0,75 máx.*
- *S = 0,15 máx.*

26. Hierro fundido ASTM A126 Clase C, UNS F12802:

Escala de temperaturas:
- *De -29 a 232 °C (-20 a 450 °F)*

Composición (%):
- *P = 0,75 máx.*
- *S = 0,15 máx.*

27. Hierro dulce ASTM A395 Tipo 60-40-18:

Escala de temperaturas:
- *De -29 a 343 °C (-20 a 650 °F)*

Composición (%):
- *C = 3,0 mín.*
- *Si = 2,5 máx.*
- *P = 0,08 máx.*

28. Hierro Ni-Resist dulce ASTM A439 Tipo D-2B, UNS F43001:

Escala de temperatura para componentes que no retienen presión:
- *De -29 a 760 °C (-20 a 1400 °F)*

Composición (%):
- *C = 3,0 máx.*
- *Si = 1,5 a 3,00*
- *Mn = 0,70 a 1,25*
- *P = 0,08 máx.*
- *Ni = 18,0 a 22,0*
- *Cr = 2,75 a 4,0*

29. Válvula de bronce ASTM B61 UNS C92200:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 288 °C (-325 a 550 °F)*

Composición (%):
- *Cu = 86,0 a 90,0*
- *Sn = 5,5 a 6,5*
- *Pb = 1,0 a 2,0*
- *Zn = 3,0 a 5,0*
- *Ni = 1,0 máx.*
- *Fe = 0,25 máx.*
- *S = 0,05 máx.*
- *P = 0,05 máx.*

30. Bronce de estaño ASTM B584 Grado UNS C90500:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 204 °C (-325 a 400 °F)*

Composición (%):
- *Cu = 86,0 a 89,0*
- *Sn = 9,0 a 11,0*
- *Pb = 0,30 máx.*
- *Zn = 1,0 a 3,0*
- *Ni = 1,0 máx.*
- *Fe = 0,2 máx.*
- *S = 0,05 máx.*
- *P = 0,05 máx.*

31. Bronce de manganeso ASTM B584 Grado UNS C86500:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 177 °C (-325 a 350 °F)*

Composición (%):
- *Cu = 55,0 a 60,0*
- *Sn = 1,0 máx.*
- *Pb = 0,4 máx.*
- *Ni = 1,0 máx.*
- *Fe = 0,4 a 2,0*
- *Al = 0,5 a 1,5*
- *Mn = 0,1 a 1,5*
- *Zn = 36,0 a 42,0*

32. Bronce de aluminio fundido ASTM B148 Grado UNS C95400:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 316 °C (-325 a 600 °F)*

Composición (%):
- *Cu = 83,0 mín.*
- *Al = 10,0 a 11,5*
- *Fe = 3,0 a 5,0*
- *Mn = 0,50 máx.*
- *Ni = 1,5 máx.*

33. Bronce de aluminio fundido ASTM B148 Grado UNS C95800:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 260 °C (-325 a 500 °F)*

Composición (%):
- *Cu = 79,0 mín.*
- *Al = 8,5 a 9,5*
- *Fe = 3,5 a 4,5*
- *Mn = 0,8 a 1,5*
- *Ni = 4,0 a 5,0*
- *Si = 0,1 máx.*

34. Barra de latón dorado B16 ASTM B16 Grado UNS C36000, 1/2 dureza:

Escala de temperatura para componentes que no retienen presión:
- *De -198 a 204 °C (-325 a 400 °F)*

Composición (%):
- *Cu = 60,0 a 63,0*
- *Pb = 2,5 a 3,0*
- *Fe = 0,35 máx.*
- *Zn = porcentaje restante*

35. Forjados de latón naval ASTM B283 Aleación UNS C46400:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 204 °C (-325 a 400 °F)*

Composición (%):
- *Cu = 59,0 a 62,0*
- *Sn = 0,5 a 1,0*
- *Pb = 0,2 máx.*
- *Fe = 0,15 máx.*
- *Zn = porcentaje restante*

36. Barra de aluminio ASTM B211 Aleación UNS A96061-T6:

Escala de temperaturas:
- *De -269 a 204 °C (-452 a 400 °F)*

Composición (%):
- *Si = 0,4 a 0,8*
- *Fe = 0,7 máx.*
- *Cu = 0,15 a 0,4*
- *Zn = 0,25 máx.*
- *Mg = 0,8 a 1,2*
- *Mn = 0,15 máx.*
- *Cr = 0,04 a 0,35*
- *Ti = 0,15 máx.*
- *Otros elementos = 0,15 máx.*
- *Al = porcentaje restante*

37. Aleación base cobalto núm. 6 fundido UNS R30006, relleno de soldadura CoCr-A:

Escala de temperatura para componentes que no retienen presión:
- *De -198 a 980 °C (-325 a 1800 °F)*

Composición (%):
- *C = 0,9 a 1,4*
- *Mn = 1,0 máx.*
- *W = 3,5 a 6,0*
- *Ni = 3,0 máx.*
- *Cr = 26,0 a 31,0*
- *Mo = 1,5 máx.*
- *Fe = 3,0 máx.*
- *Si = 1,5 máx.*
- *Co = Porcentaje restante*

38. Barra de aleación Ni-Cu K500 ASTM B865 Grado N05500:

Escala de temperatura para componentes que no retienen presión:
- *De -198 a 482 °C (-325 a 900 °F)*

Composición (%):
- *Ni = 63,0 mín.*
- *Fe = 2,0 máx.*
- *Mn = 1,5 máx.*
- *Si = 0,5 máx.*
- *C = 0,18 máx.*
- *S = 0,01 máx.*
- *Al = 2,3 a 3,15*
- *Ti = 0,35 a 0,85*
- *Cu = Porcentaje restante*

39. Aleación Ni-Cu fundido 400 ASTM A494 Grado M35-1:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 475 °C (-325 a 900 °F)*

Composición (%):
- *Cu = 27,0 a 33,0*
- *C = 0,35 máx.*
- *Mn = 1,5 máx.*
- *Fe = 3,5 máx.*
- *S = 0,02 máx.*
- *P = 0,03 máx.*
- *Si = 1,25 máx.*
- *Nb = 0,5 máx.*
- *Ni = Porcentaje restante*

40. Barra de aleación Ni-Cr-Mo C276 ASTM B574 Grado N10276:

Escala de temperaturas:
- *De -198 a 677 °C (-325 a 1250 °F)*

Composición (%):
- *Cr = 14,5 a 16,5*
- *Fe = 4,0 a 7,0*
- *W = 3,0 a 4,5*
- *C = 0,01 máx.*
- *Si = 0,08 máx.*
- *Co = 2,5 máx.*
- *Mn = 1,0 máx.*
- *V = 0,35 máx.*
- *Mo = 15,0 a 17,0*
- *P = 0,04*
- *S = 0,03*
- *Ni = Porcentaje restante*

41. Aleación Ni-Cr-Mo C ASTM A494 Grado CW2M:

Escala de temperaturas:

- *De -198 a 538 °C (-325 a 1000 °F)*

Composición (%):

- *Cr = 15,5 a 17,5*
- *Fe = 2,0 máx.*
- *W = 1,0 máx.*
- *C = 0,02 máx.*
- *Si = 0,8 máx.*
- *Mn = 1,0 máx.*
- *Mo = 15,0 a 17,5*
- *P = 0,03*
- *S = 0,02*
- *Ni = Porcentaje restante*

42. Barra de aleación Ni-Mo B2 ASTM B335 Grado B2, UNS N10665:

Escala de temperaturas:

- *De -198 a 427 °C (-325 a 800 °F)*

Composición (%):

- *Cr = 1,0 máx.*
- *Fe = 2,0 máx.*
- *C = 0,02 máx.*
- *Si = 0,1 máx.*
- *Co = 1,0 máx.*
- *Mn = 1,0 máx.*
- *Mo = 26,0 a 30,0*
- *P = 0,04 máx.*
- *S = 0,03 máx.*
- *Ni = Porcentaje restante*

43. Aleación Ni-Mo fundido B2 ASTM A494 N7M:

Escala de temperaturas:

- *De -198 a 538 °C (-325 a 1000 °F)*

Composición (%):

- *Cr = 1,0 máx.*
- *Fe = 3,0 máx.*
- *C = 0,07 máx.*
- *Si = 1,0 máx.*
- *Mn = 1,0 máx.*
- *Mo = 30,0 a 33,0*
- *P = 0,03 máx.*
- *S = 0,02 máx.*
- *Ni = Porcentaje restante*

13.2 Propiedades de material de válvula para componentes de retención de presión

Los códigos de material de esta tabla se corresponden con las listas de especificaciones estándar de materiales de válvula en la sección 13.1.

Código de material	Propiedades mecánicas mínimas				Módulo de elasticidad a 21°C (70°F) en psi (MPa)	Dureza Brinell típica
	Resistencia a la tensión en ksi (MPa)	Límite elástico en ksi (MPa)	Elongación en 50 mm (2 pulg.)	Reducción de área (%)		
1	70 - 95 (485 - 655)	40 (275)	22	35	27.9E6 (19.2E4)	137 - 187
2	70 - 95 (485 - 655)	40 (275)	22	35	27.9E6 (19.2E4)	137 - 187
3	57 (390) típico	42 (290) típico	37 típico	67 típico	30.0E6 (20.7E4)	111
4	79 (545) típico	71 (490) típico	16 típico	52 típico	30.0E6 (20.7E4)	163
5[1]	125 (860)	105 (725) típico	16	50	29.9E6 (20.6E4)	258
6	70 - 95 (485 - 655)	40 (275)	24	35	27.9E6 (19.2E4)	140-190
7	70 - 95 (485 - 655)	40 (275)	20	35	29.9E6 (20.6E4)	147-200
8	70 - 95 (485 - 655)	40 (275)	20	35	29.9E6 (20.6E4)	147-200
9	75 - 100 (515 - 690)	45 (310)	19	40	29.9E6 (20.6E4)	156 - 207 requerido
10	90 - 115 (620 - 795)	60 (415)	18	35	27.4E6 (19.0E4)	176-255
11	75 (515)	30 (205)	30	40	28.3E6 (19.3E4)	150
12	70 (485)	25 (170)	30	40	29.0E6 (20.0E4)	150
13	70 (485)	30 (205)	35	---	29.0E6 (20.0E4)	150
14	70 (485)	25 (170)	40	50	28.3E6 (19.3E4)	150-170
15[2]	75 (515)	30 (205)	30	40	28.3E6 (19.5E4)	150
16	70 (485)	30 (205)	30	---	28.3E6 (19.5E4)	163
17	75 (515)	30 (205)	30	40	28.3E6 (19.5E4)	170
18	75 (515)	35 (240)	25	---	28.3E6 (19.5E4)	170
19[3]	70 (480)	40 (275)	20	45	29.2E6 (20.1E4)	241
20[4]	145 (1000)	125 (860)	13	45	29E6 (20.0E4)	311 min
21	95 (665)	45 (310)	35	50	29.0E6 (20.0E4)	90 HRB
22	80 (550)	38 (260)	35	---	29.0E6 (20.0E4)	82 HRB
23	90 (620)	65 (450)	25	---	30.5E6 (21.0E4)	290 máx.
24	90 (620)	65 (450)	25	---	30.5E6 (21.0E4)	98 HRB

Continuación de propiedades de material de válvula para componentes de retención de presión...

Código de material	Propiedades mecánicas mínimas				Módulo de elasticidad a 21°C (70°F) en psi (MPa)	Dureza Brinell típica
	Resistencia a la tensión en ksi (MPa)	Límite elástico en ksi (MPa)	Elongación en 50 mm (2 pulg.)	Reducción de área (%)		
25[5]	31 (214)	---	---	---	13.4E6 (9.2E4)	160-220
26[6]	41 (282)	---	---	---	13.4E6 (9.2E4)	230
27	60 (415)	40 (276)	18	---	23E6 (16E4)	143 - 187
28	58 (400)	30 (205)	8	---	---	139-202
29	34 (234)	16 (110)	24	---	14.0E6 (9.7E4)	65
30	40 (275)	18 (124)	20	---	14.0 (9.7E4)	75
31	65 (448)	25 (172)	20	---	15.3E6 (10.5E4)	97
32	75 (515)	30 (205)	12	---	16E6 (11.0E4)	150 min
33	85 (585)	35 (240)	15	---	16E6 (11.0E4)	159
34	55 (380)	25 (170)	10	---	14E6 (9.6E4)	55-75 HRB requerido
35	60 (415)	27 (185)	25	---	15.0E6 (10.3E4)	131-142
36	42 (290)	35 (241)	10	---	9.9E6 (6.8E4)	95
37[7]	154 (1060) típico	93 (638) típico	17 típico	---	30E6 (21E4)	37 HRC
38	140 (965)	100 (690)	20	---	26E6 (17.9E4)	265-325
39	65 (450)	25 (170)	25	---	23E6 (15.8E4)	110-150
40	100 (689)	41 (283)	40	---	29.8E6 (20.5E4)	210
41	72 (496)	40 (275)	20	---	30.8E6 (21.2E4)	150-185
42	110 (760)	51 (350)	40	---	31.4E6 (21.7E4)	238
43	76 (525)	40 (275)	20	---	28.5E6 (19.7E4)	180

1. Templado 650 °C (1200 °F)
2. Recocido.
3. ASTM A479 estado recocido
4. ASTM A564 Grado 630 estado H1075
5. A126 Cl.B diám. de barra de 95 mm (1,125 pulg.).
6. A126 Cl.C diám. de barra de 95 mm (1,125 pulg.).
7. Forjado.

13.3 Constantes físicas de hidrocarburos

N.º	Compuesto	Fórmula	Peso molecular	Punto de ebullición a 14,696 psia (°F)	Presión del vapor a 100 °F (psia)	Punto de congelación a 14,696 psia (°F)
1	Metano	CH_4	16,043	-258,69	(5000)[2]	-296,46[5]
2	Etano	C_2H_6	30,070	-127,48	(800)[2]	-297,89[5]
3	Propano	C_3H_8	44,097	-43,67	190	-305,84[5]
4	n-butano	C_4H_{10}	58,124	31,10	51,6	-217,05
5	Isobutano	C_4H_{10}	58,124	10,90	72,2	-255,29
6	n–pentane	C_5H_{12}	72,151	96,92	15,570	-201,51
7	Isopentano	C_5H_{12}	72,151	82,12	20,44	-255,83
8	Neopentano	C_5H_{12}	72,151	49,10	35,90	2,17
9	n-hexano	C_6H_{14}	86,178	155,72	4,956	-139,58
10	2-metilpentano	C_6H_{14}	86,178	140,47	6,767	-244,63
11	3-metilpentano	C_6H_{14}	86,178	145,89	6,098	- - -
12	Neohexano	C_6H_{14}	86,178	121,52	9,856	-147,72
13	2,3-dimetilbutano	C_6H_{14}	86,178	136,36	7,404	-199,38

N.º	Compuesto	Fórmula	Constantes críticas		Gravedad específica a 14,696 psia	
			Temp. crítica (°F)	Presión crítica (psia)	Líquido[3][4] 60 °F/60 °F	Gas a 60 °F (Air = 1)[1]
1	Metano	CH_4	-116,63	667,8	0,3[8]	0,5539
2	Etano	C_2H_6	90,09	707,8	0,3564[7]	1,0382
3	Propano	C_3H_8	206,01	616,3	0,5077[7]	1,5225
4	n-butano	C_4H_{10}	305,65	550,7	0,5844[7]	2,0068
5	Isobutano	C_4H_{10}	274,98	529,1	0,5631[7]	2,0068
6	n–pentane	C_5H_{12}	385,7	488,6	0,6310	2,4911
7	Isopentano	C_5H_{12}	369,10	490,4	0,6247	2,4911
8	Neopentano	C_5H_{12}	321,13	464,0	0,5967[7]	2,4911
9	n-hexano	C_6H_{14}	453,7	436,9	0,6640	2,9753
10	2-metilpentano	C_6H_{14}	435,83	436,6	0,6579	2,9753
11	3-metilpentano	C_6H_{14}	448,3	453,1	0,6689	2,9753
12	Neohexano	C_6H_{14}	420,13	446,8	0,6540	2,9753
13	2,3-dimetilbutano	C_6H_{14}	440,29	453,5	0,6664	2,9753

Continuación de constantes físicas de hidrocarburos...

N.º	Compuesto	Fórmula	Peso molecular	Punto de ebullición a 14,696 psia (°F)	Presión del vapor a 100 °F (psia)	Punto de congelación a 14,696 psia (°F)
14	n-heptano	C_7H_{16}	100,205	209,17	1,620	-131,05
15	2-metilhexano	C_7H_{16}	100,205	194,09	2,271	-180,89
16	3-metilhexano	C_7H_{16}	100,205	197,32	2,130	- - -
17	3-etilpentano	C_7H_{16}	100,205	200,25	2,012	-181,48
18	2,2-dimetilpentano	C_7H_{16}	100,205	174,54	3,492	-190,86
19	2,4-dimetilpentano	C_7H_{16}	100,205	176,89	3,292	-182,63
20	3,3-dimetilpentano	C_7H_{16}	100,205	186,91	2,773	-210,01
21	Trimetilbutano	C_7H_{16}	100,205	177,58	3,374	-12,82
22	n-octano	C_8H_{18}	114,232	258,22	0,537	-70,18
23	Diisobutil	C_8H_{18}	114,232	228,39	1,101	-132,07
24	Isooctano	C_8H_{18}	114,232	210,63	1,708	-161,27
25	n-nonano	C_9H_{20}	128,259	303,47	0,179	-64,28
26	n-decano	$C_{10}H_{22}$	142,286	345,48	0,0597	-21,36
27	Ciclopentano	C_5H_{10}	70,135	120,65	9,914	-136,91
28	Metilciclopentano	C_6H_{12}	84,162	161,25	4,503	-224,44

N.º	Compuesto	Fórmula	Constantes críticas		Gravedad específica a 14,696 psia	
			Temp. crítica (°F)	Presión crítica (psia)	Líquido[3][4] 60 °F/60 °F	Gas a 60 °F (Air = 1)[1]
14	n-heptano	C_7H_{16}	512,8	396,8	0,6882	3,4596
15	2-metilhexano	C_7H_{16}	495,00	396,5	0,6830	3,4596
16	3-metilhexano	C_7H_{16}	503,78	408,1	0,6917	3,4596
17	3-etilpentano	C_7H_{16}	513,48	419,3	0,7028	3,4596
18	2,2-dimetilpentano	C_7H_{16}	477,23	402,2	0,6782	3,4596
19	2,4-dimetilpentano	C_7H_{16}	475,95	396,9	0,6773	3,4596
20	3,3-dimetilpentano	C_7H_{16}	505,85	427,2	0,6976	3,4596
21	Trimetilbutano	C_7H_{16}	496,44	428,4	0,6946	3,4596
22	n-octano	C_8H_{18}	564,22	360,6	0,7068	3,9439
23	Diisobutil	C_8H_{18}	530,44	360,6	0,6979	3,9439
24	Isooctano	C_8H_{18}	519,46	372,4	0,6962	3,9439
25	n-nonano	C_9H_{20}	610,68	332.	0,7217	4,4282
26	n-decano	$C_{10}H_{22}$	652,1	304.	0,7342	4,9125
27	Ciclopentano	C_5H_{10}	461,5	653,8	0,7504	2,4215
28	Metilciclopentano	C_6H_{12}	499,35	548,9	0,7536	2,9057

Continuación de constantes físicas de hidrocarburos...

N.º	Compuesto	Fórmula	Peso molecular	Punto de ebullición a 14,696 psia (°F)	Presión del vapor a 100 °F (psia)	Punto de congelación a 14,696 psia (°F)
29	Ciclohexano	C_6H_{12}	84,162	177,29	3,264	43,77
30	Metilciclohexano	C_7H_{14}	98,189	213,68	1,609	-195,87
31	Etileno	C_2H_4	28,054	-154,62	---	-272,45[5]
32	Propileno	C_3H_6	42,081	-53,90	226,4	-301,45[5]
33	1-buteno	C_4H_8	56,108	20,75	63,05	-301,63[5]
34	Cis-2-buteno	C_4H_8	56,108	38,69	45,54	-218,06
35	Trans-2-buteno	C_4H_8	56,108	33,58	49,80	-157,96
36	Isobuteno	C_4H_8	56,108	19,59	63,40	-220,61
37	1-penteno	C_5H_{10}	70,135	85,93	19,115	-265,39
38	1,2-butadieno	C_4H_6	54,092	51,53	(20,)[2]	-213,16
39	1,3-butadieno	C_4H_6	54,092	24,06	(60,)[2]	-164,02
40	Isopreno	C_5H_8	68,119	93,30	16,672	-230,74
41	Acetileno	C_2H_2	26,038	-119,[6]	---	-114[5]
42	Benceno	C_6H_6	78,114	176,17	3,224	41,96
43	Tolueno	C_7H_8	92,141	231,13	1,032	-138,94

N.º	Compuesto	Fórmula	Constantes críticas		Gravedad específica a 14,696 psia	
			Temp. crítica (°F)	Presión crítica (psia)	Líquido[3][4] 60 °F/60 °F	Gas a 60 °F (Air = 1)[1]
29	Ciclohexano	C_6H_{12}	536,7	591.	0,7834	2,9057
30	Metilciclohexano	C_7H_{14}	570,27	503,5	0,7740	3,3900
31	Etileno	C_2H_4	48,58	729,8	---	0,9686
32	Propileno	C_3H_6	196,9	669.	0,5220[7]	1,4529
33	1-buteno	C_4H_8	295,6	583.	0,6013[7]	1,9372
34	Cis-2-buteno	C_4H_8	324,37	610.	0,6271[7]	1,9372
35	Trans-2-buteno	C_4H_8	311,86	595.	0,6100[7]	1,9372
36	Isobuteno	C_4H_8	292,55	580.	0,6004[7]	1,9372
37	1-penteno	C_5H_{10}	376,93	590.	0,6457	2,4215
38	1,2-butadieno	C_4H_6	(339,)[2]	(653,)[2]	0,6587	1,8676
39	1,3-butadieno	C_4H_6	306.	628.	0,6272[7]	1,8676
40	Isopreno	C_5H_8	(412,)[2]	(558,4)[2]	0,6861	2,3519
41	Acetileno	C_2H_2	95,31	890,4	0,615[9]	0,8990
42	Benceno	C_6H_6	552,22	710,4	0,8844	2,6969
43	Tolueno	C_7H_8	605,55	595,9	0,8718	3,1812

Continuación de constantes físicas de hidrocarburos...

N.º	Compuesto	Fórmula	Peso molecular	Punto de ebullición a 14,696 psia (°F)	Presión del vapor a 100 °F (psia)	Punto de congelación a 14,696 psia (°F)
44	Etilbenceno	C_8H_{10}	106,168	277,16	0,371	-138,91
45	o-xileno	C_8H_{10}	106,168	291,97	0,264	-13,30
46	m-xileno	C_8H_{10}	106,168	282,41	0,326	-54,12
47	p-xileno	C_8H_{10}	106,168	281,05	0,342	55,86
48	Estireno	C_8H_8	104,152	293,29	(0,24)[2]	-23,10
49	Isopropilbenceno	C_9H_{12}	120,195	306,34	0,188	-140,82

N.º	Compuesto	Fórmula	Constantes críticas		Gravedad específica a 14,696 psia	
			Temp. crítica (°F)	Presión crítica (psia)	Líquido[3][4] 60 °F/60 °F	Gas a 60 °F (Air = 1)[1]
44	Etilbenceno	C_8H_{10}	651,24	523,5	0,8718	3,6655
45	o-xileno	C_8H_{10}	675,0	541,4	0,8848	3,6655
46	m-xileno	C_8H_{10}	651,02	513,6	0,8687	3,6655
47	p-xileno	C_8H_{10}	649,6	509,2	0,8657	3,6655
48	Estireno	C_8H_8	706,0	580.	0,9110	3,5959
49	Isopropilbenceno	C_9H_{12}	676,4	465,4	0,8663	4,1498

1. Valores calculados
2. ( )–Valores estimados
3. Hidrocarburos saturados de aire.
4. Valores absolutos de pesos en vacío.
5. A presión de saturación (punto triple).
6. Punto de sublimación.
7. Presión de saturación a 15,5 °C (60 °F).
8. Valor aparente del metano a 15,5 °C (60°F).
9. Gravedad específica, 119 °F/60 °F (punto de sublimación).

13.4 Relación calorífica específica (k)

Gas	Relación calorífica específica (k)	Gas	Relación calorífica específica (k)	Gas	Relación calorífica específica (k)	Gas	Relación calorífica específica (k)
Acetileno	1,38	Dióxido de carbono	1,29	gas natural a 0,6	1,32	Vapor[1]	1,33
Aire	1,40	Etano	1,25	Nitrógeno	1,40		
Argón	1,67	Helio	1,66	Oxígeno	1,40		
Butano	1,17	Hidrógeno	1,40	Propano	1,21		
Monóxido de carbono	1,40	Metano	1,26	Propileno	1,15		

1. Para una mayor precisión, consulte las tablas de propiedades disponibles.

13.5 Constantes físicas de varios fluidos

Fluido	Fórmula	Peso molecular	Punto de ebullición (en °F a 14,696 psia)	Presión del vapor a 70 °F (psig)	Temp. crítica (°F)	Presión crítica (psia)	Gravedad específica	
							Líquido (60/60 °F)	Gas
Ácido acético	$HC_2H_3O_2$	60,05	245	---	---	---	1,05	---
Acetona	C_3H_6O	58,08	133	---	455	691	0,79	2,01
Aire	N_2O_2	28,97	-317	---	-221	547	0,86[3]	1,0
Alcohol, Etilo	C_2H_6O	46,07	173	2,3[2]	470	925	0,794	1,59
Alcohol, Metil	CH_4O	32,04	148	4,63[2]	463	1174	0,796	1,11
Amoníaco	NH_3	17,03	-28	114	270	1636	0,62	0,59
Cloruro de amonio[1]	NH_4Cl	---	---	---	---	---	1,07	---
Hidróxido de amonio[1]	NH_4OH	---	---	---	---	---	0,91	---
Sulfato de amonio[1]	$(NH_4)_2SO_4$	---	---	---	---	---	1,15	---
Anilina	C_6H_7N	93,12	365	---	798	770	1,02	---
Argón	A	39,94	-302	---	-188	705	1,65	1,38
Cerveza	---	---	---	---	---	---	1,01	---
Bromo	Br_2	159,84	138	---	575	---	2,93	5,52
Cloruro de calcio[1]	$CaCl_2$	---	---	---	---	---	1,23	---
Dióxido de carbono	CO_2	44,01	-109	839	88	1072	0,801[3]	1,52
Disulfuro de carbono	CS_2	76,1	115	---	---	---	1,29	2,63
Monóxido de carbono	CO	28,01	-314	---	-220	507	0,80	0,97
Tetracloruro de carbono	CCl_4	153,84	170	---	542	661	1,59	5,31
Cloro	Cl_2	70,91	-30	85	291	1119	1,42	2,45
Ácido crómico	H_2CrO_4	118,03	---	---	---	---	1,21	---
Ácido cítrico	$C_6H_8O_7$	192,12	---	---	---	---	1,54	---
Sulfato de cobre[1]	$CuSO_4$	---	---	---	---	---	1,17	---
Éter	$(C_2H_5)_2O$	74,12	34	---	---	---	0,74	2,55
Cloruro de hierro[1]	$FeCl_3$	---	---	---	---	---	1,23	---
Flúor	F_2	38,00	-305	300	1200	809	1,11	1,31
Formaldehído	H_2CO	30,03	-6	---	---	---	0,82	1,08
Ácido fórmico	HCO_2H	46,03	214	---	---	---	1,23	---
Furfuraldehído	$C_5H_4O_2$	96,08	324	---	---	---	1,16	---
Glicerina	$C_3H_8O_3$	92,09	554	---	---	---	1,26	---
Glicol	$C_2H_6O_2$	62,07	387	---	---	---	1,11	---

Continuación de constantes físicas de varios fluidos...

