

CAPITULO IV - DESCRIPCION DETALLADA DE LA VALVULA DIVISORA PROTOTIPO.

4.1 Principios de funcionamiento.

En este capítulo se plantean los criterios básicos de diseño de una válvula divisora de caudal de altas prestaciones.

De acuerdo con las configuraciones detalladas en el anterior capítulo (Estado del Arte), las válvulas divisoras de caudal compensadas en presión normalmente están diseñadas empleando como elemento compensador un mecanismo camisa/corredera, con elementos de control de caudal (estranguladores fijos o variables) dispuestos en serie o en paralelo, tal como se muestra en las figuras 4-1 y 4-2.

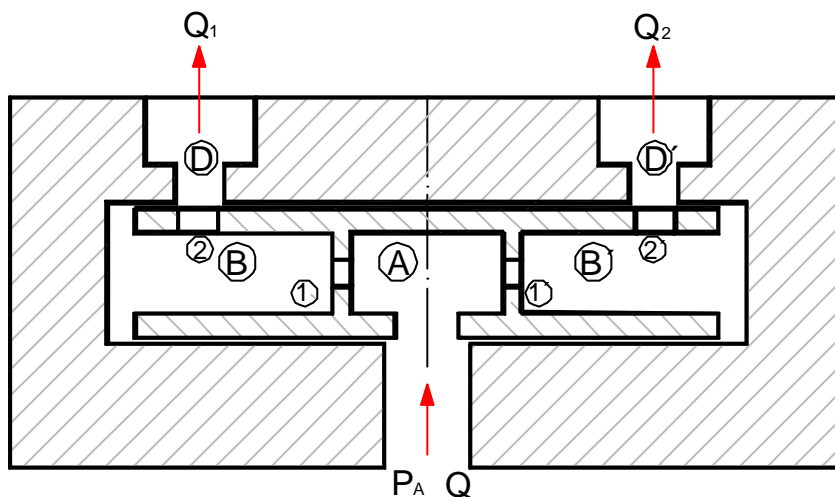


Figura 4-1. Esquema del modelo de una válvula divisora con orificios en serie.

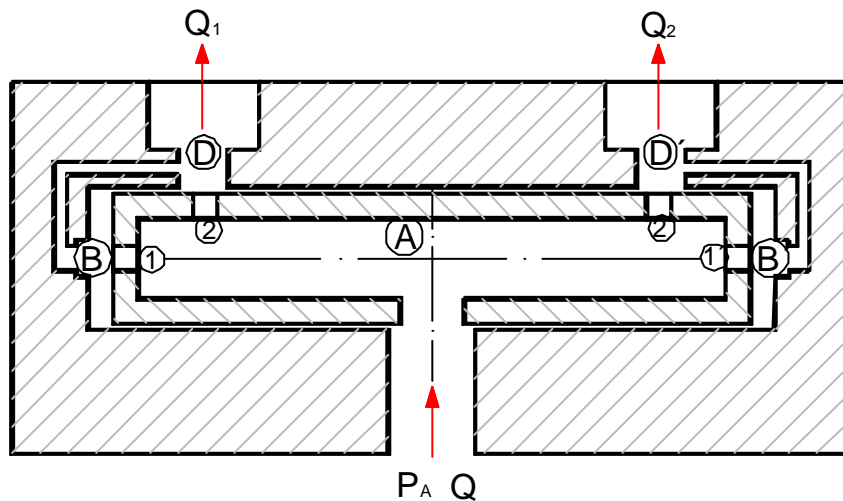


Figura 4-2. Esquema del modelo de una válvula divisora con orificios en paralelo.

Con relación a los elementos de control de caudal las morfologías mas utilizadas son:

- a) Orificio circular de pared delgada y/o pared gruesa.
- b) Orificio de sección variable como consecuencia de la interacción entre la corredera con orificios de sección circular y las ranuras mecanizadas en la pared interior del cuerpo.
- c) Orificio anular como consecuencia de la concéntrica entre la camisa y corredera.

Para ello es conveniente estudiar las ventajas e inconvenientes de las dos configuraciones básicas.

Utilizando los fundamentos teóricos expuestos en el anexo II, y, desarrollando dos modelos de válvulas divisoras, una con una disposición de orificios en serie, figura 4-1 y otra con orificios en paralelo, figura 4-2, con la ayuda del método de los diagramas de enlace (Bondgraph), se han analizado los pros y los contras de cada configuración.

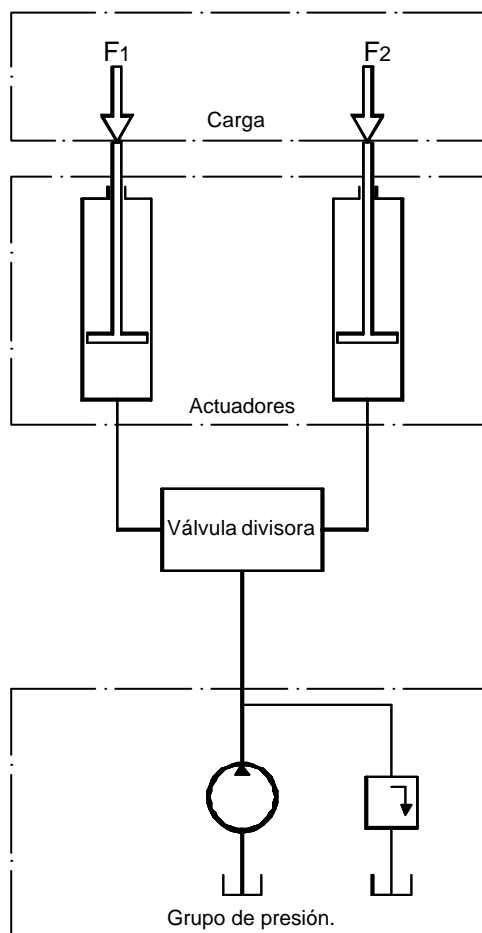


Figura 4-3. Sistema oleohidráulico a simular con Bondgraph.

Se ha tomado como referencia un sistema oleohidráulico constituido por los siguientes elementos:

- 1.-Un grupo de presión (que actúa como una fuente de caudal a presión constante).
- 2.-Dos actuadores lineales de simple efecto (que deben vencer unas fuerzas resistivas).

Denominamos simetría de carga a aquella situación en la cual los actuadores lineales deben vencer fuerzas resistivas idénticas y por el contrario, asimetría de carga aquella situación, en la cual cada actuador debe vencer fuerzas distintas.

- 3.-Un divisor de caudal (Configuración a elegir).
- 4.-Cargas externas.

En figura 4-4, se han esquematizado las configuraciones utilizadas.

