

Capítulo 6 - CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE COMPONENTES

Cualquier teoría necesita ser avalada por la experiencia para que pueda reconocerse su validez y campo de aplicación.

En este capítulo se describen los equipos e instrumental que se emplearon en el desarrollo de las experiencias de laboratorio, así como los procedimientos seguidos hasta la consecución de los resultados que se indican a lo largo del documento.

Se utilizaron dos bancos de pruebas de los cuales uno fue construido expreso en el LABSON

- Banco de pruebas para el ensayo sistemático de mecanismos de barras articuladas accionadas mediante cilindros oleohidráulicos.

La determinación de las curvas características de válvulas de control direccional proporcional, de válvulas auxiliares y de subconjuntos integrados en la válvula de sincronización se realizó en el banco de ensayo de componentes disponible en el citado laboratorio.

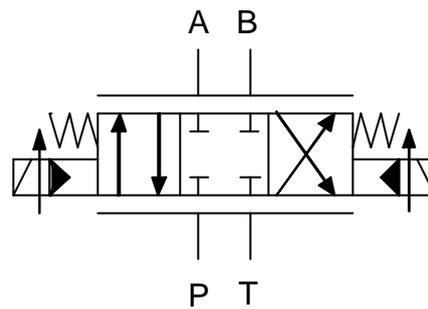
Esta fase de experimentación fue posible gracias a la colaboración desinteresada de la empresa **Pedro Roquet S.A.** Desde el inicio de este estudio, la empresa ha cedido toda clase de componentes oleohidráulicos y ha brindado sus instalaciones de R & D para colaborar en la fabricación o modificación de prototipos.

Este capítulo está dedicado totalmente a la caracterización experimental de componentes individuales.

6.1 Descripción del ensayo para la caracterización de la válvula de control de dirección proporcional

Mediante válvulas proporcionales pueden controlarse de forma continua las velocidades de los actuadores lineales en ambas direcciones de movimiento, esto es así porque la corredera de la válvula proporcional puede ocupar infinitas posiciones entre las dos posiciones extremas.

La representación simbólica de la válvula de control de dirección proporcional es:



La función obligada de una válvula distribuidora proporcional es entregar un caudal modulado por una señal eléctrica, en un sentido u otro. Es por consiguiente la de realizar un control de dirección y de caudal (no compensada). Para poder cumplir su función, la válvula se compone de los siguientes elementos, tal como se puede apreciar en la figura 6.1 .

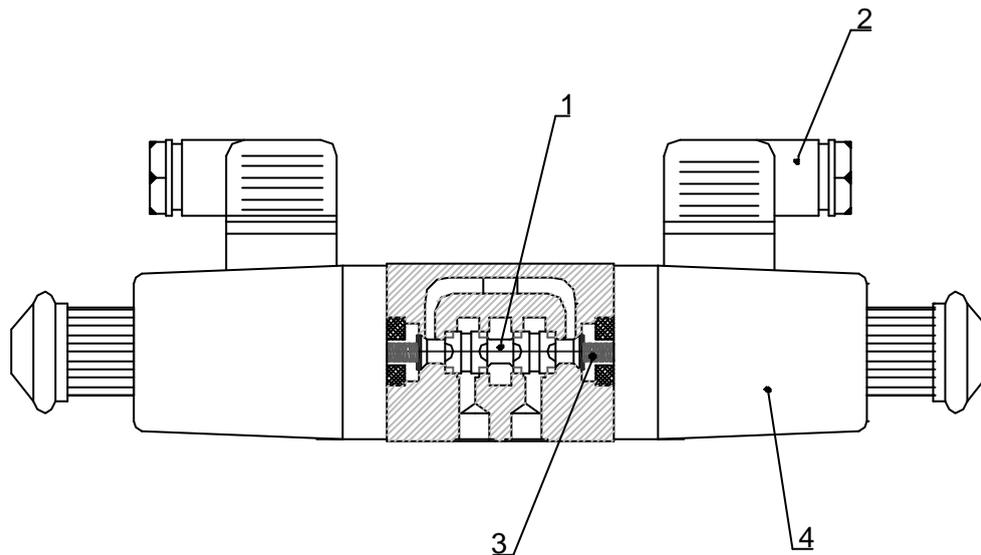


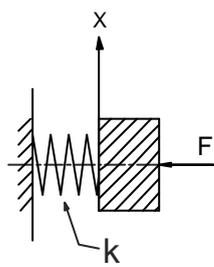
Figura. 6.1 - Esquema interior de una válvula de control de dirección proporcional

1. Un cuerpo y corredera
2. Conector eléctrico al solenoide
3. Muelle de retorno de la corredera
4. Conjunto del electroimán completo

6.1.1 Funcionamiento de la válvula de control de dirección proporcional

El principio utilizado para conseguir un caudal modulado por una señal eléctrica es simple:

- El eje del distribuidor en reposo (sin fuerza exterior) es posicionado por dos muelles de retorno de la corredera (nº 3 de la figura 6.1).
- La aplicación de una fuerza exterior sobre el eje obliga a este a desplazarse hasta una posición de equilibrio determinada por la constante elástica del muelle tal como se indica en la figura (6.2a).
- La variación de la fuerza obliga al eje a cambiar de posición
- La intersección de las gargantas del cuerpo con los orificios del eje determina una sección de paso variable, en función de la posición del eje (Fig 6.2b)



$$x = \frac{F}{k}$$

Figura 6.2a

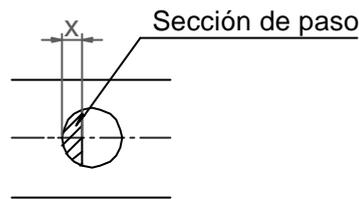
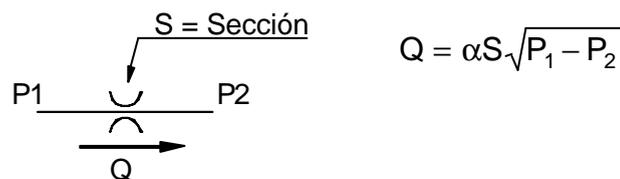


Figura 6.2b

- En consecuencia, un posicionado del eje determina una sección de paso. Se puede realizar el diagrama de bloque siguiente:



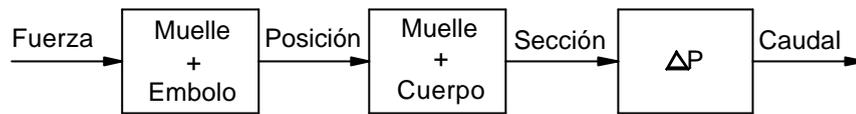
- El caudal de paso por el eje se determina por la diferencia de presión existente entre la sección de paso tal como se puede observar en la figura 6.3



$$Q = \alpha S \sqrt{P_1 - P_2}$$

Figura 6.3 – Paso del caudal a través de una vía de la válvula de control de dirección proporcional.