Fluido	Fórmula	Peso molecular	Punto de ebullición (en °F a 14,696 psia)	Presión del vapor a 70 °F (psig)	Temp. crítica (°F)	Presión crítica (psia)	Gravedad específica	
							Líquido (60/60 °F)	Gas
Helio	He	4,003	-454	---	-450	33	0,18	0,14
Ácido clorhídrico	HCl	36,47	-115	---	---	---	1,64	---
Ácido fluorhídrico	HF	20,01	66	0,9	446	---	0,92	---
Hidrógeno	H_2	2,016	-422	---	-400	188	0,07[3]	0,07
Cloruro de hidrógeno	HCl	36,47	-115	613	125	1198	0,86	1,26
Ácido sulfhídrico	H_2S	34,07	-76	252	213	1307	0,79	1,17
Alcohol isopropílico	C_3H_8O	60,09	180	---	---	---	0,78	2,08
Aceite de linaza	---	---	538	---	---	---	0,93	---
Cloruro de magnesio[1]	$MgCl_2$	---	---	---	---	---	1,22	---
Mercurio	Hg	200,61	670	---	---	---	13,6	6,93
Bromuro de metilo	CH_3Br	94,95	38	13	376		1,73	3,27
Clorometano	CH_3Cl	50,49	-11	59	290	969	0,99	1,74
Naftalina	$C_{10}H_8$	128,16	424	---	---	---	1,14	4,43
Ácido nítrico	HNO_3	63,02	187	---	---	---	1,5	---
Nitrógeno	N_2	28,02	-320	---	-233	493	0,81[3]	0,97
Aceite, Vegetal	---	---	---	---	---	---	0,91-0,94	---
Oxígeno	O_2	32	-297	---	-181	737	1,14[3]	1,105
Fosgeno	$COCl_2$	98,92	47	10,7	360	823	1,39	3,42
Ácido fosfórico	H_3PO_4	98,00	415	---	---	---	1,83	---
Carbonato de potasio[1]	K_2CO_3	---	---	---	---	---	1,24	---
Cloruro de potasio[1]	KCl	---	---	---	---	---	1,16	---
Hidróxido de potasio[1]	KOH	---	---	---	---	---	1,24	---
Cloruro de sodio[1]	NaCl	---	---	---	---	---	1,19	---
Hidróxido de sodio[1]	NaOH	---	---	---	---	---	1,27	---
Sulfato de sodio[1]	Na_2SO_4	---	---	---	---	---	1,24	---
Tiosulfato de sodio[1]	$Na_2S_2O_3$	---	---	---	---	---	1,23	---

Continuación de constantes físicas de varios fluidos...

Fluido	Fórmula	Peso molecular	Punto de ebullición (en °F a 14,696 psia)	Presión del vapor a 70 °F (psig)	Temp. crítica (°F)	Presión crítica (psia)	Gravedad específica	
							Líquido (60/60 °F)	Gas
Almidón	$(C_6H_{10}O_5)x$	---	---	---	---	---	1,50	---
Soluciones de azúcar[1]	$C_{12}H_{22}0_{11}$	---	---	---	---	---	1,10	---
Ácido sulfúrico	H_2SO_4	98,08	626	---	---	---	1,83	---
Dióxido de azufre	SO_2	64,6	14	34,4	316	1145	1,39	2,21
Trementina	---	---	320	---	---	---	0,87	---
Agua	H_2O	18,016	212	0,9492[2]	706	3208	1,00	0,62
Cloruro de zinc[1]	$ZnCl_2$	---	---	---	---	---	1,24	---
Sulfato de cinc[1]	$ZnSO_4$	---	---	---	---	---	1,31	---

1. Solución acuosa - 25% por peso del compuesto.
2. Presión del vapor en psia a 39 °C (100 °F).
3. Presión del vapor en psia.

13.6 Refrigerante 717 (Amoníaco) Propiedades del líquido y del vapor saturado

Temp. (°F)	Presión		Volumen (lb/pie³)	Densidad (lb/pie³)	Entalpía[1] (BTU/lb)		Entropía[1] BTU/(lb) (°R)	
	psia	psig	Vapor (Vg)	Líquido (l/Vf)	Líquido (hf)	Vapor (hg)	Líquido (Sf)	Vapor (Sg)
-105	0,996	27,9[2]	223,2	45,71	-68,5	570,3	-0,1774	1,6243
-104	1,041	27,8[2]	214,2	45,67	-67,5	570,7	-0,1774	1,6205
-103	1,087	27,7[2]	205,7	45,63	-66,4	571,2	-0,1714	1,6167
-102	1,135	27,6[2]	197,6	45,59	-65,4	571,6	-0,1685	1,6129
-101	1,184	27,5[2]	189,8	45,55	-64,3	572,1	-0,1655	1,6092
-100	1,24	27,4[2]	182,4	45,52	-63,3	572,5	-0,1626	1,6055
-99	1,29	27,3[2]	175,3	45,47	-62,2	572,9	-0,1597	1,6018
-98	1,34	27,2[2]	168,5	45,43	-61,2	573,4	-0,1568	1,5982
-97	1,40	27,1[2]	162,1	45,40	-60,1	573,8	-0,1539	1,5945
-96	1,46	26,9[2]	155,9	45,36	-59,1	574,3	-0,1510	1,5910
-95	1,52	26,8[2]	150,0	45,32	-58,0	574,7	-0,1481	1,5874
-94	1,59	26,7[2]	144,3	45,28	-57,0	575,1	-0,1452	1,5838
-93	1,65	26,6[2]	138,9	45,24	-55,9	575,6	-0,1423	1,5803
-92	1,72	26,4[2]	133,8	45,20	-54,9	576,0	-0,1395	1,5768
-91	1,79	26,3[2]	128,9	45,16	-53,8	576,5	-0,1366	1,5734

Continuación de refrigerante 717 (Amoníaco) Propiedades del líquido y del vapor saturado...

Temp. (°F)	Presión		Volumen (lb/pie³)	Densidad (lb/pie³)	Entalpía[1] (BTU/lb)		Entropía[1] BTU/(lb) (°R)	
	psia	psig	Vapor (Vg)	Líquido (l/Vf)	Líquido (hf)	Vapor (hg)	Líquido (Sf)	Vapor (Sg)
-90	1,86	26,1[2]	124,1	45,12	-52,8	576,9	-0,1338	1,5699
-89	1,94	26,0[2]	119,6	45,08	-51,7	577,3	-0,1309	1,5665
-88	2,02	25,8[2]	115,3	45,04	-50,7	577,8	-0,1281	1,5631
-87	2,10	25,6[2]	111,1	45,00	-49,6	578,2	-0,1253	1,5597
-86	2,18	25,5[2]	107,1	44,96	-48,6	578,6	-0,1225	1,5564
-85	2,27	25,3[2]	103,3	44,92	-47,5	579,1	-0,1197	1,5531
-84	2,35	25,1[2]	99,68	44,88	-46,5	579,5	-0,1169	1,5498
-83	2,45	24,9[2]	96,17	44,84	-45,4	579,9	-0,1141	1,5465
-82	2,54	24,7[2]	92,81	44,80	-44,4	580,4	-0,1113	1,5432
-81	2,64	24,5[2]	89,59	44,76	-43,3	580,8	-0,1085	1,5400
-80	2,74	24,3[2]	86,50	44,73	-42,2	581,2	0,1057	1,5368
-79	2,84	24,1[2]	83,54	44,68	-41,2	581,6	-0,1030	1,5336
-78	2,95	23,9[2]	80,69	44,64	-40,1	582,1	-0,1002	1,5304
-77	3,06	23,7[2]	77,96	44,60	-39,1	582,5	-0,0975	1,5273
-76	3,18	23,5[2]	75,33	44,56	-38,0	582,9	-0,0947	1,5242
-75	3,29	23,2[2]	72,81	44,52	-37,0	583,3	-0,0920	1,5211
-74	3,42	23,0[2]	70,39	44,48	-35,9	583,8	-0,0892	1,5180
-73	3,54	22,7[2]	68,06	44,44	-34,9	584,2	-0,0865	1,5149
-72	3,67	22,4[2]	65,82	44,40	-33,8	584,6	-0,0838	1,5119
-71	3,80	22,2[2]	63,67	44,36	-32,8	585,0	-0,0811	1,5089
-70	3,94	21,9[2]	61,60	44,32	-31,7	585,5	-0,0784	1,5059
-69	4,08	21,6[2]	59,61	44,28	-30,7	585,9	-0,0757	1,5029
-68	4,23	21,3[2]	57,69	44,24	-29,6	586,3	-0,0730	1,4999
-67	4,38	21,0[2]	55,85	44,19	-28,6	586,7	-0,0703	1,4970
-66	4,53	20,7[2]	54,08	44,15	-27,5	587,1	-0,0676	1,4940
-65	4,69	20,4[2]	52,37	44,11	-26,5	587,5	-0,0650	1,4911
-64	4,85	20,0[2]	50,73	44,07	-25,4	588,0	-0,0623	1,4883
-63	5,02	19,7[2]	49,14	44,03	-24,4	588,4	-0,0596	1,4854
-62	5,19	19,4[2]	47,62	43,99	-23,3	588,8	-0,0570	1,4826
-61	5,37	19,0[2]	46,15	43,95	-22,2	589,2	-0,0543	1,4797
-60	5,55	18,6[2]	44,73	43,91	-21,2	589,6	-0,0517	1,4769
-59	5,74	18,2[2]	43,37	43,87	-20,1	590,0	-0,0490	1,4741
-58	5,93	17,8[2]	42,05	43,83	-19,1	590,4	-0,0464	1,4713
-57	6,13	17,4[2]	40,79	43,78	-18,0	590,8	-0,0438	1,4686

Continuación de refrigerante 717 (Amoníaco) Propiedades del líquido y del vapor saturado...

Temp. (°F)	Presión		Volumen (lb/pie³)	Densidad (lb/pie³)	Entalpía[1] (BTU/lb)		Entropía[1] BTU/(lb) (°R)	
	psia	psig	Vapor (Vg)	Líquido (l/Vf)	Líquido (hf)	Vapor (hg)	Líquido (Sf)	Vapor (Sg)
-56	6,33	17,0[2]	39,56	43,74	-17,0	591,2	-0,0412	1,4658
-55	6,54	16,6[2]	38,38	43,70	-15,9	591,6	-0,0386	1,4631
-54	6,75	16,2[2]	37,24	43,66	-14,8	592,1	-0,0360	1,4604
-53	6,97	15,7[2]	36,15	43,62	-13,8	592,4	-0,0334	1,4577
-52	7,20	15,3[2]	35,09	43,58	-12,7	592,9	-0,0307	1,4551
-51	7,43	14,8[2]	34,06	43,54	-11,7	593,2	-0,0281	1,4524
-50	7,67	14,3[2]	33,08	43,49	-10,6	593,7	-0,0256	1,4497
-49	7,91	13,8[2]	32,12	43,45	-9,6	594,0	-0,0230	1,4471
-48	8,16	13,3[2]	31,20	43,41	-8,5	594,4	-0,0204	1,4445
-47	8,42	12,8[2]	30,31	43,37	-7,4	594,9	-0,0179	1,4419
-46	8,68	12,2[2]	29,45	43,33	-6,4	595,2	-0,0153	1,4393
-45	8,95	11,7[2]	28,62	43,28	-5,3	595,6	-0,0127	1,4368
-44	9,23	11,1[2]	27,82	43,24	-4,3	596,0	-0,0102	1,4342
-43	9,51	10,6[2]	27,04	43,20	-3,2	596,4	-0,0076	1,4317
-42	9,81	10,0[2]	26,29	43,16	-2,1	596,8	-0,0051	1,4292
-41	10,10	9,3[2]	25,56	43,12	-1,1	597,2	-0,0025	1,4267
-40	10,41	8,7[2]	24,86	43,08	0,0	597,6	0,0000	1,4242
-39	10,72	8,1[2]	24,18	43,04	1,1	598,0	0,0025	1,4217
-38	11,04	7,4[2]	23,53	42,99	2,1	598,3	0,0051	1,4193
-37	11,37	6,8[2]	22,89	42,95	3,2	598,7	0,0076	1,4169
-36	11,71	6,1[2]	22,27	42,90	4,3	599,1	0,0101	1,4144
-35	12,05	5,4[2]	21,68	42,86	5,3	599,5	0,0126	1,4120
-34	12,41	4,7[2]	21,10	42,82	6,4	599,9	0,0151	1,4096
-33	12,77	3,9[2]	20,54	42,78	7,4	600,2	0,0176	1,4072
-32	13,14	3,2[2]	20,00	42,73	8,5	600,6	0,0201	1,4048
-31	13,52	2,4[2]	19,48	42,69	9,6	601,0	0,0226	1,4025
-30	13,90	1,6[2]	18,97	42,65	10,7	601,4	0,0250	1,4001
-29	14,30	0,8[2]	18,48	42,61	11,7	601,7	0,0275	1,3978
-28	14,71	0,0	18,00	42,57	12,8	602,1	0,0300	1,3955
-27	15,12	0,4	17,54	42,54	13,9	602,5	0,0325	1,3932
-26	15,55	0,8	17,09	42,48	14,9	602,8	0,0350	1,3909
-25	15,98	1,3	16,66	42,44	16,0	603,2	0,0374	1,3886
-24	16,24	1,7	16,24	42,40	17,1	603,6	0,0399	1,3863
-23	16,88	2,2	15,83	42,35	18,1	603,9	0,0423	1,3840

Continuación de refrigerante 717 (Amoníaco) Propiedades del líquido y del vapor saturado...

Temp. (°F)	Presión		Volumen (lb/pie³)	Densidad (lb/pie³)	Entalpía[1] (BTU/lb)		Entropía[1] BTU/(lb) (°R)	
	psia	psig	Vapor (Vg)	Líquido (l/Vf)	Líquido (hf)	Vapor (hg)	Líquido (Sf)	Vapor (Sg)
-22	17,34	2,6	15,43	42,31	19,2	604,3	0,0448	1,3818
-21	17,81	3,1	15,05	42,26	20,3	604,6	0,0472	1,3796
-20	18,30	3,6	14,68	42,22	21,4	605,0	0,0497	1,3774
-19	18,79	4,1	14,32	42,18	22,4	605,3	0,0521	1,3752
-18	19,30	4,6	13,97	42,13	23,5	605,7	0,0545	1,3729
-17	19,81	5,1	13,62	42,09	24,6	606,1	0,0570	1,3708
-16	20,34	5,6	13,29	42,04	25,6	606,4	0,0594	1,3686
-15	20,88	6,2	12,97	42,00	26,7	606,7	0,0618	1,3664
-14	21,43	6,7	12,66	41,96	27,8	607,1	0,0642	1,3642
-13	21,99	7,3	12,36	41,91	28,9	607,5	0,0666	1,3624
-12	22,56	7,9	12,06	41,87	30,0	607,8	0,0690	1,3600
-11	23,15	8,5	11,78	41,82	31,0	608,1	0,0714	1,3579
-10	23,74	9,0	11,50	41,78	32,1	608,5	0,0738	1,3558
-9	24,35	9,7	11,23	41,74	33,2	608,8	0,0762	1,3537
-8	24,97	10,3	10,97	41,69	34,3	609,2	0,0786	1,3516
-7	25,61	10,9	10,71	41,65	35,4	609,5	0,0809	1,3493
-6	26,26	11,6	10,47	41,60	36,4	609,8	0,0833	1,3474
-5	26,92	12,2	10,23	41,56	37,5	610,1	0,0857	1,3454
-4	27,59	12,9	9,991	41,52	38,6	610,5	0,0880	1,3433
-3	28,28	13,6	9,763	41,47	39,7	610,8	0,0909	1,3413
-2	28,98	14,3	9,541	41,43	40,7	611,1	0,0928	1,3393
-1	29,69	15,0	9,326	41,38	41,8	611,4	0,0951	1,3372
0	30,42	15,7	9,116	41,34	42,9	611,8	0,0975	1,3352
1	31,16	16,5	8,912	41,29	44,0	612,1	0,0998	1,3332
2	31,92	17,2	8,714	41,25	45,1	612,4	0,1022	1,3312
3	32,69	18,0	8,521	41,20	46,2	612,7	0,1045	1,3292
4	33,47	18,8	8,333	41,16	47,2	613,0	0,1069	1,3273
5[3]	34,27	19,6	8,150	41,11	48,3	613,3	0,1092	1,3253
6	35,09	20,4	7,971	41,07	49,4	613,6	0,1115	1,3234
7	35,92	21,2	7,798	41,01	50,5	613,9	0,1138	1,3214
8	36,77	22,1	7,629	40,98	51,6	614,3	0,1162	1,3195
9	37,63	22,9	7,464	40,93	52,7	614,6	0,1185	1,3176
10	38,51	23,8	7,304	40,89	53,8	614,9	0,1208	1,3157
11	39,40	24,7	7,148	40,84	54,9	615,2	0,1231	1,3137

Continuación de refrigerante 717 (Amoníaco) Propiedades del líquido y del vapor saturado...

Temp. (°F)	Presión		Volumen (lb/pie³)	Densidad (lb/pie³)	Entalpía[1] (BTU/lb)		Entropía[1] BTU/(lb) (°R)	
	psia	psig	Vapor (Vg)	Líquido (l/Vf)	Líquido (hf)	Vapor (hg)	Líquido (Sf)	Vapor (Sg)
12	40,31	25,6	6,996	40,80	56,0	615,5	0,1254	1,3118
13	41,24	26,5	6,847	40,75	57,1	615,8	0,1277	1,3099
14	42,18	27,5	6,703	40,71	58,2	616,1	0,1300	1,3081
15	43,14	28,4	6,562	40,66	59,2	616,3	0,1323	1,3062
16	44,12	29,4	6,425	40,61	60,3	616,6	0,1346	1,3043
17	45,12	30,4	6,291	40,57	61,4	616,9	0,1369	1,3025
18	46,13	31,4	6,161	40,52	62,5	617,2	0,1392	1,3006
19	47,16	32,5	6,034	40,48	63,6	617,5	0,1415	1,2988
20	48,21	33,5	5,910	40,43	64,7	617,8	0,1437	1,2969
21	49,28	34,6	5,789	40,38	65,8	618,0	0,1460	1,2951
22	50,36	35,7	5,671	40,34	66,9	618,3	0,1483	1,2933
23	51,47	36,8	5,556	40,29	68,0	618,6	0,1505	1,2915
24	52,59	37,9	5,443	40,25	69,1	618,9	0,1528	1,2897
25	53,73	39,0	5,334	40,20	70,2	619,1	0,1551	1,2879
26	54,90	40,2	5,227	40,15	71,3	619,4	0,1573	1,2861
27	56,08	41,4	5,123	40,10	72,4	619,7	0,1596	1,2843
28	57,28	42,6	5,021	40,06	73,5	619,9	0,1618	1,2823
29	58,50	43,8	4,922	40,01	74,6	620,2	0,1641	1,2809
30	59,74	45,0	4,825	39,96	75,7	620,5	0,1663	1,2790
31	61,00	46,3	4,730	39,91	76,8	620,7	0,1686	1,2773
32	62,29	47,6	4,637	39,86	77,9	621,0	0,1708	1,2755
33	63,59	48,9	4,547	39,82	79,0	621,2	0,1730	1,2738
34	64,91	50,2	4,459	39,77	80,1	621,5	0,1753	1,2721
35	66,26	51,6	4,373	39,72	81,2	621,7	0,1775	1,2704
36	67,63	52,9	4,289	39,67	82,3	622,0	0,1797	1,2686
37	69,02	54,3	4,207	39,63	83,4	622,2	0,1819	1,2669
38	70,43	55,7	4,126	39,58	84,6	622,5	0,1841	1,2652
39	71,87	57,2	4,048	39,54	85,7	622,7	0,1863	1,2635
40	73,32	58,6	3,971	39,49	86,8	623,0	0,1885	1,2618
41	74,80	60,1	3,897	39,44	87,9	623,2	0,1908	1,2602
42	76,31	61,6	3,823	39,39	89,0	623,4	0,1930	1,2585
43	77,83	63,1	3,752	39,34	90,1	623,7	0,1952	1,2568
44	79,38	64,7	3,682	39,29	91,2	623,9	0,1974	1,2552
45	80,96	66,3	3,614	39,24	92,3	624,1	0,1996	1,2535

Continuación de refrigerante 717 (Amoníaco) Propiedades del líquido y del vapor saturado...

Temp. (°F)	Presión		Volumen (lb/pie³)	Densidad (lb/pie³)	Entalpía[1] (BTU/lb)		Entropía[1] BTU/(lb) (°R)	
	psia	psig	Vapor (Vg)	Líquido (l/Vf)	Líquido (hf)	Vapor (hg)	Líquido (Sf)	Vapor (Sg)
46	82,55	67,9	3,547	39,19	93,5	624,4	0,2018	1,2518
47	84,18	69,5	3,481	39,14	94,6	624,6	0,2040	1,2492
48	85,82	71,1	3,418	39,10	95,7	624,8	0,2062	1,2484
49	87,49	72,8	3,355	39,05	96,8	625,0	0,2083	1,2469
50	89,19	74,5	3,294	39,00	97,9	625,2	0,2105	1,2453
51	90,91	76,2	3,234	38,95	99,1	625,5	0,2127	1,2437
52	92,66	78,0	3,176	38,90	100,2	625,7	0,2149	1,2421
53	94,43	79,7	3,119	38,85	101,3	625,9	0,2171	1,2405
54	96,23	81,5	3,063	38,80	102,4	626,1	0,2192	1,2382
55	98,06	83,4	3,008	38,75	103,5	626,3	0,2214	1,2372
56	99,91	85,2	2,954	38,70	104,7	626,5	0,2236	1,2357
57	101,8	87,1	2,902	38,65	105,8	626,7	0,2257	1,2341
58	103,7	89,0	2,851	38,60	106,9	626,9	0,2279	1,2325
59	105,6	90,9	2,800	38,55	108,1	627,1	0,2301	1,2310
60	107,6	92,9	2,751	38,50	109,2	627,3	0,2322	1,2294
61	109,6	94,9	2,703	38,45	110,3	627,5	0,2344	1,2273
62	111,6	96,9	2,656	38,40	111,5	627,7	0,2365	1,2263
63	113,6	98,9	2,610	38,35	112,6	627,9	0,2387	1,2247
64	115,7	101,0	2,565	38,30	113,7	628,0	0,2408	1,2231
65	117,8	103,1	2,520	38,25	114,8	628,2	0,2430	1,2213
66	120,0	105,3	2,477	38,20	116,0	628,4	0,2451	1,2201
67	122,1	107,4	2,435	38,15	117,1	628,6	0,2473	1,2183
68	124,3	109,6	2,393	38,10	118,3	628,8	0,2494	1,2179
69	126,5	111,8	2,352	38,05	119,4	628,9	0,2515	1,2155
70	128,8	114,1	2,312	38,00	120,5	629,1	0,2537	1,2140
71	131,1	116,4	2,273	37,95	121,7	629,3	0,2558	1,2125
72	133,4	118,7	2,235	37,90	122,8	629,4	0,2579	1,2110
73	135,7	121,0	2,197	37,84	124,0	629,6	0,2601	1,2095
74	138,1	123,4	2,161	37,79	125,1	629,8	0,2622	1,2080
75	140,5	125,8	2,125	37,74	126,2	629,9	0,2643	1,2065
76	143,0	128,3	2,089	37,69	127,4	630,1	0,2664	1,2050
77	145,4	130,7	2,055	37,64	128,5	630,2	0,2685	1,2035
78	147,9	133,2	2,021	37,58	129,7	630,4	0,2706	1,2020
79	150,5	135,8	1,988	37,53	130,8	630,5	0,2728	1,2006

Continuación de refrigerante 717 (Amoníaco) Propiedades del líquido y del vapor saturado...

Temp. (°F)	Presión		Volumen (lb/pie³)	Densidad (lb/pie³)	Entalpía[1] (BTU/lb)		Entropía[1] BTU/(lb) (°R)	
	psia	psig	Vapor (Vg)	Líquido (l/Vf)	Líquido (hf)	Vapor (hg)	Líquido (Sf)	Vapor (Sg)
80	153,0	138,3	1,955	37,48	132,0	630,7	0,2749	1,1991
81	155,6	140,9	1,923	37,43	133,1	630,8	0,2769	1,1976
82	158,3	143,6	1,892	37,37	134,3	631,0	0,2791	1,1962
83	161,0	146,3	1,861	37,32	135,4	631,1	0,2812	1,1947
84	163,7	149,0	1,831	37,26	136,6	631,3	0,2833	1,1933
85	166,4	151,7	1,801	37,21	137,8	631,4	0,2854	1,1918
86[3]	169,2	154,5	1,772	37,16	138,9	631,5	0,2875	1,1904
87	172,0	157,3	1,744	37,11	140,1	631,7	0,2895	1,1889
88	174,8	160,1	1,716	37,05	141,2	631,8	0,2917	1,1875
89	177,7	163,0	1,688	37,00	142,4	631,9	0,2937	1,1860
90	180,6	165,9	1,661	36,95	143,5	632,0	0,2958	1,1846
91	183,6	168,9	1,635	36,89	144,7	632,1	0,2979	1,1832
92	186,6	171,9	1,609	36,84	145,8	632,2	0,3000	1,1818
93	189,6	174,9	1,584	36,78	147,0	632,3	0,3021	1,1804
94	192,7	178,0	1,559	36,73	148,2	632,5	0,3041	1,1789
95	195,8	181,1	1,534	36,67	149,4	632,6	0,3062	1,1775
96	198,9	184,2	1,510	36,62	150,5	632,6	0,3083	1,1761
97	202,1	187,4	1,487	36,56	151,7	632,8	0,3104	1,1747
98	205,3	190,6	1,464	36,51	152,9	632,9	0,3125	1,1733
99	208,6	193,9	1,441	36,45	154,0	632,9	0,3145	1,1719
100	211,9	197,2	1,419	36,40	155,2	633,0	0,3166	1,1705
101	215,2	200,5	1,397	36,34	156,4	633,1	0,3187	1,1691
102	218,6	203,9	1,375	36,29	157,6	633,2	0,3207	1,1677
103	222,0	207,3	1,354	36,23	158,7	633,3	0,3228	1,1663
104	225,4	210,7	1,334	36,18	159,9	633,4	0,3248	1,1649
105	228,9	214,2	1,313	36,12	161,1	633,4	0,3269	1,1635
106	232,5	217,8	1,293	36,06	162,3	633,5	0,3289	1,1621
107	236,0	221,3	1,274	36,01	163,5	633,6	0,3310	1,1607
108	239,7	225,0	1,254	35,95	164,6	633,6	0,3330	1,1593
109	243,3	228,6	1,235	35,90	165,8	633,7	0,3351	1,1580
110	247,0	232,3	1,217	35,84	167,0	633,7	0,3372	1,1566
111	250,8	236,1	1,198	35,78	168,2	633,8	0,3392	1,1552
112	254,5	239,8	1,180	35,72	169,4	633,8	0,3413	1,1538
113	258,4	243,7	1,163	35,67	170,6	633,9	0,3433	1,1524

Continuación de refrigerante 717 (Amoníaco) Propiedades del líquido y del vapor saturado...