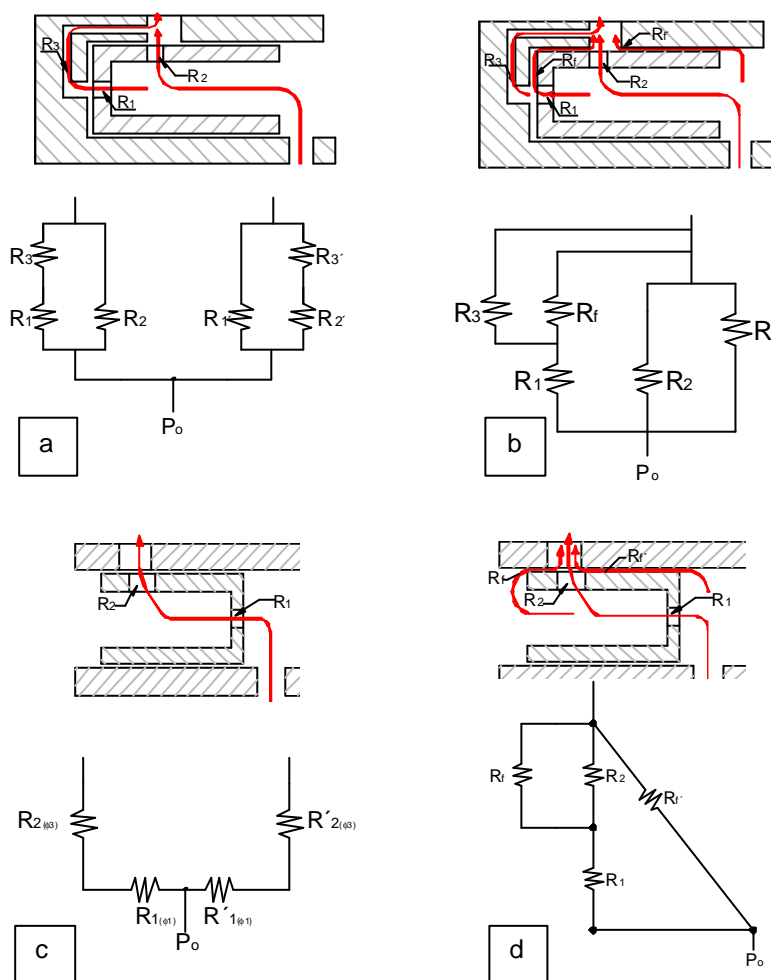


Figura 4-4. Representación de las configuraciones en paralelo (figura a, sin fugas y b con fugas), y en serie (figura c, sin fugas y d con fugas).

Es de hacer notar que para ambos modelos, los parámetros geométricos e oleohidráulicos son necesariamente similares, variando únicamente (tal como se indicó anteriormente) la disposición geométrica de los orificios en cada uno de ellos. Ambos modelos pueden ser apreciados en las figuras 4-5 y 4-6.

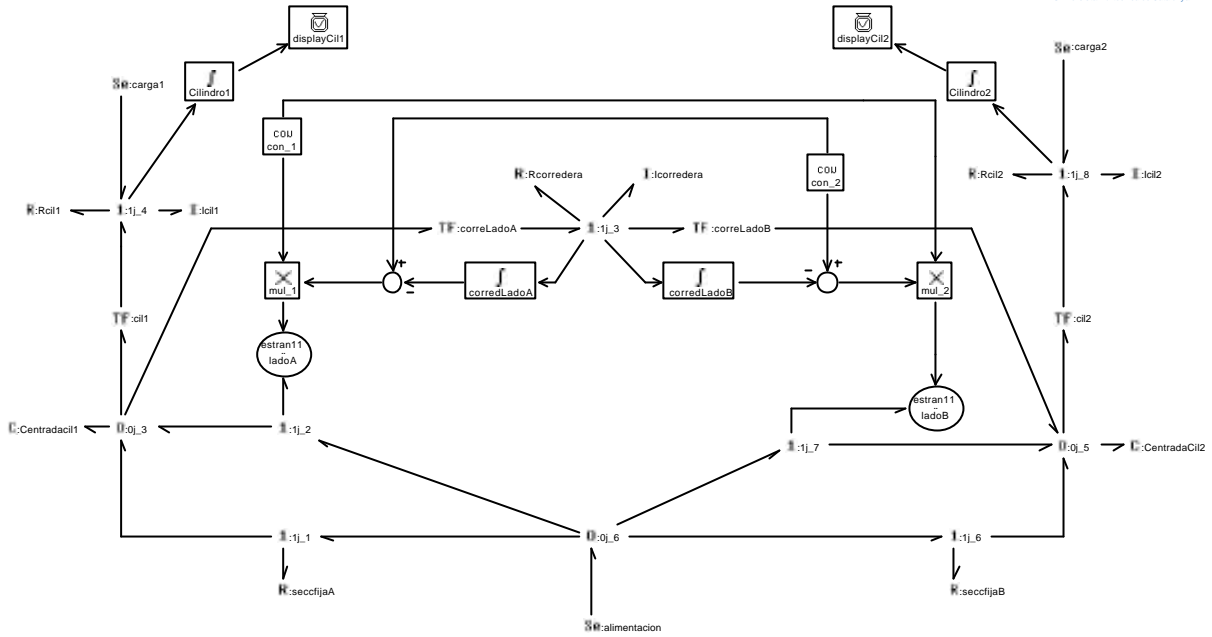


Figura 4-5. Modelo de diagrama de enlaces de una válvula divisora con una configuración de orificios en paralelo (sin fugas).

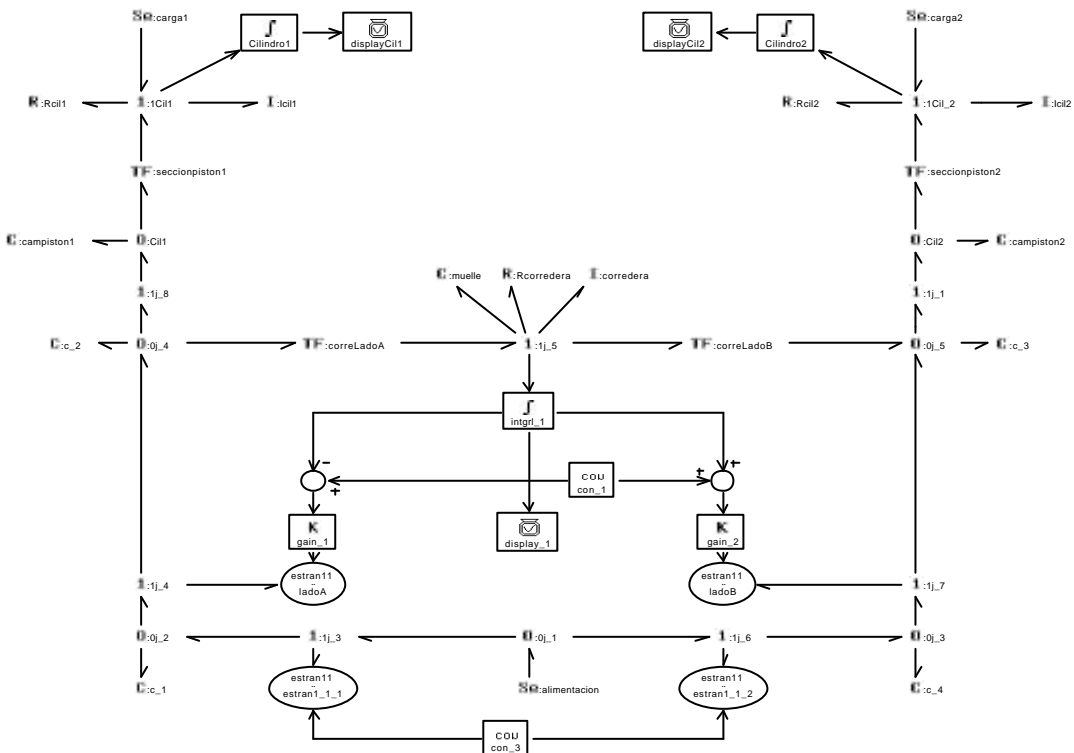


Figura 4-6. Modelo de diagrama de enlaces de una válvula divisora con una configuración de orificios en serie (sin fugas).

Una vez elaborados los modelos y contrastada su fiabilidad, se procedió a explotar numéricamente ambos modelos en el ordenador. Los pasos que a continuación se describen son desarrollados, simultáneamente, en ambos modelos:

- Introducir una presión de alimentación constante en el modelo.
- Fijar de forma sistemática (y para cada una de las simulaciones), diferentes valores de cargas.
- Introducir un diámetro inicial de $\phi 0.3$ mm, en la variable correspondiente al orificio fijo.
- Anotar en un archivo Excel, el valor de las velocidades, las pérdidas de carga y los caudales en cada uno de los puertos de salida del divisor.
- Repetir desde los pasos 2, 3 y 4 variando, el valor del diámetro hasta un máximo de $\phi 3.5$ mm.