- Hay que tener en cuenta que si la diferencia de presión varía, el caudal variará. El diagrama será entonces:



- La válvula en realidad se compone de dos restricciones en serie simétricamente variables tal como se presenta en la figura 6.4.

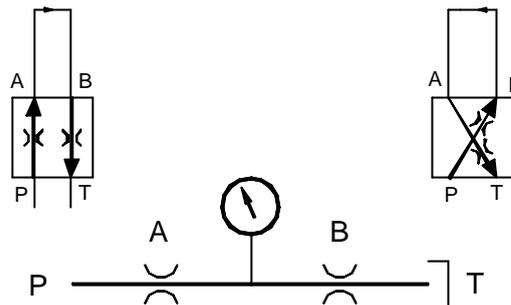
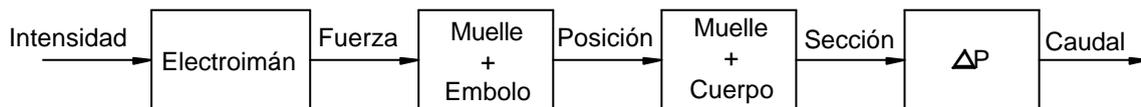


Figura 6.4 – Los conductos de la válvula se pueden considerar como dos restricciones en serie

- La función de estas dos restricciones en serie es la de mantener la presión a las dos cámaras del receptor a controlar.
- La fuerza necesaria para posicionar el émbolo es producida por el electroimán cuya intensidad es controlada por la tarjeta electrónica. Entonces, el diagrama completo será:



El ensayo de la válvula de control de dirección proporcional consiste en obtener la curva característica de la válvula de control de dirección proporcional marca Roquet, tipo TN – 6 con tres correderas que difieren de un pequeño mecanizado en sus superficies que abren o cierran las vías A y B de la válvula, presentadas en las figuras 6.5. Las curvas características fueron obtenidas para las trayectorias P→A, P→B, A→T, B→T para las tres correderas a diferentes presiones de entrada con cada voltaje de consigna.

El banco de ensayo de la válvula de control de dirección proporcional se compone de los siguientes elementos (figura 6.6):

1. Dispositivo volumétrico

2. Válvula reguladora de caudal
 3. Manómetro para medir la presión de salida
 4. Manómetro para medir la presión de entrada
 5. Transductores de presión
 6. Válvula reductora de presión
 7. Sensores de desplazamiento lineales
 8. Dispositivo de captación de señales
 9. Válvula de control de dirección proporcional
 10. Fuente y tarjeta de alimentación
 11. Ampermetros I_1 e I_2
- A. Central oleohidráulica

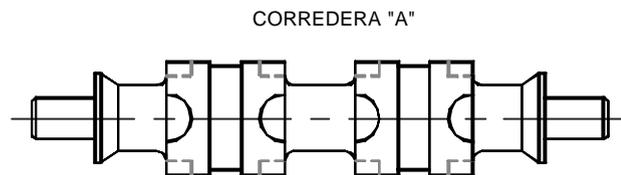


Figura 6.5a

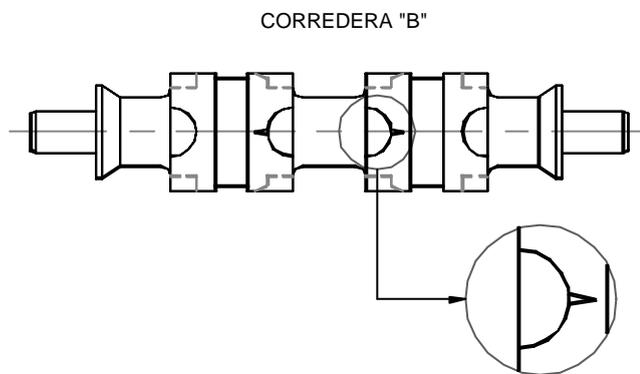


Figura 6.5b

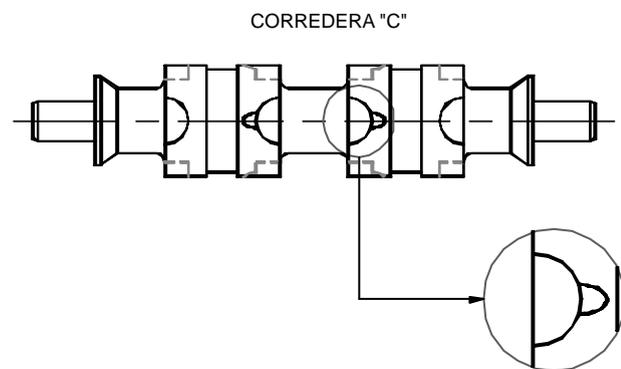


Figura 6.5c

Figura 6.5 –La corredera “A” presenta la forma geométrica original, Las correderas “B” y “C” presentan el pequeño mecanizado diferenciadas por su forma tal como se presenta resaltadas en los círculos.

6.1.2 Funcionamiento del Grupo Banco de Ensayo

Siguiendo el esquema de la figura 6.6, se da una breve explicación de la forma de como funcionan los componentes del banco de ensayo de la válvula.

La fuente de alimentación alimenta con +24 Vcc a la tarjeta electrónica (10) de la cual se extraen +5 Vcc con la cual se alimenta el potenciómetro. En función de esta tensión de control (manual o vía PLC), la tarjeta electrónica nos dará una intensidad que medimos en los amperímetros I_1 e I_2 y que se dirigirá a uno u otro solenoide de la válvula de control de dirección proporcional.

Los transductores de presión (5), así como los manómetros (3) y (4), nos darán la presión en las vías A, B, P y T. La señal procedente de los transductores será captada por el sistema de adquisición de datos para luego ser procesadas en el PC.

Los sensores de desplazamiento lineales (7) nos darán el desplazamiento de la corredera de la válvula de control de dirección proporcional cuyas señales son captadas por el dispositivo (8), y son leídas en los displays A y B. Estos sensores están colocados a cada lado de la válvula de control de dirección proporcional.

Para obtener el caudal que circula por el sistema, con un cronómetro se mide el tiempo para obtener un volumen de aceite determinado en el depósito (1).

6.1.3 Rutina Experimental

Antes de realizar cualquier prueba, lo primero en regular es la temperatura de trabajo del aceite la cual es alcanzada a 65 °C poniendo en marcha el grupo oleohidráulico. La temperatura es un parámetro que tiene incidencia en la viscosidad del aceite y por tanto en el caudal. En la figura 6.6 se presenta el esquema de banco de ensayo de la válvula de control de dirección proporcional.

