

**ANTONIO CAMPO LÓPEZ**

**VÁLVULAS DE CONTROL**  
**Selección y cálculo**



## ACERCA DEL AUTOR

A

ANTONIO CAMPO López es Ingeniero Técnico Industrial en Electrónica. Comenzó sus actividades en el área de la electricidad y posteriormente en la refinería de Río Gulf, en Huelva-España. Después, en la puesta en marcha y primeros años de la refinería de Petronor, como Jefe de Sección.

Posteriormente, y durante más de 39 años, ha trabajado en el Departamento de Ingeniería y Aplicaciones de Válvulas de Control, en Masoneilan-Dresser.

Su experiencia se deriva del contacto directo con numerosas empresas de todos los sectores industriales, realizando labores de selección y aplicación de válvulas de control en todo tipo de industrias, principalmente Energía, Química, Petroquímica, Papel, Tratamiento de Aguas, y otros muchos servicios, tanto en usuarios finales como ingenierías y oficinas de estudios. Esta actividad incluía también labores de asesoramiento en puesta en marcha y mantenimiento de válvulas de control.

Ha publicado varios artículos en revistas técnicas e impartido cursos de formación en numerosas empresas. Es también coordinador y profesor en el Módulo-3 (Elementos Finales de Control) del Máster ISA-España de Instrumentación.

ISA (International Society of Automation) es una asociación internacional de profesionales sin ánimo de lucro procedentes del entorno de la instrumentación y el control de procesos, que tiene como principal valor la promoción y difusión del conocimiento en el área técnica.

ISA España se creó en el año 1998 con la misión de impulsar la divulgación de tecnologías en el sector de la instrumentación y el control de procesos, y de ser el punto de encuentro de la comunidad de automatización en el ámbito nacional, organizando para ello reuniones técnicas, conferencias, cursos, publicaciones y grupos de trabajo.

Hace unos años, la Sección Española de ISA decidió emprender la iniciativa de la edición de libros técnicos en español, con objeto de reforzar el apoyo al desarrollo de los profesionales vinculados a la automatización.

Animados por la excelente acogida de la primera publicación, *Sistemas Instrumentados de Seguridad (2012)* y gracias al esfuerzo y dedicación de Antonio Campo, es un honor poder presentar la segunda obra editada por ISA, *Válvulas de Control: Selección y Cálculo*.

Merece mención especial el compromiso del autor con la Sección, participando en actividades de formación y siendo parte del profesorado del Máster de Instrumentación y Control de Procesos, que se imparte desde el año 2006 en colaboración con el Centro Superior de Formación de Repsol. Más aún, su capacidad didáctica y experiencia son ampliamente reconocidas dentro del sector y por el alumnado.

Con estas premisas como base de partida, el libro pretende proporcionar un mejor conocimiento de las válvulas de control, y aportar al técnico o instrumentista los elementos necesarios para su selección, cálculo y análisis dentro del contexto de cada lazo de control, considerando además otras disciplinas relacionadas, así como distintas industrias de proceso.

Quisiera agradecer a Antonio Campo su excelente trabajo, dedicación, empeño, motivación y apoyo a la labor de divulgación de la Sección. Extender mi gratitud a Manuel Bollaín, José Acedo y Juan Carlos Maraña, por su participación en la revisión de la obra y a Francisco Díaz-Andreu, por su compromiso, tenacidad, constancia y buen hacer para la consecución de la misión de ISA España.

Deseamos que el libro refleje la ilusión y el esfuerzo con los que ha sido creado y contribuya al fin perseguido.

**RAQUEL MATEOS TEJADA**

Presidenta Sección Española de ISA 2014

Todos los modernos sistemas de control, cada vez mejores y algunas veces sofisticados, actúan sobre un “elemento final” situado en el proceso, normalmente manipulando un fluido. Este elemento, en la mayoría de las ocasiones, es una *válvula de control*.

Salvo las aplicaciones en industrias pequeñas, reformas puntuales o en los casos de reposición, se trata a las válvulas de control como un paquete en el contexto de un proyecto. Bien dicho lo de “paquete” pues es una colección de especificaciones y documentos que establecen los criterios generales a cumplir para consultar y comprar las válvulas.

La selección y cálculo de las válvulas no solo depende de unas hojas de datos, más o menos bien elaboradas. Es necesario tocar diversos aspectos que el técnico y/o instrumentista debe conocer para tenerlos en cuenta y valorar su incidencia en ese proceso de cálculo y selección. Este proceso no es lineal y progresivo, sino tortuoso, debiendo considerar muchos factores hasta llegar a una solución óptima.

En este trabajo se presentan aquellas materias sobre las cuales el técnico debe tener un cierto conocimiento. A veces no es fácil que un experto en instrumentación asuma que algo hay que saber sobre aceros, sobre termodinámica, sobre actuadores neumáticos y eléctricos y diversas cuestiones más. Sin embargo, seleccionar una válvula no es solo calcularla, sino encontrar el *trim*, el cuerpo, el actuador que dé las prestaciones óptimas para cada lazo de control que se trata de automatizar. Y al decir “cada” pretendo indicar que no se trata de seleccionar las 80 válvulas de una planta para que estén de acuerdo a una especificación general; eso es conveniente, pero hay que tener en cuenta que cada válvula será diferente y el técnico tendrá que valorar las diferentes situaciones en el proceso. Es necesario afrontar la selección situando a la válvula en el contexto de cada lazo de control.

- *La válvula no es un equipo mecánico, es un instrumento más en el lazo*, que debe dar unas prestaciones dinámicas como instrumento. Se trata esto en los Capítulos 1 y 4.
- Las condiciones de proceso permiten un cálculo. Para entender previamente los diversos factores y su influencia, no solo en el cálculo, sino en la selección del tipo y materiales, se analizan los fenómenos que se dan en las válvulas en los Capítulos 5 y 6.
- En los Capítulos 8 y 9 se abordan las fórmulas de cálculo y los procedimientos a seguir en cada caso.
- Pero hay exigencias constructivas que requieren un cierto conocimiento de materiales. Una aproximación mínima a este tema se hace en el Capítulo 7.
- Seleccionar significa elegir entre varias opciones de válvulas disponibles, la que sea mejor para la aplicación que se estudia (véase Capítulo 2).
- Algunas veces esta selección puede estar está condicionada por el actuador y su posible coste (Capítulo 3).

- Finalmente, en el Capítulo 10 se analizan algunos servicios severos y otras aplicaciones en industrias variadas. No son, ni se pretende, todas las que nos podemos encontrar. Sirvan para mostrar que cada tipo de industria tiene detalles específicos a tener en cuenta para la selección de los equipos.

No se abordan otros aspectos, que o bien se suponen conocidos, o no intervienen en el cálculo y selección. Tampoco los que hacen referencia a los detalles de diseño y fabricación, que serían propios de otros manuales. Este trabajo no pretende ser una enciclopedia sobre válvulas autorreguladas y de control, se intenta aportar los elementos para recorrer ese camino tortuoso hasta lograr la mejor solución.

Se espera también contribuir a un mejor conocimiento del mundo de las válvulas de control para abordar la preparación de las hojas de datos, y analizar críticamente una propuesta técnica así como buscar la solución a un problema puntual en la planta donde se tengan deficiencias de control, recalculando y modificando una válvula para que trabaje adecuadamente.

Los párrafos sombreados e intercalados en el texto, tratan de resaltar algún aspecto sobre la materia; son consejos prácticos, llamadas de atención en forma de conclusiones. Finalmente, en los Anexos se aporta información que puede ser útil, además de un índice temático.