Como criterio comparativo se ha utilizado la definición de error de división dada por Kwan [1979]:

$$E_v (\%) = \frac{\Delta Q}{Q_s} \cdot 100 \quad [4.1]$$

donde,

E_v , es el error, de división de caudal.

$\Delta Q = Q_1 - Q_2$, es la diferencia entre ambos caudales de salida de la válvula divisora,

Q_s , es el caudal total que ingresa a la válvula divisora.

Los resultados obtenidos a partir de la explotación numérica de los modelos se han resumido en la figura 4-7, y de su análisis se pueden deducir las siguientes conclusiones:

1. Para cualquier configuración ideal (sin fugas), la simetría de cargas, implica un error de división de caudal nulo, mientras que la asimetría de carga implica un error de división de caudal proporcional al diferencial de carga ($F_1 - F_2$).
2. El mismo modelo, pero para asimetría de carga ($F_1 \neq F_2$) indica que el error de división de caudal para la configuración en paralelo es mayor que para la configuración en serie.
3. Para asimetría de carga y configuración en serie, el error de división aumenta con el diámetro del orificio fijo.

4. Para asimetría de carga y configuración en paralelo, el error de división disminuye con el aumento del diámetro del orificio.
5. En el caso de orificios en serie, los resultados numéricos ponen en evidencia que el error de división se mantiene constante hasta un cierto valor del diámetro del orificio, a partir del cual empieza a aumentar, por ejemplo, en la figura 48 se puede colegir que el error se mantiene constante entre los diámetros $\phi 0,3 - 1.5$ mm.

A la vista de estos resultados, es fácil deducir que la configuración en serie es la más adecuada a pesar de estar penalizada por los diferenciales de presión entre los puertos de entrada y la salida de la válvula.

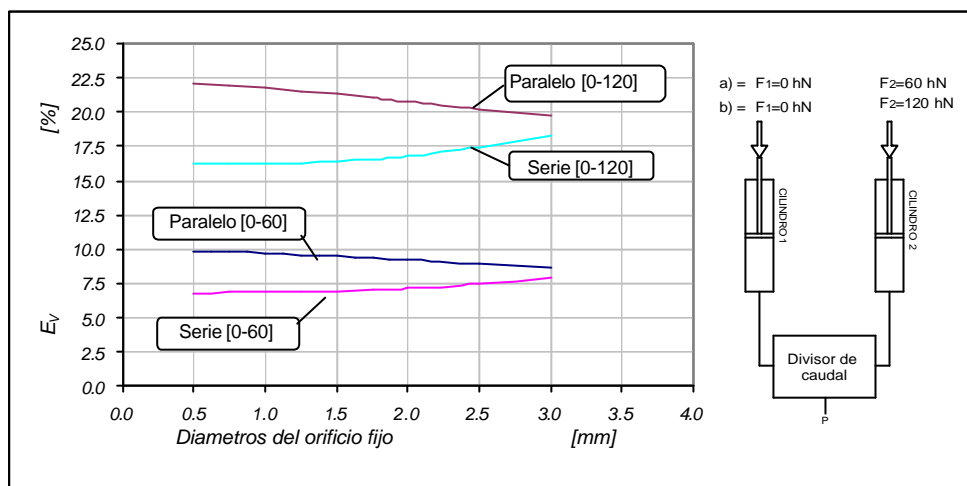


Figura 4-7. Resultados del estudio comparativo entre, un divisor con orificios en serie y en paralelo.

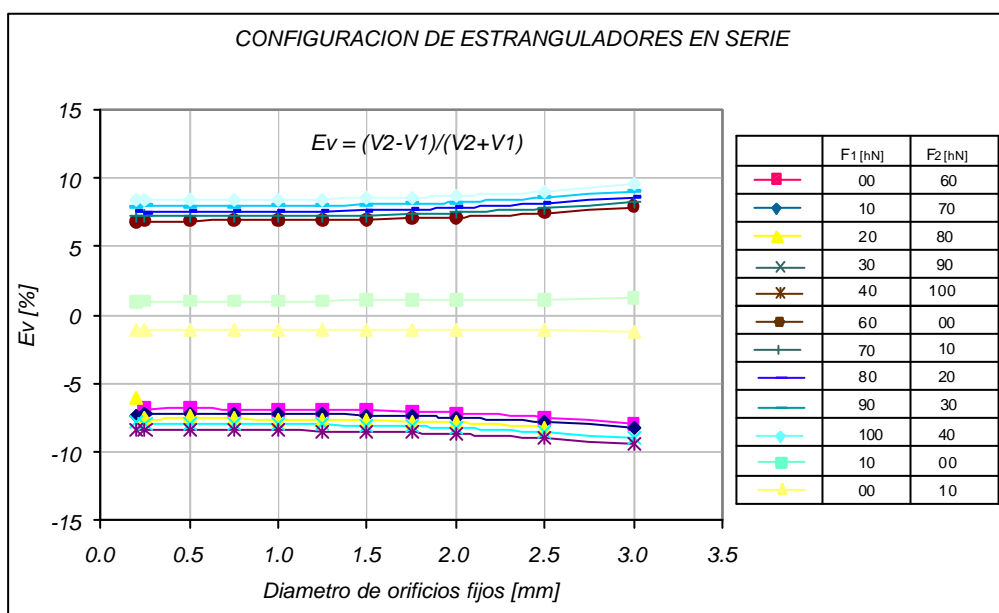


Figura 4-8. Configuración de orificios estranguladores en serie.

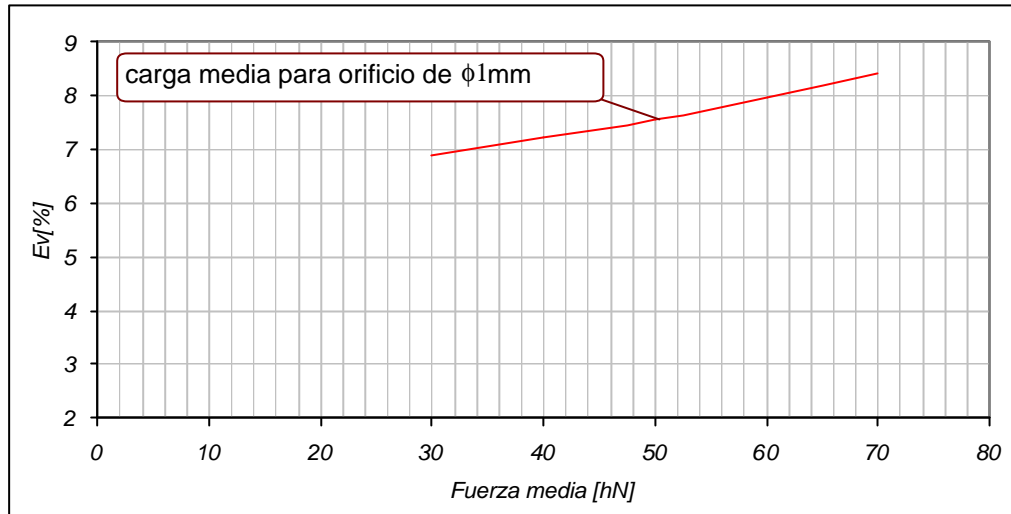


Figura 4-9. Carga media¹ aplicada para una configuración de orificios conectados en serie.

¹ Carga media se define como la suma de las cargas parciales aplicadas en sobre cada uno de los actuadores.

4.2 Ampliación de las funcionalidades de la válvula.

Hasta ahora, la propuesta de diseño de una válvula divisora de caudal (configuración en serie), de la cuál se ha discutido ampliamente en los apartados anteriores, está compuesta, fundamentalmente, de tres elementos básicos: una carcasa, una corredera y un par de muelles de recuperación tal como se muestra en la figura 4-10.