La rutina experimental para la realización de la prueba es:

1. Se pone en cero los displays del dispositivo de captación de datos de los sensores lineales (8) y después no se vuelve a tocar hasta que se vaya a caracterizar otra trayectoria.
2. Una vez conectada la trayectoria seleccionada a caracterizar, se asigna el voltaje de consigna con el potenciómetro y leída en un voltímetro. La elección del voltaje de consigna se comienza con la mínima intensidad que permita

pasar caudal que se pueda medir y fue de aproximadamente de 0.40 A, hasta el máximo que es de 1 A salvando la zona muerta de la válvula de control de dirección proporcional.

3. Se toma los valores de voltaje de salida con un voltímetro conectado a la fuente de alimentación y la intensidad que se da en uno u otro solenoide de la válvula de control de dirección proporcional (9).
4. Se leen los valores de desplazamiento X_A y X_B obtenidos por los sensores lineales y visualizados en los displays A y B del dispositivo de captación de datos (8) para cada presión de entrada dada.
5. Se asigna una presión de entrada mediante la válvula reductora de presión (6) comenzando con mínima presión que permita el paso de caudal al depósito. Se asigna una nueva presión de entrada mediante la válvula (6) y se comprueban los pasos (3) y (4)
6. Se mide el tiempo con un cronómetro para un determinado volumen de aceite obtenido en el depósito (1) para cada presión de entrada seleccionada.
7. Se elige un nuevo voltaje de consigna con el potenciómetro y se repite la secuencia establecida en los pasos 2, 3, 4, 5, 6 a excepción del paso 1, el cual sólo realiza cuando se va a caracterizar una nueva vía. Este paso se repite hasta alcanzar la máxima intensidad.

Esta prueba se realiza activando el solenoide A para obtener la curva característica de $P \rightarrow A$ y de $A \rightarrow T$ o activando el solenoide B para obtener la curva característica de $P \rightarrow B$ y de $B \rightarrow T$.

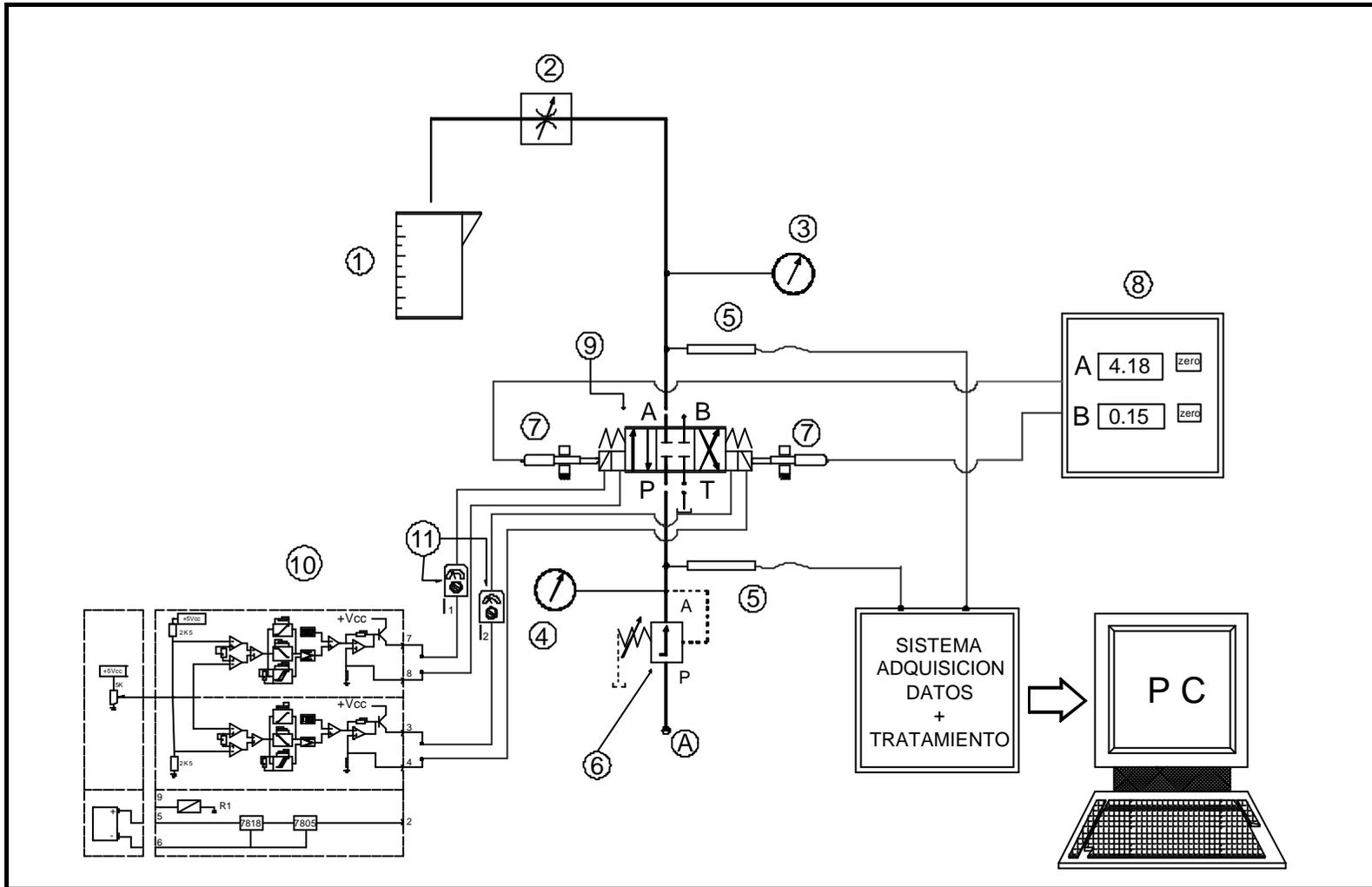


Figura 6.6 - Esquema del banco de ensayo de la válvula de control de dirección proporcional

6.1.4 Resultados

En el ensayo de la válvula de control de dirección proporcional se obtuvieron para cada tensión de consigna V_{consigna} :

1. Intensidad de alimentación a la bobina del electroimán (I_s) y caída de tensión entre sus bornes V_s
2. Desplazamientos de los núcleos de los electroimanes X_A , X_B (estos desplazamientos coinciden con el desplazamiento de la corredera de la válvula de control de dirección proporcional).
3. Las presiones a la entrada y salida de la vía $P \rightarrow A$ de la válvula de control de dirección proporcional.
4. El volumen de aceite V que fluye por la vía en un tiempo t .

Con estos datos se puede evaluar las variables caudal y caída de presión a través de la vía $P \rightarrow A$

$$Q = \frac{V}{t} (\text{Its} / \text{min})$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 (\text{bar})$$

Y graficar las curvas de caída de presión – caudal para cada una de las tensiones de consigna preestablecidas o su desplazamiento de la corredera.