Debo expresar mi agradecimiento, en primer lugar, a Diego Hergueta, profesor de Instrumentación y actual director del Máster de Instrumentación ISA/Repsol en España, que alcanza, este año su exitosa 10ª edición. Con su insistencia inicié este trabajo, que espero sea útil a todos.

Gracias también a los tres expertos que con sus comentarios y correcciones me han ayudado a perfilar la estructura del libro:

- Pepe Acedo, incansable estudioso que ha dedicado toda su vida a la Instrumentación, coronándola con dos libros muy conocidos: *Control avanzado de procesos e Instrumentación y control básico de procesos*.
- Juan Carlos Maraña, J. Instrumentación IDOM, con amplia experiencia en ingeniería de detalle, montaje y puesta en marcha de variadas plantas de procesos, en su vertiente de instrumentación, fundamentalmente el sector de la energía y ex-presidente de ISA España.
- Manuel Bollaín, experto conocedor de todas las fases de un proyecto de instrumentación en diversos sectores industriales de larga enumeración. Ha vivido personalmente los más mínimos detalles de la instrumentación en el aspecto práctico. También ex-presidente de ISA España y promotor del Máster ISA/Repsol de Instrumentación.

Y a todos aquellos que directa o indirectamente me han apoyado en este trabajo, sobre todo a mi esposa *Mariangeles*, por su comprensión.

<b>Acerca del autor .....</b>	<b>VII</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>IX</b>
<b>Presentación / Raquel Mateos Tejada.....</b>	<b>XI</b>
<b>Introducción / Antonio Campo López .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1. La válvula en el lazo de control .....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.1.1. El llamado “elemento final de control” .....	1
1.2. La válvula como elemento final de control .....	4
1.2.1. Parámetros que afectan a las prestaciones de la válvula .....	4
1.2.2. Definiciones preliminares .....	5
1.2.3. Histéresis, banda muerta, repetibilidad, linealidad.....	7
1.3. Respuesta dinámica y constante de tiempo .....	12
1.3.1. Ensayo de rendimiento dinámico .....	14
1.3.2. En búsqueda de la válvula ideal .....	17
Referencias bibliográficas.....	19
<b>2. Tipos y selección de válvulas de control.</b>	
<b>Otros elementos finales de control .....</b>	<b>21</b>
2.1. Introducción y avance sobre el proceso de selección .....	21
2.2. Clasificación de válvulas según su función .....	22
2.3. Automáticas y todo-nada .....	23
2.4. Autooperadas - <i>Self-actin regulators</i> .....	26
2.4.1. Tipos de autorreguladores .....	31
2.4.2. Cálculo y selección de autorreguladas .....	37
2.5. Válvulas de control .....	39
2.5.1. Válvulas de control lineales/alternativas .....	42
2.5.2. El trim de las válvulas alternativas.....	47
2.5.3. Niveles de diseño.....	53
2.5.4. Válvulas rotativas. <i>Globo, mariposa, bola, etc.</i> .....	55
2.6. Otros elementos de control y variadores de velocidad.....	65
2.6.1. <i>Bombas dosificadoras. Dampers</i> .....	65
2.6.2. <i>Las bombas en el proceso.</i> .....	67

2.6.3. Variadores de velocidad, aplicaciones .....	70
2.6.4 bombas y variadores (VFD) .....	73
Referencias bibliográficas.....	77
<b>3. Actuadores y accesorios.....</b>	<b>79</b>
3.1. Tipos de actuadores .....	79
3.2. Actuadores neumáticos.....	79
3.2.1. Diafragma-resorte simple efecto .....	80
3.2.2. Cálculo de actuadores de diafragma. Aproximación.....	88
3.2.3. Cilindros neumáticos .....	91
3.2.4. Cálculo depósito aire auxiliar .....	93
3.2.5. Actuadores para válvulas rotativas.....	93
3.2.6. Velocidades de operación en actuadores neumáticos.....	96
3.2.7 Acción del actuador y posición al fallo .....	98
3.3. Actuadores eléctricos e hidráulicos.....	99
3.4. Selección de actuadores. Datos necesarios.....	105
3.4.1. Importancia del conjunto valvula-actuador-accesorios .....	106
3.5. Accesorios sobre actuadores.....	108
3.5.1. Señales de control de aplicación industrial. ....	108
3.5.2. Convertidores I/P.....	113
3.5.3. Posicionadores .....	113
3.5.4. Posicionadores inteligentes. Prestaciones.....	121
3.5.5. Transmisores de posición. ....	127
3.5.6. Relés neumáticos.....	128
3.5.7. Electroválvulas. ....	130
3.5.8. Finales de carrera.....	131
3.5.9. Topes limitadores mecánicos.....	133
3.5.10. Mandos manuales.....	133
3.5.11. Reductor alimentación de aire "air set" .....	134
3.6. Aire para instrumentación. Calidad y consumos .....	134
Referencias bibliográficas.....	137
<b>4. La válvula como instrumento .....</b>	<b>139</b>
4.1. Introducción .....	139
4.2. Las válvulas y sus características de control .....	139
4.2.1. Características inherentes de los trims.....	140
4.2.2. La válvula en el lazo de control .....	143
4.2.3. Característica lineal y ganancia .....	147
4.2.4. Característica isoporcentual y ganancia .....	148
4.2.5. Características reales o instaladas .....	149
4.2.6. Autoridad de la válvula .....	152
4.2.7. Influencia del sobredimensionamiento .....	155
4.3. Caracterización de la válvula por el trim. ....	155

4.3.1. Caracterización con posicionadores de levas .....	159
4.3.2. Caracterización con posicionadores inteligentes.....	161
4.3.3. Caracterización en la salida de controlador .....	162
4.4. Concepto de rangeabilidad y turndown .....	165
4.5. Integración en el sistema de control .....	168
4.5.1. Posicionadores digitales .....	172
4.5.2. Integración en los paquetes de gestión (EDDL/PDT) .....	173
Referencias bibliográficas.....	176
<b>5. Fenómenos físicos en válvulas de control regulando líquidos .....</b>	<b>179</b>
5.1. Flujo de líquidos por tuberías y válvulas .....	179
5.1.1. Derrames laminar y turbulento .....	181
5.1.2. Viscosidad absoluta o dinámica y cinemática. ....	184
5.1.3. Derrames turbulentos: subcríticos y críticos.....	187
5.2. Aproximación al fenómeno de cavitación .....	191
5.2.1. Coeficientes asociados a la cavitación $K_c; F_L; X_{Fz}$ .....	198
5.2.2. El factor "sigma" como índice de cavitación .....	206
5.2.3. Proceso de cálculo y ejemplo .....	216
5.2.4. Criterios de aplicación de sigma según tipo de válvulas .....	219
5.3. Cómo afrontar cavitación y el flash .....	223
5.3.1. Resistir el fenómeno .....	223
5.3.2. Controlar la cavitación .....	225
5.3.3. Evitar la cavitación .....	228
5.3.4. Derrame axial y radial.....	229
5.3.5. Soluciones con válvulas rotativas.....	231
5.3.6. Derrame con vaporización-flash, soluciones .....	232
5.4. Régimen bifásico a la entrada de la válvula.....	239
5.5. Ruido hidrodinámico .....	240
5.5.1. Proceso de cálculo del ruido turbulento y de cavitación. ....	241
Referencias bibliográficas.....	246
<b>6. Fenómenos físicos en válvulas de control regulando gases y vapor .....</b>	<b>247</b>
6.1. La regulación de gases.....	247
6.1.1. Régimen subcrítico y crítico. Factores "x" y "xt" .....	248
6.1.2. Factores de expansión "y" e "ym" y de compresibilidad- z .....	250
6.2. Ruido en válvulas de control .....	251
6.2.1. Sonido y ruido. Definiciones y fórmulas .....	253
6.2.2. Soluciones técnicas al ruido .....	259
6.3. Procedimiento de cálculo del ruido aerodinámico.....	268
6.3.1. Proceso de cálculo.....	269
6.3.2. Recomendaciones de montaje .....	273
6.3.3. Gases a la atmósfera.....	276
Referencias bibliográficas.....	277