Este diseño solo sirve para actuar como válvula divisora, sin embargo, en muchas aplicaciones se requiere la funcionalidad contraria, es decir, unir dos caudales en uno solo manteniendo la proporcionalidad entre los caudales entrantes independientemente de las cargas. A esta funcionalidad le hemos denominado válvula integradora.

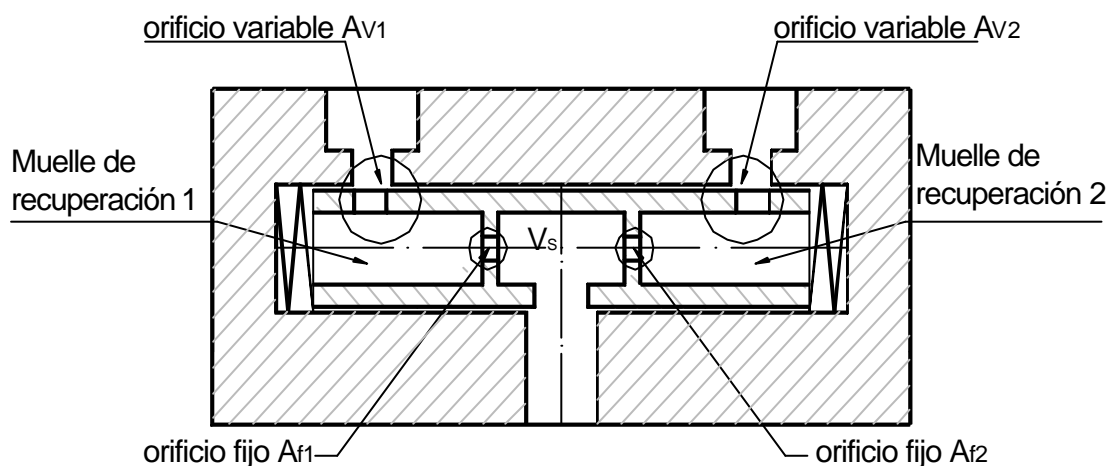


Figura 4-10. Esquema de la carcasa y corredera de la válvula divisora de caudal.

A continuación se describen las particularidades necesarias para ampliar la funcionalidad de la válvula divisora, y que permita que la misma pueda actuar como válvula integradora de caudal.

En la figura 4-11 que se muestra a continuación, se observa una válvula divisora sometida a una asimetría de cargas. Como se ha descrito en el Estado del Arte, la corredera tiende a moverse, por ejemplo en nuestro caso, hacia el lado derecho de la válvula, provocando que la sección de paso del orificio variable derecho aumente su tamaño y, de forma inversa, que la sección de paso del orificio

variable izquierdo reduzca su tamaño, este movimiento permite que la válvula divisora compense en caudal esta diferencia de presiones

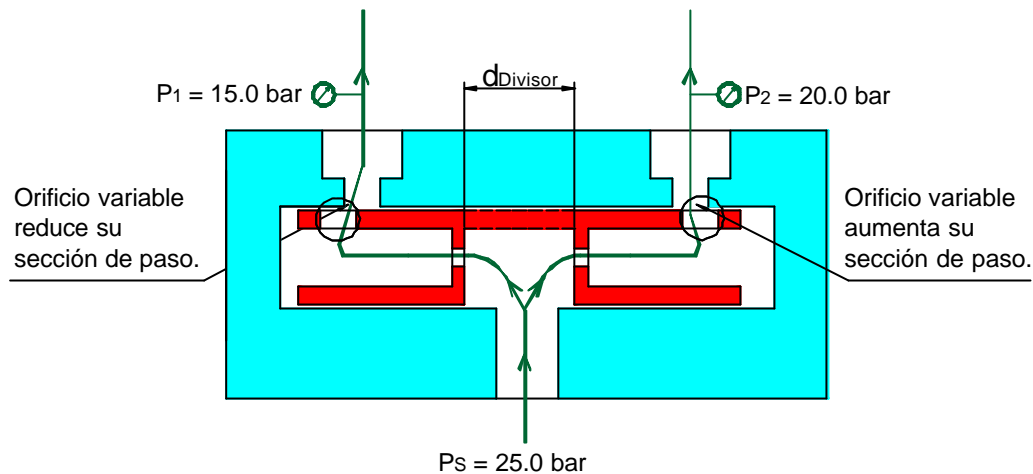


Figura 4-11. Corredera funcionando como divisor de caudal.

Si esta misma válvula es requerida a trabajar como válvula integradora de caudal, para este mismo ejemplo, es necesario simplemente modificar la distancia entre las lumbreras. Esta modificación es presentada en la figura 4-12.

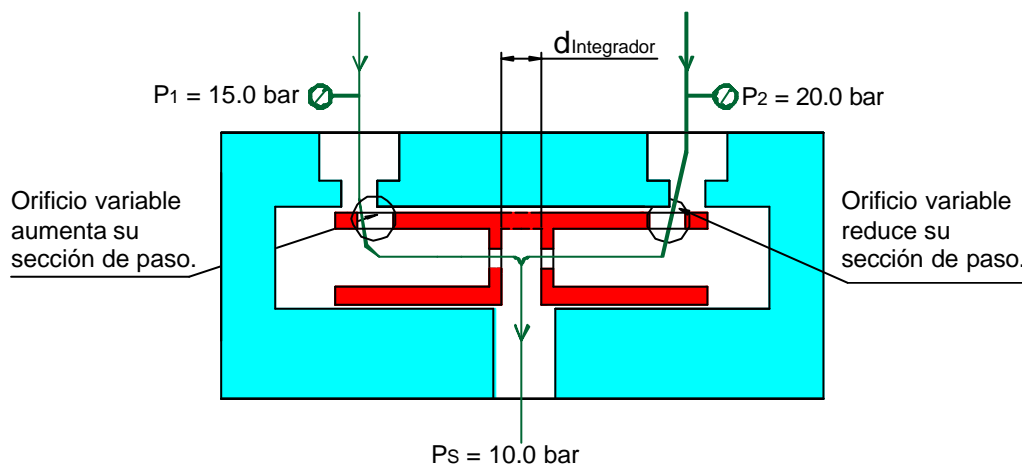


Figura 4-12. Corredera modificada para permitir su funcionamiento en modo integrador.

En modo integrador, los puertos de salida se convierten en puertos de entrada y, el puerto de entrada pasa a ser un puerto de salida (a presión atmosférica). La presión en el lado derecho de la válvula ($P_2 > P_1$), induce a la corredera a moverse hacia el lado izquierdo, reduciéndose la sección de paso del lado derecho y, por consiguiente aumentándose la sección de paso del lado izquierdo. Esto conlleva a una compensación de caudal hasta que se igualen las presiones ($P_2 = P_1$), y por tanto, $Q_2 = Q_1$

Es evidente que una corredera de una sola pieza no permite ambas configuraciones geométricas simultáneamente, dado que en la divisora la distancia entre lumbreras es mayor que en la integradora. Por lo tanto se hace necesario incluir en el diseño de la válvula divisora/integradora de caudal, un mecanismo que permita autoadaptar la distancia entre las lumbreras. Tal como se aprecia en la figura 4-13 el mecanismo seleccionado esta compuesto por las dos correderas enlazadas mecánicamente de tal forma que puedan experimentar un movimiento relativo entre ellas. Unos topes mecánicos limitan las posiciones extremas.