En la tabla 6.1 se resumen las ecuaciones de ajustes de las curvas características en la vía de $P \rightarrow A$ de las correderas “A”, “B” y “C”.

De estas ecuaciones se puede evaluar la curva inherente de la vía $P \rightarrow A$ teniendo en cuenta una caída de presión nominal $\Delta P_{P \rightarrow A \text{ nominal}} = 5 \text{ bar}$, cuyos resultados son presentados en la tabla 6.2.

Para las vías $P \rightarrow B$, $A \rightarrow T$ y $B \rightarrow T$ también se obtuvo:

1. La intensidad (I_s), y caída de tensión V_s
2. Los desplazamientos X_A y X_B ,
3. Las presiones a la entrada y salida de la vía y
4. El volumen de aceite en un tiempo t

y se evalúa las variables de caudal y caída de presión a través de estas vías del mismo modo que en la vía $P \rightarrow A$.

Las tablas 6.3, 6.4 y 6.5 resumen las ecuaciones de ajustes de las curvas características $P \rightarrow B$, $A \rightarrow T$ y de $B \rightarrow T$ de las correderas “A”, “B” y “C”.

De estas ecuaciones se evalúa la curva inherente de las vías P→B, A→T y B→T para una caída de presión nominal $\Delta P = 5$ bar.

<i>Ecuaciones de ajustes a través de la vía P@A</i>			
<i>Correderas:</i>			
<i>V. Consigna</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
3.125	$\Delta P = 2.9358Q^{2.0179}$	$\Delta P = 1.3013Q^{2.0148}$	$\Delta P = 0.6857Q^{2.0016}$
3.375	$\Delta P = 0.3965Q^{1.9977}$	$\Delta P = 0.3143Q^{2.0638}$	$\Delta P = 0.2544Q^{2.096}$
3.875	$\Delta P = 0.1061Q^{2.0043}$	$\Delta P = 0.1008Q^{1.9992}$	$\Delta P = 0.0808Q^{2.082}$
4.375	$\Delta P = 0.0466Q^{1.969}$	$\Delta P = 0.0414Q^{2.0038}$	$\Delta P = 0.0327Q^{2.0824}$
6.875	$\Delta P = 0.0446Q^{1.9953}$	$\Delta P = 0.0402Q^{2.0224}$	$\Delta P = 0.0378Q^{2.0613}$

Tabla 6.1 – Ecuaciones de ajustes a través de la vía P@A para cada voltaje de consigna aplicada en cada corredera

<i>Corredera</i>			
$Q_{Nominal} = (\text{Its}/\text{min})$			
$\Delta P_{Nominal} = 5 \text{ bar}$			
<i>V. Consigna</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
3,125	1,302	1,951	2,698
3,375	3,556	3,822	4,141
3,875	6,836	7,048	7,253
4,375	10,747	10,940	11,194
4,875	10,647	10,859	10,695

Tabla 6.2 – Caudal nominal para cada voltaje de consigna aplicado a cada corredera con una caída de presión nominal de 5 bar en la vía de P@A

<i>Ecuaciones de ajustes a través de la vía P@B</i>			
<i>Correderas:</i>			
<i>V. Consigna</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
0.0	$\Delta P = 0.0357Q^{2.0424}$	$\Delta P = 0.0333Q^{2.0644}$	$\Delta P = 0.350Q^{2.0511}$
0.875	$\Delta P = 0.0504Q^{2.0186}$	$\Delta P = 0.0454Q^{2.0686}$	$\Delta P = 0.0492Q^{2.0148}$
1.375	$\Delta P = 0.1329Q^{2.0551}$	$\Delta P = 0.1174Q^{2.0798}$	$\Delta P = 0.1215Q^{2.0182}$
1.875	$\Delta P = 1.0766Q^{2.0984}$	$\Delta P = 0.5858Q^{2.0312}$	$\Delta P = 0.3069Q^{2.0946}$

Tabla 6.3 – Ecuaciones de ajustes a través de la vía P@B para cada voltaje de consigna aplicada en cada corredera

Algunos ejemplos de las curvas características experimentales de la válvula de control de dirección proporcional se muestran en anexo C con sus respectivas líneas de tendencia.

<i>Ecuaciones de ajustes a través de la vía A@T</i>			
<i>Correderas:</i>			
<i>V. Consigna</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
0.0	$\Delta P = 0.041Q^{1.998}$	$\Delta P = 0.0348Q^{2.091}$	$\Delta P = 0.0393Q^{2.0525}$
0.875	$\Delta P = 0.061Q^{2.0936}$	$\Delta P = 0.0557Q^{2.0578}$	$\Delta P = 0.0591Q^{2.0747}$
1.375	$\Delta P = 0.155Q^{2.0951}$	$\Delta P = 0.177Q^{2.0411}$	$\Delta P = 0.2529Q^{2.0117}$
1.875	$\Delta P = 1.521Q^{2.0564}$	$\Delta P = 1.0865Q^{2.0624}$	$\Delta P = 2.835Q^{2.0571}$

Tabla 6.4 – Ecuaciones de ajustes a través de la vía A@T para cada voltaje de consigna aplicada en cada corredera

<i>Ecuaciones de ajustes a través de la vía B@T</i>			
<i>Correderas:</i>			
<i>V. Consigna</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
3.375	$\Delta P = 0.436Q^{2.0128}$	$\Delta P = 0.3318Q^{2.063}$	$\Delta P = 0.4933Q^{2.037}$
3.875	$\Delta P = 0.1128Q^{2.0402}$	$\Delta P = 0.0988Q^{2.058}$	$\Delta P = 0.0909Q^{2.0757}$
4.375	$\Delta P = 0.0488Q^{2.0102}$	$\Delta P = 0.0389Q^{2.086}$	$\Delta P = 0.049Q^{2.0523}$
6.875	$\Delta P = 0.0411Q^{2.0151}$	$\Delta P = 0.0413Q^{2.0337}$	$\Delta P = 0.041Q^{2.0089}$

Tabla 6.5 – Ecuaciones de ajustes a través de la vía B@T para cada voltaje de consigna aplicada en cada corredera

<i>Correderas</i>			
<i>Q_{Nominal} = (lts/min)</i>			
<i>ΔP_{Nominal} = 5 bar</i>			
<i>V_{Consigna}</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
0,000	11,243	11,332	11,236
0,875	9,751	9,707	9,911
1,375	5,843	6,073	6,308
1,875	2,079	2,874	3,790

Tabla 6.6 – Caudal nominal para cada voltaje de consigna aplicado a cada corredera con una caída de presión nominal de 5 bar en la vía de P@B

<i>Correderas</i>			
<i>Q_{Nominal} = (lts/min)</i>			
<i>ΔP_{Nominal} = 5 bar</i>			
<i>V_{Consigna}</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
0,000	11,029	10,758	10,602
0,875	8,211	8,895	8,492
1,375	5,249	5,133	4,408
1,875	1,784	2,096	1,318