<b>7. Aspectos mecánicos. Diseños, materiales, fugas .....</b>	<b>279</b>
7.1 Partes constitutivas, normas y materiales.....	279
7.1.1. Normas de referencia.....	280
7.1.2. Niveles diseño cuerpo-tapa .....	281
7.1.3. Materiales para cuerpo-tapa-tornillería .....	282
7.1.4. Materiales para órganos internos.....	285
7.2. Presión nominal-rating.....	288
7.2.1. Rating según norma ANSI/ASME.....	289
7.2.2. Rating o presión normal bajo Norma EN-12516 .....	292
7.2.3. Directiva PED.....	293
7.2.4. Corrosión y nace.....	294
7.3. Conexiones .....	297
7.3.1. Tipos de conexión .....	298
7.3.2. Acabado de caras de bridas .....	301
7.3.3. Otras conexiones.....	302
7.4. Atex 94/9/EC para equipos mecánicos (EN-60079).....	303
7.5. Estanqueidad.....	304
7.5.1. Cierre obturador asiento .....	305
7.5.2. Aplicación práctica de la Norma ANSI/FCI 70.2/IEC-534-4.....	308
7.5.3. Pruebas de estanqueidad.....	309
7.5.4. Estanqueidad al exterior .....	311
7.5.5. Tipos de estopadas.....	315
7.5.6. Pruebas de estanqueidad externa y normativa de emisiones ....	318
7.5.7. Requisito fire-safe.....	319
7.6. Fabricación-Pruebas e inspecciones.....	320
Referencias bibliográficas.....	321
<b>8. Fórmulas de cálculo y procedimientos .....</b>	<b>323</b>
8.1. Datos del proceso a controlar .....	323
8.1.1. Variables de proceso .....	326
8.1.2. Evolución de las variables del proceso .....	328
8.1.3. Hojas de datos preliminares.....	332
8.2. El Cv y las fórmulas de cálculo.....	335
8.2.1. Definición de Cv y Kv.....	336
8.2.2. Determinación práctica del Cv .....	338
8.3. Procedimientos de cálculo IEC/ISA.....	339
8.3.1. Fórmulas para líquidos.....	340
8.3.2. Influencia conos reductores. Factores $F_p$ y $F_{Lp}$ .....	342
8.3.2. Fórmulas para gases y vapor .....	345
8.4 Régimen bifásico .....	347
8.4.1. Montaje y piping .....	350
8. 5. Fórmulas complementarias - Velocidades.....	350

8.5.1. <i>Velocidad en líquidos</i> .....	351
8.5.2. <i>Velocidad en vapor y gases</i> .....	352
8.6. Integración en programas de cálculo .....	353
Referencias bibliográficas .....	355
<b>9. Cálculo y selección de válvulas de control .....</b>	<b>357</b>
9.1. Planteamiento previo al cálculo .....	357
9.2. Ejemplos de cálculo.....	358
9.2.1. <i>Ejemplo con líquido (FV- 001) subcrítico</i> .....	359
9.2.2. <i>Ejemplo con líquido (FV- 002) derrame crítico</i> .....	362
9.2.3. <i>Ejemplo con vapor PV-001</i> .....	365
9.3. Puntos de análisis fundamentales durante el cálculo .....	368
9.4. Más ejemplos de cálculo .....	370
9.4.1. <i>Cálculo con gas (Tag PV-002)</i> .....	370
9.4.2. <i>Válvula + placa Lo-dB (Tag PV-005)</i> .....	373
9.4.3. <i>Venteo con silenciador (Tag PV-006) ítem-6</i> .....	375
9.4.4. <i>Cálculo con flash (Tag FV-080) ítem-7</i> .....	378
9.4.5. <i>Cálculo régimen bifásico a la entrada LIQ + sus vapores</i> .....	380
9.4.6. <i>Régimen bifásico a la entrada líquido + gas (FV-801) ítem-8</i> .....	382
9.5. Recomendaciones para selección del trim y cuerpo. Materiales .....	384
9.5.1. <i>Porcentajes de apertura aconsejables</i> .....	384
9.5.2. <i>Materiales para el trim</i> .....	386
9.5.3. <i>Recomendaciones generales</i> .....	388
9.6. Montaje de válvulas en serie y paralelo. Aplicaciones .....	390
9.6.1. <i>Montaje en serie</i> .....	390
9.6.2. <i>Montaje en paralelo y rango partido</i> .....	393
9.6.3. <i>Acciones combinadas</i> .....	396
9.7. Consejos prácticos generales .....	398
9.7.1. <i>El montaje</i> .....	398
9.7.2. <i>Sobre el bypass</i> .....	400
Referencias bibliográficas.....	401
<b>10. Servicios severos y aplicaciones industriales .....</b>	<b>403</b>
10.1. Qué podemos entender como servicio severo.....	403
10.1.1. <i>Diversas plantas de energía</i> .....	405
10.1.2. <i>Principales servicios severos en sector energético</i> .....	408
10.1.3. <i>La operación de la planta, su importancia</i> .....	409
10.1.4. <i>Análisis del ciclo de condensado y BFW</i> .....	411
10.1.5. <i>Análisis del ciclo de vapor</i> .....	417
10.2. Aplicaciones en refino y petroquímica .....	422
10.2.1. <i>Hydrocracker e hydrotreating</i> .....	424
10.2.2. <i>Exigencias del out gass</i> .....	428

10.3. Otros sectores y aplicaciones industriales.....	431
10.3.1. <i>Algunos fluidos en química industrial</i> .....	431
10.3.2. <i>Industria alimentaria y sanitaria; azucareras</i> .....	437
10.3.3. <i>Tratamiento de aguas</i> .....	442
10.3.4. <i>Papeleras</i> .....	447
10.3.5. <i>Fluidos térmicos en plantas termosolares</i> .....	450
<b>ANEXO I: Glosario de términos relacionados con válvulas de control</b> .....	<b>455</b>
<b>ANEXO II: Normas en relación con válvulas de control</b> .....	<b>461</b>
<b>Índice temático</b> .....	<b>465</b>

**SUMARIO:** Planteamiento inicial. Ejemplos de cálculo con líquidos, con vapor y gases. Factores a analizar cuando se trabaja con un programa de cálculo. Influencia de algunos requisitos mecánicos y del actuador en el proceso de selección. Recomendaciones para la selección del *trim*, cuerpo y sus materiales. Montajes serie-paralelo. Consejos prácticos generales.