Temp. (°F)	Presión		Volumen (lb/pie³)	Densidad (lb/pie³)	Entalpía[1] (BTU/lb)		Entropía[1] BTU/(lb) (°R)	
	psia	psig	Vapor (Vg)	Líquido (l/Vf)	Líquido (hf)	Vapor (hg)	Líquido (Sf)	Vapor (Sg)
114	262,2	247,5	1,145	35,61	171,8	633,9	0,3453	1,1510
115	266,2	251,5	1,128	35,55	173,0	633,9	0,3474	1,1497
116	270,1	255,4	1,112	35,49	174,2	634,0	0,3495	1,1483
117	274,1	259,4	1,095	35,43	175,4	634,0	0,3515	1,1469
118	278,2	263,5	1,079	35,38	176,6	634,0	0,3535	1,1455
119	282,3	267,6	1,063	35,32	177,8	634,0	0,3556	1,1441
120	286,4	271,7	1,047	35,26	179,0	634,0	0,3576	1,1427
121	290,6	275,9	1,032	35,20	180,2	634,0	0,3597	1,1414
122	294,8	280,1	1,017	35,14	181,4	634,0	0,3618	1,1400
123	299,1	284,4	1,002	35,08	182,6	634,0	0,3638	1,1386
124	303,4	288,7	0,987	35,02	183,9	634,0	0,3659	1,1372
125	307,8	293,1	0,973	34,96	185,1	634,0	0,3679	1,1358

1. Basado en 0 para líquido saturado a -40 °C (-40 °F).
2. Pulgadas de mercurio por debajo de una atmósfera estándar.
3. Temperaturas de ciclo estándar.

13.7 Propiedades del agua

Temperatura (°F)	Presión de saturación (lb. por pulg.² absoluta)	Peso (lb. por galón)	Gravedad específica 60/60 °F	Factor de conversión[1] lb/h a GPM
32	0,0885	8,345	1,0013	0,00199
40	0,1217	8,345	1,0013	0,00199
50	0,1781	8,340	1,0007	0,00199
60	0,2653	8,334	1,0000	0,00199
70	0,3631	8,325	0,9989	0,00200
80	0,5069	8,314	0,9976	0,00200
90	0,6982	8,303	0,9963	0,00200
100	0,9492	8,289	0,9946	0,00201
110	1,2748	8,267	0,9919	0,00201
120	1,6924	8,253	0,9901	0,00201
130	2,2225	8,227	0,9872	0,00202
140	2,8886	8,207	0,9848	0,00203
150	3,718	8,182	0,9818	0,00203
160	4,741	8,156	0,9786	0,00204
170	5,992	8,127	0,9752	0,00205

Continuación de propiedades del agua...

Temperatura (°F)	Presión de saturación (lb. por pulg.² absoluta)	Peso (lb. por galón)	Gravedad específica 60/60 °F	Factor[1] lb/h a GPM
180	7,510	8,098	0,9717	0,00205
190	9,339	8,068	0,9681	0,00206
200	11,526	8,039	0,9646	0,00207
210	14,123	8,005	0,9605	0,00208
212	14,696	7,996	0,9594	0,00208
220	17,186	7,972	0,9566	0,00209
240	24,969	7,901	0,9480	0,00210
260	35,429	7,822	0,9386	0,00211
280	49,203	7,746	0,9294	0,00215
300	67,013	7,662	0,9194	0,00217
350	134,63	7,432	0,8918	0,00224
400	247,31	7,172	0,8606	0,00232
450	422,6	6,892	0,8270	0,00241
500	680,8	6,553	0,7863	0,00254
550	1045,2	6,132	0,7358	0,00271
600	1542,9	5,664	0,6796	0,00294
700	3093,7	3,623	0,4347	0,00460

1. Multiplique el flujo en libras/hora por el factor para obtener el flujo equivalente en galones por minuto. El paso por galón se basa en 7,48 por pie cúbico.

13.8 Propiedades del vapor saturado

Presión absoluta		Vacío (pulgadas de Hg)	Temperatura (t) (°F)	Calor de líquido (BTU/lb)	Latente Calor de Evaporación (BTU/lb)	Calor total del vapor de Hg (BTU/lb)	Volumen específico (lb/pie³)
P. en lb por pulg.²	Pulgadas de Hg						
0,20	0,41	29,51	53,14	21,21	1063,8	1085,0	1526,0
0,25	0,51	29,41	59,30	27,36	1060,3	1087,7	1235,3
0,30	0,61	29,31	64,47	32,52	1057,4	1090,0	1039,5
0,35	0,71	29,21	68,93	36,97	1054,9	1091,9	898,5
0,40	0,81	29,11	72,86	40,89	1052,7	1093,6	791,9
0,45	0,92	29,00	76,38	44,41	1050,7	1095,1	708,5
0,50	1,02	28,90	79,58	47,60	1048,8	1096,4	641,4
0,60	1,22	28,70	85,21	53,21	1045,7	1098,9	540,0
0,70	1,43	28,49	90,08	58,07	1042,9	1101,0	466,9
0,80	1,63	28,29	94,38	62,36	1040,4	1102,8	411,7

Continuación de propiedades del vapor saturado...

Presión absoluta		Vacío (pulgadas de Hg)	Temperatura (t) (°F)	Calor de líquido (BTU/lb)	Calor latente de evaporización (BTU/lb)	Calor total del vapor de Hg (BTU/lb)	Volumen específico (lb/pie³)
P. en lb por pulg.²	Pulgadas de Hg						
0,90	1,83	28,09	98,24	66,21	1038,3	1104,5	368,4
1,0	2,04	27,88	101,74	69,70	1036,3	1106,0	333,6
1,2	2,44	27,48	107,92	75,87	1032,7	1108,6	280,9
1,4	2,85	27,07	113,26	81,20	1029,6	1110,8	243,0
1,6	3,26	26,66	117,99	85,91	1026,9	1112,8	214,3
1,8	3,66	26,26	122,23	90,14	1024,5	1114,6	191,8
2,0	4,07	25,85	126,08	93,99	1022,2	1116,2	173,73
2,2	4,48	25,44	129,62	97,52	1020,2	1117,7	158,85
2,4	4,89	25,03	132,89	100,79	1018,3	1119,1	146,38
2,6	5,29	24,63	135,94	103,83	1016,5	1120,3	135,78
2,8	5,70	24,22	138,79	106,68	1014,8	1121,5	126,65
3,0	6,11	23,81	141,48	109,37	1013,2	1122,6	118,71
3,5	7,13	22,79	147,57	115,46	1009,6	1125,1	102,72
4,0	8,14	21,78	152,97	120,86	1006,4	1127,3	90,63
4,5	9,16	20,76	157,83	125,71	1003,6	1129,3	81,16
5,0	10,18	19,74	162,24	130,13	1001,0	1131,1	73,52
5,5	11,20	18,72	166,30	134,19	998,5	1132,7	67,24
6,0	12,22	17,70	170,06	137,96	996,2	1134,2	61,98
6,5	13,23	16,69	173,56	141,47	994,1	1135,6	57,50
7,0	14,25	15,67	176,85	144,76	992,1	1136,9	53,64
7,5	15,27	14,65	179,94	147,86	990,2	1138,1	50,29
8,0	16,29	13,63	182,86	150,79	988,5	1139,3	47,34
8,5	17,31	12,61	185,64	153,57	986,8	1140,4	44,73
9,0	18,32	11,60	188,28	156,22	985,2	1141,4	42,40
9,5	19,34	10,58	190,80	158,75	983,6	1142,3	40,31
10,0	20,36	9,56	193,21	161,17	982,1	1143,3	38,42
11,0	22,40	7,52	197,75	165,73	979,3	1145,0	35,14
12,0	24,43	5,49	201,96	169,96	976,6	1146,6	32,40
13,0	26,47	3,45	205,88	173,91	974,2	1148,1	30,06
14,0	28,50	1,42	209,56	177,61	971,9	1149,5	28,04

Continuación de propiedades del vapor saturado...

Presión (lb por pulg.^{2})		Temperatura (t) (°F)	Calor de líquido (BTU/lb)	Calor latente de evaporización (BTU/lb)	Calor total del vapor de Hg (BTU/lb)	Volumen específico (lb/pie^3)
P. absoluta	P. manométrica					
14,696	0,0	212,00	180,07	970,3	1150,4	26,80
15,0	0,3	213,03	181,11	969,7	1150,8	26,29
16,0	1,3	216,32	184,42	967,6	1152,0	24,75
17,0	2,3	219,44	187,56	965,5	1153,1	23,39
18,0	3,3	222,41	190,56	963,6	1154,2	22,17
19,0	4,3	225,24	193,42	961,9	1155,3	21,08
20,0	5,3	227,96	196,16	960,1	1156,3	20,089
21,0	6,3	230,57	198,79	958,4	1157,2	19,192
22,0	7,3	233,07	201,33	956,8	1158,1	18,375
23,0	8,3	235,49	203,78	955,2	1159,0	17,627
24,0	9,3	237,82	206,14	953,7	1159,8	16,938
25,0	10,3	240,07	208,42	952,1	1160,6	16,303
26,0	11,3	242,25	210,62	950,7	1161,3	15,715
27,0	12,3	244,36	212,75	949,3	1162,0	15,170
28,0	13,3	246,41	214,83	947,9	1162,7	14,663
29,0	14,3	248,40	216,86	946,5	1163,4	14,189
30,0	15,3	250,33	218,82	945,3	1164,1	13,746
31,0	16,3	252,22	220,73	944,0	1164,7	13,330
32,0	17,3	254,05	222,59	942,8	1165,4	12,940
33,0	18,3	255,84	224,41	941,6	1166,0	12,572
34,0	19,3	257,58	226,18	940,3	1166,5	12,226
35,0	20,3	259,28	227,91	939,2	1167,1	11,898
36,0	21,3	260,95	229,60	938,0	1167,6	11,588
37,0	22,3	262,57	231,26	936,9	1168,2	11,294
38,0	23,3	264,16	232,89	935,8	1168,7	11,015
39,0	24,3	265,72	234,48	934,7	1169,2	10,750
40,0	25,3	267,25	236,03	933,7	1169,7	10,498
41,0	26,3	268,74	237,55	932,6	1170,2	10,258
42,0	27,3	270,21	239,04	931,6	1170,7	10,029
43,0	28,3	271,64	240,51	930,6	1171,1	9,810
44,0	29,3	273,05	241,95	929,6	1171,6	9,601
45,0	30,3	274,44	243,36	928,6	1172,0	9,401
46,0	31,3	275,80	244,75	927,7	1172,4	9,209
47,0	32,3	277,13	246,12	926,7	1172,9	9,025

Continuación de propiedades del vapor saturado...

Presión (lb por pulg.^{2})		Temperatura (t) (°F)	Calor de líquido (BTU/lb)	Calor latente de evaporización (BTU/lb)	Calor total del vapor de Hg (BTU/lb)	Volumen específico (lb/pie^3)
P. absoluta	P. manométrica					
48,0	33,3	278,45	247,47	925,8	1173,3	8,848
49,0	34,3	279,74	248,79	924,9	1173,7	8,678
50,0	35,3	281,01	250,09	924,0	1174,1	8,515
51,0	36,3	282,26	251,37	923,0	1174,4	8,359
52,0	37,3	283,49	252,63	922,2	1174,8	8,208
53,0	38,3	284,70	253,87	921,3	1175,2	8,062
54,0	39,3	285,90	255,09	920,5	1175,6	7,922
55,0	40,3	287,07	256,30	919,6	1175,9	7,787
56,0	41,3	288,23	257,50	918,8	1176,3	7,656
57,0	42,3	289,37	258,67	917,9	1176,6	7,529
58,0	43,3	290,50	259,82	917,1	1176,9	7,407
59,0	44,3	291,61	260,96	916,3	1177,3	7,289
60,0	45,3	292,71	262,09	915,5	1177,6	7,175
61,0	46,3	293,79	263,20	914,7	1177,9	7,064
62,0	47,3	294,85	264,30	913,9	1178,2	6,957
63,0	48,3	295,90	265,38	913,1	1178,5	6,853
64,0	49,3	296,94	266,45	912,3	1178,8	6,752
65,0	50,3	297,97	267,50	911,6	1179,1	6,655
66,0	51,3	298,99	268,55	910,8	1179,4	6,560
67,0	52,3	299,99	269,58	910,1	1179,7	6,468
68,0	53,3	300,98	270,60	909,4	1180,0	6,378
69,0	54,3	301,96	291,61	908,7	1180,3	6,291
70,0	55,3	302,92	272,61	907,9	1180,6	6,206
71,0	56,3	303,88	273,60	907,2	1180,8	6,124
72,0	57,3	304,83	274,57	906,5	1181,1	6,044
73,0	58,3	305,76	275,54	905,8	1181,3	5,966
74,0	59,3	306,68	276,49	905,1	1181,6	5,890
75,0	60,3	307,60	277,43	904,5	1181,9	5,816
76,0	61,3	308,50	278,37	903,7	1182,1	5,743
77,0	62,3	309,40	279,30	903,1	1182,4	5,673
78,0	63,3	310,29	280,21	902,4	1182,6	5,604
79,0	64,3	311,16	281,12	901,7	1182,8	5,537
80,0	65,3	312,03	282,02	901,1	1183,1	5,472
81,0	66,3	312,89	282,91	900,4	1183,3	5,408

Continuación de propiedades del vapor saturado...

Presión (lb por pulg.^{2})		Temperatura (t) (°F)	Calor de líquido (BTU/lb)	Calor latente de evaporización (BTU/lb)	Calor total del vapor de Hg (BTU/lb)	Volumen específico (lb/pie^3)
P. absoluta	P. manométrica					
82,0	67,3	313,74	283,79	899,7	1183,5	5,346
83,0	68,3	314,59	284,66	899,1	1183,8	5,285
84,0	69,3	315,42	285,53	898,5	1184,0	5,226
85,0	70,3	316,25	286,39	897,8	1184,2	5,168
86,0	71,3	317,07	287,24	897,2	1184,4	5,111
87,0	72,3	317,88	288,08	896,5	1184,6	5,055
88,0	73,3	318,68	288,91	895,9	1184,8	5,001
89,0	74,3	319,48	289,74	895,3	1185,1	4,948
90,0	75,3	320,27	290,56	894,7	1185,3	4,896
91,0	76,3	321,06	291,38	894,1	1185,5	4,845
92,0	77,3	321,83	292,18	893,5	1185,7	4,796
93,0	78,3	322,60	292,98	892,9	1185,9	4,747
94,0	79,3	323,36	293,78	892,3	1186,1	4,699
95,0	80,3	324,12	294,56	891,7	1186,2	4,652
96,0	81,3	324,87	295,34	891,1	1186,4	4,606
97,0	82,3	325,61	296,12	890,5	1186,6	4,561
98,0	83,3	326,35	296,89	889,9	1186,8	4,517
99,0	84,3	327,08	297,65	889,4	1187,0	4,474
100,0	85,3	327,81	298,40	888,8	1187,2	4,432
101,0	86,3	328,53	299,15	888,2	1187,4	4,391
102,0	87,3	329,25	299,90	887,6	1187,5	4,350
103,0	88,3	329,96	300,64	887,1	1187,7	4,310
104,0	89,3	330,66	301,37	886,5	1187,9	4,271
105,0	90,3	331,36	302,10	886,0	1188,1	4,232
106,0	91,3	332,05	302,82	885,4	1188,2	4,194
107,0	92,3	332,74	303,54	884,9	1188,4	4,157
108,0	93,3	333,42	304,26	884,3	1188,6	4,120
109,0	94,3	334,10	304,97	883,7	1188,7	4,084
110,0	95,3	334,77	305,66	883,2	1188,9	4,049
111,0	96,3	335,44	306,37	882,6	1189,0	4,015
112,0	97,3	336,11	307,06	882,1	1189,2	3,981
113,0	98,3	336,77	307,75	881,6	1189,4	3,947
114,0	99,3	337,42	308,43	881,1	1189,5	3,914
115,0	100,3	338,07	309,11	880,6	1189,7	3,882

Continuación de propiedades del vapor saturado...

Presión (lb por pulg.^{2})		Temperatura (t) (°F)	Calor de líquido (BTU/lb)	Calor latente de evaporización (BTU/lb)	Calor total del vapor de Hg (BTU/lb)	Volumen específico (lb/pie^3)
P. absoluta	P. manométrica					
116,0	101,3	338,72	309,79	880,0	1189,8	3,850
117,0	102,3	339,36	310,46	879,5	1190,0	3,819
118,0	103,3	339,99	311,12	879,0	1190,1	3,788
119,0	104,3	340,62	311,78	878,4	1190,2	3,758
120,0	105,3	341,25	312,44	877,9	1190,4	3,728
121,0	106,3	341,88	313,10	877,4	1190,5	3,699
122,0	107,3	342,50	313,75	876,9	1190,7	3,670
123,0	108,3	343,11	314,40	876,4	1190,8	3,642
124,0	109,3	343,72	315,04	875,9	1190,9	3,614
125,0	110,3	344,33	315,68	875,4	1191,1	3,587
126,0	111,3	344,94	316,31	874,9	1191,2	3,560
127,0	112,3	345,54	316,94	874,4	1191,3	3,533
128,0	113,3	346,13	317,57	873,9	1191,5	3,507
129,0	114,3	346,73	318,19	873,4	1191,6	3,481
130,0	115,3	347,32	318,81	872,9	1191,7	3,455
131,0	116,3	347,90	319,43	872,5	1191,9	3,430
132,0	117,3	348,48	320,04	872,0	1192,0	3,405
133,0	118,3	349,06	320,65	871,5	1192,1	3,381
134,0	119,3	349,64	321,25	871,0	1192,2	3,357
135,0	120,3	350,21	321,85	870,6	1192,4	3,333
136,0	121,3	350,78	322,45	870,1	1192,5	3,310
137,0	122,3	351,35	323,05	869,6	1192,6	3,287
138,0	123,3	351,91	323,64	869,1	1192,7	3,264
139,0	124,3	352,47	324,23	868,7	1192,9	3,242
140,0	125,3	353,02	324,82	868,2	1193,0	3,220
141,0	126,3	353,57	325,40	867,7	1193,1	3,198
142,0	127,3	354,12	325,98	867,2	1193,2	3,177
143,0	128,3	354,67	326,56	866,7	1193,3	3,155
144,0	129,3	355,21	327,13	866,3	1193,4	3,134
145,0	130,3	355,76	327,70	865,8	1193,5	3,114
146,0	131,3	356,29	328,27	865,3	1193,6	3,094
147,0	132,3	356,83	328,83	864,9	1193,8	3,074
148,0	133,3	357,36	329,39	864,5	1193,9	3,054
149,0	134,3	357,89	329,95	864,0	1194,0	3,034

Continuación de propiedades del vapor saturado...

Presión (lb por pulg.^{2})		Temperatura (t) (°F)	Calor de líquido (BTU/lb)	Calor latente de evaporización (BTU/lb)	Calor total del vapor de Hg (BTU/lb)	Volumen específico (lb/pie^3)
P. absoluta	P. manométrica					
150,0	135,3	358,42	330,51	863,6	1194,1	3,015
152,0	137,3	359,46	331,61	862,7	1194,3	2,977
154,0	139,3	360,49	332,70	861,8	1194,5	2,940
156,0	141,3	361,52	333,79	860,9	1194,7	2,904
158,0	143,3	362,53	334,86	860,0	1194,9	2,869
160,0	145,3	363,53	335,93	859,2	1195,1	2,834
162,0	147,3	364,53	336,98	858,3	1195,3	2,801
164,0	149,3	365,51	338,02	857,5	1195,5	2,768
166,0	151,3	366,48	339,05	856,6	1195,7	2,736
168,0	153,3	367,45	340,07	855,7	1195,8	2,705
170,0	155,3	368,41	341,09	854,9	1196,0	2,675
172,0	157,3	369,35	342,10	854,1	1196,2	2,645
174,0	159,3	370,29	343,10	853,3	1196,4	2,616
176,0	161,3	371,22	344,09	852,4	1196,5	2,587
178,0	163,3	372,14	345,06	851,6	1196,7	2,559
180,0	165,3	373,06	346,03	850,8	1196,9	2,532
182,0	167,3	373,96	347,00	850,0	1197,0	2,505
184,0	169,3	374,86	347,96	849,2	1197,2	2,479
186,0	171,3	375,75	348,92	848,4	1197,3	2,454
188,0	173,3	376,64	349,86	847,6	1197,5	2,429
190,0	175,3	377,51	350,79	846,8	1197,6	2,404
192,0	177,3	378,38	351,72	846,1	1197,8	2,380
194,0	179,3	379,24	352,64	845,3	1197,9	2,356
196,0	181,3	380,10	353,55	844,5	1198,1	2,333
198,0	183,3	380,95	354,46	843,7	1198,2	2,310
200,0	185,3	381,79	355,36	843,0	1198,4	2,288
205,0	190,3	383,86	357,58	841,1	1198,7	2,234
210,0	195,3	385,90	359,77	839,2	1199,0	2,183
215,0	200,3	387,89	361,91	837,4	1199,3	2,134
220,0	205,3	389,86	364,02	835,6	1199,6	2,087
225,0	210,3	391,79	366,09	833,8	1199,9	2,0422
230,0	215,3	393,68	368,13	832,0	1200,1	1,9992
235,0	220,3	395,54	370,14	830,3	1200,4	1,9579
240,0	225,3	397,37	372,12	828,5	1200,6	1,9183

Continuación de propiedades del vapor saturado...

Presión (lb por pulg.^{2})		Temperatura (t) (°F)	Calor de líquido (BTU/lb)	Calor latente de evaporización (BTU/lb)	Calor total del vapor de Hg (BTU/lb)	Volumen específico (lb/pie^3)
P. absoluta	P. manométrica					
245,0	230,3	399,18	374,08	826,8	1200,9	1,8803
250,0	235,3	400,95	376,00	825,1	1201,1	1,8438
255,0	240,3	402,70	377,89	823,4	1201,3	1,8086
260,0	245,3	404,42	379,76	821,8	1201,5	1,7748
265,0	250,3	406,11	381,60	820,1	1201,7	1,7422
270,0	255,3	407,78	383,42	818,5	1201,9	1,7107
275,0	260,3	409,43	385,21	816,9	1202,1	1,6804
280,0	265,3	411,05	386,98	815,3	1202,3	1,6511
285,0	270,3	412,65	388,73	813,7	1202,4	1,6228
290,0	275,3	414,23	390,46	812,1	1202,6	1,5954
295,0	280,3	415,79	392,16	810,5	1202,7	1,5689
300,0	285,3	417,33	393,84	809,0	1202,8	1,5433
320,0	305,3	423,29	400,39	803,0	1203,4	1,4485
340,0	325,3	428,97	406,66	797,1	1203,7	1,3645
360,0	345,3	434,40	412,67	791,4	1204,1	1,2895
380,0	365,3	439,60	418,45	785,8	1204,3	1,2222
400,0	385,3	444,59	424,0	780,5	1204,5	1,1613
420,0	405,3	449,39	429,4	775,2	1204,6	1,1061
440,0	425,3	454,02	434,6	770,0	1204,6	1,0556
460,0	445,3	458,50	439,7	764,9	1204,6	1,0094
480,0	465,3	462,82	444,6	759,9	1204,5	0,9670
500,0	485,3	467,01	449,4	755,0	1204,4	0,9278
520,0	505,3	471,07	454,1	750,1	1204,2	0,8915
540,0	525,3	475,01	458,6	745,4	1204,0	0,8578
560,0	545,3	478,85	463,0	740,8	1203,8	0,8265
580,0	565,3	482,58	467,4	736,1	1203,5	0,7973
600,0	585,3	486,21	471,6	731,6	1203,2	0,7698
620,0	605,3	489,75	475,7	727,2	1202,9	0,7440
640,0	625,3	493,21	479,8	722,7	1202,5	0,7198
660,0	645,3	496,58	483,8	718,3	1202,1	0,6971
680,0	665,3	499,88	487,7	714,0	1201,7	0,6757
700,0	685,3	503,10	491,5	709,7	1201,2	0,6554
720,0	705,3	506,25	495,3	705,4	1200,7	0,6362
740,0	725,3	509,34	499,0	701,2	1200,2	0,6180

Continuación de propiedades del vapor saturado...