Tabla 6.7 – Caudal nominal para cada voltaje de consigna aplicado a cada corredera con una caída de presión nominal de 5 bar en la vía de A@T

<i>Correderas</i>			
$Q_{Nominal} = (lts/min)$			
$\Delta P_{Nominal} = 5 \text{ bar}$			
$V_{Consigna}$	A	B	C
3,375	3,360	3,724	3,117
3,875	6,414	6,731	6,894
4,375	10,004	10,257	9,571
4,875	10,833	10,574	10,926

Tabla 6.8 – Caudal nominal para cada voltaje de consigna aplicado a cada corredera con una caída de presión nominal de 5 bar en la vía de B@T

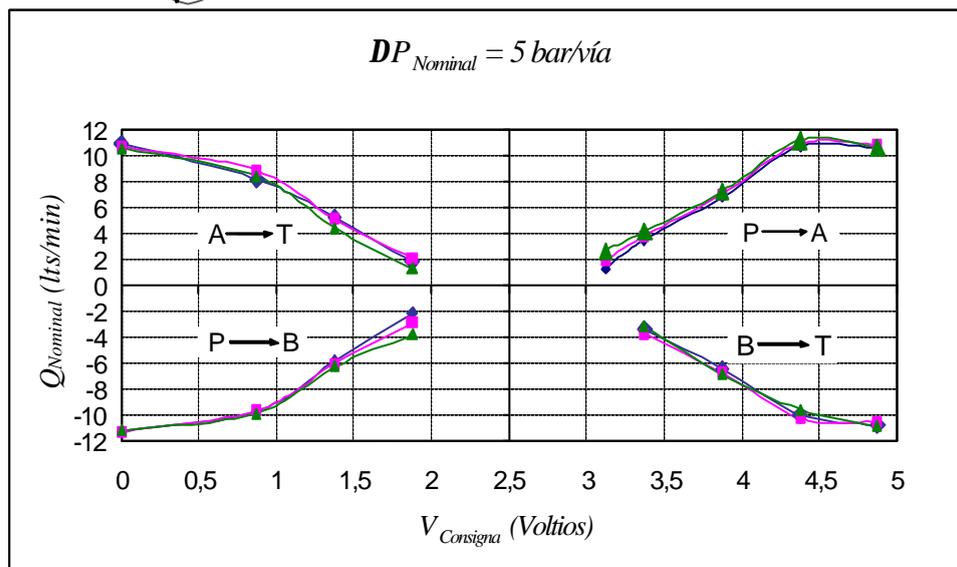
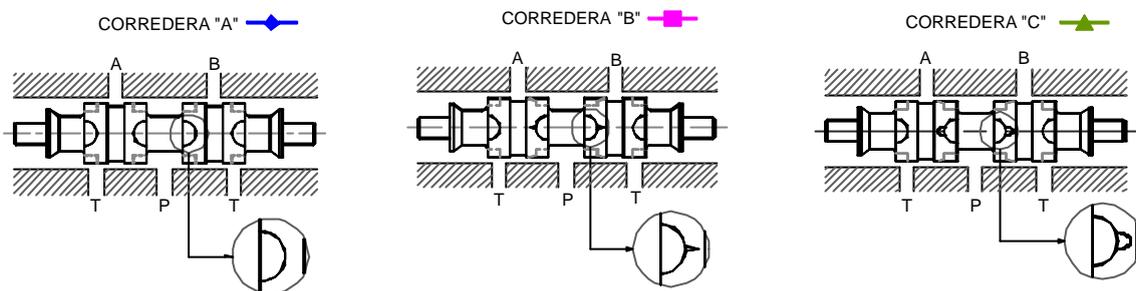


Figura 6.7 – Curva característica $Q_{nominal} - V_{Consigna}$

La figura 6.7 presenta las curvas características de los datos experimentales obtenidos y resumidos en las tablas 6.2, 6.6, 6.7 y 6.8. Este gráfico se divide en cuatro cuadrantes, estando en el primer cuadrante las curvas características en la vía de P→A, en el segundo cuadrante de A→T, en el tercer cuadrante de P→B y en el cuarto cuadrante de B→T. Sobre el gráfico se encuentran el dibujo de las correderas “A”, “B” y “C” en el que se puede apreciar el color y la leyenda que lo

identifica a la curva que le corresponde. La figura 6.8 es la representación gráfica del desplazamiento de la corredera, en donde X_a y X_b es el desplazamiento de la corredera al aplicar corriente al solenoide “a” o al solenoide “b” respectivamente, cuyos datos fueron obtenidos con el sensor de posición.

A propósito de la modelización del sistema oleohidráulico en estudio, las anteriores curvas características se han ajustado a una sola ecuación tal como se encuentra en la figura 6.9 y en la tabla 6.9

En la figura 6.10 se presentan unas imágenes de los componentes del banco de ensayo de la válvula de control de dirección proporcional. En la figura 6.10a se puede observar que el display superior visualiza la señal captado en “A” (desplazamiento X_A) por el sensor de posición que hace contacto con el electroimán en el lado “a” y el display inferior visualiza la señal captada en “B” (desplazamiento X_B) por el sensor de posición que hace contacto con el electroimán en el lado “b”. La figura 6.10b presenta a la válvula de control de dirección proporcional con los sensores de posición en cada extremo de la válvula y este se conecta a una fuente de 24 voltios. En la figura 6.10c se puede observar a uno de los sensores haciendo contacto con el electroimán de la válvula. En la figura 6.10d se presenta a la válvula reductora de presión con la cual seleccionamos la presión de entrada al sistema y la figura 6.10e presenta al banco de ensayo con todos sus componentes.