## 9.1. PLANTEAMIENTO PREVIO AL CÁLCULO

Definir una válvula significa dar respuesta a todos los apartados del esquema siguiente:

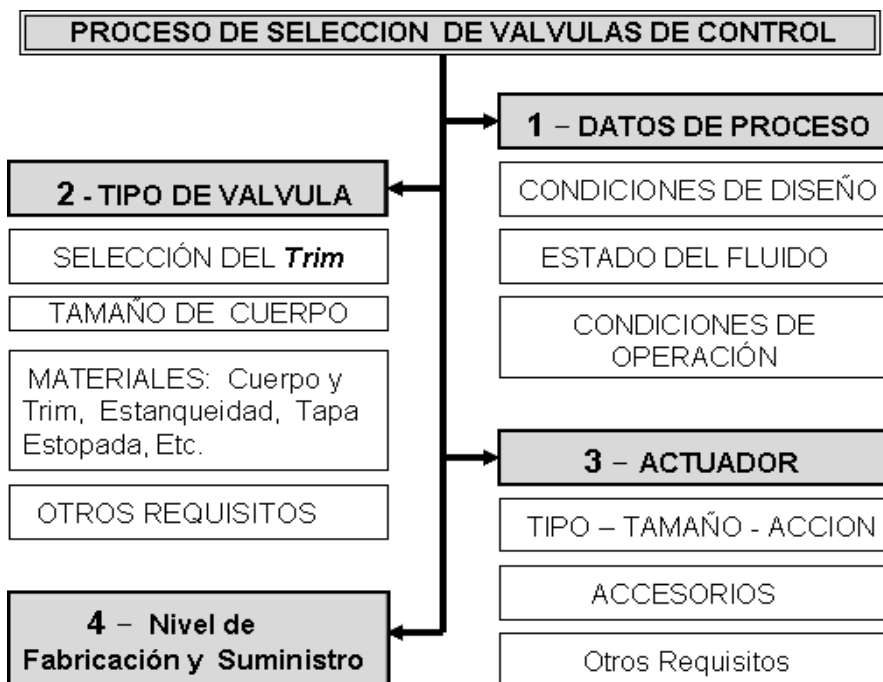
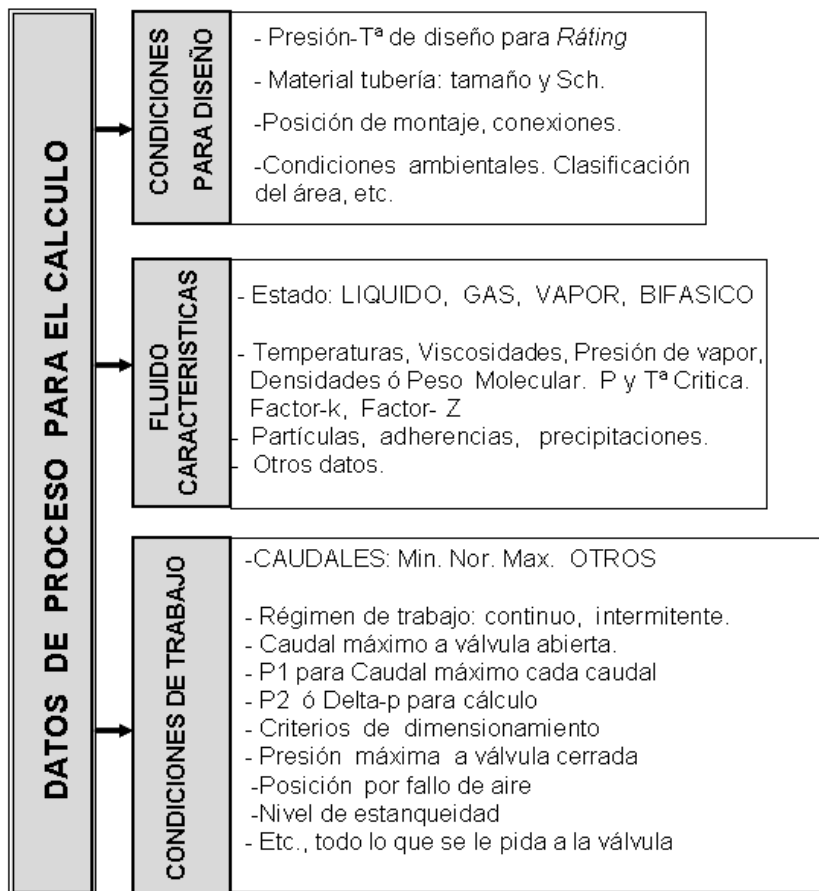


Figura 9.1. Esquema de proceso de selección

El primer paso (Figura 9.1) vemos que es conseguir las condiciones de trabajo o condiciones que debe satisfacer la válvula en el proceso para gobernar la variable a controlar. Ya adelantamos en el apartado 8.1.1 del Capítulo 8, cómo se hacía esto; en el esquema de la Figura 9.2 se muestra un resumen de los puntos a definir.



**Figura 9.2.** Datos para el cálculo y selección.

Todos estos datos se volcarán adecuadamente sobre una hoja de datos o especificación, con el modelo que haya diseñado cada usuario o ingeniería. En las Tablas 8.2 y 8.3 del Capítulo 8 se muestra un modelo pero las variantes pueden ser muchas.

Una buena hoja de datos debe ser *clara, concisa, completa*, con todos los datos e información complementaria que permitan al técnico de instrumentación conocer las necesidades de cada aplicación.

## 9.2. EJEMPLOS DE CÁLCULO

Vamos a hacer varios ejemplos de cálculo de forma manual para conocer el significado, aplicación e importancia de cada uno de los términos, datos y coeficientes que intervienen en las fórmulas. De esta manera se pueden entender y utilizar mejor los programas de cálculo de cualquier fabricante.

### 9.2.1. EJEMPLO CON LÍQUIDO (FV- 001) Subcrítico

- Válvula reguladora de caudal FV-001.
- HC líquido (similar a propano)  $P_c$ : 42 bar-a;  $T_c$ : 95 °C.
- Temperatura 29 °C  $G_f = 0,50$   $P_v = 8,5$  bar-a.
- Condiciones de diseño mecánico 30 bar / 150 °C.
- Caudales: 80-155-175 m<sup>3</sup>/h.
- $P_1 = 21 - 20 - 20$  bar-a.
- $P_2 = 18 - 19 - 19$  bar-a  $\Delta p = 3 - 1 - 1$  bar.
- Tubería: 8" Sch: 40 acero carbono.
- Estanqueidad Clase-IV  $\Delta p$  máx. cerrada = 25 bar. Por fallo-abre.

El procedimiento de cálculo manual lo vemos a continuación.

#### 1. Rating necesario

La tubería es de acero carbono luego, dado que es un hidrocarburo, el cuerpo podrá ser fundido de acero carbono. Acudiendo a las tablas de la norma que se utilice, (la más usada es ASME/ANSI B.16.34), con las condiciones de P/T de diseño, resulta un *rating* necesario de 300 lbs. Algunos programas de cálculo tienen curvas o una herramienta que permite definir el *rating* tanto bajo norma con materiales codificación ASME como europeos (véase Capítulo 7).

#### 2. Tipo de derrame

Por simple observación de la  $\Delta p$  y la  $P_v$  podemos deducir que estaremos en presencia de un derrame subcrítico, ya que  $P_2$  es muy superior a  $P_v$ . Además, una regla de oro básica es comprobar si  $\Delta p < 0,5 P_1$ ; si esto es así el derrame es subcrítico. Otra forma es calcular el  $F_1$  de proceso a partir de las condiciones de trabajo en la condición de máxima  $\Delta p$ , usando la ecuación (5.8).

$$F_L = \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_v}} - \sqrt{\frac{21 - 18}{21 - 8,5}} = 0,49$$

Como el  $F_L$  crítico de cualquier válvula tipo globo simple asiento es de 0,90 y en una bola o mariposa de 0,60-0,65 según diseños, quiere decir que cualquier válvula podrá ser usada en esta aplicación. Por tanto podemos concluir que, en principio, con un  $F_L$  requerido de 0,49, que es bajo, no habrá cavitación ni *flash* o vaporización.