Presión (lb por pulg.^{2})		Temperatura (t) (°F)	Calor de líquido (BTU/lb)	Calor latente de evaporización (BTU/lb)	Calor total del vapor de Hg (BTU/lb)	Volumen específico (lb/pie^3)
P. absoluta	P. manométrica					
760,0	745,3	512,36	502,6	697,1	1199,7	0,6007
780,0	765,3	515,33	506,2	692,9	1199,1	0,5843
800,0	785,3	518,23	509,7	688,9	1198,6	0,5687
820,0	805,3	521,08	513,2	684,8	1198,0	0,5538
840,0	825,3	523,88	516,6	680,8	1197,4	0,5396
860,0	845,3	526,63	520,0	676,8	1196,8	0,5260
880,0	865,3	529,33	523,3	672,8	1196,1	0,5130
900,0	885,3	531,98	526,6	668,8	1195,4	0,5006
920,0	905,3	534,59	529,8	664,9	1194,7	0,4886
940,0	925,3	537,16	533,0	661,0	1194,0	0,4772
960,0	945,3	539,68	536,2	657,1	1193,3	0,4663
980,0	965,3	542,17	539,3	653,3	1192,6	0,4557
1000,0	985,3	544,61	542,4	649,4	1191,8	0,4456
1050,0	1035,3	550,57	550,0	639,9	1189,9	0,4218
1100,0	1085,3	556,31	557,4	630,4	1187,8	0,4001
1150,0	1135,3	561,86	564,6	621,0	1185,6	0,3802
1200,0	1185,3	567,22	571,7	611,7	1183,4	0,3619
1250,0	1235,3	572,42	578,6	602,4	1181,0	0,3450
1300,0	1285,3	577,46	585,4	593,2	1178,6	0,3293
1350,0	1335,3	582,35	592,1	584,0	1176,1	0,3148
1400,0	1385,3	587,10	598,7	574,7	1173,4	0,3012
1450,0	1435,3	591,73	605,2	565,5	1170,7	0,2884
1500,0	1485,3	596,23	611,6	556,3	1167,9	0,2765
1600,0	1585,3	604,90	624,1	538,0	1162,1	0,2548
1700,0	1685,3	613,15	636,3	519,6	1155,9	0,2354
1800,0	1785,3	621,03	648,3	501,1	1149,4	0,2179
1900,0	1885,3	628,58	660,1	482,4	1142,4	0,2021
2000,0	1985,3	635,82	671,7	463,4	1135,1	0,1878
2100,0	2085,3	642,77	683,3	444,1	1127,4	0,1746
2200,0	2185,3	649,46	694,8	424,4	1119,2	0,1625
2300,0	2285,3	655,91	706,5	403,9	1110,4	0,1513
2400,0	2385,3	662,12	718,4	382,7	1101,1	0,1407
2500,0	2485,3	668,13	730,6	360,5	1091,1	0,1307
2600,0	2585,3	673,94	743,0	337,2	1080,2	0,1213

Continuación de propiedades del vapor saturado...

Presión (lb por pulg.²)		Temperatura (t) (°F)	Calor de líquido (BTU/lb)	Calor latente de evaporización (BTU/lb)	Calor total del vapor de Hg (BTU/lb)	Volumen específico (lb/pie³)
P. absoluta	P. manométrica					
2700,0	2685,3	679,55	756,2	312,1	1068,3	0,1123
2800,0	2785,3	684,99	770,1	284,7	1054,8	0,1035
2900,0	2885,3	690,26	785,4	253,6	1039,0	0,0947
3000,0	2985,3	695,36	802,5	217,8	1020,3	0,0858
3100,0	3085,3	700,31	825,0	168,1	993,1	0,0753
3200,0	3185,3	705,11	872,4	62,0	934,4	0,0580
3206,2	3191,5	705,40	902,7	0,0	902,7	0,0503

13.9 Propiedades del vapor sobrecalentado

υ = volumen específico, pie cúbico por libra; hg = calor total del vapor, BTU por libra

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)					
P. absoluta	P. manométrica			360°	400°	440°	480°	500°	600°
14,696	0,0	212,00	υ hg	33,03 1221,1	34,68 1239,9	36,32 1258,8	37,96 1277,6	38,78 1287,1	42,86 1334,8
20,0	5,3	227,96	υ hg	24,21 1220,3	25,43 1239,2	26,65 1258,2	27,86 1277,1	28,46 1286,6	31,47 1334,4
30,0	15,3	250,33	υ hg	16,072 1218,6	16,897 1237,9	17,714 1257,0	18,528 1276,2	18,933 1285,7	20,95 1333,8
40,0	25,3	267,25	υ hg	12,001 1216,9	12,628 1236,5	13,247 1255,9	13,862 1275,2	14,168 1284,8	15,688 1333,1
50,0	35,3	281,01	υ hg	9,557 1215,2	10,065 1235,1	10,567 1254,7	11,062 1274,2	11,309 1283,9	12,532 1332,5

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)				
P. absoluta	P. manométrica			700°	800°	900°	1000°	1200°
14,696	0,0	212,00	υ hg	46,94 1383,2	51,00 1432,3	55,07 1482,3	59,13 1533,1	67,25 1637,5
20,0	5,3	227,96	υ hg	34,47 1382,9	37,46 1432,1	40,45 1482,1	43,44 1533,0	49,41 1637,4
30,0	15,3	250,33	υ hg	22,96 1382,4	24,96 1431,7	26,95 1481,8	28,95 1532,7	32,93 1637,2
40,0	25,3	267,25	υ hg	17,198 1381,9	18,702 1431,3	20,20 1481,4	21,70 1532,4	24,69 1637,0
50,0	35,3	281,01	υ hg	13,744 1381,4	14,950 1430,9	16,152 1481,1	17,352 1532,1	19,747 1636,8

Continuación de propiedades del vapor sobrecalentado...

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)					
P. absoluta	P. manométrica			360°	400°	440°	480°	500°	600°
60,0	45,3	292,71	υ hg	7,927 1213,4	8,357 1233.	8,779 1253,5	9,196 1273,2	9,403 1283,0	10,427 1331,8
70,0	55,3	302,92	υ hg	6,762 1211,5	7,136 1232,1	7,502 1252,3	7,863 1272,2	8,041 1282,0	8,924 1331,1
80,0	65,3	312,03	υ hg	5,888 1209,7	6,220 1230,7	6,544 1251,1	6,862 1271,1	7,020 1281,1	7,797 1330,5
90,0	75,3	320,27	υ hg	5,208 1207,7	5,508 1229,1	5,799 1249,8	6,084 1270,1	6,225 1280,1	6,920 1329,8
100,0	85,3	327,81	υ hg	4,663 1205,7	4,937 1227,6	5,202 1248,6	5,462 1269,0	5,589 1279,1	6,218 1329,1
120,0	105,3	341,25	υ hg	3,844 1201,6	4,081 1224,4	4,307 1246,0	4,527 1266,90	4,636 1277,2	5,165 1327,7
140,0	125,3	353,02	υ hg	3,258 1197,3	3,468 1221,1	3,667 1243,3	3,860 1264,7	3,954 1275,2	4,413 1326,4
160,0	145,3	363,53	υ hg	--- ---	3,008 1217,6	3,187 1240,6	3,359 1262,4	3,443 1273,1	3,849 1325,0
180,0	165,3	373,06	υ hg	--- ---	2,649 1214,0	2,813 1237,8	2,969 1260,2	3,044 1271,0	3,411 1323,5

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)				
P. absoluta	P. manométrica			700°	800°	900°	1000°	1200°
60,0	45,3	292,71	υ hg	11,441 1380,9	12,449 1430,5	13,452 1480,8	14,454 1531,9	16,451 1636,6
70,0	55,3	302,92	υ hg	9,796 1380,4	10,662 1430,1	11,524 1480,5	12,383 1531,6	14,097 1636,3
80,0	65,3	312,03	υ hg	8,562 1379,9	9,322 1429,7	10,077 1480,1	10,830 1531,3	12,332 1636,2
90,0	75,3	320,27	υ hg	7,603 1379,4	8,279 1429,3	8,952 1479,8	9,623 1531,0	10,959 1635,9
100,0	85,3	327,81	υ hg	6,835 1378,9	7,446 1428,9	8,052 1479,5	8,656 1530,8	9,860 1635,7
120,0	105,3	341,25	υ hg	5,683 1377,8	6,195 1428,1	6,702 1478,8	7,207 1530,2	8,212 1635,3
140,0	125,3	353,02	υ hg	4,861 1376,8	5,301 1427,3	5,738 1478,2	6,172 1529,7	7,035 1634,9
160,0	145,3	363,53	υ hg	4,244 1375,7	4,631 1426,4	5,015 1477,5	5,396 1529,1	6,152 1634,5
180,0	165,3	373,06	υ hg	3,764 1374,7	4,110 1425,6	4,452 1476,8	4,792 1528,6	5,466 1634,1

Continuación de propiedades del vapor sobrecalentado...

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)					
P. absoluta	P. manométrica			360°	400°	440°	480°	500°	600°
200,0	185,3	381,79	υ hg	--- ---	2,361 1210,3	2,513 1234,9	2,656 1257,8	2,726 1268,9	3,060 1322,1
220,0	205,3	389,86	υ hg	--- ---	2,125 1206,5	2,267 1231,9	2,400 1255,4	2,465 1266,7	2,772 1320,7
240,0	225,3	397,37	υ hg	--- ---	1,9276 1202,5	2,062 1228,8	2,187 1253,0	2,247 1264,5	2,533 1319,2
260,0	245,3	404,42	υ hg	--- ---	--- ---	1,8882 1225,7	2,006 1250,5	2,063 1262,3	2,330 1317,7
280,0	265,3	411,05	υ hg	--- ---	--- ---	1,7388 1222,4	1,8512 1247,9	1,9047 1260,0	2,156 1316,2
300,0	285,3	417,33	υ hg	--- ---	--- ---	1,6090 1219,1	1,7165 1245,3	1,7675 1257,6	2,005 1314,7
320,0	305,3	423,29	υ hg	--- ---	--- ---	1,4950 1215,6	1,5985 1242,6	1,6472 1255,2	1,8734 1313,2
340,0	325,3	428,97	υ hg	--- ---	--- ---	1,3941 1212,1	1,4941 1239,9	1,5410 1252,8	1,7569 1311,6
360,0	345,3	434,40	υ hg	--- ---	--- ---	1,3041 1208,4	1,4012 1237,1	1,4464 1250,3	1,6533 1310,1

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)				
P. absoluta	P. manométrica			700°	800°	900°	1000°	1200°
200,0	185,3	381,79	υ hg	3,380 1373,6	3,693 1424,8	4,002 1476,2	4,309 1528,0	4,917 1633,7
220,0	205,3	389,86	υ hg	3,066 1372,6	3,352 1424,0	3,634 1475,5	3,913 1527,5	4,467 1633,3
240,0	225,3	397,37	υ hg	2,804 1371,5	3,068 1423,2	3,327 1474,8	3,584 1526,9	4,093 1632,9
260,0	245,3	404,42	υ hg	2,582 1370,4	2,827 1422,3	3,067 1474,2	3,305 1526,3	3,776 1632,5
280,0	265,3	411,05	υ hg	2,392 1369,4	2,621 1421,5	2,845 1473,5	3,066 1525,8	3,504 1632,1
300,0	285,3	417,33	υ hg	2,227 1368,3	2,442 1420,6	2,652 1472,8	2,859 1525,2	3,269 1631,7
320,0	305,3	423,29	υ hg	2,083 1367,2	2,285 1419,8	2,483 1472,1	2,678 1524,7	3,063 1631,3
340,0	325,3	428,97	υ hg	1,9562 1366,1	2,147 1419,0	2,334 1471,5	2,518 1524,1	2,881 1630,9
360,0	345,3	434,40	υ hg	1,8431 1365,0	2,025 1418,1	2,202 1470,8	2,376 1523,5	2,719 1630,5

Continuación de propiedades del vapor sobrecalentado...

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)					
P. absoluta	P. manométrica			500°	540°	600°	640°	660°	700°
380,0	365,3	439,60	υ hg	1,3616 1247,7	1,444 1273,1	1,5605 1308,5	1,6345 1331,0	1,6707 1342,0	1,7419 1363,8
400,0	385,3	444,59	υ hg	1,2851 1245,1	1,3652 1271,0	1,4770 1306,9	1,5480 1329,6	1,5827 1340,8	1,6508 1362,7
420,0	405,3	449,39	υ hg	1,2158 1242,5	1,2935 1268,9	1,4014 1305,3	1,4697 1328,3	1,5030 1339,5	1,5684 1361,6
440,0	425,3	454,02	υ hg	1,1526 1239,8	1,2282 1266,7	1,3327 1303,6	1,3984 1326,9	1,4306 1338,2	1,4934 1360,4
460,0	445,3	458,50	υ hg	1,0948 1237,0	1,1685 1264,5	1,2698 1302,0	1,3334 1325,4	1,3644 1336,9	1,4250 1359,3
480,0	465,3	462,82	υ hg	1,0417 1234,2	1,1138 1262,3	1,2122 1300,3	1,2737 1324,0	1,3038 1335,6	1,3622 1358,2
500,0	485,3	467,01	υ hg	0,9927 1231,3	1,0633 1260,0	1,1591 1298,6	1,2188 1322,6	1,2478 1334,2	1,3044 1357,0
520,0	505,3	471,07	υ hg	0,9473 1228,3	1,0166 1257,7	1,1101 1296,9	1,1681 1321,1	1,1962 1332,9	1,2511 1355,8
540,0	525,3	475,01	υ hg	0,9052 1225,3	0,9733 1255,4	1,0646 1295,2	1,1211 1319,7	1,1485 1331,5	1,2017 1354,6

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)				
P. absoluta	P. manométrica			740°	800°	900°	1000°	1200°
380,0	365,3	439,60	υ hg	1,8118 1385,3	1,9149 1417,3	2,083 1470,1	2,249 1523,0	2,575 1630,0
400,0	385,3	444,59	υ hg	1,7177 1384,3	1,8161 1416,4	1,9767 1469,4	2,134 1522,4	2,445 1629,6
420,0	405,3	449,39	υ hg	1,6324 1383,3	1,7267 1415,5	1,8802 1468,7	2,031 1521,9	2,327 1629,2
440,0	425,3	454,02	υ hg	1,5549 1382,3	1,6454 1414,7	1,7925 1468,1	1,9368 1521,3	2,220 1628,8
460,0	445,3	458,50	υ hg	1,4842 1381,3	1,5711 1413,8	1,7124 1467,4	1,8508 1520,7	2,122 1628,4
480,0	465,3	462,82	υ hg	1,4193 1380,3	1,5031 1412,9	1,6390 1466,7	1,7720 1520,2	2,033 1628,0
500,0	485,3	467,01	υ hg	1,3596 1379,3	1,4405 1412,1	1,5715 1466,0	1,6996 1519,6	1,9504 1627,6
520,0	505,3	471,07	υ hg	1,3045 1378,2	1,3826 1411,2	1,5091 1465,3	1,6326 1519,0	1,8743 1627,2
540,0	525,3	475,01	υ hg	1,2535 1377,2	1,3291 1410,3	1,4514 1464,6	1,5707 1518,5	1,8039 1626,8

Continuación de propiedades del vapor sobrecalentado...

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)					
P. absoluta	P. manométrica			500°	540°	600°	640°	660°	700°
560,0	545,3	478,85	υ hg	0,8659 1222,2	0,9330 1253,0	1,0224 1293,4	1,0775 1318,2	1,1041 1330,2	1,1558 1353,5
580,0	565,3	482,58	υ hg	0,8291 1219,0	0,8954 1250,5	0,9830 1291,7	1,0368 1316,7	1,0627 1328,8	1,1331 1352,3
600,0	585,3	486,21	υ hg	0,7947 1215,7	0,8602 1248,1	0,9463 1289,9	0,9988 1315,2	1,0241 1327,4	1,0732 1351,1
620,0	605,3	489,75	υ hg	0,7624 1212,4	0,8272 1245,5	0,9118 1288,1	0,9633 1313,7	0,9880 1326,0	1,0358 1349,9
640,0	625,3	493,21	υ hg	0,7319 1209,0	0,7963 1243,0	0,8795 1286,2	0,9299 1312,2	0,9541 1324,6	1,0008 1348,6
660,0	645,3	496,58	υ hg	0,7032 1205,4	0,7670 1240,4	0,8491 1284,4	0,8985 1310,6	0,9222 1323,2	0,9679 1347,4
680,0	665,3	499,88	υ hg	0,6759 1201,8	0,7395 1237,7	0,8205 1282,5	0,8690 1309,1	0,8922 1321,7	0,9369 1346,2
700,0	685,3	503,10	υ hg	--- ---	0,7134 1235,0	0,7934 1280,6	0,8411 1307,5	0,8639 1320,3	0,9077 1345,0
750,0	735,3	510,86	υ hg	--- ---	0,6540 1227,9	0,7319 1275,7	0,7778 1303,5	0,7996 1316,6	0,8414 1341,8

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)				
P. absoluta	P. manométrica			740°	800°	900°	1000°	1200°
560,0	545,3	478,85	υ hg	1,2060 1376,1	1,2794 1409,4	1,3978 1463,9	1,5132 1517,9	1,7385 1626,4
580,0	565,3	482,58	υ hg	1,1619 1375,1	1,2331 1408,6	1,3479 1463,2	1,4596 1517,3	1,6776 1626,0
600,0	585,3	486,21	υ hg	1,1207 1374,0	1,1899 1407,7	1,3013 1462,5	1,4096 1516,7	1,6208 1625,5
620,0	605,3	489,75	υ hg	1,0821 1373,0	1,1494 1406,8	1,2577 1461,8	1,3628 1516,2	1,5676 1625,1
640,0	625,3	493,21	υ hg	1,0459 1371,9	1,1115 1405,9	1,2168 1461,1	1,3190 1515,6	1,5178 1624,7
660,0	645,3	496,58	υ hg	1,0119 1370,8	1,0759 1405,0	1,1784 1460,4	1,2778 1515,0	1,4709 1624,3
680,0	665,3	499,88	υ hg	0,9800 1369,8	1,0424 1404,1	1,1423 1459,7	1,2390 1514,5	1,4269 1623,9
700,0	685,3	503,10	υ hg	0,9498 1368,7	1,0108 1403,2	1,1082 1459,0	1,2024 1513,9	1,3853 1623,5
750,0	735,3	510,86	υ hg	0,8813 1366,0	0,9391 1400,9	1,0310 1457,2	1,1196 1512,4	1,2912 1622,4

Continuación de propiedades del vapor sobrecalentado...

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)					
P. absoluta	P. manométrica			500°	540°	600°	640°	660°	700°
800,0	785,3	518,23	υ hg	--- ---	0,6015 1220,5	0,6779 1270,7	0,7223 1299,4	0,7433 1312,9	0,7833 1338,6
850,0	835,3	525,26	υ hg	--- ---	0,5546 1212,7	0,6301 1265,5	0,6732 1295,2	0,6934 1309,0	0,7320 1335,4
900,0	885,3	531,98	υ hg	--- ---	0,5124 1204,4	0,5873 1260,1	0,6294 1290,9	0,6491 1305,1	0,6863 1332,1
950,0	935,3	538,42	υ hg	--- ---	0,4740 1195,5	0,5489 1254,6	0,5901 1286,4	0,6092 1301,1	0,6453 1328,7
1000,0	985,3	544,61	υ hg	--- ---	--- ---	0,5140 1248,8	0,5546 1281,9	0,5733 1297,0	0,6084 1325,3

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)				
P. absoluta	P. manométrica			740°	800°	900°	1000°	1200°
800,0	785,3	518,23	υ hg	0,8215 1363,2	0,8763 1398,6	0,9633 1455,4	1,0470 1511,0	1,2088 1621,4
850,0	835,3	525,26	υ hg	0,7685 1360,4	0,8209 1396,3	0,9037 1453,6	0,9830 1509,5	1,1360 1620,4
900,0	885,3	531,98	υ hg	0,7215 1357,5	0,7716 1393,9	0,8506 1451,8	0,9262 1508,1	1,0714 1619,3
950,0	935,3	538,42	υ hg	0,6793 1354,7	0,7275 1391,6	0,8031 1450,0	0,8753 1506,6	1,0136 1618,3
1000,0	985,3	544,61	υ hg	0,6413 1351,7	0,6878 1389,2	0,7604 1448,2	0,8294 1505,1	0,9615 1617,3

Continuación de propiedades del vapor sobrecalentado...

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)					
P. absoluta	P. manométrica			660°	700°	740°	760°	780°	800°
1100,0	1085,3	556,31	υ hg	0,5110 1288,5	0,5445 1318,3	0,5755 1345,8	0,5904 1358,9	0,6049 1371,7	0,6191 1384,3
1200,0	1185,3	567,22	υ hg	0,4586 1279,6	0,4909 1311,0	0,5206 1339,6	0,5347 1353,2	0,5484 1366,4	0,5617 1379,3
1300,0	1285,3	577,46	υ hg	0,4139 1270,2	0,4454 1303,4	0,4739 1333,3	0,4874 1347,3	0,5004 1361,0	0,5131 1374,3
1400,0	1385,3	587,10	υ hg	0,3753 1260,3	0,4062 1295,5	0,4338 1326,7	0,4468 1341,3	0,4593 1355,4	0,4714 1369,1
1500,0	1485,3	596,23	υ hg	0,3413 1249,8	0,3719 1287,2	0,3989 1320,0	0,4114 1335,2	0,4235 1349,7	0,4352 1363,8
1600,0	1585,3	604,90	υ hg	0,3112 1238,7	0,3417 1278,7	0,3682 1313,0	0,3804 1328,8	0,3921 1343,9	0,4034 1358,4
1700,0	1685,3	613,15	υ hg	0,2842 1226,8	0,3148 1269,7	0,3410 1305,8	0,3529 1322,3	0,3643 1337,9	0,3753 1352,9
1800,0	1785,3	621,03	υ hg	0,2597 1214,0	0,2907 1260,3	0,3166 1298,4	0,3284 1315,5	0,3395 1331,8	0,3502 1347,2
1900,0	1885,3	628,58	υ hg	0,2371 1200,2	0,2688 1250,4	0,2947 1290,6	0,3063 1308,6	0,3173 1325,4	0,3277 1341,5

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)				
P. absoluta	P. manométrica			860°	900°	1000°	1100°	1200°
1100,0	1085,3	556,31	υ hg	0,6601 1420,8	0,6866 1444,5	0,7503 1502,2	0,8177 1558,8	0,8716 1615,2
1200,0	1185,3	567,22	υ hg	0,6003 1416,7	0,6250 1440,7	0,6843 1499,2	0,7412 1556,4	07967 1613,1
1300,0	1285,3	577,46	υ hg	0,5496 1412,5	0,5728 1437,0	0,6284 1496,2	0,6816 1553,9	0,7333 1611,0
1400,0	1385,3	587,10	υ hg	0,5061 1408,2	0,5281 1433,1	0,5805 1493,2	0,6305 1551,4	0,6789 1608,9
1500,0	1485,3	596,23	υ hg	0,4684 1403,9	0,4893 1429,3	0,5390 1490,1	0,5862 1548,9	0,6318 1606,8
1600,0	1585,3	604,90	υ hg	0,4353 1399,5	0,4553 1425,3	0,5027 1487,0	0,5474 1546,4	0,5906 1604,6
1700,0	1685,3	613,15	υ hg	0,4061 1395,0	0,4253 1421,4	0,4706 1484,0	0,5132 1543,8	0,5542 1602,5
1800,0	1785,3	621,03	υ hg	0,3801 1390,4	0,3986 1417,4	0,4421 1480,8	0,4828 1541,3	0,5218 1600,4
1900,0	1885,3	628,58	υ hg	0,3568 1385,8	0,3747 1413,3	0,4165 1477,7	0,4556 1538,8	0,4929 1598,2

Continuación de propiedades del vapor sobrecalentado...

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)					
P. absoluta	P. manométrica			660°	700°	740°	760°	780°	800°
2000,0	1985,3	635,82	υ hg	0,2161 1184,9	0,2489 1240,0	0,2748 1282,6	0,2863 1301,4	0,2972 1319,0	0,3074 1335,5
2100,0	2085,3	642,77	υ hg	0,1962 1167,7	0,2306 1229,0	0,2567 1274,3	0,2682 1294,0	0,2789 1312,3	0,2890 1329,5
2200,0	2185,3	649,46	υ hg	0,1768 1147,8	0,2135 1217,4	0,2400 1265,7	0,2514 1286,3	0,2621 1305,4	0,2721 1323,3
2300,0	2285,3	655,91	υ hg	0,1575 1123,8	0,1978 1204,9	0,2247 1256,7	0,2362 1278,4	0,2468 1298,4	0,2567 1316,9
2400,0	2385,3	662,12	υ hg	--- ---	0,1828 1191,5	0,2105 1247,3	0,2221 1270,2	0,2327 1291,1	0,2425 1310,3
2500,0	2485,3	668,13	υ hg	--- ---	0,1686 1176,8	0,1973 1237,6	0,2090 1261,8	0,2196 1283,6	0,2294 1303,6
2600,0	2585,3	673,94	υ hg	--- ---	0,1549 1160,6	0,1849 1227,3	0,1967 1252,9	0,2074 1275,8	0,2172 1296,8
2700,0	2685,3	679,55	υ hg	--- ---	0,1415 1142,5	0,1732 1216,5	0,1853 1243,8	0,1960 1267,9	0,2059 1289,7
2800,0	2785,3	684,99	υ hg	--- ---	0,1281 1121,4	0,1622 1205,1	0,1745 1234,2	0,1854 1259,6	0,1953 1282,4

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)				
P. absoluta	P. manométrica			860°	900°	1000°	1100°	1200°
2000,0	1985,3	635,82	υ hg	0,3358 1381,2	0,3532 1409,2	0,3935 1474,5	0,4311 1536,2	0,4668 1596,1
2100,0	2085,3	642,77	υ hg	0,3167 1376,4	0,3337 1405,0	0,3727 1471,4	0,4089 1533,6	0,4433 1593,9
2200,0	2185,3	649,46	υ hg	0,2994 1371,5	0,3159 1400,8	0,3538 1468,2	0,3837 1531,1	0,4218 1591,8
2300,0	2285,3	655,91	υ hg	0,2835 1366,6	0,2997 1396,5	0,3365 1464,9	0,3703 1528,5	0,4023 1589,6
2400,0	2385,3	662,12	υ hg	0,2689 1361,6	0,2848 1392,2	0,3207 1461,7	0,3534 1525,9	0,3843 1587,4
2500,0	2485,3	668,13	υ hg	0,2555 1356,5	0,2710 1387,8	0,3061 1458,4	0,3379 1523,2	0,3678 1585,3
2600,0	2585,3	673,94	υ hg	0,2431 1351,4	0,2584 1383,4	0,2926 1455,1	0,3236 1520,6	0,3526 1583,1
2700,0	2685,3	679,55	υ hg	0,2315 1346,1	0,2466 1378,9	0,2801 1451,8	0,3103 1518,0	0,3385 1580,9
2800,0	2785,3	684,99	υ hg	0,2208 1340,8	0,2356 1374,3	0,2685 1448,5	0,2979 1515,4	0,3254 1578,7

Continuación de propiedades del vapor sobrecalentado...