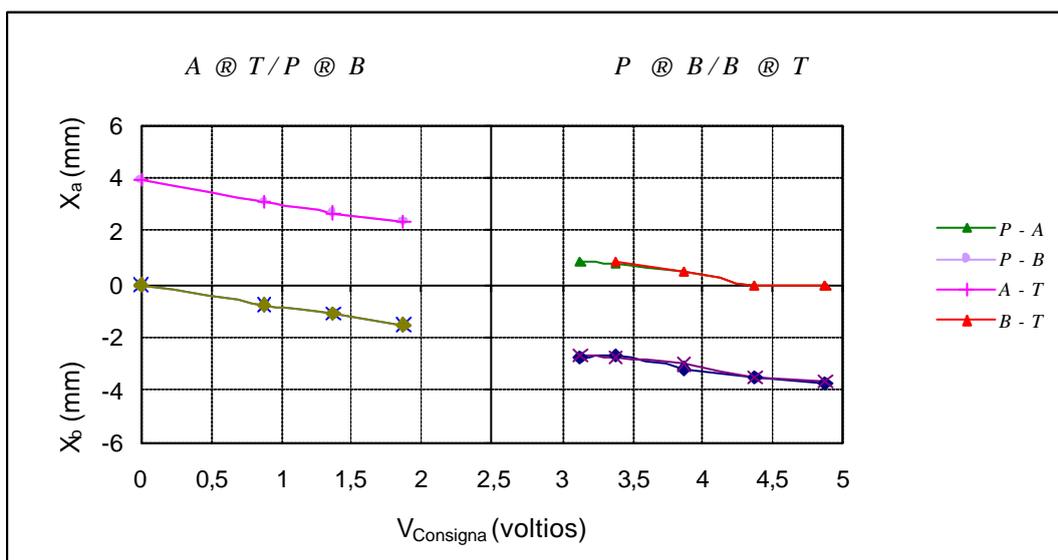


Figura 6.8 - Desplazamiento de la corredera en función del voltaje de consigna

Intervalo	Caudal nominal por vía
$0 < V < 0.625$	Q_0
$0.625 < V < 2.125$	$Q = Q_0 - m[V - 0.625]$
$2.125 < V < 2.875$	0
$2.875 < V < 4.375$	$Q = m[V - 2.875]$
$3.375 < V < 5$	Q_0

$m = 6.66$

Tabla 6.9

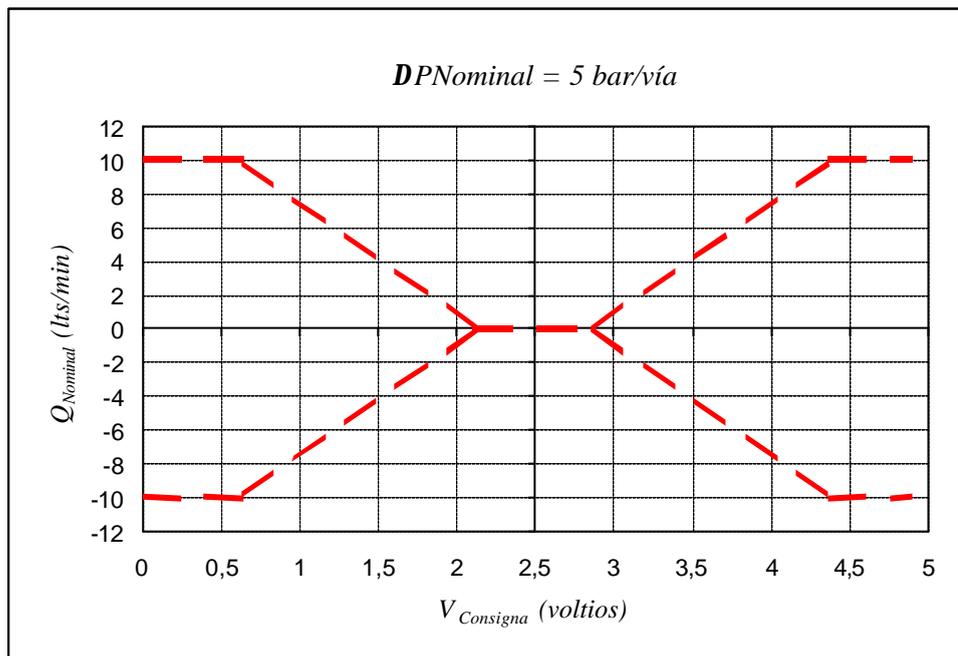


Figura 6.9 – Línea de tendencia de las curvas características de las correderas “A”, “B” y “C”