#### 3. Cálculo de $C_v$ preliminar

Usaremos la ecuación (8.11); trabajando con unidades métricas, el coeficiente  $N_1 = 0,865$

$$C_v = \frac{q}{N_1 \cdot F_p} \sqrt{\frac{G_f}{P_1 - P_2}} = \frac{80}{0,865 \cdot 1} \sqrt{\frac{0,5}{21 - 18}} = 37,8$$

Para aplicar esta fórmula 8.11, la dificultad es no poder determinar el factor  $F_p$  que, como sabemos, lo define la influencia de los conos reductores; depende por tanto del tamaño de la válvula respecto a la tubería y de su  $C_v$ , cosa que precisamente, estamos buscando. Para poder avanzar y hacer un *cálculo preliminar*, se ha establecido suponer que no hay conos reductores, por tanto  $F_p = 1$ , válvula igual a la tubería. Haremos la corrección más adelante, cuando tengamos ya calculado y definido el tamaño.

Haciendo el cálculo con los tres caudales, resultan  $C_v$ 's = 37,8 - 126,7 y 143,1.

#### 4. Selección de válvulas

Teniendo en cuenta el *rating* y los  $C_v$ 's calculados, veamos las válvulas que se podrían usar consultando las tablas de  $C_v$ 's de los fabricantes, mejor dicho, del fabricante o fabricantes con los que vamos a trabajar. Estos tipos / y tamaños de válvulas podrían ser:

- Globo *rotary*: 3"  $C_v = 130$ ; 4"  $C_v = 220$ ; 6"  $C_v = 490$ .
- Globo simple asiento: 4"  $C_v = 190$ ; 6"  $C_v = 400$ .
- Guiado por jaula con obturador. Equilibrado (no procede este diseño por baja presión de entrada y baja presión diferencial).
- Mariposa: 4"  $C_v = 450$ .
- Sector de bola: 4"  $C_v = 480$ .
- Angular: no procede para esta aplicación, salvo que sea necesaria por diseño de tuberías u otras razones.

(Los  $C_v$ 's indicados anteriormente son los más estándar de esos tipos y tamaños; deben confirmarse en los catálogos respectivos).

Como criterio general de selección no se pondrán cuerpos de válvulas de tamaño inferior a la mitad de la tubería de entrada.

*Por eliminación*, no usamos tipos sector de bola y mariposa por tener  $C_v$ 's muy grandes en comparación con los  $C_v$ 's calculados inicialmente. Nos quedamos con tipo *globo simple asiento* 4"  $C_v = 190$  o *rotary-plug en tamaño* 4"  $C_v = 220$ .

Ahora sí podemos calcular el factor  $F_p$  (corrección por conos reductores), según la fórmula (8.15) y los sumandos "K" (8.16-19).

Sustituyendo valores en las diversas fórmulas para calcular los coeficientes "K" se obtienen:  $K_1 = 0,281$   $K_2 = 0,563$ .

Aplicando (8.16)  $\Sigma K = K_1 + K_2 + K_{B1} - K_{B2} = 0,844$

En este caso  $K_{B1}$  y  $K_{B2}$ , al ser iguales por ser la tubería de entrada igual a la de salida, se anulan.

$$F_p = \left( \frac{C_v^2 \cdot \sum k}{N2 \cdot d^4} + 1 \right)^{-1/2} = 0,936 \text{ con } C_v = 190 \text{ y } 0,916 \text{ con } C_v = 220$$

$$N2 = 0,00214; \quad d = 100 \text{ mm}$$

Observar que  $F_p$  depende no solo del tamaño del cuerpo si no también del  $C_v$  de la válvula; en la ecuación hemos puesto  $C_v = 190$  y  $220$ .

### 5. Cálculo final de los $C_v$ 's requeridos

Sustituyendo estos valores de  $F_p$  en la fórmula de  $C_v$  y calculando de nuevo se obtiene:

- a) Pensando en globo s. asiento 4"  $C_v$ 's = 40,3 -135,3 - 152,8.
- b) Con el tipo *rotary-plug* 4"  $C_v$ 's = 41,3 -138,4 -156,3.

### 6. Estudio de aperturas

Se hace la relación  $C_v$ 's calculados /  $C_v$  válvula y se establecen los porcentajes de carrera, bien usando las curvas características o las tablas de los  $C_v$ 's del fabricante, interpolando cuando sea necesario. Los programas de cálculo lo hacen automáticamente tomando de su memoria el dato que el fabricante ha introducido para sus tipos de válvulas. En este caso:

- Con el caudal  $q_{\min} 40,3 / 190 = 21\%$  de  $C_v$ . Sobre las curvas (Figura 9.3) con característica lineal trabajará al 21% y con característica isoporcentual al 60%. (-----)

Repitiendo este mismo cálculo para todas las condiciones y con las dos válvulas seleccionadas, se pueden saber los % de apertura y situar la zona de trabajo de cada régimen de caudal. Para simplificar, en la Figura 9.3 se indican los porcentaje de apertura mínimo y máximo solamente, en cada característica.

A la vista de los porcentajes de apertura se comportan mejor la *rotary-plug* que estaría 24%-68% abierta, y la de globo simple asiento entre 20%-80%, con característica lineal.

No se debe usar, en este caso, la isoporcentual, ya que trabajaría muy abierta: 60%-94%. Si queremos usar isoporcentual habría que poner cuerpo de 6" con más  $C_v$ . Para hacer un estudio de característica y ganancia instalada, habría que conocer la respuesta hidráulica del circuito y definir el coeficiente de distorsión  $P_R$  (véase Figura 4.13, Capítulo 4). Si  $P_R$  estuviera en 0,25-0,50 la distorsión es pequeña y las ganancias son estables.



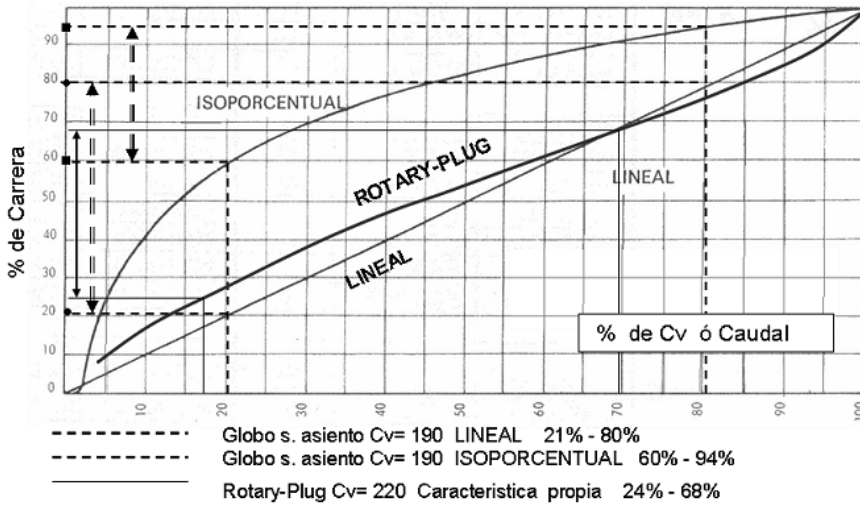


Figura 9.3. Zonas de trabajo.

### Velocidad de salida

Para el cuerpo de 4" seleccionado, aplicaremos la ecuación (8.29)

$$V \text{ (m/seg)} = 0,54 \cdot Q / d^2$$

Sustituyendo los tres caudales resultan unas velocidades de 2,75-5,3-6,0 m/s, que son valores perfectamente aceptables.