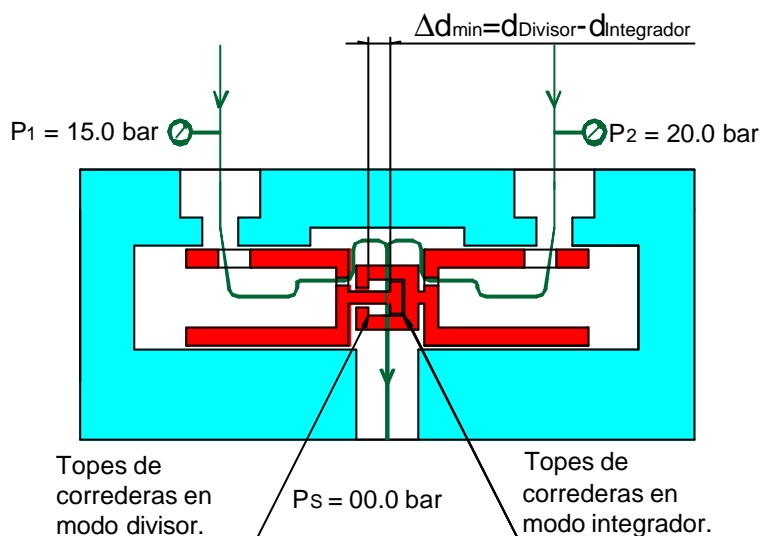


Figura 4-13. Esquema del mecanismo de enlace entre ambas correderas.

Otras limitaciones detectadas en las válvulas divisoras, es consecuencia del denominado bloqueo oleohidráulico. De acuerdo con lo expuesto en el apartado [3.1.1.5] del capítulo III, el bloqueo se presenta cuando los diferenciales de presión, entre las cámaras P_1 y P_2 del divisor, se elevan a tal magnitud que se induce un rápido movimiento de traslación de la corredera en la dirección de la cámara de menor presión (figura 4-14). Este movimiento de la corredera “bloquea” el paso del caudal de aceite a través del orificio variable y, por consiguiente, hacia los puertos de salida del divisor.

Para evitar esta situación, la solución más simple consiste en disponer de dos orificios estratégicamente colocadas tal como se muestra en la figura 4-15.

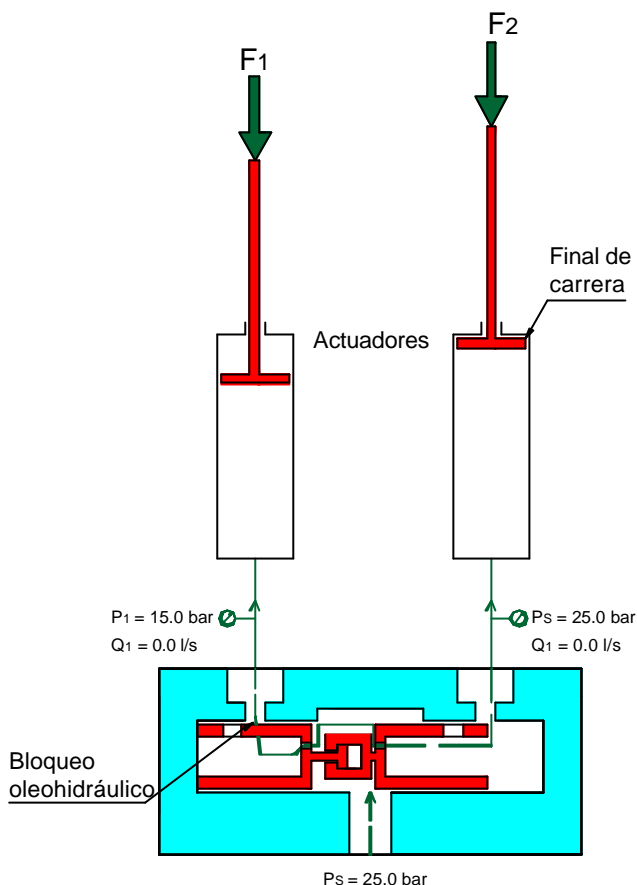


Figura 4-14. Bloqueo oleohidráulico en sincronismo de actuadores.

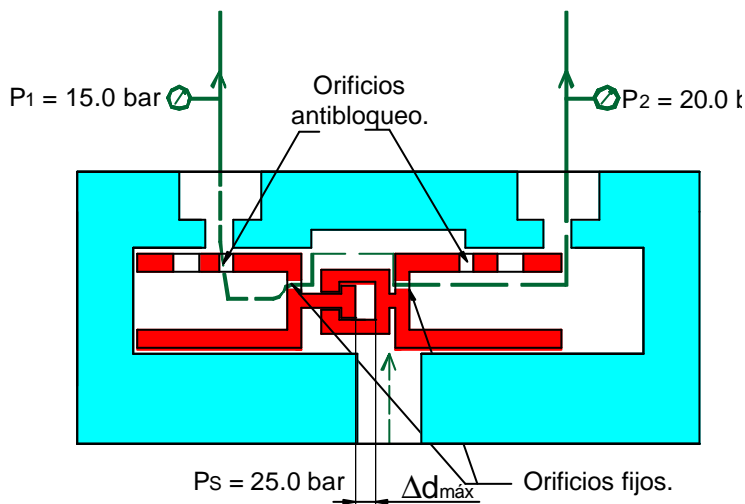


Figura 415. Orificios antibloqueo ubicados en la corredera de la válvula divisora/integradora de caudal.

La materialización de estas propuestas se ha realizado en diferentes etapas, una detrás de otra. Se ha tomado como punto de partida válvulas divisoras disponibles en el mercado, que han sido modificadas según nuestras necesidades. Queremos destacar que una gran parte de los ensayos experimentales han sido

posibles gracias a la gentileza de la empresa Pedro Roquet, S. A, que ha cedido una gran cantidad de válvulas, las cuales, modificadas o no, han sido soporte de nuestras investigaciones.

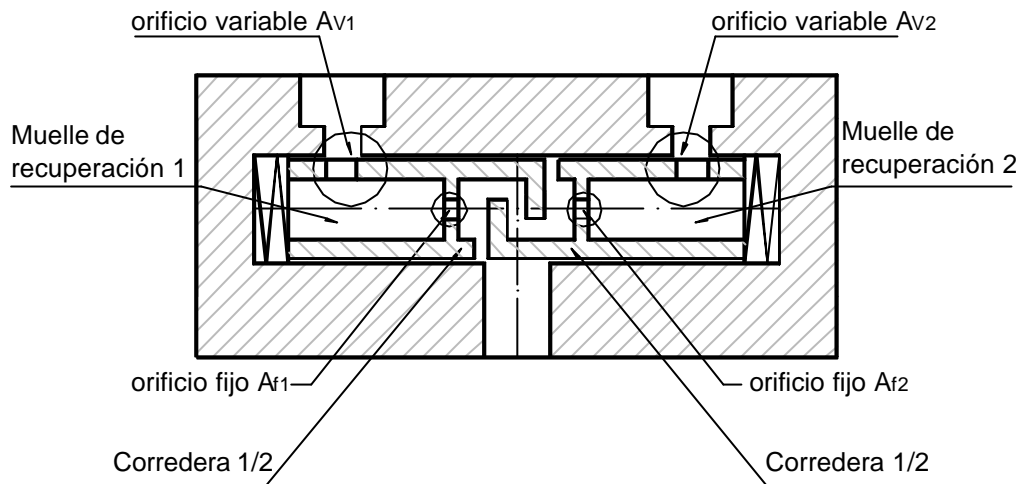


Figura 4-16. Propuesta de la válvula divisora/integradora de caudal, con dos correderas desplazables.

4.3 Prototipo a estudio.

De acuerdo con lo descrito en el apartado anterior, y en los anexos II, descripción de una válvula divisora/integradora de caudal, la configuración que ha servido de base para toda la fase experimental es la que se muestra en la figura 4-17.