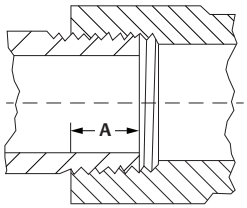
Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)					
P. absoluta	P. manométrica			660°	700°	740°	760°	780°	800°
2900,0	2885,3	690,26	υ hg	--- ---	0,1143 1095,9	0,1517 1193,0	0,1644 1224,3	0,1754 1251,1	0,1853 1274,9
3000,0	2985,3	695,36	υ hg	--- ---	0,0984 1060,7	0,1416 1180,1	0,1548 1213,8	0,1660 1242,2	0,1760 1267,2
3100,0	3085,3	700,31	υ hg	--- ---	--- ---	0,1320 1166,2	0,1456 1202,9	0,1571 1233,0	0,1672 1259,3
3200,0	3185,3	705,11	υ hg	--- ---	--- ---	0,1226 1151,1	0,1369 1191,4	0,1486 1223,5	0,1589 1251,1
3206,2	3191,5	705,40	υ hg	--- ---	--- ---	0,1220 1150,2	0,1363 1190,6	0,1480 1222,9	0,1583 1250,5

Presión (lb por pulg.²)		Temp. sat. t	υ hg	Temperatura total (t) (°F)				
P. absoluta	P. manométrica			860°	900°	1000°	1100°	1200°
2900,0	2885,3	690,26	υ hg	0,2108 1335,3	0,2254 1369,7	0,2577 1445,1	0,2864 1512,7	0,3132 1576,5
3000,0	2985,3	695,36	υ hg	0,2014 1329,7	0,2159 1365,0	0,2476 1441,8	0,2757 1510,0	0,3018 1574,3
3100,0	3085,3	700,31	υ hg	0,1926 1324,1	0,2070 1360,3	0,2382 1438,4	0,2657 1507,4	0,2911 1572,1
3200,0	3185,3	705,11	υ hg	0,1843 1318,3	0,1986 1355,5	0,2293 1434,9	0,2563 1504,7	0,2811 1569,9
3206,2	3191,5	705,40	υ hg	0,1838 1317,9	0,1981 1355,2	0,2288 1434,7	0,2557 1504,5	0,2806 1569,8

Capítulo 14
Datos de canalización

14.1 Conexión de conducto

Longitud de la rosca en el conducto para obtener una conexión estanca:



Tamaño nominal de conducto (pulgadas)	Medida A (pulgadas)	Tamaño nominal de conducto (pulgadas)	Medida A (pulgadas)
1/8	0,27	1-1/2	0,68
1/4	0,39	2	0,70
3/8	0,41	2-1/2	0,93
1/2	0,53	3	1,02
3/4	0,55	4	1,09
1	0,66	5	1,19
1-1/4	0,68	6	1,21

La medida A es la suma de L1 (conexión con apriete a mano) y L3 (longitud de rosca interna para enroscado con llave) obtenida de ASME B1.20.1−1992.

14.2 Aleación de acero al carbono - Acero inoxidable

La identificación, el grosor de pared y los pesos se han extraído de ASME B36.10M y B36.19M. Las leyendas STD, XS, y XXS indican conducto estándar, extrasólido y doble extrasólido, respectivamente.

Los valores de sección transversal interna indicadas en "pie^2" también representan el volumen en pie cúbico por pie de longitud de conducto.

Tamaño de tubo nominal (NPS) (pulg.)	Diámetro nominal (DN)	Diámetro externo (pulg.)	Identificación			Grosor de pared (t) (pulg.)	Diámetro interno (d) (pulg.)	Sección metálica (pulg.^{2})	Sección interna transversal		Peso del conducto (lb/pie)	Peso del agua (conducto lb/pie)
			Acero									
			Tamaño de conducto de hierro	Núm. de cédula	Núm. de cédula de acero inoxidable				(a) (pulg.^{2})	(A) (pie.^{2})		
1/8	6	0,405	--	---	10S	0,049	0,307	0,0548	0,0740	0,00051	0,19	0,032
			--	30	--	0,057	0,291	0,0623	0,0665	0,00046	0,21	0,029
			STD	40	40S	0,068	0,269	0,0720	0,0568	0,00039	0,24	0,025
			XS	80	80S	0,095	0,215	0,0925	0,0363	0,00025	0,31	0,016
1/4	8	0,540	--	---	10S	0,065	0,410	0,0970	0,1320	0,00092	0,33	0,057
			--	30	--	0,073	0,394	0,1071	0,1219	0,00085	0,36	0,053
			STD	40	40S	0,088	0,364	0,1250	0,1041	0,00072	0,42	0,045
			XS	80	80S	0,119	0,302	0,1574	0,0716	0,00050	0,54	0,031
3/8	10	0,675	---	---	10S	0,065	0,545	0,1246	0,2333	0,00162	0,42	0,101
			---	30	--	0,073	0,529	0,1381	0,2198	0,00153	0,47	0,095
			STD	40	40S	0,091	0,493	0,1670	0,1909	0,00133	0,57	0,083
			XS	80	80S	0,126	0,423	0,2173	0,1405	0,00098	0,74	0,061

Continuación de Aleación de acero al carbono - Acero inoxidable...

Tamaño de tubo nominal (NPS) (pulg.)	Diámetro nominal (DN)	Diámetro externo (pulg.)	Identificación			Grosor de pared (t) (pulg.)	Diámetro interno (d) (pulg.)	Sección metálica (pulg.^{2})	Sección transversal interna		Peso del conducto (lb/pie)	Peso del agua (conducto lb./pie)
			Acero									
			Tamaño de conducto de hierro	Núm. de cédula	Núm. de cédula de acero inoxidable				(a) (pulg.^{2})	(A) (pie.^{2})		
1/2	15	0,840	---	---	5S	0,065	0,710	0,1583	0,3959	0,00275	0,54	0,172
			---	---	10S	0,083	0,674	0,1974	0,3568	0,00248	0,67	0,155
			---	30	---	0,095	0,650	0,2223	0,3318	0,00230	0,76	0,144
			STD	40	40S	0,109	0,622	0,2503	0,3039	0,00211	0,85	0,132
			XS	80	80S	0,147	0,546	0,3200	0,2341	0,00163	1,09	0,101
			---	160	---	0,188	0,464	0,3851	0,1691	0,00117	1,31	0,073
			XXS	---	---	0,294	0,252	0,5043	0,0499	0,00035	1,71	0,022
3/4	20	1,050	---	---	5S	0,065	0,920	0,2011	0,6648	0,00462	0,69	0,288
			---	---	10S	0,083	0,884	0,2521	0,6138	0,00426	0,86	0,266
			---	30	---	0,095	0,860	0,2850	0,5809	0,00403	0,97	0,252
			STD	40	40S	0,113	0,824	0,3326	0,5333	0,00370	1,13	0,231
			XS	80	80S	0,154	0,742	0,4335	0,4324	0,00300	1,47	0,187
			---	160	---	0,219	0,612	0,5717	0,2942	0,00204	1,94	0,127
			XXS	---	---	0,308	0,434	0,7180	0,1479	0,00103	2,44	0,064
1	25	1,315	---	---	5S	0,065	1,185	0,2553	1,103	0,00766	0,87	0,478
			---	---	10S	0,109	1,097	0,4130	0,9452	0,00656	1,40	0,410
			---	30	---	0,114	1,087	0,4301	0,9280	0,00644	1,46	0,402
			STD	40	40S	0,133	1,049	0,4939	0,8643	0,00600	1,68	0,375
			XS	80	80S	0,179	0,957	0,6388	0,7193	0,00500	2,17	0,312
			---	160	---	0,250	0,815	0,8365	0,5217	0,00362	2,84	0,226
			XXS	---	---	0,358	0,599	1,0763	0,2818	0,00196	3,66	0,122
1-1/4	32	1,660	---	---	5S	0,065	1,530	0,3257	1,839	0,01277	1,11	0,797
			---	---	10S	0,109	1,442	0,5311	1,633	0,01134	1,81	0,708
			---	30	---	0,117	1,426	0,5672	1,597	0,01109	1,93	0,692
			STD	40	40S	0,140	1,380	0,6685	1,496	0,01039	2,27	0,648
			XS	80	80S	0,191	1,278	0,8815	1,283	0,00891	3,00	0,556
			---	160	---	0,250	1,160	1,1070	1,057	0,00734	3,76	0,458
			XXS	---	---	0,382	0,896	1,5340	0,6305	0,00438	5,21	0,273

Continuación de Aleación de acero al carbono - Acero inoxidable...

Tamaño de tubo nominal (NPS) (pulg.)	Diámetro nominal (DN)	Diámetro externo (pulg.)	Identificación			Grosor de pared (t) (pulg.)	Diámetro interno (d) (pulg.)	Sección metálica (pulg.^{2})	Sección transversal interna		Peso del conducto (lb/pie)	Peso del agua (conducto lb./pie)
			Acero									
			Tamaño de conducto de hierro	Núm. de cédula	Núm. de cédula de acero inoxidable				(a) (pulg.^{2})	(A) (pie.^{2})		
1-1/2	40	1,900	---	---	5S	0,065	1,770	0,3747	2,461	0,01709	1,28	1,066
			---	---	10S	0,109	1,682	0,6133	2,222	0,01543	2,09	0,963
			---	30	---	0,125	1,650	0,6970	2,138	0,01485	2,37	0,927
			STD	40	40S	0,145	1,610	0,7995	2,036	0,01414	2,72	0,882
			XS	80	80S	0,200	1,500	1,068	1,767	0,01227	3,63	0,766
			---	160	---	0,281	1,338	1,429	1,406	0,00976	4,86	0,609
			XXS	---	---	0,400	1,100	1,885	0,9503	0,00660	6,41	0,412
2	50	2,375	---	---	5S	0,065	2,245	0,4717	3,958	0,02749	1,61	1,715
			---	---	10S	0,109	2,157	0,7760	3,654	0,02538	2,64	1,583
			---	30	---	0,125	2,125	0,8836	3,547	0,02463	3,00	1,537
			STD	40	40S	0,154	2,067	1,075	3,356	0,02330	3,65	1,454
			XS	80	80S	0,218	1,939	1,477	2,953	0,02051	5,02	1,280
			---	160	---	0,344	1,687	2,195	2,235	0,01552	7,46	0,969
			XXS	---	---	0,436	1,503	2,656	1,774	0,01232	9,03	0,769
2-1/2	65	2,875	---	---	5S	0,083	2,709	0,7280	5,764	0,04003	2,48	2,498
			---	---	10S	0,120	2,635	1,039	5,453	0,03787	3,53	2,363
			---	30	---	0,188	2,499	1,587	4,905	0,03406	5,40	2,125
			STD	40	40S	0,203	2,469	1,704	4,788	0,03325	5,79	2,075
			XS	80	80S	0,276	2,323	2,254	4,238	0,02943	7,66	1,837
			---	160	---	0,375	2,125	2,945	3,547	0,02463	10,01	1,537
			XXS	---	---	0,552	1,771	4,028	2,463	0,01711	13,69	1,067
3	80	3,500	---	---	5S	0,083	3,334	0,8910	8,730	0,06063	3,03	3,783
			---	---	10S	0,120	3,260	1,274	8,347	0,05796	4,33	3,617
			30	---	---	0,188	3,124	1,956	7,665	0,05323	6,65	3,322
			STD	40	40S	0,216	3,068	2,228	7,393	0,05134	7,58	3,203
			XS	80	80S	0,300	2,900	3,016	6,605	0,04587	10,25	2,862
			---	160	---	0,438	2,624	4,213	5,408	0,03755	14,32	2,343
			XXS	---	---	0,600	2,300	5,466	4,155	0,02885	18,58	1,800
3-1/2	90	4,000	---	---	5S	0,083	3,834	1,021	11,55	0,08017	3,48	5,003
			---	---	10S	0,120	3,760	1,463	11,10	0,07711	4,97	4,812
			30	---	---	0,188	3,624	2,251	10,31	0,07163	7,65	4,470
			STD	40	40S	0,226	3,548	2,680	9,887	0,06866	9,11	4,284
			XS	80	80S	0,318	3,364	3,678	8,888	0,06172	12,50	3,851

Continuación de Aleación de acero al carbono - Acero inoxidable...

Tamaño de tubo nominal (NPS) (pulg.)	Diámetro nominal (DN)	Diámetro externo (pulg.)	Identificación			Grosor de pared (t) (pulg.)	Diámetro interno (d) (pulg.)	Sección metálica (pulg.^{2})	Sección transversal interna		Peso del conducto (lb/pie)	Peso del agua (conducto lb./pie)
			Acero									
			Tamaño de conducto de hierro	Núm. de cédula	Núm. de cédula de acero inoxidable				(a) (pulg.^{2})	(A) (pie.^{2})		
4	100	4,500	---	---	5S	0,083	4,334	1,152	14,75	0,10245	3,92	6,393
			---	---	10S	0,120	4,260	1,651	14,25	0,09898	5,61	6,176
			---	30	---	0,188	4,124	2,547	13,36	0,09276	8,66	5,788
			STD XS	40 80	40S 80S	0,237 0,337	4,026 3,826	3,174 4,407	12,73 11,50	0,08840 0,07984	10,79 14,98	5,516 4,982
			---	120	---	0,438	3,624	5,589	10,31	0,07163	19,00	4,470
			---	160	---	0,531	3,438	6,621	9,283	0,06447	22,51	4,023
			XXS	---	---	0,674	3,152	8,101	7,803	0,05419	27,54	3,381
5	125	5,563	---	---	5S	0,109	5,345	1,868	22,44	0,15582	6,36	9,723
			---	---	10S	0,134	5,295	2,285	22,02	0,15292	7,77	9,542
			STD	40	40S	0,258	5,047	4,300	20,01	0,13893	14,62	8,669
			XS	80	80S	0,375	4,813	6,112	18,19	0,12635	20,78	7,884
			---	120	---	0,500	4,563	7,953	16,35	0,11356	27,04	7,086
			---	160	---	0,625	4,313	9,696	14,61	0,10146	32,96	6,331
			XXS	---	---	0,750	4,063	11,34	12,97	0,09004	38,55	5,618
6	150	6,625	---	---	5S	0,109	6,407	2,231	32,24	0,22389	7,60	13,97
			---	---	10S	0,134	6,357	2,733	31,74	0,22041	9,29	13,75
			STD	40	40S	0,28	6,065	5,581	28,89	0,20063	18,97	12,52
			XS	80	80S	0,432	5,761	8,405	26,07	0,18102	28,57	11,30
			---	120	---	0,562	5,501	10,70	23,77	0,16505	36,39	10,30
			---	160	---	0,719	5,187	13,34	21,13	0,14674	45,35	9,157
			XXS	---	---	0,864	4,897	15,64	18,83	0,13079	53,16	8,162
8	200	8,625	---	---	5S	0,109	8,407	2,916	55,51	0,38549	9,93	24,05
			---	---	10S	0,148	8,329	3,941	54,48	0,37837	13,40	23,61
			---	20	---	0,25	8,125	6,578	51,85	0,36006	22,36	22,47
			---	30	---	0,277	8,071	7,265	51,16	0,35529	24,70	22,17
			STD	40	40S	0,322	7,981	8,399	50,03	0,34741	28,55	21,68
			---	60	---	0,406	7,813	10,48	47,94	0,33294	35,64	20,78
			XS	80	80S	0,5	7,625	12,76	45,66	0,31711	43,39	19,79
			---	100	---	0,594	7,437	14,99	43,44	0,30166	50,95	18,82
			---	120	---	0,719	7,187	17,86	40,57	0,28172	60,71	17,58
			---	140	---	0,812	7,001	19,93	38,50	0,26733	67,76	16,68
			XXS	---	---	0,875	6,875	21,30	37,12	0,25779	72,42	16,09
			---	160	---	0,906	6,813	21,97	36,46	0,25317	74,69	15,80

Continuación de Aleación de acero al carbono - Acero inoxidable...

Tamaño de tubo nominal (NPS) (pulg.)	Diámetro nominal (DN)	Diámetro externo (pulg.)	Identificación			Grosor de pared (t) (pulg.)	Diámetro interno (d) (pulg.)	Sección metálica (pulg.^{2})	Sección transversal interna		Peso del conducto (lb/pie)	Peso del agua (conducto lb./pie)
			Acero									
			Tamaño de conducto de hierro	Núm. de cédula	Núm. de cédula de acero inoxidable				(a) (pulg.^{2})	(A) (pie.^{2})		
10	250	10,750	---	---	5S	0,134	10,482	4,469	86,29	0,59926	15,19	37,39
			---	---	10S	0,165	10,420	5,487	85,28	0,59219	18,65	36,95
			---	20	---	0,250	10,250	8,247	82,52	0,57303	28,04	35,76
			---	30	---	0,307	10,136	10,07	80,69	0,56035	34,24	34,97
			STD	40	40S	0,365	10,020	11,91	78,85	0,54760	40,48	34,17
			XS	60	80S	0,500	9,750	16,10	74,66	0,51849	54,74	32,35
			---	80	---	0,594	9,562	18,95	71,81	0,49868	64,43	31,12
			---	100	---	0,719	9,312	22,66	68,10	0,47295	77,03	29,51
			---	120	---	0,844	9,062	26,27	64,50	0,44790	89,29	27,95
			XXS	140	---	1,000	8,750	30,63	60,13	0,41758	104,13	26,06
			---	160	---	1,125	8,500	34,02	56,75	0,39406	115,64	24,59
12	300	12,750	---	---	5S	0,156	12,438	6,172	121,5	0,84378	20,98	52,65
			---	---	10S	0,180	12,390	7,108	120,6	0,83728	24,17	52,25
			---	20	---	0,250	12,250	9,818	117,9	0,81847	33,38	51,07
			---	30	---	0,330	12,090	12,88	114,8	0,79723	43,77	49,75
			STD	---	40S	0,375	12,000	14,58	113,1	0,78540	49,56	49,01
			---	40	---	0,406	11,938	15,74	111,9	0,77731	53,52	48,50
			XS	---	80S	0,500	11,750	19,24	108,4	0,75302	65,42	46,99
			---	60	---	0,562	11,626	21,52	106,2	0,73721	73,15	46,00
			---	80	---	0,688	11,374	26,07	101,6	0,70559	88,63	44,03
			---	100	---	0,844	11,062	31,57	96,11	0,66741	107,32	41,65
			XXS	120	---	1,000	10,750	36,91	90,76	0,63030	125,49	39,33
			---	140	---	1,125	10,500	41,09	86,59	0,60132	139,67	37,52
			---	160	---	1,312	10,126	47,14	80,53	0,55925	160,27	34,90

Continuación de Aleación de acero al carbono - Acero inoxidable...

Tamaño de tubo nominal (NPS) (pulg.)	Diámetro nominal (DN)	Diámetro externo (pulg.)	Identificación			Grosor de pared (t) (pulg.)	Diámetro interno (d) (pulg.)	Sección metálica (pulg.^{2})	Sección transversal interna		Peso del conducto (lb/pie)	Peso del agua (conducto lb./pie)
			Acero									
			Tamaño de conducto de hierro	Núm. de cédula	Núm. de cédula de acero inoxidable				(a) (pulg.^{2})	(A) (pie.^{2})		
14	350	14,000	---	---	5S	0,156	13,688	6,785	147,2	1,02190	23,07	63,77
			---	---	10S	0,188	13,624	8,158	145,8	1,01237	27,73	63,17
			---	10	---	0,250	13,500	10,80	143,1	0,99402	36,71	62,03
			---	20	---	0,312	13,376	13,42	140,5	0,97585	45,61	60,89
			STD	30	---	0,375	13,250	16,05	137,9	0,95755	54,57	59,75
			---	40	---	0,438	13,124	18,66	135,3	0,93942	63,44	58,62
			XS	---	---	0,500	13,000	21,21	132,7	0,92175	72,09	57,52
			---	60	---	0,594	12,812	25,02	128,9	0,89529	85,05	55,87
			---	80	---	0,750	12,500	31,22	122,7	0,85221	106,13	53,18
			---	100	---	0,938	12,124	38,49	115,4	0,80172	130,85	50,03
			---	120	---	1,094	11,812	44,36	109,6	0,76098	150,79	47,49
			---	140	---	1,250	11,500	50,07	103,9	0,72131	170,21	45,01
			---	160	---	1,406	11,188	55,63	98,31	0,68271	189,11	42,60
16	400	1600	---	---	5S	0,165	15,670	8,208	192,9	1,33926	27,90	83,57
			---	---	10S	0,188	15,624	9,339	191,7	1,33141	31,75	83,08
			---	10	---	0,250	15,500	12,37	188,7	1,31036	42,05	81,77
			---	20	---	0,312	15,376	15,38	185,7	1,28948	52,27	80,46
			STD	30	---	0,375	15,250	18,41	182,7	1,26843	62,58	79,15
			XS ---	40 60	--- ---	0,500 0,656	15,000 14,688	24,35 31,62	176,7 169,4	1,22719 1,17667	82,77 107,50	76,58 73,42
			---	80	---	0,844	14,312	40,19	160,9	1,11720	136,61	69,71
			---	100	---	1,031	13,938	48,48	152,6	1,05957	164,82	66,12
			---	120	---	1,219	13,562	56,61	144,5	1,00317	192,43	62,60
			---	140	---	1,438	13,124	65,79	135,3	0,93942	223,64	58,62
			---	160	---	1,594	12,812	72,14	128,9	0,89529	245,25	55,87

Continuación de Aleación de acero al carbono - Acero inoxidable...

Tamaño de tubo nominal (NPS) (pulg.)	Diámetro nominal (DN)	Diámetro externo (pulg.)	Identificación			Grosor de pared (t) (pulg.)	Diámetro interno (d) (pulg.)	Sección metálica (pulg.^{2})	Sección transversal interna		Peso del conducto (lb/pie)	Peso del agua (conducto lb./pie)
			Acero									
			Tamaño de conducto de hierro	Núm. de cédula	Núm. de cédula de acero inoxidable				(a) (pulg.^{2})	(A) (pie.^{2})		
18	450	18,000	---	---	5S	0,165	17,670	9,245	245,2	1,70295	31,43	106,3
			---	---	10S	0,188	17,624	10,52	243,9	1,69409	35,76	105,7
			---	10	---	0,250	17,500	13,94	240,5	1,67034	47,39	104,2
			---	20	---	0,312	17,376	17,34	237,1	1,64675	58,94	102,8
			STD	---	---	0,375	17,250	20,76	233,7	1,62296	70,59	101,3
			---	30	---	0,438	17,124	24,17	230,3	1,59933	82,15	99,80
			XS ---	--- 40	--- ---	0,500 0,562	17,000 16,876	27,49 30,79	227,0 223,7	1,57625 1,55334	93,45 104,67	98,36 96,93
			---	60	---	0,750	16,500	40,64	213,8	1,48490	138,17	92,66
			---	80	---	0,938	16,124	50,28	204,2	1,41799	170,92	88,48
			---	100	---	1,156	15,688	61,17	193,3	1,34234	207,96	83,76
			---	120	---	1,375	15,250	71,82	182,7	1,26843	244,14	79,15
			---	140	---	1,562	14,876	80,66	173,8	1,20698	274,22	75,32
			---	160	---	1,781	14,438	90,75	163,7	1,13695	308,50	70,95
20	500	20,000	---	---	5S	0,188	19,624	11,70	302,5	2,10041	39,78	131,1
			---	---	10S	0,218	19,564	13,55	300,6	2,08758	46,06	130,3
			---	10	---	0,250	19,500	15,51	298,6	2,07395	52,73	129,4
			STD	20	---	0,375	19,250	23,12	291,0	2,02111	78,60	126,1
			XS	30	---	0,500	19,000	30,63	283,5	1,96895	104,13	122,9
			---	40	---	0,594	18,812	36,21	277,9	1,93018	123,11	120,4
			---	60	---	0,812	18,376	48,95	265,2	1,84175	166,40	114,9
			---	80	---	1,031	17,938	61,44	252,7	1,75500	208,87	109,5
			---	100	---	1,281	17,438	75,33	238,8	1,65852	256,10	103,5
			---	120	---	1,500	17,000	87,18	227,0	1,57625	296,37	98,36
			---	140	---	1,750	16,500	100,3	213,8	1,48490	341,09	92,66
			---	160	---	1,969	16,062	111,5	202,6	1,40711	379,17	87,80

Continuación de Aleación de acero al carbono - Acero inoxidable...

Tamaño de tubo nominal (NPS) (pulg.)	Diámetro nominal (DN)	Diámetro externo (pulg.)	Identificación			Grosor de pared (t) (pulg.)	Diámetro interno (d) (pulg.)	Sección metálica (pulg.^{2})	Sección transversal interna		Peso del conducto (lb/pie)	Peso del agua (conducto lb./pie)
			Acero									
			Tamaño de conducto de hierro	Núm. de cédula	Núm. de cédula de acero inoxidable				(a) (pulg.^{2})	(A) (pie.^{2})		
22	550	22,000	---	---	5S	0,188	21,624	12,88	367,3	2,55035	43,80	159,1
			---	---	10S	0,218	21,564	14,92	365,2	2,53622	50,71	158,3
			---	10	---	0,250	21,500	17,08	363,1	2,52119	58,07	157,3
			STD	20	---	0,375	21,250	25,48	354,7	2,46290	86,61	153,7
			XS	30	---	0,500	21,000	33,77	346,4	2,40529	114,81	150,1
			---	60	---	0,875	20,250	58,07	322,1	2,23655	197,41	139,6
			---	80	---	1,125	19,750	73,78	306,4	2,12747	250,81	132,8
			---	100	---	1,375	19,250	89,09	291,0	2,02111	302,88	126,1
			---	120	---	1,625	18,750	104,0	276,1	1,91748	353,61	119,7
			---	140	---	1,875	18,250	118,5	261,6	1,81658	403,00	113,4
			---	160	---	2,125	17,750	132,7	247,5	1,71840	451,06	107,2
24	600	24,000	---	---	5S	0,218	23,564	16,29	436,1	3,02849	55,37	189,0
			10	---	10S	0,250	23,500	18,65	433,7	3,01206	63,41	188,0
			STD	20	---	0,375	23,250	27,83	424,6	2,94832	94,62	184,0
			XS	---	---	0,500	23,000	36,91	415,5	2,88525	125,49	180,0
			---	30	---	0,562	22,876	41,38	411,0	2,85423	140,68	178,1
			---	40	---	0,688	22,624	50,39	402,0	2,79169	171,29	174,2
			---	60	---	0,969	22,062	70,11	382,3	2,65472	238,35	165,7
			---	80	---	1,219	21,562	87,24	365,1	2,53575	296,58	158,2
			---	100	---	1,531	20,938	108,1	344,3	2,39111	367,39	149,2
			---	120	---	1,812	20,376	126,3	326,1	2,26447	429,39	141,3
			---	140	---	2,062	19,876	142,1	310,3	2,15470	483,12	134,5
			---	160	---	2,344	19,312	159,5	292,9	2,03415	542,13	126,9
26	650	26,000	---	10	---	0,312	25,376	25,18	505,8	3,51216	85,60	219,2
			STD	---	---	0,375	25,250	30,19	500,7	3,47737	102,63	217,0
			XS	20	---	0,500	25,000	40,06	490,9	3,40885	136,17	212,7
28	700	28,000	---	10	---	0,312	27,376	27,14	588,6	4,08760	92,26	255,1
			STD	---	---	0,375	27,250	32,55	583,2	4,05006	110,64	252,7
			XS	20	---	0,500	27,000	43,20	572,6	3,97609	146,85	248,1
			---	30	---	0,625	26,750	53,75	562,0	3,90280	182,73	243,5

Continuación de Aleación de acero al carbono - Acero inoxidable...