Finalmente, dada la condición de derrame subcrítico no merece la pena verificar la posibilidad de cavitación incipiente ni por tanto el ruido hidrodinámico. Por otra parte, hacerlo de forma manual resulta laborioso. Usando un programa de cálculo se comprueba que el ruido no supera los 60 dBA.

El proceso de selección se debe completar con la definición del actuador: tamaño, gama de resorte, presión de alimentación, teniendo en cuenta la clase de cierre y delta-p de cierre especificada (véase Figura 3.1 y Apdo. 3.4.1, Capítulo 3) *Normalmente el usuario no tiene todos los datos para seleccionar el actuador, debe hacerlo el fabricante.*

Si los tipos y tamaños de válvula que se seleccionen no cumplen los requisitos adecuados en cuanto a porcentaje de carrera, velocidad y ruido, habría que elegir otro tipo y tamaño y rehacer los cálculos desde el punto 4.

### 9.2.2. EJEMPLO CON LÍQUIDO (FV- 002) DERRAME CRÍTICO

Será el mismo fluido anterior pero con diferentes condiciones de presión.

Válvula Item: FV-002

- HC líquido (similar a propano) Pc: 42 bar-a ; Tc: 95°C
- Tª 29 °C  $G_f$ : 0,50 Pv: 8,5 bar-a

- Condiciones de diseño mecánico: 30 bar/150 °C.
- Caudales: 80 - 155 - 175 m<sup>3</sup>/h.
- P<sub>1</sub>: 21 - 20 - 20 bar-a.
- P<sub>2</sub>: 9 - 11 - 15 bar-a.
- Δp = 12 - 9 - 5 bar.

Repetimos los pasos anteriores de forma ya más simplificada.

### 1. Rating necesario

El mismo de 300 lb.

### 2. Tipo de derrame

Observando las pérdidas de carga debemos intuir que con caudales Min. y Nor. puede haber situación crítica. Analizamos las Δp's.

$$\Delta p \text{ proceso: } (P_1 - P_2) = 12 - 10 - 5 \text{ bar}$$

$$\Delta p \text{ crítica} = F_L^2 (P_1 - P_{vc}) ; P_{vc} = F_F \cdot P_v ; F_F = 0,834$$

Sustituyendo Δp crítica = 0,90<sup>2</sup> [21 - (0,834 · 8,5)] = 11,2 bar.

Como la Δp de proceso (12) es mayor que la Δp crítica (con una válvula estándar F<sub>L</sub> = 0,9), el derrame será *crítico* y necesitaremos un *trim especial anticavitación* con mayor F<sub>L</sub> que el 0,90 tomado para el cálculo.

También podríamos calcular el F<sub>L</sub> de proceso a partir de las condiciones de trabajo en la condición de máxima Δp, usando la ecuación (5.8).

$$F_1 = \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_{vc}}} = \sqrt{\frac{21 - 9}{21 - 7,09}} = 0,93$$

Como el F<sub>1</sub> crítico de cualquier válvula tipo globo simple asiento es de 0,90, quiere decir, que cualquier válvula con un F<sub>1</sub> < a 0,929 cavitara = derrame crítico. Por tanto usaremos la ecuación (8.13) para el cálculo del C<sub>v</sub>.

### 3. Calculo de C<sub>v</sub> preliminar

Aunque sabemos que el derrame es crítico, en el cálculo preliminar se trata de conocer la magnitud aproximada de los C<sub>v</sub>'s necesarios, para después elegir tipo y tamaño del *trim*. Aplicando 8.11 suponiendo –de momento– válvula igual a tubería: F<sub>p</sub> = 1.

$$C_v = \frac{q}{0,865 \cdot F_p} \sqrt{\frac{G_f}{P_1 - P_2}} = \frac{80}{0,865 \cdot 1} \sqrt{\frac{0,50}{21 - 9}}$$

Sustituyendo valores en esta ecuación resultan C<sub>v</sub>'s = 19 - 42,3 - 64.

#### 4. Selección de válvulas

Conocidos estos valores previos de  $C_v$ 's y que se necesita un *trim* anticavitación, hemos de buscar el diseño adecuado en los catálogos de fabricantes que tenga un coeficiente  $F_L > 0,93$  dentro de un cuerpo de 300#, tamaño ( $\phi$ ) a elegir, para ser montado sobre tubería de 8". El razonamiento sería:

- Descartamos válvula + restrictor pues, para esta aplicación será suficiente y más económico un *trim* para control de cavitación o anticavitación.
- Descartamos también mariposas, bolas y globo *rotary* por su bajo  $F_L$ .
- Un *trim* para control de cavitación en una válvula globo simple asiento desequilibrada, debería ser FTClose, en un posible tamaño de 6" o 4" Pero esta opción puede requerir un actuador muy grande y costoso para trabajar con la máxima presión diferencial dada = 12 bar.
- Optamos por una válvula de *trim* equilibrado, guiada por jaula con coeficiente  $F_L = 0,94$ , paso reducido con  $C_v$  nominal = 82 Se puede poner dentro de un cuerpo de 4" - 300#. Inicialmente con característica lineal.

#### 5. Cálculo final de los $C_v$ 's requeridos.

Con esta preselección podemos ya hacer un cálculo final y analizar resultados. Se aplicará la fórmula (8.13).

$$C_v = \frac{q}{0,865 \cdot F_{LP}} \sqrt{\frac{G_f}{P_1 - F_F P_v}} \quad (8.13)$$

Como el cuerpo es de 4" sobre línea de 8" (no se debe reducir más), hay que usar  $F_{LP}$  en lugar de  $F_L$ . Ecuación (8.21).

$$F_{LP} = F_L \left( \frac{K_1 F_L^2 C_V^2}{N_2 d^4} + 1 \right)^{-1/2} \quad \text{Ki- "Head loss Coefficient" = } K_1 + K_{B1}$$

Calculando  $K_i$  (8.17 y 19) y sustituyendo valores, resulta  $F_{LP} = 0,939$ .

Sustituyendo valores en (8.13) se obtiene un  $C_v = 18,7$  a caudal mínimo.

Para los caudales normal y máximo, deberíamos usar la ecuación 8.11 ya que los derrames son subcríticos. Se obtienen unos  $C_v$ 's = 42,8 y 64,8

#### 6. Estudio de aperturas

Igual que en el ejemplo anterior analizaríamos los % de carrera por curvas o con catalogo de fabricante. En este caso la válvula seleccionada de 4" con  $C_v = 82$  trabajaría a: 23 % - 51,7% - 79 % que son buenas aperturas.

## 7. Velocidad de salida

Se aplicaría la misma fórmula del ejemplo anterior con la fórmula (8.29).

## 8. Ruido hidrodinámico

Mediante programa informático se comprueba que el ruido no supera los 70 dBA.

### 9.2.3. EJEMPLO CON VAPOR PV-001

- Válvula reductora de presión.
- Vapor recalentado  $T^a$ : 280 °C.
- Condiciones de diseño: 50 bar / 350 °C.
- Caudal  $W$ : Nor. 40 – Max. 55 T/hora.
- $P_1$ : 37@ caudal Nor. y 40@ caudal Máx. bar(a).
- $P_2$ : 17 bar(a).
- Tubería: 6" Ac. Carbono Sch-80.
- Estanqueidad Clase V Por fallo → cerrada Delta-p cierre 45 bar.