Las piezas que consideramos básicas son:

- Carcasa o cuerpo de la válvula. [F].
- Las correderas del lado izquierdo [CI] y lado derecho [CD] de la válvula divisora.
- Los muelles de recuperación del lado izquierdo [MRI], y derecho [MRD] y el muelle de centraje [Mc].

Se ha partido de una configuración básica de la válvula Divisora/integradora de caudal, desarrollada por la empresa Pedro Roquet, S. A. En las figuras 4-18 a 4-19 se muestran las dimensiones básicas de tales componentes. Por cuestiones de confidencialidad, algunas de las dimensiones han sido omitidas de los planos.

Toda la fase experimental de la tesis se ha desarrollado sobre esta configuración básica y sobre las modificaciones o rediseños de las correderas (CD y CI) habida cuenta que los puntos críticos a estudiar están relacionados para una:

a).-misma configuración.

- Tolerancias.
- Diámetro del chicle.
- Diámetro de la corredera.

b).-nuevas configuraciones.

- Formas geométricas de sección de flujo variable.
- Diseño de nuevos orificios de control.

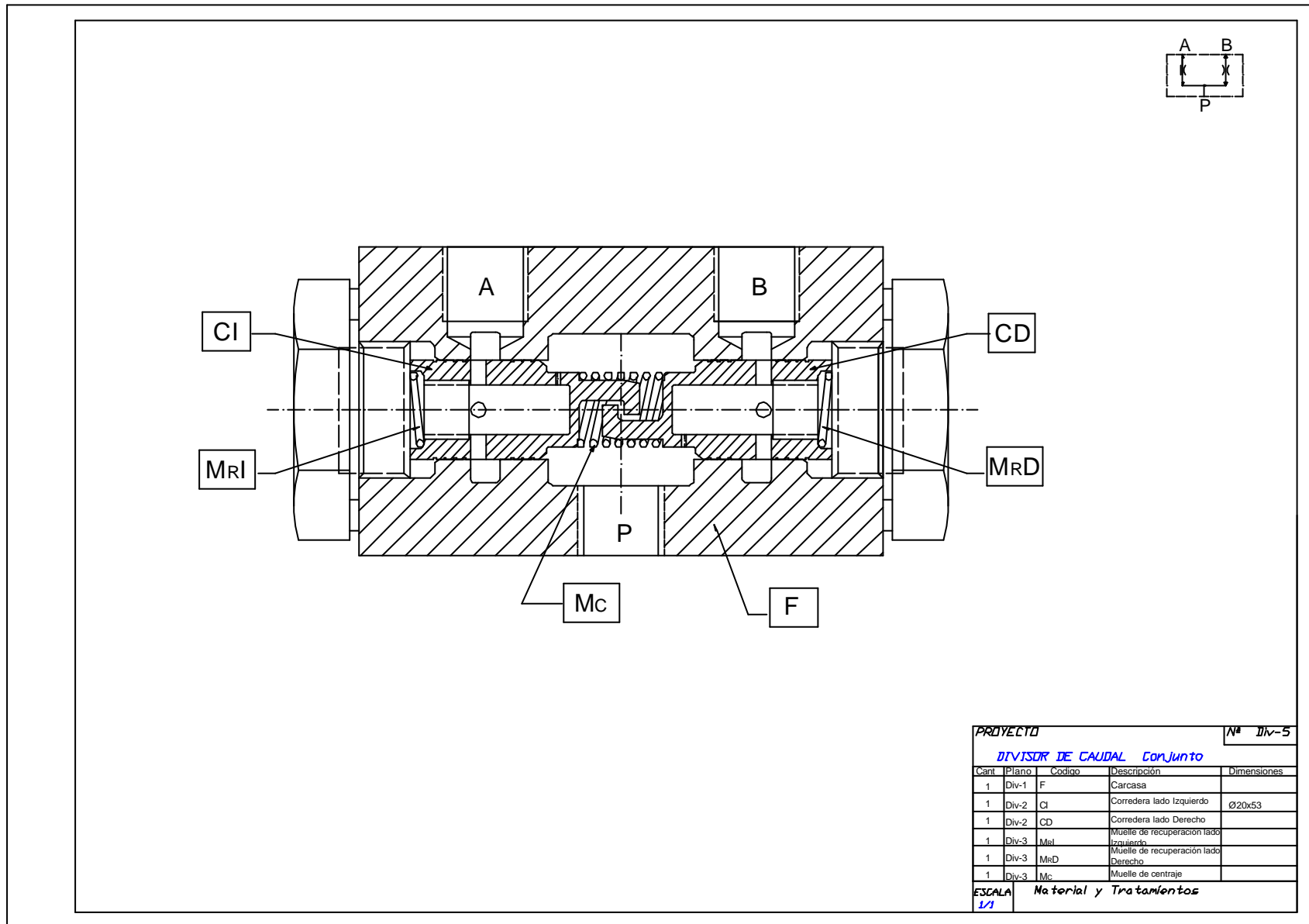


Figura 4-17. Prototipo básico.

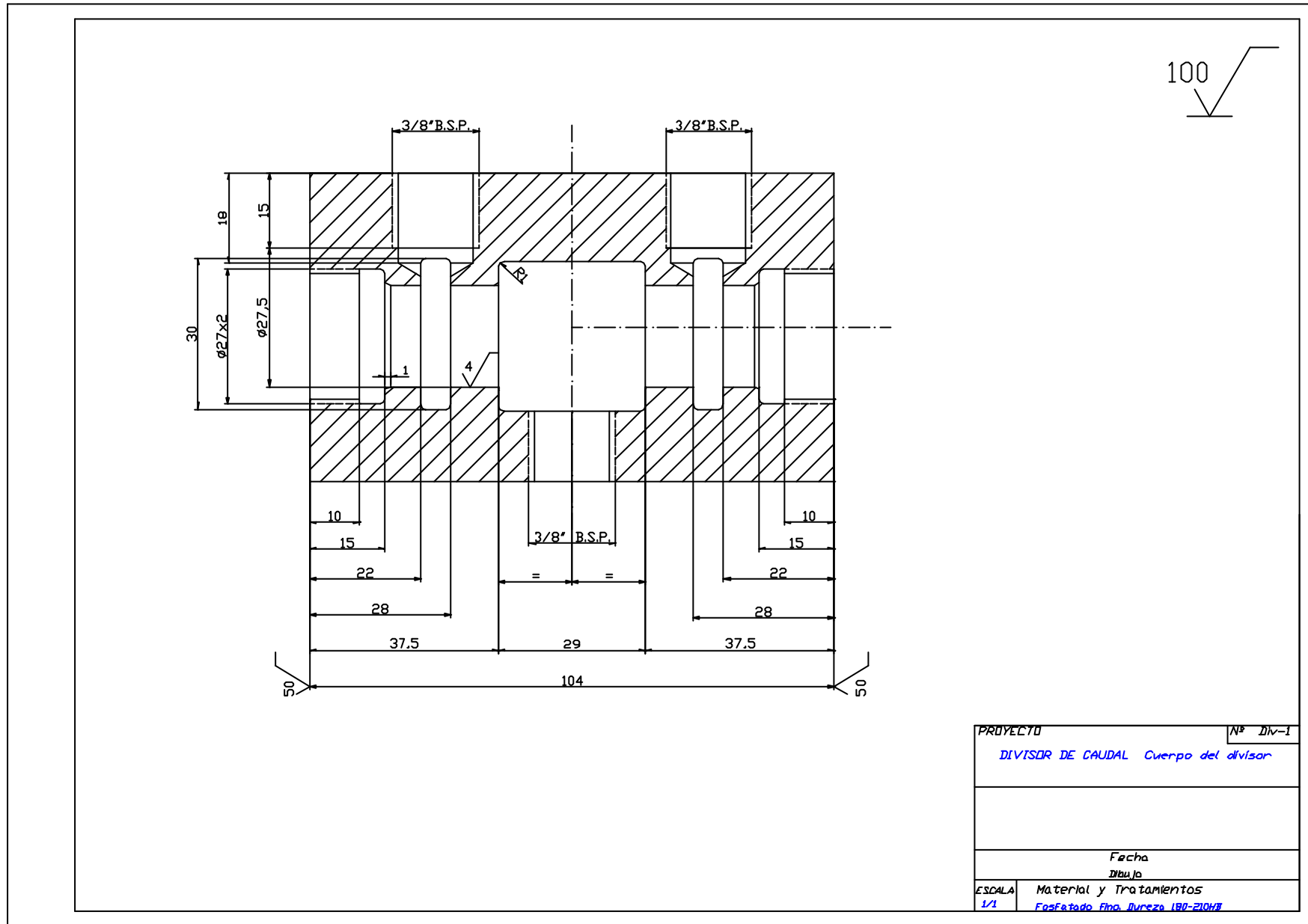


Figura 4-18. Carcasa.