Tamaño de tubo nominal (NPS) (pulg.)	Diámetro nominal (DN)	Diámetro externo (pulg.)	Identificación			Grosor de pared (t) (pulg.)	Diámetro interno (d) (pulg.)	Sección metálica (pulg.^{2})	Sección transversal interna		Peso del conducto (lb/pie)	Peso del agua (conducto lb./pie)
			Acero									
			Tamaño de conducto de hierro	Núm. de cédula	Núm. de cédula de acero inoxidable				(a) (pulg.^{2})	(A) (pie.^{2})		
30	750	30,000	---	---	5S	0,250	29,500	23,37	683,5	4,74649	79,43	296,2
			10	---	10S	0,312	29,376	29,10	677,8	4,70667	98,93	293,7
			STD	---	---	0,375	29,250	34,90	672,0	4,66638	118,65	291,2
			XS	20	---	0,500	29,000	46,34	660,5	4,58695	157,53	286,2
			---	30	---	0,625	28,750	57,68	649,2	4,50821	196,08	281,3
32	800	32,000	---	10	---	0,312	31,376	31,06	773,2	5,36937	105,59	335,0
			STD	---	---	0,375	31,250	37,26	767,0	5,32633	126,66	332,4
			XS	20	---	0,500	31,000	49,48	754,8	5,24145	168,21	327,1
			---	30	---	0,625	30,750	61,60	742,6	5,15726	209,43	321,8
			---	40	---	0,688	30,624	67,68	736,6	5,11508	230,08	319,2
34	850	34,000	---	10	---	0,312	33,376	33,02	874,9	6,07571	112,25	379,1
			STD	---	---	0,375	33,250	39,61	868,3	6,02992	134,67	376,3
			XS	20	---	0,500	33,000	52,62	855,3	5,93959	178,89	370,6
			---	30	---	0,625	32,750	65,53	842,4	5,84993	222,78	365,0
			---	40	---	0,688	32,624	72,00	835,9	5,80501	244,77	362,2
36	900	36,000	---	10	---	0,312	35,376	34,98	982,9	6,82568	118,92	425,9
			STD	---	---	0,375	35,250	41,97	975,9	6,77714	142,68	422,9
			XS	20	---	0,500	35,000	55,76	962,1	6,68135	189,57	416,9
			---	30	---	0,625	34,750	69,46	948,4	6,58625	236,13	411,0
			---	40	---	0,750	34,500	83,06	934,8	6,49182	282,35	405,1

14.3 Medidas estadounidenses de brida de conductos

14.3.1 Diámetro de círculos de perno

En pulgadas según ASME B16.1, B16.5, y B16.24

Tamaño nominal del conducto	Clase[1] 125 (hierro fundido)[2] o Clase 150 (acero)	Clase[3] 250 (hierro fundido)[2] o Clase 300 (acero)	Clase 600	Clase 900	Clase 1500	Clase 2500
1	3,12	3,50	3,50	4,00	4,00	4,25
1-1/4	3,50	3,88	3,88	4,38	4,38	5,12
1-1/2	3,88	4,50	4,50	4,88	4,88	5,75
2	4,75	5,00	5,00	6,50	6,50	6,75
2-1/2	5,50	5,88	5,88	7,50	7,50	7,75

Continuación de diámetro de círculos de perno...

Tamaño nominal del conducto	Clase[1] 125 (hierro fundido)[2] o Clase 150 (acero)	Clase[3] 250 (hierro fundido)[2] o Clase 300 (acero)	Clase 600	Clase 900	Clase 1500	Clase 2500
3	6,00	6,62	6,62	7,50	8,00	9,00
4	7,50	7,88	8,50	9,25	9,50	10,75
5	8,50	9,25	10,50	11,00	11,50	12,75
6	9,50	10,62	11,50	12,50	12,50	14,50
8	11,75	13,00	13,75	15,50	15,50	17,25
10	14,25	15,25	17,00	18,50	19,00	21,75
12	17,00	17,75	19,25	21,00	22,50	24,38
14	18,75	20,25	20,75	22,00	25,00	---
16	21,25	22,50	23,75	24,25	27,75	---
18	22,75	24,75	25,75	27,00	30,50	---
20	25,00	27,00	28,50	29,50	32,75	---
24	29,50	32,00	33,00	35,50	39,00	---
30	36,00	39,25	---	---	---	---
36	42,75	46,00	---	---	---	---
42	49,50	52,75	---	---	---	---
48	56,00	60,75	---	---	---	---

1. Los tamaños nominales de conducto 1 a 12 también se aplican a las bridas de aleación de cobre fundido de Clase 150.
2. Estos diámetros se aplican a válvulas de acero para los tamaños nominales de conducto 1 a 24.
3. Los tamaños nominales de conducto 1 a 8 también se aplican a las bridas de aleación de cobre fundido de Clase 300.

14.3.2 Número de pernos prisioneros y diámetro

En pulgadas según ASME B16.1, B16.5, y B16.24

Tamaño nominal del conducto	Clase[1] 125 (hierro fundido)[2] o Clase 150 (acero)		Clase[3] 250 (hierro fundido)[2] o Clase 300 (acero)		Clase 600		Clase 900		Clase 1500		Clase 2500	
	N.º	Diám.	N.º	Diám.	N.º	Diám.	N.º	Diám.	N.º	Diám.	N.º	Diám.
1	4	0,50	4	0,62	4	0,62	4	0,88	4	0,88	4	0,88
1-1/4	4	0,50	4	0,62	4	0,62	4	0,88	4	0,88	4	1,00
1-1/2	4	0,50	4	0,75	4	0,75	4	1,00	4	1,00	4	1,12
2	4	0,62	8	0,62	8	0,62	8	0,88	8	0,88	8	1,00
2-1/2	4	0,62	8	0,75	8	0,75	8	1,00	8	1,00	8	1,12
3	4	0,62	8	0,75	8	0,75	8	0,88	8	1,12	8	1,25
4	8	0,62	8	0,75	8	0,88	8	1,12	8	1,25	8	1,50
5	8	0,75	8	0,75	8	1,00	8	1,25	8	1,50	8	1,75
6	8	0,75	12	0,75	12	1,00	12	1,12	12	1,38	8	2,00
8	8	0,75	12	0,88	12	1,12	12	1,38	12	1,62	12	2,00

Continuación de número de pernos prisioneros y diámetro...

Tamaño nominal del conducto	Clase[1] 125 (hierro fundido)[2] o Clase 150 (acero)		Clase[3] 250 (hierro fundido)[2] o Clase 300 (acero)		Clase 600		Clase 900		Clase 1500		Clase 2500	
	N.º	Diám.	N.º	Diám.	N.º	Diám.	N.º	Diám.	N.º	Diám.	N.º	Diám.
10	12	0,88	16	1,00	16	1,25	16	1,38	12	1,88	12	2,50
12	12	0,88	16	1,12	20	1,25	20	1,38	16	2,00	12	2,75
14	12	1,00	20	1,12	20	1,38	20	1,50	16	2,25	---	---
16	16	1,00	20	1,25	20	1,50	20	1,62	16	2,50	---	---
18	16	1,12	24	1,25	20	1,62	20	1,88	16	2,75	---	---
20	20	1,12	24	1,25	24	1,62	20	2,00	16	3,00	---	---
24	20	1,25	24	1,50	24	1,88	20	2,50	16	3,50	---	---
30	28	1,25	28	1,75	---	---	---	---	---	---	---	---
36	32	1,50	32	2,00	---	---	---	---	---	---	---	---
42	36	1,50	36	2,00	---	---	---	---	---	---	---	---
48	44	1,50	40	2,00	---	---	---	---	---	---	---	---

1. Los tamaños nominales de conducto 1 a 12 también se aplican a las bridas de aleación de cobre fundido de Clase 150.
2. Estos diámetros se aplican a válvulas de acero para los tamaños nominales de conducto 1 a 24.
3. Los tamaños nominales de conducto 1 a 8 también se aplican a las bridas de aleación de cobre fundido de Clase 300.

14.3.3 Diámetro de brida

En pulgadas según ASME B16.1, B16.5, y B16.24

Tamaño nominal del conducto	Clase[1] 125 (hierro fundido)[2] o Clase 150 (acero)	Clase[3] 250 (hierro fundido)[2] o Clase 300 (acero)	Clase 600	Clase 900	Clase 1500	Clase 2500
1	4,25	4,88	4,88	5,88	5,88	6,25
1-1/4	4,62	5,25	5,25	6,25	6,25	7,25
1-1/2	5,00	6,12	6,12	7,00	7,00	8,00
2	6,00	6,50	6,50	8,50	8,50	9,25
2-1/2	7,00	7,50	7,50	9,62	9,62	10,50
3	7,50	8,25	8,25	9,50	10,50	12,00
4	9,00	10,00	10,75	11,50	12,25	14,00
5	10,00	11,00	13,00	13,75	14,75	16,50
6	11,00	12,50	14,00	15,00	15,50	19,00
8	13,50	15,00	16,50	18,50	19,00	21,75
10	16,00	17,50	20,00	21,50	23,00	26,50
12	19,00	20,50	22,00	24,00	26,50	30,00
14	21,00	23,00	23,75	25,25	29,50	---
16	23,50	25,50	27,00	27,75	32,50	---
18	25,00	28,00	29,25	31,00	36,00	---

Continuación de diámetro de brida...

Tamaño nominal del conducto	Clase[1] 125 (hierro fundido)[2] o Clase 150 (acero)	Clase[3] 250 (hierro fundido)[2] o Clase 300 (acero)	Clase 600	Clase 900	Clase 1500	Clase 2500
20	27,50	30,50	32,00	33,75	38,75	---
24	32,00	36,00	37,00	41,00	46,00	---
30	38,75	43,00	---	---	---	---
36	46,00	50,00	---	---	---	---
42	53,00	57,00	---	---	---	---
48	59,50	65,00	---	---	---	---

1. Los tamaños nominales de conducto 1 a 12 también se aplican a las bridas de aleación de cobre fundido de Clase 150.
2. Los tamaños nominales de conducto 1 a 8 también se aplican a las bridas de aleación de cobre fundido de Clase 300.

14.3.4 Grosor de brida para racores de brida

En pulgadas según ASME B16.1, B16.5, y B16.24

Tamaño nominal del conducto	Clase 150 (CI) FF y STL	Clase 150 STL	Clase 150	Clase 250 (CI) y Clase 300 STL[1]	Clase 300 STL	CL 300
	RF[2]	RTJ	Aleación de cobre fundido	RF	RTJ	Aleación de cobre fundido
1	0,50	0,75	0,38	0,62	0,87	0,59
1-1/4	0,56	0,81	0,41	0,69	0,94	0,62
1-1/2	0,62	0,87	0,44	0,75	1,00	0,69
2	0,69	0,94	0,50	0,81	1,12	0,75
2-1/2	0,81	1,06	0,56	0,94	1,25	0,81
3	0,88	1,13	0,62	1,06	1,37	0,91
4	0,88	1,13	0,69	1,19	1,50	1,06
5	0,88	1,13	0,75	1,31	1,62	1,12

Tamaño nominal del conducto	Clase 600		Clase 900		Clase 1500		Clase 2500	
	RF	RTJ	RF	RTJ	RF	RTJ	RF	RTJ
1	0,69	0,94	1,12	1,37	1,12	1,37	1,38	1,63
1-1/4	0,81	1,06	1,12	1,37	1,12	1,37	1,50	1,81
1-1/2	0,88	1,13	1,25	1,50	1,25	1,50	1,75	2,06
2	1,00	1,31	1,50	1,81	1,50	1,81	2,00	2,31
2-1/2	1,12	1,43	1,62	1,93	1,62	1,93	2,25	2,62
3	1,25	1,56	1,50	1,81	1,88	2,43	2,62	3,00
4	1,50	1,81	1,75	2,06	2,12	2,43	3,00	3,44
5	1,75	2,06	2,00	2,31	2,88	3,19	3,62	4,12

Continuación de grosor de brida para racores de brida...

Tamaño nominal del conducto	Clase 150 (CI) FF y STL	Clase 150 STL	Clase 150	Clase 250 (CI) y Clase 300 STL[1]	Clase 300 STL	CL 300
	RF[2]	RTJ	Aleación de cobre fundido	RF	RTJ	Aleación de cobre fundido
6	0,94	1,19	0,81	1,38	1,69	1,19
8	1,06	1,31	0,94	1,56	1,87	1,38
10	1,12	1,37	1,00	1,81	2,12	---
12	1,19	1,44	1,06	1,94	2,25	---
14	1,31	1,56	---	2,06	2,37	---
16	1,38	1,63	---	2,19	2,50	---
18	1,50	1,75	---	2,31	2,62	---
20	1,62	1,87	---	2,44	2,82	---
24	1,81	2,06	---	2,69	3,13	---

Tamaño nominal del conducto	Clase 600		Clase 900		Clase 1500		Clase 2500	
	RF	RTJ	RF	RTJ	RF	RTJ	RF	RTJ
6	1,88	2,19	2,19	2,50	3,25	3,62	4,25	4,75
8	2,19	2,50	2,50	2,81	3,62	4,06	5,00	5,56
10	2,50	2,81	2,75	3,06	4,25	4,69	6,50	7,19
12	2,62	2,93	3,12	3,43	4,88	5,44	7,25	7,94
14	2,75	3,06	3,38	3,82	5,25	5,88	---	---
16	3,00	3,31	3,50	3,94	5,75	6,44	---	---
18	3,25	3,56	4,00	4,50	6,38	7,07	---	---
20	3,50	3,88	4,25	4,75	7,00	7,69	---	---
24	4,00	4,44	5,50	6,12	8,00	8,81	---	---

1. Estas medidas se aplican a válvulas de acero para los tamaños nominales de conducto 1 a 24.
2. Las medidas de brida ilustradas se aplican a acabados habituales de superficies elevadas de 0,06 pulg.

14.4 Estándares de brida de acero fundido

14.4.1 Estándares de brida de acero fundido para PN 10

DN	Brida			Empernado		
	Diámetro exterior	Grosor	Diámetro del círculo del perno	Número de pernos	Roscas	Diámetro del orificio del perno
10	90	16	60	4	M12	14
15	95	16	65	4	M12	14
20	105	18	75	4	M12	14
25	115	18	85	4	M12	14
32	140	18	100	4	M16	18
40	150	18	110	4	M16	18
50	165	18	125	4	M16	18
65	185	18	145	8	M16	18
80	200	20	160	8	M16	18
100	220	20	180	8	M16	18
125	250	22	210	8	M16	18
150	285	22	240	8	M20	22
200	340	24	295	8	M20	22
250	395	26	350	12	M20	22
300	445	26	400	12	M20	22
350	505	26	460	16	M20	22
400	565	26	515	16	M24	26
450	615	28	565	20	M24	26
500	670	28	620	20	M24	26
600	780	30	725	20	M27	30
700	895	35	840	24	M27	30
800	1015	38	950	24	M30	33
900	1115	38	1050	28	M30	33
1000	1230	44	1160	28	M33	36
1200	1455	55	1380	32	M36	39
1400	1675	65	1590	36	M39	42
1600	1915	75	1820	40	M45	48
1800	2115	85	2020	44	M45	48
2000	2325	90	2230	48	M45	48
2200	2550	100	2440	52	M52	56
2400	2760	110	2650	56	M52	56
2600	2960	110	2850	60	M52	56
2800	3180	124	3070	64	M52	56
3000	3405	132	3290	68	M56	62

Todas las medidas se indican en mm.

14.4.2 Estándares de brida de acero fundido para PN 16

DN	Brida			Empernado		
	Diámetro exterior	Grosor	Diámetro del círculo del perno	Número de pernos	Roscas	Diámetro del orificio del perno
10	90	16	60	4	M12	14
15	95	16	65	4	M12	14
20	105	18	75	4	M12	14
25	115	18	85	4	M12	14
32	140	18	100	4	M16	18
40	150	18	110	4	M16	18
50	165	18	125	4	M16	18
65	185	18	145	4	M16	18
80	200	20	160	8	M16	18
100	220	20	180	8	M16	18
125	250	22	210	8	M16	18
150	285	22	240	8	M20	22
200	340	24	295	12	M20	22
250	405	26	355	12	M24	26
300	460	28	410	12	M24	26
350	520	30	470	16	M24	26
400	580	32	525	16	M27	30
500	715	36	650	20	M30	33
600	840	40	770	20	M33	36
700	910	40	840	24	M33	36
800	1025	41	950	24	M36	39
900	1125	48	1050	28	M36	39
1000	1255	59	1170	28	M39	42
1200	1485	78	1390	32	M45	48
1400	1685	84	1590	36	M45	48
1600	1930	102	1820	40	M52	56
1800	2130	110	2020	44	M52	56
2000	2345	124	2230	48	M56	62

Todas las medidas se indican en mm.

14.4.3 Estándares de brida de acero fundido para PN 25

DN	Brida			Empernado		
	Diámetro exterior	Grosor	Diámetro del círculo del perno	Número de pernos	Roscas	Diámetro del orificio del perno
10	90	16	60	4	M12	14
15	95	16	65	4	M12	14
20	105	18	75	4	M12	14
25	115	18	85	4	M12	14
32	140	18	100	4	M16	18
40	150	18	110	4	M16	18
50	165	20	125	4	M16	18
65	185	22	145	8	M16	18
80	200	24	160	8	M16	18
100	235	24	190	8	M20	22
125	270	26	220	8	M24	26
150	300	28	250	8	M24	26
200	360	30	310	12	M24	26
250	425	32	370	12	M27	30
300	485	34	430	16	M27	30
350	555	38	490	16	M30	33
400	620	40	550	16	M33	36
500	730	48	660	20	M33	36
600	845	48	770	20	M36	39
700	960	50	875	24	M39	42
800	1085	53	990	24	M45	48
900	1185	57	1090	28	M45	48
1000	1320	63	1210	28	M52	56

Todas las medidas se indican en mm.

14.4.4 Estándares de brida de acero fundido para PN 40

DN	Brida			Empernado		
	Diámetro exterior	Grosor	Diámetro del círculo del perno	Número de pernos	Roscas	Diámetro del orificio del perno
10	90	16	60	4	M12	14
15	95	16	65	4	M12	14
20	105	18	75	4	M12	14
25	115	18	85	4	M12	14
32	140	18	100	4	M16	18
40	150	18	110	4	M16	18
50	165	20	125	4	M16	18
65	185	22	145	8	M16	18
80	200	24	160	8	M16	18
100	235	24	190	8	M20	22
125	270	26	220	8	M24	26
150	300	28	250	8	M24	26
200	375	34	320	12	M27	30
250	450	38	385	12	M30	33
300	515	42	450	16	M30	33
350	580	46	510	16	M33	36
400	660	50	585	16	M36	39
450	685	57	610	20	M36	39
500	755	57	670	20	M39	42
600	890	72	795	20	M45	48

Todas las medidas se indican en mm.

14.4.5 Estándares de brida de acero fundido para PN 63

DN	Brida			Empernado		
	Diámetro exterior	Grosor	Diámetro del círculo del perno	Número de pernos	Roscas	Diámetro del orificio del perno
10	100	20	70	4	M12	14
15	105	20	75	4	M12	14
25	140	24	100	4	M16	18
32	155	24	110	4	M20	22
40	170	28	125	4	M20	22
50	180	26	135	4	M20	22
65	205	26	160	8	M20	22
80	215	28	170	8	M20	22
100	250	30	200	8	M24	26
125	295	34	240	8	M27	30
150	345	36	280	8	M30	33
200	415	42	345	12	M33	36
250	470	46	400	12	M33	36
300	530	52	460	16	M33	36
350	600	56	525	16	M36	39
400	670	60	585	16	M39	42

Todas las medidas se indican en mm.

14.4.6 Estándares de brida de acero fundido para PN 100

DN	Brida			Empernado		
	Diámetro exterior	Grosor	Diámetro del círculo del perno	Número de pernos	Roscas	Diámetro del orificio del perno
10	100	20	70	4	M12	14
15	105	20	75	4	M12	14
25	140	24	100	4	M16	18
32	155	24	110	4	M20	22
40	170	28	125	4	M20	22
50	195	30	145	4	M24	26
65	220	34	170	8	M24	26
80	230	36	180	8	M24	26
100	265	40	210	8	M27	30
125	315	40	250	8	M30	33
150	355	44	290	12	M30	33
200	430	52	360	12	M33	36
250	505	60	430	12	M36	39
300	585	68	500	16	M39	42
350	655	74	560	16	M45	48

Todas las medidas se indican en mm.

14.4.7 Estándares de brida de acero fundido para PN 160

DN	Brida			Empernado		
	Diámetro exterior	Grosor	Diámetro del círculo del perno	Número de pernos	Roscas	Diámetro del orificio del perno
10	100	20	70	4	M12	14
15	105	20	75	4	M12	14
25	140	24	100	4	M16	18
40	170	28	125	4	M20	22
50	195	30	145	4	M24	26
65	220	34	170	8	M24	26
80	230	36	180	8	M24	26
100	265	40	210	8	M27	30
125	315	44	250	8	M30	33
150	355	50	290	12	M30	33
200	430	60	360	12	M33	36
250	515	68	430	12	M39	42
300	585	78	500	16	M39	42

Todas las medidas se indican en mm.

14.4.8 Estándares de brida de acero fundido para PN 250

DN	Brida			Empernado		
	Diámetro exterior	Grosor	Diámetro del círculo del perno	Número de pernos	Roscas	Diámetro del orificio del perno
10	125	24	85	4	M16	18
15	130	26	90	4	M16	18
25	150	28	105	4	M20	22
40	185	34	135	4	M24	26
50	200	38	150	8	M24	26
65	230	42	180	8	M24	26
80	255	46	200	8	M27	30
100	300	54	235	8	M30	33
125	340	60	275	12	M30	33
150	390	68	320	12	M33	36
200	485	82	400	12	M39	42
250	585	100	490	16	M45	48
300	690	120	590	16	M48	52

Todas las medidas se indican en mm.

14.4.9 Estándares de brida de acero fundido para PN 320

DN	Brida			Empernado		
	Diámetro exterior	Grosor	Diámetro del círculo del perno	Número de pernos	Roscas	Diámetro del orificio del perno
10	125	24	85	4	M16	18
15	130	26	90	4	M16	18
25	160	34	115	4	M20	22
40	195	38	145	4	M24	26
50	210	42	160	8	M24	26
65	255	51	200	8	M27	30
80	275	55	220	8	M27	30
100	335	65	265	8	M33	36
125	380	75	310	12	M33	36
150	425	84	350	12	M36	39
200	525	103	440	16	M39	42
250	640	125	540	16	M48	52

Todas las medidas se indican en mm.

14.4.10 Estándares de brida de acero fundido para PN 400

DN	Brida			Empernado		
	Diámetro exterior	Grosor	Diámetro del círculo del perno	Número de pernos	Roscas	Diámetro del orificio del perno
10	125	28	85	4	M16	18
15	145	30	100	4	M20	22
25	180	38	130	4	M24	26
40	220	48	165	4	M27	30
50	235	52	180	8	M27	30
65	290	64	225	8	M30	33
80	305	68	240	8	M30	33
100	370	80	295	8	M36	39
125	415	92	340	12	M36	39
150	475	105	390	12	M39	42
200	585	130	490	16	M45	48

Todas las medidas se indican en mm.

Capítulo 15

Conversiones y equivalencias

15.1 Equivalencias de longitud

Nota: Utilice el multiplicador en el punto de convergencia de fila y columna.	**Metros**	**Pulgadas**	**Pies**	**Milímetros**	**Millas**	**Kilómetros**
Metros	1	39,37	3,2808	1000	0,0006214	0,001
Pulgadas	0,0254	1	0,0833	25,4	0,00001578	0,0000254
Pies	0,3048	12	1	304,8	0,0001894	0,0003048
Milímetros	0,001	0,03937	0,0032808	1	0,0000006214	0,000001
Millas	1609,35	63.360	5.280	1.609.350	1	1,60935
Kilómetros	1.000	39.370	3280,83	1.000.000	0,62137	1

1 metro = 100 centímetros = 1000 milímetros = 0,001 kilómetros = 1.000.000 micrómetros
Para convertir unidades métricas, simplemente ajuste el punto decimal. 1 milímetro = 1000 micrones = 0,03937 pulgadas = 39,37 mil

15.2 Equivalencias de pulgada entera a milímetro

Pulgadas	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
	Milímetros									
0	0,0	25,4	50,8	76,2	101,6	127,0	152,4	177,8	203,2	228,6
10	254,0	279,4	304,8	330,2	355,6	381,0	406,4	431,8	457,2	482,6
20	508,0	533,4	558,8	584,2	609,6	635,0	660,4	685,8	711,2	736,6
30	762,0	787,4	812,8	838,2	863,6	889,0	914,4	939,8	965,2	990,6
40	1016,0	1041,4	1066,8	1092,2	1117,6	1143,0	1168,4	1193,8	1219,2	1244,6
50	1270,0	1295,4	1320,8	1346,2	1371,6	1397,0	1422,4	1447,8	1473,2	1498,6
60	1524,0	1549,4	1574,8	1600,2	1625,6	1651,0	1676,4	1701,8	1727,2	1752,6
70	1778,0	1803,4	1828,8	1854,2	1879,6	1905,0	1930,4	1955,8	1981,2	2006,6
80	2032,0	2057,4	2082,8	2108,2	2133,6	2159,0	2184,4	2209,8	2235,2	2260,6
90	2286,0	2311,4	2336,8	2362,2	2387,6	2413,0	2438,4	2463,8	2489,2	2514,6
100	2540,0	2565,4	2590,8	2616,2	2641,6	2667,0	2692,4	2717,8	2743,2	2768,6

Nota: Todos los valores en esta tabla son exactos, con base en la relación 1 pulg. = 25,4 mm. El desplazamiento del punto decimal permite convertir cualquier valor decimal o múltiplo de pulgada a su equivalencia exacta en milímetros.

15.3 Equivalencias de fracción de pulgada a milímetro

Pulgadas	0	1/16	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16
	Milímetros							
0	0,0	1,6	3,2	4,8	6,4	7,9	9,5	11,1
1	25,4	27,0	28,6	30,2	31,8	33,3	34,9	36,5
2	50,8	52,4	54,0	55,6	57,2	58,7	60,3	61,9
3	76,2	77,8	79,4	81,0	82,6	84,1	85,7	87,3
4	101,6	103,2	104,8	106,4	108,0	109,5	111,1	112,7
5	127,0	128,6	130,2	131,8	133,4	134,9	136,5	138,1
6	152,4	154,0	155,6	157,2	158,8	160,3	161,9	163,5
7	177,8	179,4	181,0	182,6	184,2	185,7	187,3	188,9
8	203,2	204,8	206,4	208,0	209,6	211,1	212,7	214,3
9	228,6	230,2	231,8	233,4	235,0	236,5	238,1	239,7
10	254,0	255,6	257,2	258,8	260,4	261,9	263,5	265,1
1 pulgada = 25,4 milímetros								

Continuación de equivalencias de fracción de pulgada a milímetro...