Figura 6.10a - Dispositivo de captación de datos

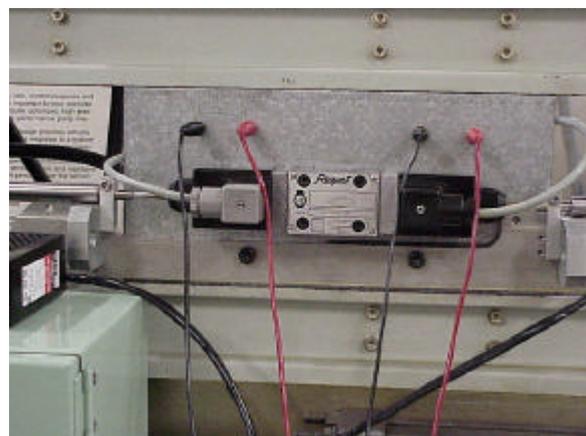


Figura 6.10b – Válvula de control de dirección proporcional

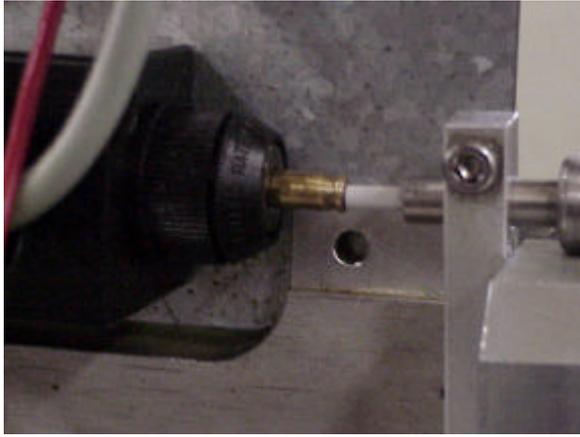


Figura 6.10c – Un sensor de posición conectado al electroimán de la válvula



Figura 6.10d – Válvula reductora de presión

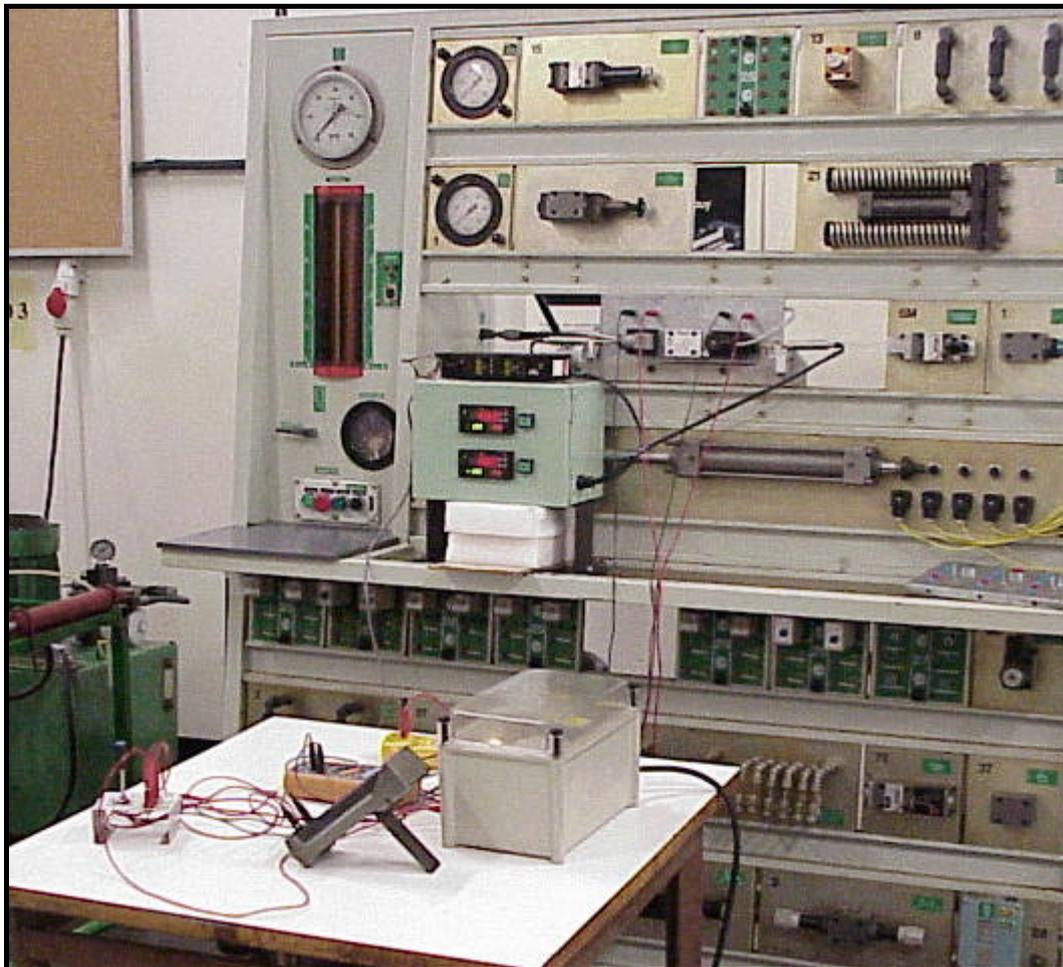


Figura 6.10e – Banco de ensayo de la válvula de control de dirección proporcional

6.2 Descripción del ensayo para la caracterización de la válvula de sincronización

Se ha diseñado y construido un banco de ensayo que nos permite valorar a los elementos que configuran a la válvula de sincronización. Este banco está constituido por los siguientes componentes:

1. Dispositivo para el aceite
2. Válvula reguladora de caudal
3. Manómetro para medir la presión de salida
4. Manómetro para medir la presión de entrada
5. Válvula reductora de presión
6. Transductores de presión
7. Válvula de sincronización
- A. Central oleohidráulica

Estos componentes se presentan desde la figura 6.11 a la 6.16.

6.3 Protocolos

Para la valoración del comportamiento de los elementos que configuran a la válvula de sincronización, se han diseñado los siguientes ensayos:

1. Ensayos de las válvulas antirretornos
2. Ensayos de las válvulas divisoras de caudal
3. Ensayos de las válvulas reguladoras de presión

Previo a los ensayos específicos, se deben seguir ciertos requisitos comunes e imprescindibles a todos los ensayos específicos.

6.3.1 Protocolo de puesta en marcha

Comprende los siguientes puntos:

1. Estabilizar la temperatura de trabajo del aceite a 65 °C con el objetivo de evitar errores en su medición.
2. Verificar que el conexionado de los flexibles estén bien conectados y los racores bien apretados.

3. Poner en marcha la central oleohidráulica haciendo circular el aceite por el sistema y comprobar que no haya aire ni fugas de aceite.

A continuación se describe el protocolo de ensayo de cada elemento que configuran a la válvula de sincronización.

6.3.2 Protocolo de ensayos específicos

6.3.2.1 Ensayos específicos de las válvulas antirretorno

Comprende el ensayo de la cuatro válvulas antirretorno, las cuales están referenciadas como G, H, J e I, y comprende los siguientes pasos:

Válvula antirretorno VAR(H) (trayectoria D – C)

1. Se cierran las vías en paralelos, compuesta por estranguladores primarios y secundarios que configuran a la válvula divisora de caudal derecha. Este paso se consigue mediante la sustitución de la corredera divisora por una pieza cilíndrica uniforme y sólida de 18 mm de diámetro y 73.15 mm de largo y el cierre total de la aguja estranguladora.
2. Bloquear la válvula reguladora de presión nº 2 con el objetivo de asegurar que no haya escape de aceite por esa vía.
3. Se conecta la trayectoria a caracterizar de manera tal que el caudal entre por D y salga por C hacia el depósito (1)
4. Se asigna una presión de entrada mediante la válvula reductora de presión (5) comenzando con una mínima presión que permita el paso de caudal al depósito y que sea medible. Se mide el tiempo con un cronómetro para un determinado volumen de aceite.
5. Mediante la válvula reductora de presión, se va aumentando de manera gradual la presión de entrada, hasta alcanzar la máxima presión. Es necesario señalar, que por cada cambio de presión predeterminada, se determina el caudal, en función del tiempo medido en alcanzar un determinado volumen de aceite.
6. Se introducen los datos a Excel para su posterior procesado

Válvula antirretorno VAR(G) (trayectoria B – A)

1. Se cierran las vías en paralelos, compuesta por estranguladores primarios y secundarios que configuran a la válvula divisora de caudal izquierda, mediante la sustitución de su corredera divisora por una pieza cilíndrica uniforme y sólida de 18 mm de diámetro por 73.15 mm de largo y el cierre total de la aguja estranguladora.
2. Bloquear la válvula reguladora de presión nº 1 (VRP nº 1) con el objetivo que no haya escape de aceite por esa vía.
3. Se conecta la trayectoria a caracterizar, de manera tal que el caudal entre por B y salga por A hacia el depósito (1)
4. Se procede según los pasos 4, 5 y 6 citados en la rutina del ensayo específico de la válvula antirretorno H

En la figura 6.11 se puede apreciar el esquema del ensayo de esta válvula

Válvula antirretorno VAR(J) (trayectoria C – E)

1. Se tapa D
2. De las dos vías en paralelo que configuran a la válvula divisora de caudal derecha, se abre completamente la vía compuesta por el estrangulador de aguja y un secundario (vía de salida por E) conectados en serie, cerrando de esta manera, la otra vía compuesta por un estrangulador fijo primario (chiclé) y uno secundario (vía de salida por D) también conectados en serie. Este paso se realiza mediante el bloqueo de la corredera y de la apertura total de la aguja estranguladora.
3. Se bloquea la válvula reguladora de presión nº 2 (VRP nº 2) con el objetivo de evitar su apertura por acción de la presión de pilotaje
4. Se conecta la trayectoria a caracterizar, de manera tal que, el caudal entre por C y salga por E
5. Se procede según los pasos 4, 5 y 6 citados en la rutina del ensayo específico de la válvula antirretorno H

Válvula antirretorno VAR(I) (trayectoria A – F)

1. Se tapa B.
2. De las dos vías en paralelo que configuran a la válvula divisora izquierda, se abre completamente la vía compuesta por el estrangulador de aguja y un secundario (vía de salida por F) conectados en serie, cerrando de esta manera, la otra vía compuesta por el estrangulador fijo primario (chiclé) y uno secundario (vía de salida por B) también conectados en serie. Este paso se realiza mediante el bloqueo de la corredera y de la apertura total de la aguja estranguladora.
3. Se bloquea la válvula reguladora de presión nº 1 (VRP nº 1) con el objetivo de evitar su apertura por acción de la presión de pilotaje
4. Se bloquea la limitadora de presión.