#### Rating

50 Bar- 350 °C – acero carbono A-216 WCC → 600# (Véanse tablas, curvas de rating ANSI B 16.34).

#### 1. Tipo de derrame

$$\Delta p \text{ proceso: } 37 - 17 = 20 \text{ bar.}$$

$$40 - 17 = 23 \text{ bar.}$$

El factor  $X_T$  para gases viene en algunos catálogos en función del %-apertura de la válvula. En la práctica se puede seguir trabajando con el  $F_L$  ya que en general responde a la ecuación  $X_T = 0,84 F_L^2$  aproximadamente para válvulas de una etapa.

Como no sabemos aún qué válvula necesitamos, tomamos para el cálculo preliminar un  $F_L = 0,90$ . El valor de  $X_T$  será  $\approx 0,68$ ; válido si la válvula es igual a la tubería; si no fuese así, habría que calcular  $X_{Tp}$ , pero no podemos aplicar aún la ecuación (8.22) por falta de datos como el diámetro- $d$  de la válvula; también faltan  $F_p$  y el  $C_v$ .

Valor de  $k$  para vapor a 280 °C = 1,27 (Tabla 6.1).

$$F_k = k/1,40 = 1,27 / 1,40 = 0,91$$

$\Delta p$  crítica:  $F_k \cdot X_T \cdot P_1 = 0,91 \cdot 0,68 \cdot 37 = 22,90 \rightarrow$  subcrítico por ser la  $\Delta p$  del proceso (20 bar) < a la  $\Delta p$  crítica (22,90 bar).

Repetiendo con  $P_1 = 40$  la  $\Delta p$  crítica = 24,75  $\rightarrow$  y el derrame es subcrítico también.

Como  $\Delta p$  proceso  $<$   $\Delta p$  crítica, el derrame es *subcrítico* en ambos casos aunque puede haber problema de ruido.

### 3. Cálculo del Cv preliminar

Aplicamos la fórmula (8.25) de caudal en peso, como siempre suponiendo  $F_p=1$  y calculando el factor “Y” Vamos a hacerlo para la *condición normal solamente*.

$$C_v = \frac{w}{N_6 \cdot F_p \cdot Y \sqrt{x \cdot P_1 \cdot \gamma_1}} = \frac{4.0000}{27,3 \cdot 1 \cdot 0,71 \sqrt{0,541 \cdot 37 \cdot 16,67}} = 113$$

$$Y = 1 - \frac{x}{3Fk \cdot x_T} = 1 - \frac{0,541}{3 \cdot 0,91 \cdot 0,68} = 0,71$$

$$x = \frac{\Delta p}{P_1} = \frac{20}{37} = 0,541$$

$\gamma_1$  = peso específico del vapor a 280°C y 37 bar = 16,67 (a 40 bares es 17,85 - Véanse tablas vapor de agua).

Introduciendo estos valores en la fórmula del Cv se obtiene un valor inicial de 113 para caudal normal. Similar proceso habría que seguir para el caudal máximo 55 T/h. que da un Cv = 144,3.

Para simplificar el ejemplo, usando un programa de cálculo se comprueba que el ruido preliminar se sitúa en 94-98 dbA.

Tenemos que encontrar un *trim* diseño Lo-dB con unos Cv's ligeramente superiores a los precalculados (113-144) con posibilidad de trabajar a 280 °C y tener un cierre Clase-V. Cuerpo acero carbono 600# en tubería de 6".

### 4. Selección de válvula

Por estanqueidad, y nivel de Cv prescindimos de mariposa, bola, *rotary-plug*. Nos centramos en tipo globo. Revisando catálogos, y teniendo en cuenta también la  $\Delta p$  de cierre, una válvula de globo con obturador desequilibrado, Figura 2.17, tendrá limitaciones de estanqueidad y requerirá un actuador grande y especial. Nos centramos en válvula de 4" o 6" equilibrada, guiada por jaula con *trim* Lo-dB de una etapa,... de momento.

Comprobamos el número de Mach en 4" para ver si estamos  $\leq 0,30$  Podemos usar las ecuaciones (6.10) o (6.12) que es más directa.

$$N^\circ Mach = \frac{1.380 \cdot w(1 + 0,00126 \cdot Tsh)}{P_2 \cdot d^2} = \frac{1.380 \cdot 40 \cdot (1 + 0,00126 \cdot 34)}{17 \cdot 100^2} = 0,33$$

Este es el número de Mach con caudal normal; con caudal máximo será mayor.

Su valor es superior a 0,3. Por tanto tenemos que usar cuerpo de 6" con *trim* Lo-dB. Ahora hay que probar primero con una etapa, para ver si reduce el ruido hasta los 85 dBA que es lo requerido habitualmente. Sería necesario aplicar todo el proceso de cálculo de ruido aerodinámico, que como se vio en apartado 6.3.1 y Figura 6.15, es un tanto largo y laborioso para hacerlo manualmente. Usando un programa informático resulta que con una sola etapa (jaula multiorificio) se alcanzan los 90-92 dB.A. Por lo tanto es necesario usar doble etapa, es decir dos jaulas. La construcción de dos etapas puede ser diferente de unos fabricantes a otros, por lo que las soluciones técnicas dependen según sea el fabricante con el que estemos trabajando (Figura 6.11).

Finalmente, optamos por *Trim* Lo-dB de dos etapas con  $C_v = 145$  lineal, con un coeficiente  $F_L = 0,95$  en cuerpo de 6"- 600# Con esta solución el nivel de ruido es de 82-84 dB.A.

## 5. Cálculo $C_v$ 's finales y corrección por conos

En este caso, como la válvula es igual a la tubería no hay corrección y  $F_p = 1$ . Por tanto los  $C_v$ 's son los calculados anteriormente, se recalculan ahora con el *trim* seleccionado y resultan  $C_v = 100 - 124$ .

El número de Mach con 6" = 0,15 - 0,21, por lo que no hay ruido en la brida de salida.

## 6. Porcentajes de carrera

Haciendo lo mismo que en ejemplos anteriores, con gráficos o tubos de  $C_v$ .

$100 / 150 = 0,67 \rightarrow 67\%$     $124 / 150 = 0,83 \rightarrow 83\%$  que son muy aceptables.

## 7. Materiales

Teniendo en cuenta la temperatura, la presión diferencial y el nivel de estanqueidad, debemos poner atención en los materiales del *trim*, vástago y estopada. Para el *trim* se exigirán aceros inoxidable duros, por tratamiento térmico, o endurecidos. El material del vástago será adecuado al esfuerzo requerido y a la temperatura, lo confirmará el fabricante.

El tipo de estopada dependerá del diseño de la tapa en cuanto a su longitud. Otra observación hay que hacer sobre el tipo de juntas de cierre entre obturador equilibrado y jaula. Estamos trabajando con 280 °C, por lo que no pueden ser blandas de PTFE. Según sea el diseño de cada fabricante estas juntas pueden o no conseguir la estanqueidad de cierre requerida, que en este caso es la máxima de clase V (véase Capítulo 7).

## 8. Elegir actuador

Por parte del fabricante. Para este caso deberá tener en cuenta todas las fricciones, la estanqueidad solicitada y la  $\Delta p$  de cierre - 45 bar.

## Otras opciones

1. En primer lugar, si por la temperatura de trabajo no hay juntas adecuadas entre obturador y jaula, habría que optar por un obturador pilotado; (véase Capítulo 2). La válvula sería distinta y habría que recalcularla a partir del paso -4.
2. Otra opción es usar una válvula estándar + placa o atenuador de ruido situado aguas abajo. Además de repartirse la  $\Delta p$  total entre válvula y atenuador, este reduce el ruido. Sería necesario comprobar si se puede usar de 6" al ser este el tamaño de tubería aguas abajo.