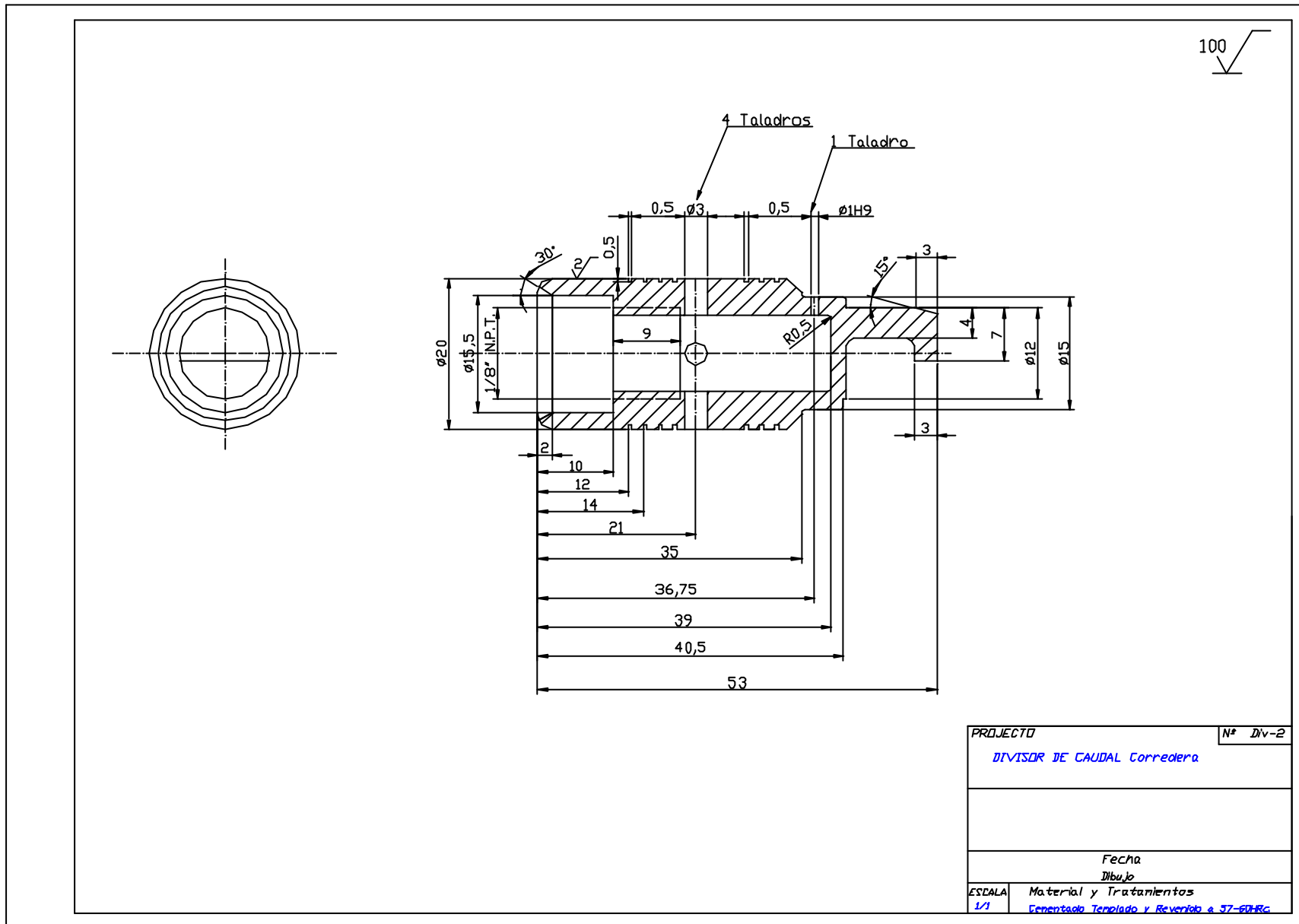


Figura 4-19. Corredera.

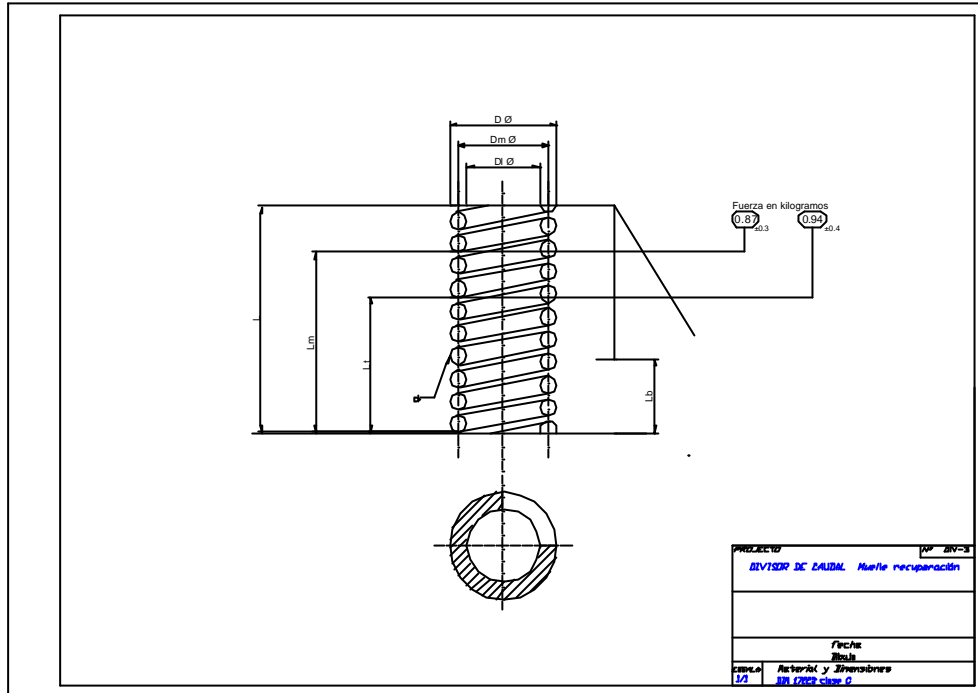


Figura 4-20. Muelles de recuperación y centrado.