Pulgadas	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16
	Milímetros							
0	12,7	14,3	15,9	17,5	19,1	20,6	22,2	23,8
1	38,1	39,7	41,3	42,9	44,5	46,0	47,6	49,2
2	63,5	65,1	66,7	68,3	69,9	71,4	73,0	74,6
3	88,9	90,5	92,1	93,7	95,3	96,8	98,4	100,0
4	114,3	115,9	117,5	119,1	120,7	122,2	123,8	125,4
5	139,7	141,3	142,9	144,5	146,1	147,6	149,2	150,8
6	165,1	166,7	168,3	169,9	171,5	173,0	174,6	176,2
7	190,5	192,1	193,7	195,3	196,9	198,4	200,0	201,6
8	215,9	217,5	219,1	220,7	222,3	223,8	225,4	227,0
9	241,3	242,9	244,5	246,1	247,7	249,2	250,8	252,4
10	266,7	268,3	269,9	271,5	273,1	274,6	276,2	277,8
1 pulgada = 25,4 milímetros								

15.4 Equivalencias adicionales de fracción de pulgada a milímetro

Pulgadas		Milímetros	Pulgadas		Milímetros	Pulgadas		Milímetros
Fracciones	Decimales		Fracciones	Decimales		Fracciones	Decimales	
	,00394	,1		,2	5,08		,44	11,176
	,00787	,2	13/64	,203125	5,1594		,45	11,430
	,01	,254		,21	5,334	29/64	,453125	11,5094
	,01181	,3	7/32	,21875	5,5562		,46	11,684
1/64	,015625	,3969		,22	5,588	15/32	,46875	11,9062
	,01575	,4		,23	5,842		,47	11,938
	,01969	,5	15/64	,234375	5,9531		,47244	12,0
	,02	,508		,23622	6,0		,48	12,192
	,02362	,6		,24	6,096	31/64	,484375	12,3031
	,02756	,7	1/4	,25	6,35		,49	12,446
	,03	,762		,26	6,604	1/2	,50	12,7
1/32	,03125	,7938	17/64	,265625	6,7469		,51	12,954
	,0315	,8		,27	6,858		,51181	13,0
	,03543	,9		,27559	7,0	33/64	,515625	13,0969
	,03937	1,0		,28	7,112		,52	13,208
	,04	1,016	9/32	,28125	7,1438		,53	13,462
3/64	,046875	1,1906		,29	7,366	17/32	,53125	13,4938
	,05	1,27	19/64	,296875	7,5406		,54	13,716
	,06	1,524		,30	7,62	35/64	,546875	13,8906
1/16	,0625	1,5875		,31	7,874		,55	13,970
	,07	1,778	5/16	,3125	7,9375		,55118	14,0
5/64	,078125	1,9844		,31496	8,0		,56	14,224
	,07874	2,0		,32	8,128	9/16	,5625	14,2875
	,08	2,032	21/64	,328125	8,3344		,57	14,478
	,09	2,286		,33	8,382	37/64	,578125	14,6844
3/32	,09375	2,3812		,34	8,636		,58	14,732
	,1	2,54	11/32	,34375	8,7312		,59	14,986
7/64	,109375	2,7781		,35	8,89		,59055	15,0
	,11	2,794		,35433	9,0	19/32	,59375	15,0812
	,11811	3,0	23/64	,359375	9,1281		,60	15,24
	,12	3,048		,36	9,144	39/64	,609375	15,4781
1/8	,125	3,175		,37	9,398		,61	15,494
	,13	3,302	3/8	,375	9,525		,62	15,748
	,14	3,556		,38	9,652	5/8	,625	15,875
9/64	,140625	3,5719		,39	9,906		,62992	16,0

Continuación de equivalencias adicionales de fracción de pulgada a milímetro...

Pulgadas		Milímetros	Pulgadas		Milímetros	Pulgadas		Milímetros
Fracciones	Decimales		Fracciones	Decimales		Fracciones	Decimales	
	,15	3,810	25/64	,390625	9,9219		,63	16,002
5/32	,15625	3,9688		,39370	10,0		,64	16,256
	,15748	4,0		,40	10,16	41/64	,640625	16,2719
	,16	4,064	13/32	,40625	10,3188		,65	16,510
	,17	4,318		,41	10,414	21/32	,65625	16,6688
11/64	,171875	4,3656		,42	10,668		,66	16,764
	,18	4,572	27/64	,421875	10,7156		,66929	17,0
3/16	,1875	4,7625		,43	10,922		,67	17,018
	,19	4,826		,43307	11,0	43/64	,671875	17,0656
	,19685	5,0	7/16	,4375	11,1125		,68	17,272
11/16	,6875	17,4625	51/64	,796875	20,2406		,90551	23,0
	,69	17,526		,80	20,320	29/32	,90625	23,0188
	,70	17,78		,81	20,574		,91	23,114
45/64	,703125	17,8594	13/16	,8125	20,6375		,92	23,368
	,70866	18,0		,82	20,828	59/64	,921875	23,4156
	,71	18,034		,82677	21,0		,93	23,622
23/32	,71875	18,2562	53/64	,828125	21,0344	15/16	,9375	23,8125
	,72	18,288		,83	21,082		,94	23,876
	,73	18,542		,84	21,336		,94488	24,0
47/64	,734375	18,6531	27/32	,84375	21,4312		,95	24,130
	,74	18,796		,85	21,590	61/64	,953125	24,2094
	,74803	19,0	55/64	,859375	21,8281		,96	24,384
3/4	,75	19,050		,86	21,844	31/32	,96875	24,6062
	,76	19,304		,86614	22,0		,97	24,638
49/64	,765625	19,4469		,87	22,098		,98	24,892
	,77	19,558	7/8	,875	22,225		,98425	25,0
	,78	19,812		,88	22,352	63/64	,984375	25,0031
25/32	,78125	19,8438		,89	22,606		,99	25,146
	,78740	20,0	57/64	,890625	22,6219	1	1,00000	25,4000
	,79	20,066		,90	22,860			

Redondee hacia abajo los valores decimales para obtener el grado de precisión deseado exacto.

15.5 Equivalencias de área

Nota: Utilice el multiplicador en el punto de convergencia de fila y columna.	Metros cuadrados	Pulgadas cuadradas	Pies cuadrados	Millas cuadradas	Kilómetros cuadrados
Metros cuadrados	1	1549,99	10,7639	$3,861 \times 10^{-7}$	1×10^{-6}
Pulgadas cuadradas	0,0006452	1	$6,944 \times 10^{-3}$	$2,491 \times 10^{-10}$	$6,452 \times 10^{-10}$
Pies cuadrados	0,0929	144	1	$3,587 \times 10^{-8}$	$9,29 \times 10^{-8}$
Millas cuadradas	2.589.999	---	27.878.400	1	2,59
Kilómetros cuadrados	1.000.000	---	10.763.867	0,3861	1

1 metro cuadrado = 10.000 centímetros cuadrados.
1 milímetro cuadrado = 0,01 centímetros cuadrados = 0,00155 pulgadas cuadradas

15.6 Equivalencias de volumen

Nota: Utilice el multiplicador en el punto de convergencia de fila y columna.	Decímetros cúbicos (litros)	Pulgadas cúbicas	Pies cúbicos	Cuarto estadounidense	Galón estadounidense	Galón imperial	Barril estadounidense (petróleo)
Decímetros cúbicos (litros)	1	61,0234	0,03531	1,05668	0,264178	0,220083	0,00629
Pulgadas cúbicas	0,01639	1	$5,787 \times 10^{-4}$	0,01732	0,004329	0,003606	0,000103
Pies cúbicos	28,317	1728	1	29,9221	7,48055	6,22888	0,1781
Cuarto estadounidense	0,94636	57,75	0,03342	1	0,25	0,2082	0,00595
Galón estadounidense	3,78543	231	0,13368	4	1	0,833	0,02381
Galón imperial	4,54374	277,274	0,16054	4,80128	1,20032	1	0,02877
Barril estadounidense (petróleo)	158,98	9702	5,6146	168	42	34,973	1

1 metro cúbico = 1.000.000 de centímetros cúbicos.
1 litro = 1000 mililitros = 1000 centímetros cúbicos.

15.7 Equivalencias de índice de volumen

Nota: Utilice el multiplicador en el punto de convergencia de fila y columna.	Litros por minuto	Metros cúbicos por hora	Pies cúbicos por hora	Litros por hora	Galón estadounidense por minuto	Barril estadounidense por día
Litros por minuto	1	0,06	2,1189	60	0,264178	9,057
Metros cúbicos por hora	16,667	1	35,314	1000	4,403	151
Pies cúbicos por hora	0,4719	0,028317	1	28,317	0,1247	4,2746
Litros por hora	0,016667	0,001	0,035314	1	0,004403	0,151
Galón estadounidense por minuto	3,785	0,2273	8,0208	227,3	1	34,28
Barril estadounidense por día	0,1104	0,006624	0,23394	6,624	0,02917	1

15.8 Conversión de masa - Libras a kilogramos

Libras	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Kilogramos									
0	0,00	0,45	0,91	1,36	1,81	2,27	2,72	3,18	3,63	4,08
10	4,54	4,99	5,44	5,90	6,35	6,80	7,26	7,71	8,16	8,62
20	9,07	9,53	9,98	10,43	10,89	11,34	11,79	12,25	12,70	13,15
30	13,61	14,06	14,52	14,97	15,42	15,88	16,33	16,78	17,24	17,69
40	18,14	18,60	19,05	19,50	19,96	20,41	20,87	21,32	21,77	22,23
50	22,68	23,13	23,59	24,04	24,49	24,95	25,40	25,86	26,31	26,76
60	27,22	27,67	28,12	28,58	29,03	29,48	29,94	30,39	30,84	31,30
70	31,75	32,21	32,66	33,11	33,57	34,02	34,47	34,93	35,38	35,83
80	36,29	36,74	37,20	37,65	38,10	38,56	39,01	39,46	39,92	40,37
90	40,82	41,28	41,73	42,18	42,64	43,09	43,55	44,00	44,45	44,91

15.9 Equivalencias de presión

Nota: Utilice el multiplicador en el punto de convergencia de fila y columna.	**Kg. por cm²**	**Lb. por pulg.²**	**Atm.**	**Bar**	**Pulg. de Hg**	**Kilopascales**	**Pulg. de agua**	**Pies de agua**
Kg. por cm²	1	14,22	0,9678	0,98067	28,96	98,067	394,05	32,84
Lb. por pulg.²	0,07031	1	0,06804	0,06895	2,036	6,895	27,7	2,309
Atm.	1,0332	14,696	1	1,01325	29,92	101,325	407,14	33,93
Bar	1,01972	14,5038	0,98692	1	29,53	100	402,156	33,513
Pulg. de Hg	0,03453	0,4912	0,03342	0,033864	1	3,3864	13,61	11,134
Kilopascales	0,0101972	0,145038	0,0098696	0,01	0,2953	1	4,02156	0,33513
Pulg. de agua	0,002538	0,0361	0,002456	0,00249	0,07349	0,249	1	0,0833
Pies de agua	0,03045	0,4332	0,02947	0,029839	0,8819	2,9839	12	1
1 onza/pulg.² = 0,0625 lb/pulg.²								

15.10 Conversión de presión - Libras por pulgada cuadrada a bar

Libras por pulgada cuadrada	0	1	2	3	4
	Bar				
0	0,000000	0,068948	0,137895	0,206843	0,275790
10	0,689476	0,758423	0,827371	0,896318	0,965266
20	1,378951	1,447899	1,516847	1,585794	1,654742
30	2,068427	2,137375	2,206322	2,275270	2,344217
40	2,757903	2,826850	2,895798	2,964746	3,033693
50	3,447379	3,516326	3,585274	3,654221	3,723169
60	4,136854	4,205802	4,274750	4,343697	4,412645
70	4,826330	4,895278	4,964225	5,033173	5,102120
80	5,515806	5,584753	5,653701	5,722649	5,791596
90	6,205282	6,274229	6,343177	6,412124	6,481072
100	6,894757	6,963705	7,032652	7,101600	7,170548

Nota: Para convertir a kilopascales, desplace el punto decimal dos posiciones hacia la derecha. Para convertir a megapascales, desplace el punto decimal una posición a la izquierda. Por ejemplo, 30 psi = 2,068427 bar = 206,8427 kPa = 0,2068427 MPa.
Nota: Redondee hacia abajo los valores decimales para obtener el grado de precisión deseado exacto.

Continuación de conversión de presión - Libras por pulgada cuadrada a bar...

Libras por pulgada cuadrada	5	6	7	8	9
	Bar				
0	0,344738	0,413685	0,482633	0,551581	0,620528
10	1,034214	1,103161	1,172109	1,241056	1,310004
20	1,723689	1,792637	1,861584	1,930532	1,999480
30	2,413165	2,482113	2,551060	2,620008	2,688955
40	3,102641	3,171588	3,240536	3,309484	3,378431
50	3,792117	3,861064	3,930012	3,998959	4,067907
60	4,481592	4,550540	4,619487	4,688435	4,757383
70	5,171068	5,240016	5,308963	5,377911	5,446858
80	5,860544	5,929491	5,998439	6,067386	6,136334
90	6,550019	6,618967	6,687915	6,756862	6,825810
100	7,239495	7,308443	7,377390	7,446338	7,515285

Nota: Para convertir a kilopascales, desplace el punto decimal dos posiciones hacia la derecha. Para convertir a megapascales, desplace el punto decimal una posición a la izquierda. Por ejemplo, 30 psi = 2,068427 bar = 206,8427 kPa = 0,2068427 MPa.
Nota: Redondee hacia abajo los valores decimales para obtener el grado de precisión deseado exacto.

15.11 Formulas de conversión de temperatura

Para convertir desde	A	Sustituya en la fórmula
Grados Celsius	Grados Fahrenheit	(°C x 9/5) + 32
Grados Celsius	Kelvin	(°C + 273,16)
Grados Fahrenheit	Grados Celsius	(°F −32) x 5/9
Grados Fahrenheit	Grados Rankine	(°F + 459,69)

15.12 Conversiones de temperatura

°C	Temp. en °C o °F que convertir	°F	°C	Temp. en °C o °F que convertir	°F	°C	Temp. en °C o °F que convertir	°F
-273,16	-459,69		-90,00	-130	-202,0	-17,8	0	32,0
-267,78	-450		-84,44	-120	-184,0	-16,7	2	35,6
-262,22	-440		-78,89	-110	-166,0	-15,6	4	39,2
-256,67	-430		-73,33	-100	-148,0	-14,4	6	42,8
-251,11	-420		-70,56	-95	-139,0	-13,3	8	46,4
-245,56	-410		-67,78	-90	-130,0	-12,2	10	50,0
-240,00	-400		-65,00	-85	-121,0	-11,1	12	53,6
-234,44	-390		-62,22	-80	-112,0	-10,0	14	57,2
-228,89	-380		-59,45	-75	-103,0	-8,89	16	60,8
-223,33	-370		-56,67	-70	-94,0	-7,78	18	64,4
-217,78	-360		-53,89	-65	-85,0	-6,67	20	68,0
-212,22	-350		-51,11	-60	-76,0	-5,56	22	71,6
-206,67	-340		-48,34	-55	-67,0	-4,44	24	75,2
-201,11	-330		-45,56	-50	-58,0	-3,33	26	78,8
-195,56	-320		-42,78	-45	-49,0	-2,22	28	82,4
-190,00	-310		-40,00	-40	-40,0	-1,11	30	86,0
-184,44	-300		-38,89	-38	-36,4	0	32	89,6
-178,89	-290		-37,78	-36	-32,8	1,11	34	93,2
-173,33	-280		-36,67	-34	-29,2	2,22	36	96,8
-169,53	-273,16	-459,69	-35,56	-32	-25,6	3,33	38	100,4
-168,89	-272	-457,6	-34,44	-30	-22,0	4,44	40	104,0
-167,78	-270	-454,0	-33,33	-28	-18,4	5,56	42	107,6
-162,22	-260	-436,0	-32,22	-26	-14,8	6,67	44	111,2
-156,67	-250	-418,0	-31,11	-24	-11,2	7,78	46	114,8
-151,11	-240	-400,0	-30,00	-22	-7,6	8,89	48	118,4

Continuación de conversiones de temperatura...

°C	Temp. en °C o °F que convertir	°F	°C	Temp. en °C o °F que convertir	°F	°C	Temp. en °C o °F que convertir	°F
-145,56	-230	-382,0	-28,89	-20	-4,0	10,0	50	122,0
-140,00	-220	-364,0	-27,78	-18	-0,4	11,1	52	125,6
-134,44	-210	-346,0	-26,67	-16	3,2	12,2	54	129,2
-128,89	-200	-328,0	-25,56	-14	6,8	13,3	56	132,8
-123,33	-190	-310,0	-24,44	-12	10,4	14,4	58	136,4
-117,78	-180	-292,0	-23,33	-10	14,0	15,6	60	140,0
-112,22	-170	-274,0	-22,22	-8	17,6	16,7	62	143,6
-106,67	-160	-256,0	-21,11	-6	21,2	17,8	64	147,2
-101,11	-150	-238,0	-20,00	-4	24,8	18,9	66	150,8
-95,56	-140	-220,0	-18,89	-2	28,4	20,0	68	154,4
21,1	70	158,0	204,4	400	752,0	454,4	850	1562,0
22,2	72	161,6	210,0	410	770,0	460,0	860	1580,0
23,3	74	165,2	215,6	420	788,0	465,6	870	1598,0
24,4	76	168,8	221,1	430	806,0	471,1	880	1616,0
25,6	78	172,4	226,7	440	824,0	476,7	890	1634,0
26,7	80	176,0	232,2	450	842,0	482,2	900	1652,0
27,8	82	179,6	237,8	460	860,0	487,8	910	1670,0
28,9	84	183,2	243,3	470	878,0	493,3	920	1688,0
30,0	86	186,8	248,9	480	896,0	498,9	930	1706,0
31,1	88	190,4	254,4	490	914,0	504,4	940	1724,0
32,2	90	194,0	260,0	500	932,0	510,0	950	1742,0
33,3	92	197,6	265,6	510	950,0	515,6	960	1760,0
34,4	94	201,2	271,1	520	968,0	521,1	970	1778,0
35,6	96	204,8	276,7	530	986,0	526,7	980	1796,0
36,7	98	208,4	282,2	540	1004,0	532,2	990	1814,0
37,8	100	212,0	287,8	550	1022,0	537,8	1000	1832,0
43,3	110	230,0	293,3	560	1040,0	543,3	1010	1850,0
48,9	120	248,0	298,9	570	1058,0	548,9	1020	1868,0
54,4	130	266,0	304,4	580	1076,0	554,4	1030	1886,0
60,0	140	284,0	310,0	590	1094,0	560,0	1040	1904,0
65,6	150	302,0	315,6	600	1112,0	565,6	1050	1922,0
71,1	160	320,0	321,1	610	1130,0	571,1	1060	1940,0
76,7	170	338,0	326,7	620	1148,0	576,7	1070	1958,0
82,2	180	356,0	332,2	630	1166,0	582,2	1080	1976,0
87,8	190	374,0	337,8	640	1184,0	587,8	1090	1994,0

Continuación de conversiones de temperatura...

°C	Temp. en °C o °F que convertir	°F	°C	Temp. en °C o °F que convertir	°F	°C	Temp. en °C o °F que convertir	°F
93,3	200	392,0	343,3	650	1202,0	593,3	1100	2012,0
98,9	210	410,0	348,9	660	1220,0	598,9	1110	2030,0
104,4	220	428,0	354,4	670	1238,0	604,4	1120	2048,0
110,0	230	446,0	360,0	680	1256,0	610,0	1130	2066,0
115,6	240	464,0	365,6	690	1274,0	615,6	1140	2084,0
121,1	250	482,0	371,1	700	1292,0	621,1	1150	2102,0
126,7	260	500,0	376,7	710	1310,0	626,7	1160	2120,0
132,2	270	518,0	382,2	720	1328,0	632,2	1170	2138,0
137,8	280	536,0	387,8	730	1346,0	637,8	1180	2156,0
143,3	290	554,0	393,3	740	1364,0	643,3	1190	2174,0
148,9	300	572,0	398,9	750	1382,0	648,9	1200	2192,0
154,4	310	590,0	404,4	760	1400,0	654,4	1210	2210,0
160,0	320	608,0	410,0	770	1418,0	660,0	1220	2228,0
165,6	330	626,0	415,6	780	1436,0	665,6	1230	2246,0
171,1	340	644,0	421,1	790	1454,0	671,1	1240	2264,0
176,7	350	662,0	426,7	800	1472,0	676,7	1250	2282,0
182,2	360	680,0	432,2	810	1490,0	682,2	1260	2300,0
187,8	370	698,0	437,8	820	1508,0	687,8	1270	2318,0
193,3	380	716,0	443,3	830	1526,0	693,3	1280	2336,0
198,9	390	734,0	448,9	840	1544,0	698,9	1290	2354,0
704,4	1300	2372,0	760,0	1400	2552,0	815,6	1500	2732,0
710,0	1310	2390,0	765,6	1410	2570,0			
715,6	1320	2408,0	771,1	1420	2588,0			
721,1	1330	2426,0	776,7	1430	2606,0			
726,7	1340	2444,0	782,2	1440	2624,0			
732,2	1350	2462,0	787,0	1450	2642,0			
737,8	1360	2480,0	793,3	1460	2660,0			
743,3	1370	2498,0	798,9	1470	2678,0			
748,9	1380	2516,0	804,4	1480	2696,0			
754,4	1390	2534,0	810,0	1490	2714,0			

15.13 Tablas de gravedad API y Baumé y factores de peso

Gravedad API	Gravedad Baumé	Gravedad específica	Lb/gravedad estadounidense	Gal. estadounidense/lb	Gravedad API	Gravedad Baumé	Gravedad específica	Lb/gravedad estadounidense	Gal. estadounidense/lb
0	10,247	1,0760	8,962	0,1116	**31**	30,78	0,8708	7,251	0,1379
1	9,223	1,0679	8,895	0,1124					
2	8,198	1,0599	8,828	0,1133	**32**	31,77	0,8654	7,206	0,1388
3	7,173	1,0520	8,762	0,1141	**33**	32,76	0,8602	7,163	0,1396
4	6,148	1,0443	8,698	0,1150	**34**	33,75	0,8550	7,119	0,1405
5	5,124	1,0366	8,634	0,1158	**35**	34,73	0,8498	7,076	0,1413
6	4,099	1,0291	8,571	0,1167	**36**	35,72	0,8448	7,034	0,1422
7	3,074	1,0217	8,509	0,1175	**37**	36,71	0,8398	6,993	0,1430
8	2,049	1,0143	8,448	0,1184	**38**	37,70	0,8348	6,951	0,1439
9	1,025	1,0071	8,388	0,1192	**39**	38,69	0,8299	6,910	0,1447
10	10,00	1,0000	8,328	0,1201	**40**	39,68	0,8251	6,870	0,1456
11	10,99	0,9930	8,270	0,1209	**41**	40,67	0,8203	6,830	0,1464
12	11,98	0,9861	8,212	0,1218	**42**	41,66	0,8155	6,790	0,1473
13	12,97	0,9792	8,155	0,1226	**43**	42,65	0,8109	6,752	0,1481
14	13,96	0,9725	8,099	0,1235	**44**	43,64	0,8063	6,713	0,1490
15	14,95	0,9659	8,044	0,1243	**45**	44,63	0,8017	6,675	0,1498
16	15,94	0,9593	7,989	0,1252	**46**	45,62	0,7972	6,637	0,1507
17	16,93	0,9529	7,935	0,1260	**47**	50,61	0,7927	6,600	0,1515
18	17,92	0,9465	7,882	0,1269	**48**	50,60	0,7883	6,563	0,1524
19	18,90	0,9402	7,830	0,1277	**49**	50,59	0,7839	6,526	0,1532
20	19,89	0,9340	7,778	0,1286	**50**	50,58	0,7796	6,490	0,1541
21	20,88	0,9279	7,727	0,1294	**51**	50,57	0,7753	6,455	0,1549
22	21,87	0,9218	7,676	0,1303	**52**	51,55	0,7711	6,420	0,1558
23	22,86	0,9159	7,627	0,1311	**53**	52,54	0,7669	6,385	0,1566
24	23,85	0,9100	7,578	0,1320	**54**	53,53	0,7628	6,350	0,1575
25	24,84	0,9042	7,529	0,1328	**55**	54,52	0,7587	6,316	0,1583
26	25,83	0,8984	7,481	0,1337	**56**	55,51	0,7547	6,283	0,1592
27	26,82	0,8927	7,434	0,1345	**57**	56,50	0,7507	6,249	0,1600
28	27,81	0,8871	7,387	0,1354	**58**	57,49	0,7467	6,216	0,1609
29	28,80	0,8816	7,341	0,1362	**59**	58,48	0,7428	6,184	0,1617
30	29,79	0,8762	7,296	0,1371	**60**	59,47	0,7389	6,151	0,1626

Continuación de tablas de gravedad API y Baumé y factores de peso...

Gravedad API	Gravedad Baumé	Gravedad específica	Lb/gravedad estadounidense	Gal. estadounidense/lb	Gravedad API	Gravedad Baumé	Gravedad específica	Lb/gravedad estadounidense	Gal. estadounidense/lb
61	60,46	0,7351	6,119	0,1634	**81**	80,25	0,6659	5,542	0,1804
62	61,45	0,7313	6,087	0,1643	**82**	81,24	0,6628	5,516	0,1813
63	62,44	0,7275	6,056	0,1651	**83**	82,23	0,6597	5,491	0,1821
64	63,43	0,7238	6,025	0,1660	**84**	83,22	0,6566	5,465	0,1830
65	64,42	0,7201	5,994	0,1668	**85**	84,20	0,6536	5,440	0,1838
66	65,41	0,7165	5,964	0,1677	**86**	85,19	0,6506	5,415	0,1847
67	66,40	0,7128	5,934	0,1685	**87**	86,18	0,6476	5,390	0,1855
68	67,39	0,7093	5,904	0,1694	**88**	87,17	0,6446	5,365	0,1864
69	68,37	0,7057	5,874	0,1702	**89**	88,16	0,6417	5,341	0,1872
70	69,36	0,7022	5,845	0,1711	**90**	89,15	0,6388	5,316	0,1881
71	70,35	0,6988	5,817	0,1719	**91**	90,14	0,6360	5,293	0,1889
72	71,34	0,6953	5,788	0,1728	**92**	91,13	0,6331	5,269	0,1898
73	72,33	0,6919	5,759	0,1736	**93**	92,12	0,6303	5,246	0,1906
74	73,32	0,6886	5,731	0,1745	**94**	93,11	0,6275	5,222	0,1915
75	74,31	0,6852	5,703	0,1753	**95**	94,10	0,6247	5,199	0,1924
76	75,30	0,6819	5,676	0,1762	**96**	95,09	0,6220	5,176	0,1932
77	76,29	0,6787	5,649	0,1770	**97**	96,08	0,6193	5,154	0,1940
78	77,28	0,6754	5,622	0,1779	**98**	97,07	0,6166	5,131	0,1949
79	78,27	0,6722	5,595	0,1787	**99**	98,06	0,6139	5,109	0,1957
80	79,26	0,6690	5,568	0,1796	**100**	99,05	0,6112	5,086	0,1966

La relación entre grados Baumé o API con la gravedad específica se expresa con las fórmulas siguientes:

- Para líquidos más ligeros que el agua:

$$\text{Grados Baumé} = \frac{140}{G} - 130 \quad , \qquad G = \frac{140}{130 + \text{grados Baumé}}$$

$$\text{Grados API} = \frac{141{,}5}{G} - 131{,}5 \quad , \qquad G = \frac{141{,}5}{131.5 + \text{grados API}}$$

- Para líquidos más pesados que el agua:

$$\text{Grados Baumé} = 145 - \frac{145}{G} \quad , \qquad G = \frac{145}{145 - \text{grados Baumé}}$$

G = gravedad específica = relación del peso de un volumen dado de petróleo a 15,5 °C (60 °F) con el peso del mismo volumen de agua a 15,5 °C (60 °F).