Lo más normal es que resulte mejor solución válvula Lo-dB de una etapa + restricción atenuación aguas abajo. Esta solución podría tener mejor coste. Hay que comprobarlo con los fabricantes.

### 9.3. PUNTOS DE ANÁLISIS FUNDAMENTALES DURANTE EL CÁLCULO

En los ejemplos precedentes hemos visto cómo es el procedimiento de cálculo manual. De esta forma debemos entender la importancia de cada dato de cálculo tiene así como los diferentes parámetros que intervienen en el proceso.

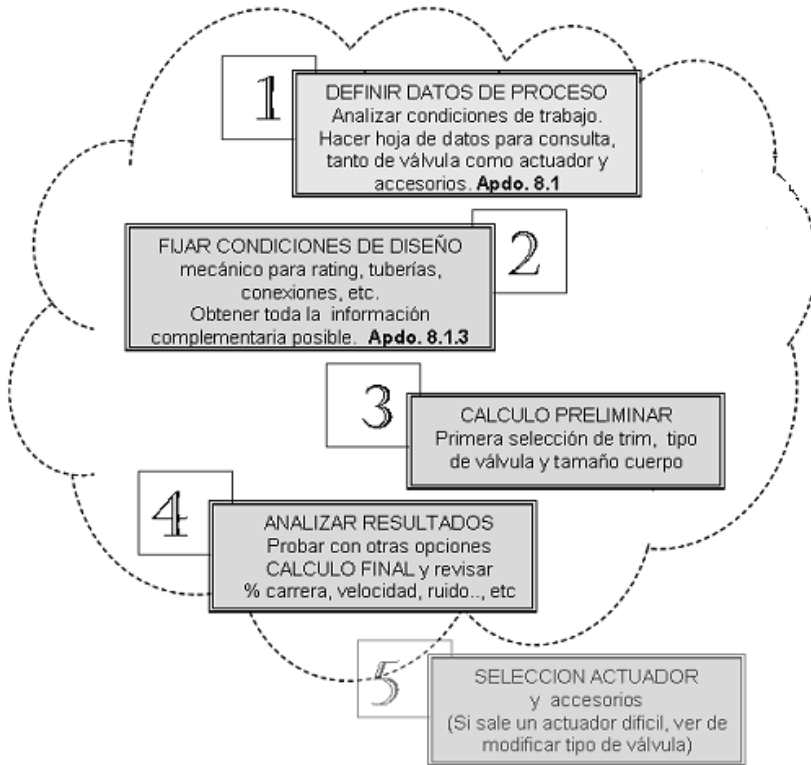
Durante este proceso de selección hay que tener en la memoria los pasos 1 a 4 que ya adelantamos en el apartado 8.1; los reproducimos en la Figura 9.4.

El objetivo no es calcular unos  $C_v$ 's, sino seleccionar la válvula más adecuada para la aplicación que estamos estudiando.

Más adelante se presentarán otros ejemplos de cálculo pero usando un programa informático. Fijaremos la atención en algunos puntos que son fundamentales para definir la válvula. Este análisis se hará sobre la pantalla del programa de cálculo que estemos usando. De esta forma estaremos en condiciones de saber "leer" e "interpretar" las hojas de cálculo que forman parte de una propuesta y oferta técnica de los fabricantes y saber evaluar las diferencias de unos a otros.

Para la selección práctica de una válvula de control hay que seguir un itinerario mental que comprende varios puntos relacionados entre sí.

Es necesario mantener todos estos puntos presentes durante la selección del *trim*, del cuerpo y de todos los materiales, así como del actuador.



**Figura 9.4.** Cuatro pasos iniciales.

El itinerario de selección será el siguiente:

1. *Definir el rating.* Conocer el *rating* y tipo de conexiones nos servirá para intuir en que válvulas poner la atención; por ejemplo: alto *rating* o conexiones soldadas *pueden excluir válvulas de bola, mariposa y rotativa excéntrica.*
2. *Analizar el derrame.* Nos avisa si debemos pensar en *trims* especiales.
3. *Cálculo preliminar del  $C_v$ .* Observar el  $F_L$  requerido, las velocidades y el nivel de ruido. Con esto ya tenemos una información sobre qué tipo de *trim* podemos necesitar: estándar, anticavitación, Lo-dB. Aquí hay que hacer una primera selección del tamaño y tipo del *trim*, que condiciona el tamaño del cuerpo, en definitiva, el tipo de válvula.
4. *Nuevo cálculo del  $C_v$  y análisis.* Se aplicará la ecuación que corresponda con los coeficientes  $F_p$ ;  $F_L$ ;  $Y$ ;  $X_T$ ; etc. para la válvula seleccionada. *Se observarán los valores de:* % apertura;  $F_L$  instalado a esos porcentajes de apertura; nivel de ruido; velocidades; número de Mach; etc., que deben ser correctos.
5. *Condiciones de trabajo para la fabricación de la válvula.* Mientras se hacen los pasos anteriores hay que *tener en la mente* las condiciones máximas de:
  - Presión de entrada.
  - $\Delta p$  máxima en el proceso trabajando.



- Temperatura máxima.
- Clase de cierre.
- $\Delta p$  de cierre.
- Equilibrado o desequilibrado, multietapa, etc.

El *trim* que se elija debe ser adecuado a estas presiones y temperatura. Puede ocurrir que haya que cambiar la opción elegida por no ser compatible con alguno de los datos anteriores.

6. *Verificar actuador*: En algunos programas de cálculo se puede seleccionar un determinado tipo de actuador adecuado al *trim* y cuerpo seleccionado. Puede suceder que resulte un actuador especial, de alto coste, un vástago también de material especial o incluso que no haya actuador adecuado, en fuerza, carrera o velocidad de operación. De ser así tendríamos que seleccionar otro tipo de *trim* y posiblemente de válvula. Esto suele ocurrir con válvulas desequilibradas de cierto tamaño y resulta mejor usar *trims* equilibrados, tipo jaula, que son más fácilmente operables, sobre todo con actuadores de membrana-resorte.

**El proceso de selección no es lineal ni progresivo. Muchas veces hay que recorrer un camino, analizar resultados, y emprender una nueva búsqueda,... hasta llegar a la solución óptima.**

## 9.4. MÁS EJEMPLOS DE CÁLCULO

Hemos hecho unos primeros cálculos de forma manual. Ahora seguimos con otros ejemplos de aplicación utilizando la pantalla de un programa de cálculo “virtual”, parecida al área de trabajo que nos ofrecen los diversos programas de los fabricantes. De esta forma se simplifica el proceso aunque lo verdaderamente importante es *analizar los resultados y tomar decisiones*.

### 9.3.1. CÁLCULO CON GAS (Tag PV-002)

- Función: reductora de presión. Item-4 Cond. de diseño: 15 kg/cm<sup>2</sup> - 50 °C.
- Por fallo cerrada. Clase IV.  $\Delta p$  cierre = 10 kg/cm<sup>2</sup>.
- Tubería: entrada = 4” salida: 6” Sch- 10 S. Ac carbono. Con bridas RF.
- Fluido: gas natural. T<sup>a</sup> 20-20-25 °C; peso molecular: 19,5; Z = 0,98; k = 1,27.
- Caudales: 3.500 - 4.500 - 6.100 Nm<sup>3</sup>/h.
- $P_1 = 6 - 5 - 5$  k/gcm<sup>2</sup>-g.
- $P_2 = 1$  k/gcm<sup>2</sup>-g.

1. Cálculo preliminar:

Se introducen los datos en el programa para ver el *cálculo preliminar*, obteniéndose los siguientes resultados (no se muestra esta pantalla del pre-cálculo):