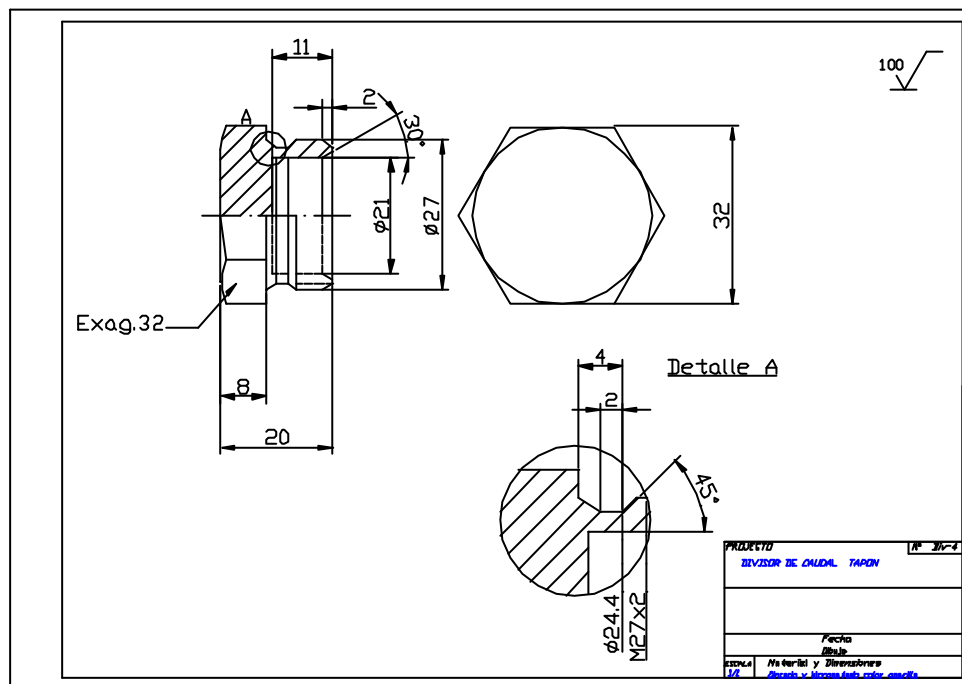


Figura 4-21. Tapón.

Metrología.

Para la caracterización precisa de los componentes de la válvula Divisora/integradora de caudal, a continuación se resumen los equipos e instrumentos utilizados para efectuar la correcta metrología de las piezas utilizadas en los ensayos (ver tabla 6-1 v figura 6-6).

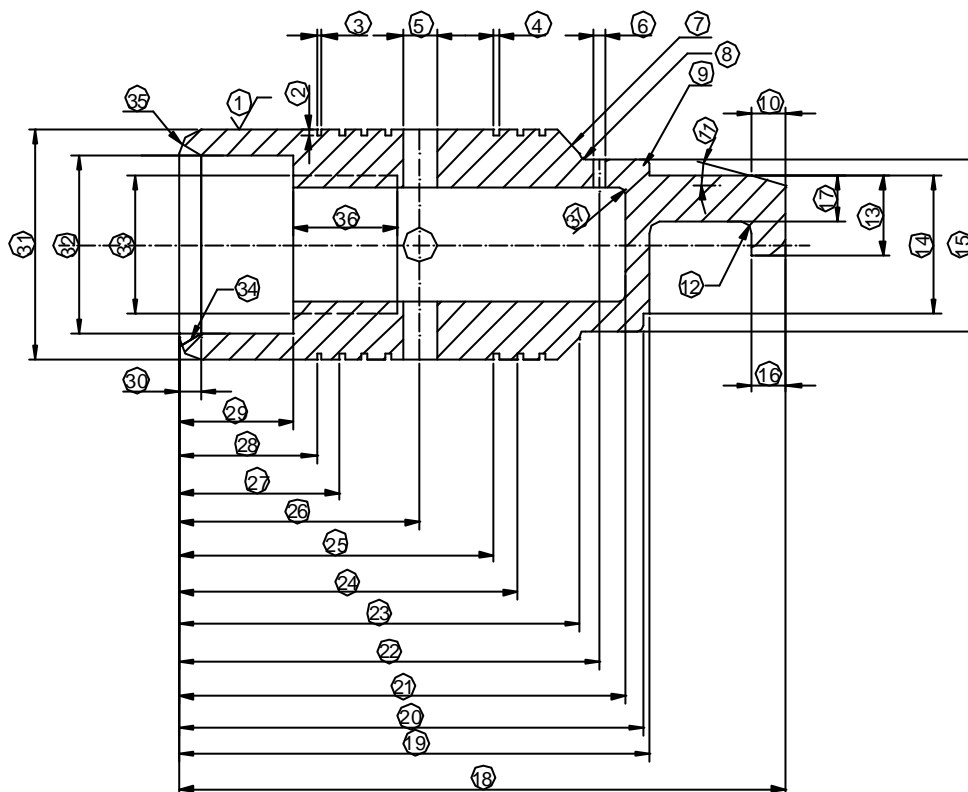


Figura 4-22. Metrología utilizada en la corredera de la válvula.

(*) Números en concordancia con la tabla 4-1.

Cotas	Metodos y equipos de medición	Precisión
1	Rugosímetro Mitutoyo Surf-test-501 Ra	0.001-150 μm
2 - 4	Proyector de perfiles Mitutoyo PJ-300	-2.0 +/- -2.0 μm
5	Calibre 3H9 macho pasa - no pasa	
6	Calibre 1H9 macho pasa-no pasa	
7 - 12	Proyector de perfiles	
13	Palmer digital 0-25 mm Mitutoyo	10 μm
14 - 29	Pie de rey estándar Mitutoyo calibrado con bloques patrón Mitutoyo código 516-107	5 μm
30	Máquina tridimensional (Mitutoyo FN905)	3 μm
31	Comparador de columna Litematic 318 calibrado con bloques patrón código 516-107	1 μm
32	Pie de rey Mitutoyo calibrado con bloques patrón Mitutoyo código 516-107	5 μm
33	Calibre 1/8" NPT macho.	
34	Máquina tridimensional (Mitutoyo FN905)	3 μm
35	Proyector de perfiles Mitutoyo PJ-300	-2.0 +/- -2.0 μm
36	Calibre NPT y pie de rey digital	10 μm
37	Proyector de perfiles Mitutoyo PJ-300	-2.0 +/- -2.0 μm
*	Comprobación de cilindridad (Máquina Talyrond 265)	0.0008 μm
*	Comprobación del tipo de material con ensayo de chispa	
*	Comprobación visual general (rebabas, poligonados, etc.)	

Tabla 4-1. Métodos y equipos de medición

En la tabla 4-2, se resumen los principales parámetros geométricos y físicos de la válvula prototipo divisora/integradora de caudal experimentada en esta tesis.

Símbolos	Descripción	Dimensiones	Unid.
D	Diámetro de la corredera de la válvula.	2	[cm]
$d_{f1,2}$	Diámetro de los orificios fijos 1 y 2 de la corredera de la válvula.	1	[mm]
$d_{v1,2}$	Diámetro de los orificios variables 1 y 2 de la corredera de la válvula.	3	[mm]
$d_{r1,2}$	Diámetro de los chicles 1 y 2 de la corredera de la válvula.	1	[mm]
L_t	Longitud total de la corredera.	53	[mm]
l_{rc}	Longitud de rozamiento de la corredera.	15.5	[mm]
$t_{máx}$	Longitud del tope máximo entre los extremos de la corredera de la válvula.	12	[mm]
$t_{mín}$	Longitud del tope mínimo entre los extremos de la corredera de la válvula.	6	[mm]
k_m	Constante de los muelles.	357,8	[N/m]
V_s	Volumen de la cámara central.	20.5	[cm ³]
V_1	Volumen de la cámara interior de la corredera 1.	1.57	[cm ³]
V_2	Volumen de la cámara interior de la corredera 2.	1.57	[cm ³]
V_3	Volumen de la cámara final de la corredera 1.	8.53	[cm ³]
V_4	Volumen de la cámara final de la corredera 2.	8.53	[cm ³]
m_1	Masa de la corredera 1.	68.1	g
m_2	Masa de la corredera 2.	68.1	g

Tabla 4-2. Resumen de los principales parámetros de la válvula divisora/integradora de caudal.