Las tablas anteriores se basan en el peso de 1 galón (EE.UU.) de petróleo con un volumen de 231 pulgadas cúbicas a 15,5 °C (60 °F) con una presión atmosférica de 760 mm y una humedad del 50%. Se asume que un peso de 1 galón de agua a 15,5 °C (60 °F) en aire es de 8,32828 libras.

Para determinar la gravedad resultante de una mezcla de petróleos de distinta gravedad:

- $D = \frac{md_1 + nd_2}{m + n}$
- D = Densidad o gravedad específica de la mezcla
- m = Proporción de petróleo con una densidad d_1
- n = Proporción de petróleo con una densidad d_2
- d_1 = Gravedad específica del petróleo m
- d_2 = Gravedad específica del petróleo n ■

15.14 Otras conversiones útiles

Para convertir desde	A	Sustituya en la fórmula
Pie³ (metano)	BTU	1000 (aprox.)
Pie³ de agua	Libras de agua	62,4
Grados	Radianes	0,01745
Galones	Libras de agua	8,336
Gramos	Onzas	0,0352
Caballos de potencia (mec.)	Pie-lb por min.	33.000
Caballos de potencia (eléc.)	Vatios	746
kg	Libras	2,205
Kg por metro³	Lb por pie³	0,06243
Kilovatios	Caballos de potencia	1,341
Libras	kg	0,4536
Lb de aire (a 14,7 psia y 60 °F)	Pie³ de aire	13,1
Lb por pie³	Kg por metro³	16,0184
Lb por hora (gas)	Pie³ est. por hora	13,1/gravedad específica
Lb por hora (agua)	Gal por min.	0,002
Lb por seg. (gas)	Pie³ est. por hora	41793/gravedad específica
Radianes	Grados	57,3
SCFH de aire	SCFH de propano	0,81
SCFH de aire	SCFH de butano	0,71
SCFH de aire	SCFH de gas natural a 0,6	1,29
SCFH	Metros³ por hora	0,028317

15.15 Prefijos y sufijos métricos

Factor de multiplicación	Prefijo	Símbolo
1 000 000 000 000 000 000 = 10^{18}	exa	E
1 000 000 000 000 000 = 10^{15}	peta	P
1 000 000 000 000 = 10^{12}	tera	T
1 000 000 000 = 10^{9}	giga	G
1 000 000 = 10^{6}	mega	M
1 000 = 10^{3}	kilo	k
100 = 10^{2}	hecto	h
10 = 10^{1}	deca	da
0,1 = 10^{-1}	deci	d
0,01 = 10^{-2}	centi	c
0,001 = 10^{-3}	mili	m
0,000 001 = 10^{-6}	micro	µ
0,000 000 001 = 10^{-9}	nano	n
0,000 000 000 001 = 10^{-12}	pico	p
0,000 000 000 000 001 = 10^{-15}	femto	f
0,000 000 000 000 000 001 = 10^{-18}	atto	a

Índice

*Los números de página en negrita indican tablas. Los números de página en cursiva indican imágenes y esquemas.

A

abreviaturas de material no metálico **135**

accesorio 25

acción doble *Vedere* actuador

actuador 26, 71, *83*, *85*
- acción directa 17, *18*, *71*
- acción doble 23
- acción inversa 19, *20*
- acción sencilla *79*
- bastidor y piñón 73
- cálculos de fuerza 114
- conjunto 26
- diafragma 71, *72*
- dimensionamiento 111
  - válvula de globo 111
  - válvula rotativa 114
- eléctrico 73
- mantenimiento 165
- manual 72, *73*
- nivel 21
- pistón 19, 72, 166
- resorte 16
- resorte y diafragma *164*, 165
- vástago 16
  - extensión 16
  - fuerza 16

actuador de acción directa *Vedere* actuador

actuador de acción inversa 19, *20*, *71*

actuador de bastidor y piñón 73

actuador eléctrico *Vedere* actuador

actuador electrohidráulico *Vedere* actuador

agrietamiento por tensiones en presencia de sulfuro 143

ajuste de banco 23, 167
- fuerza de asiento *167*

American National Standards Institute (ANSI) (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares) 26

American Petroleum Institute (API) (Instituto Estadounidense del Petróleo) 26, 169
- factores de gravedad y peso 299, 300

American Society for Testing and Materials (ASTM) (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales) 26

American Society of Mechanical Engineers (ASME) (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos) 26, 169

amplificador *Vedere* amplificador de volumen

amplificador de volumen 31, 78, *79*

anillo de retención 19

ANSI *Vedere* American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares)

antideflagrante 181

apertura rápida *Vedere* característica de flujo

a prueba de fallos 24

área efectiva 24

asiento 19
- anillo 20
  - mantenimiento 166
  - sustitución 166
- carga 19, *112*
  - fuerza 112, *167*
  - recomendado **112**
- fuga 25
  - clasificación **95**

permitido **96**
resorte 20

ASME *Vedere* American Society for Mechanical Engineers (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos)

ASTM *Vedere* American Society for Testing and Materials (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales)

atemperación 147, *148*

atemperador 155

atemperador de tipo anillo *155*

atemperador de vapor 155

atemperadores
asistido por vapor *152*
atomización por vapor 151, *152*
boquilla de geometría fija 150
boquilla de geometría variable 151, *154*
diseño 150
diseño autónomo 151
estilo inserción 147
instalación *147*
penetración de pulverización *149*

B

banda muerta 26, 35, 36

bola
completa 21
muesca en V 22, *55*, **115**
segmentada 21, 55
válvula 57, *123*, 194

bola con muesca en V *Vedere* válvula

bola segmentada *Vedere* válvula

bonete 16, 59
conjunto 16, *17*
extensión 18, 60, *141*
junta de fuelle 16, *17*, 61

bonete con fuelle de estanqueidad *Vedere* bonete

bonete de extensión *Vedere* bonete

boquilla *Vedere* atemperadores

boquilla de geometría fija *Vedere* atemperadores

brida 275, **277**, **278**
base 17
con junta atornillada 58
separable 20

brida inferior 17

brida separable 20, **93**

bucle 26, 29, *96*, *147*, *152*
abierto 29
cerrado 26, *47*
ganancia 29

bucle abierto 29

bucle cerrado *Vedere* bucle

bucle de prueba de rendimiento *34*

buje 17, 19

bypass de turbina
actuación 157
componentes 156
sistema 155
válvula 156

C

caída de presión
dimensionamiento permitido 101
factor de relación 105

caída de presión con el dimensionamiento permitido *Vedere* caída de presión

cálculo de Cv 101, 105

calibración
ciclo 26
curva 26

calidad del aire, instrumento
Vedere instrumento
calificación
carrera *25*
coeficiente de flujo *25*
calificación del envolvente 183, **185**
capacidad 23, 26
característica *Vedere* característica de flujo
característica de flujo 24
apertura rápida 30
igual porcentaje 27
inherente 24, 28
instalada 24, 29
lineal 29
parabólico modificado 24
personalizada 142
respuesta de frecuencia 27
selección de 97
características personalizadas 142
caracterización 42, 69
carcasa, diafragma *Vedere* diafragma
carrera 31, 167
calificación 25
desviación 163
indicador 31
caudal máximo *Vedere* caudal
cavitación 116, 118, 121, 142
estrangulamiento de flujo 116
selección de válvula 118
CEN *Vedere* European Committee for Standardization (Comité Europeo de Normalización)
certificaciones ATEX 180
cierre por fallo 24
cilindro *Vedere* pistón
claro de flujo 23
clasificación para zonas peligrosas 172
grupos de equipo 174
homologaciones y definiciones 172
sistema de clase y división 172
sistema de zona 173
subgrupos de equipo 174
coeficiente de flujo (Cv) 24
cálculo 101, 105
calificación 25
relativo 25
coeficiente de flujo relativo 25
coeficientes, dimensionamiento
Vedere dimensionamiento
cojinete de extremo de biela 22
comunicación digital bidireccional
Vedere posicionador
conexión de extremo de soldadura *58*, *59*
conexión del conducto 267
conexiones finales 57
bridas con junta atornillada 58
otros 59
roscas de conducto atornillado 57
soldado 58, *59*
constante de tiempo 31
constantes de ecuación 99
control
bucle 15, 26, *96*, *147*, *152*
rango 26, *44*
sistema 26
controlador de válvula digital 77, *80*, *211*, 220
comunicación digital bidireccional 78
diagnósticos 77
conversión
masa 294
otros **301**
presión 295

temperatura **296**

conversiones

masa **294**

otros **301**

presión **295**

temperatura **296**, **297**

cuerpo de la válvula *Vedere* válvula

cuerpo de válvula de barra sólida *52*

cuerpo superior de la válvula *Vedere* válvula

D

datos de ingeniería 224

datos del conducto 266

datos OREDA *219*

desbalance **111**

dinámico 23

estático 20

fuerza 111

desconexión

sistema 84

válvula *84*

diafragma 17

actuador 17, 71, 72, *164*

carcasa 17

intervalo de medida de presión 23

placa 17

rango de presión inherente 24

rango de presión instalado 24

válvula *Vedere* válvula

diagnósticos *Vedere* posicionador

Diagrama de Bode 26

difusor

en línea *121*

orificio de ventilación *121*

difusor de ventilación *121*

difusor en línea *121*

dimensionamiento 31, 46, 86, 97

abreviaturas y terminología **98**

actuadores

para válvulas de globo 111

para válvulas rotativas 114

coeficientes para válvulas de globo **109**

coeficientes para válvulas de rotativas **110**

válvulas

para fluidos compresibles 104

para líquidos 100

dimensionamiento de actuador giratorio 114

dimensionamiento de válvula 97

para fluidos compresibles 104

para líquidos 100

dinámico

desbalance 23

par *Vedere* par

tiempo 39

disco *Vedere* válvula

disco convencional *Vedere* disco

disco excéntrico *Vedere* válvula

diseño del actuador y posicionador 37

diseño de posicionador de I/P analógica *Vedere* posicionador

Diseño empujar hacia abajo para abrir (PDTO) 25

diseño empujar hacia abajo para cerrar (PDTC) 25

dureza 28

E

electroválvula 83, 210, 211, *212*

elemento de cierre 17, 26

guía 17

elemento final de control 27, 217, 222

elemento operativo 29

emisiones fugitivas 62, 63

empaquetadura *19*, 29, *62*

- Anillo PTFE en V 62, 65
- caja (conjunto) 18
- cinta de grafito 67
- ENVIRO-SEAL dúplex *66*, 67
- ENVIRO-SEAL grafito *66*, 67
- ENVIRO-SEAL PTFE 65, *66*
- filamento de grafito y laminado 62
- fricción 112, **113**
- Grafito HIGH-SEAL ULF 67
- ISO-Seal grafito 67
- ISO-Seal PTFE 67
- selección 124
  - para válvulas de vástago deslizante 67, **68**, **125**, **126**
  - para válvulas rotativas **68**, 69, **126**, **127**
- válvula de control 61
- vástago 166

empaquetadura de grafito *Vedere* empaquetadura

entalpía 27, **240**, 241, 242, 243, 244, **245**, **246**, 247

entropía 27, **240**, **241**, **242**, **243**, **244**, **245**, **246**, **247**

Equipment Protection Level (EPL) (grado de protección de equipos) 177, *178*

equipo eléctrico *Vedere* protección

equipo no eléctrico *Vedere* protección

equivalencias

- fracción de pulgada a milímetro **290**, **291**, **292**
- índice de volumen **293**
- longitud **289**
- presión **294**
- pulgada entera a milímetro **289**
- volumen **293**
- zona **293**

equivalencias de índice de volumen 293

equivalencias de longitud *Vedere* equivalencias

equivalencias de volumen 293

error cero 31

estándares 168

- bridas de acero de fundición **280**
- Bridas europeas 170
- emisiones fugitivas 63
- Materiales europeos 170
- seguridad 217
- válvula de control 169
- Válvulas industriales europeas 169

Estándares europeos de brida 170

Estándares europeos de material 170

Estándares europeos de válvulas industriales 169

estático

- desbalance 20
- fricción 31
- ganancia 28

estilo inserción *Vedere* atemperadores

estilo jaula

- cuerpo de la válvula 52
- internos *53*

European Committee for Standardization (CEN) (European Committee for Standardization (Comité Europeo de Normalización) 169

F

factor de corrección por geometría de la cañería 100, 105

falla abre 24

fallo

detección 162

discriminación 162

FCI *Vedere* Fluid Controls Institute (Instituto de Control de Fluidos)

flecha 23

wind-up 30

fluctuación 28

Fluid Controls Institute (FCI) (Instituto de Control de Fluidos) 27, **65**, 170

flujo estándar 23

flujo inverso 22

fricción 27, 36, 112, 113, **126**, **127**, 164

fuga de aire, instrumento *Vedere* instrumento

G

ganancia **28**, *42*

bucle **29**, **44**

proceso **30**

válvula inherente **28**

válvula instalada **29**, **43**

ganancia fija *Vedere* posicionador

giro máximo 115

Grados de protección (IP) contra ingreso **185**

gravedad Baumé y API y factores del peso *Vedere* American Petroleum Institute (Instituto Estadounidense del Petróleo)

guardapolvos 19

guiado del obturador de la válvula 70

guiado de jaula 70

guiado del vástago 70

guiado de puerto 70

guiado superior 70

guiado superior e inferior 70

guiado de obturador *Vedere* guiado del obturador de la válvula

H

Hidrocarburos, constantes físicas de **234**, **235**, **236**, **237**

HIPPS (high integrity pressure protection system, sistema de protección de presión de alta integridad) 221, *222*

histéresis 28

holgura 26

homologación *Vedere* estándares

I

IEC *Vedere* International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional)

igual porcentaje *Vedere* característica de flujo

incombustible 175, 176, 181

inherente

característica 28, *142*

característica de flujo 24

ganancia de válvula 28

rango de presión del diafragma 24

instalación

amplificador de volumen *79*

técnicas 159

instalada

característica 24, *42*

ganancia de válvula 29, 43

rango de presión del diafragma 24

instrumento

calidad del aire 164

fuga de aire 163

presión 29

Instrument Society of America (ISA) (Sociedad Estadounidense de Instrumentación) 29, 170

International Electrotechnical Commission (IEC) (Comisión Electrotécnica Internacional) 171, **180**

valores nominales del envolvente 183

internos 20, 31, *53*, *120*

asiento suave 20

capacidad limitada 70

consideraciones de mejora 165

mitigación de la cavitación 142

para lavado, hidro, o puestas en servicio 161

reducción de ruido 142

internos de capacidad limitada 70

internos de puesta en servicio *Vedere* internos

internos hidráulicos *Vedere* internos

interruptores de fin de carrera 83

intervalo de medida 31

I/P (corriente a neumático) 29, 76, *77*

transductor 78

ISA *Vedere* Instrument Society of America (Sociedad Estadounidense de Instrumentación)

J

jaula 17, 70

apertura rápida *17*

caracterizada *68*, 69

igual porcentaje *17*

lineal *17*

reducción de ruido 123

jaula caracterizada *Vedere* jaula

junta

anillo 22

buje 19

cierre de cilindro 17

deslizante 23

junta deslizante 23

L

lavado 161

límites de funcionamiento 29

lineal

característica 29

jaula *17*, *68*

linealidad 29

M

mantenimiento

actuador 165

predictivo 162, *163*

preventivo 162

reactividad 162

válvula de control 161

mantenimiento predictivo 162, *163*

mantenimiento preventivo 162

mantenimiento reactivo *162*

manual

actuador *Vedere* actuador

operador *Vedere* volante

Manufacturers Standardization Society (MSS) (Sociedad de Fabricantes para la Normalización) 171

materiales

abreviaturas de no metálico **135**

cuerpo de la válvula 127, **232**, **233**

designaciones 129

dureza 28

empaquetadura *62*

especificaciones 225

medidas *Vedere* superficie a superficie

medidas de superficie a línea central

superficie elevada, válvulas de ángulo estilo globo **92**

medidas de superficie a superficie

bridadas, válvulas de estilo globo **88**, **90**

brida separable, válvulas de estilo globo 93

extremo atornillado, válvulas de estilo globo **92**

extremo con soldadura por enchufe, válvulas de estilo globo **91**, **92**

extremo de soldadura a tope, válvulas de estilo globo **90**, **91**

válvulas de mariposa de alta presión con diseño excéntrico **94**

válvulas de mariposa de brida sencilla y sin brida **94**

válvulas rotativas con y sin brida **93**

Medidas estadounidenses de brida de conductos 275

diámetro de la brida 277

diámetro de los círculos de perno 275

grosor de brida para racores de brida 278, 279

número de prisioneros y diámetro 276

monitor de posición inalámbrico *83*

montada sobre muñón 23

N

National Association of Corrosion Engineers (NACE International) (Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión) 29, 172

NACE MR0103 145

NACE MR0175 144

Revisiones anteriores a 2003 de NACE MR0175 144

National Electrical Manufacturer's Association (NEMA) (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos)

calificación del envolvente 183

O

oblea **94**, *195*

asistido por geometría 152

obstrucción 31

obturador de válvula caracterizada 69

obturador excéntrico *Vedere* válvula

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional) 29

P

par

arranque 114

dinámico 114

ecuaciones 114

factores para válvulas de rotativas **115**

parabólico modificado *Vedere* característica de flujo

penetración de pulverización *149*

perno, apriete *160*

piezas

Fabricante de equipos originales (OEM) 165

repuestos recomendados 165

servicio y reparación 165

piezas OEM *Vedere* piezas

pistón 19

acción doble *72*

actuador 19, 72

cilindro 17

junta de cierre de cilindro 17

mantenimiento 166

posicionador 30, 75

controlador de válvula digital 77

diseño 37, *76*

I/P analógica 76, *77*

neumático 75

posicionador basado en microprocesador *Vedere* posicionador

posicionador de acción sencilla *76*, *77*

posicionador neumático *Vedere* posicionador

posiciones de dos etapas *Vedere* posicionador

prácticas de cableado 179

predicción de ruido hidrodinámico *Vedere* ruido

prefijos y sufijos métricos **302**

presión

cargando 18, 29

conversión **295**

equivalencias **294**

instrumento 29

intervalo de medida 23

rango 24

suministro 31, 163

presión de carga *Vedere* presión

presión de suministro 31, 40, 163

primer orden 27

procedimientos de prueba no destructivos 135

evaluación (superficie) de partícula magnética 135

evaluación (superficie) de penetración de líquidos 136

evaluación (volumétrica) radiográfica 136

evaluación (volumétrica) ultrasónica 136

proceso

control 25

ganancia 30

optimización 45

recuperación 162

variabilidad 30, 33

programa de diagnóstico no intrusivo *163*

propiedades de

agua **247**, **248**

componentes bajo presión 232

líquido y vapor saturado **240**, **241**, **242**, **243**, **244**, **245**, **246**, **247**

vapor saturado **248**, **249**, **250**, **251**, **252**, **253**, **254**, **255**, **256**, **257**

vapor sobrecalentado **257**, **258**, **259**, **260**, **261**, **262**, **263**, **264**, **265**

propiedades del vapor saturado **248**, **249**, **250**, **251**, **252**, **253**, **254**, **255**, **256**, **257**

propiedades del vapor sobrecalentado **257**, **258**, **259**, **260**, **261**, **262**, **263**, **264**, **265**

protección 159, 175

Equipment Protection Level (EPL) (grado de protección de equipos) 177

equipo eléctrico 175

equipo no eléctrico 176

niveles de 177

técnicas y métodos 180

prueba

bucle de rendimiento *34*

métodos en línea 220

no destructivo 135

recorrido parcial 80, 219, 220

técnicas 219

requisitos de prueba de SIS 221

prueba de recorrido parcial 80, 219, 220

puerto 19

punto de ajuste 30

R

rangeabilidad 25

rango 24, 26, 30, *44*

rango dividido 31
realimentación
bucle de control *15*, *96*
señal 27
refrigerante 717 (amoniaco) **240**, **241**, **242**, **243**, **244**, **245**, **246**, **247**
relación calorífica específica 237
relé 30
ajuste 163
repetibilidad 30
repuestos 165
resolución 30
resorte
ajustador 20
asiento 20
calificación 25
resorte y diafragma *Vedere* actuador
respuesta
tiempo 38
respuesta de frecuencia *Vedere* característica de flujo
rociador de vapor 155
roscas de conducto, atornillado *Vedere* conexión final
ruido
atenuación *139*
control 120
predicción 118
aerodinámico 118, *120*
hidrodinámico 120, *123*
reducción 142
resumen 123

S

Safety Integrity Level (SIL, nivel de integridad de seguridad) 217, 222
segundo orden 30
seguridad intrínseca 175
técnica 181
selección
características de flujo 97
empaquetadura *Vedere* empaquetadura
válvula de control 88
válvulas para servicio de cavitación 118
válvulas para servicio de vaporización 117
señal 31
realimentación 27
secuenciación por amplitud (control de rango dividido) 31
sensibilidad 30
sensor 30, 216, 221
servicio nuclear *Vedere* válvula
silenciador 123
sistema de control automático 26
sistema de zona 173, *178*, 179
Sistema Instrumentado de Seguridad (SIS) 80, 214, 216
certificado de producto y función de seguridad 80
elemento final de control 217
estándares 217
prueba de recorrido parcial 80
sensores 216
solucionador lógico 216

T

T63 31
técnica no inflamable (o de Tipo N) 182
temperatura
código 178
conversión **296**, **297**
fórmulas de conversión **296**

tiempo de respuesta 30, **39**, 41
tiempo muerto 27, 38, 41
transductor, I/P *Vedere* I/P
transmisor de posición 83

U

Unión Europea (UE) - Directiva ATEX 2014/34/EU 179

V

validación 162
valores nominales de presión-temperatura **130**, **131**, **132**, **133**, **134**
válvula 31
accesorios 74
acondicionamiento de vapor 153
aguja *190*
almacenamiento 159
alta capacidad 139
alta temperatura 140
ángulo 16
áreas de desbalance 111
barra sólida *52*
bola 55, 57, *160*, 194
bola con muesca en V 22, 55, **115**
bola de puerto completo 57
bonete *Vedere* bonete
bypass 156, 192
bypass de turbina 156
carrera 31, 167
compuerta 187, *188*
conexión final *Vedere* conexión final
conjunto 26
criogénico 141
cuerpo 20, 21
capacidad 26
desconexión *84*
diafragma 193
tipo paso recto *193*
tipo vertedero *193*
dimensionamiento 31
disco convencional 22, *190*
disco excéntrico 22
electroválvula 83, 211, *212*
empaquetadura *Vedere* empaquetadura
especial 121, 138, *140*
estándares *Vedere* estándares
estilo *44*, 51
estilo jaula 52
excéntrica 18
flujo bajo 140
ganancia 28, 29, 43
inherente 28
instalada 29
globo *Vedere* válvula de globo
guiado por poste y puerto 52
mantenimiento 158, 161
mariposa 54, **94**, 194, *195*
alto rendimiento 55, *56*, **115**
materiales *Vedere* materiales
multipuerto 57, *195*
normalmente abierta 25
normalmente cerrada 25
nuclear 142
obturador 21
caracterizada 69
obturador excéntrico 22, 56
pinzamiento 193
protección 159, 175, 177
puerto doble 53
puerto único 51 *Vedere* válvula de globo
recuperación alta 24
recuperación baja 24
rendimiento 32, 36, 318

retención 191, *192*, *203*, *204*, **205**, **206**, **207**, **208**, **209**

retención de charnela *Vedere* válvula: retención

rotativo 22

sanitario 54

selección 117, 118

sin brida 22

técnicas de instalación 159

terminología de funciones y características 23

tiempo de respuesta 38, **39**

tipo 42, 187

tres vías 53

vástago 21, *166*

vástago deslizante 15, *16*, *73*, **125**

válvula con guiado por poste *Vedere* válvula

válvula con guiado por puerto *Vedere* válvula de globo

válvula de acondicionamiento de vapor 153, *154*

válvula de aguja *Vedere* válvula

válvula de alta capacidad *Vedere* válvula

válvula de alta presión *Vedere* válvula

válvula de alta temperatura *Vedere* válvula

válvula de ángulo *Vedere* válvula

válvula de cierre (SOV) *Vedere* válvula

válvula de compuerta *Vedere* válvula

válvula de control *Vedere* válvula

válvula de derivación *Vedere* válvula

válvula de globo 18, 51, 111, 188, *189*, *190*, **197**, **209**

estilo jaula 52, *53*

guiado por poste y puerto 52

puerto doble 53

puerto único 51

tres vías *18*, 53, *54*

válvula de mariposa *Vedere* válvula

válvula de pinzamiento *Vedere* válvula

válvula de puerto doble *Vedere* válvula

válvula de puerto único *Vedere* válvula

válvula de recuperación alta *Vedere* válvula

válvula de recuperación baja *Vedere* válvula

válvula de retención *Vedere* válvula

válvula de retención de charnela *Vedere* válvula

válvula de tres vías *Vedere* válvula

válvula excéntrica *Vedere* válvula

válvula normalmente abierta *Vedere* falla abre

válvula normalmente cerrada *Vedere* falla cierra

válvula para servicio criogénico *Vedere* válvula

válvula rotativa *Vedere* válvula

válvulas de caudal bajo *Vedere* válvula

válvula sin brida *Vedere* válvula

vaporización 116, *117*

causas del estrangulamiento de flujo 116

selección de válvula 117

vástago

conector 20

empaquetadura

mantenimiento 166

vástago deslizante

empaquetadura *Vedere* empaquetadura

válvula *Vedere* válvula

vena contracta 25, *116*

volante 84

montaje lateral *85*

montaje superior *85*

volante de montaje lateral *Vedere* volante

volante de montaje superior
Vedere volante

Y

yugo 21, *72*

Apéndice

Recursos Adicionales

Documentación de referencia

Descripciones y mejores prácticas del sector para conjuntos de válvula de control.

Documentación técnica

Especificaciones detalladas para válvulas, actuadores e instrumentos.

Documentos técnicos

Experiencia en el sector y aplicaciones de control de procesos.

Otros