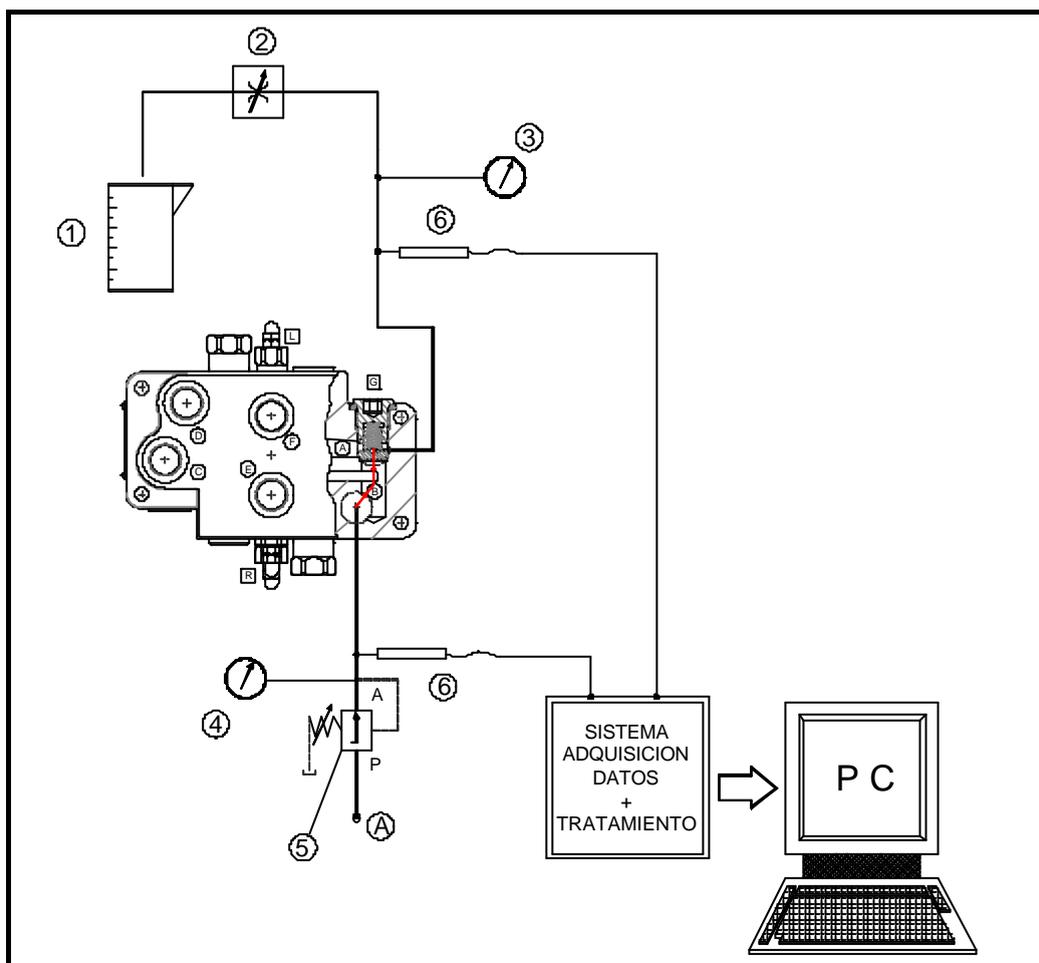


Figura 6.11 – Esquema del ensayo de la válvula antirretorno

5. Se conecta la trayectoria a caracterizar, de manera tal que el caudal entre por A y salga por F

6. Se Procede según los pasos de 4, 5 y 6 citados en la rutina del ensayo específico de la válvula antirretorno H

En este tipo de ensayo, se obtiene una curva característica caudal – presión por cada válvula antirretorno.

6.3.2.2 Ensayos específicos de las válvulas divisoras de caudal

Este tipo de ensayo comprende la caracterización de las correderas divisoras, específicamente en el estrangulador fijo (chiclé), y los estranguladores de aguja. Los pasos son los siguientes:

Estrangulador fijo derecho (EF-1) (trayectoria C – D)

1. De las dos vías en paralelo que configuran a la válvula divisora de caudal derecha, se cierra la que está compuesta por el estrangulador de aguja y uno secundario (vía de salida por E) conectadas en serie, abriendo de esta manera, la otra vía compuesta por el estrangulador primario (chiclé) y un estrangulador secundario (vía de salida por D), también conectados en serie. Este paso se realiza mediante el bloqueo de la corredera y el cierre de la aguja.
2. Se bloquea la válvula reguladora de presión nº 2 (VRP nº 2) de modo que esta se mantenga cerrada y no haya escape de aceite por esa vía.
3. Se bloquea la válvula antirretorno VAR(J).
4. Se conecta la trayectoria a caracterizar, de manera tal que el caudal entre por C y salga por D.
5. Se procede según los pasos de 4, 5 y 6 citados en la rutina del ensayo específico de la válvula antirretorno H

Estrangulador fijo Izquierdo (EF-2) (trayectoria A – B)

1. De las dos vías en paralelo que configuran a la válvula divisora de caudal izquierda, se cierra la que está compuesta por el estrangulador de aguja y uno secundario (vía de salida por F) conectadas en serie, abriendo de esta manera, la otra vía compuesta por el estrangulador primario (chiclé) y un estrangulador secundario (vía de salida por B), también conectados en serie.

Este paso se realiza mediante el bloqueo de la corredera y el cierre de la aguja.

2. Se bloquea la válvula reguladora de presión nº 1 (VRP nº 1) de modo de que esta se mantenga cerrada y haya escape de aceite por esa vía.
3. Se bloquea la válvula limitadora de presión.
4. Se bloquea la válvula antirretorno VAR(I).
5. Se conecta la trayectoria a caracterizar, de manera tal que el caudal entre por A y salga por B
6. Se procede según los pasos de 4, 5 y 6 citados en la rutina del ensayo específico de la válvula antirretorno H.

Al igual que en las válvulas antirretorno, se obtiene una curva característica caudal – presión por cada corredera divisora.

En la figura 6.12 se presenta el esquema del ensayo del estrangulador fijo izquierdo (EF-1).

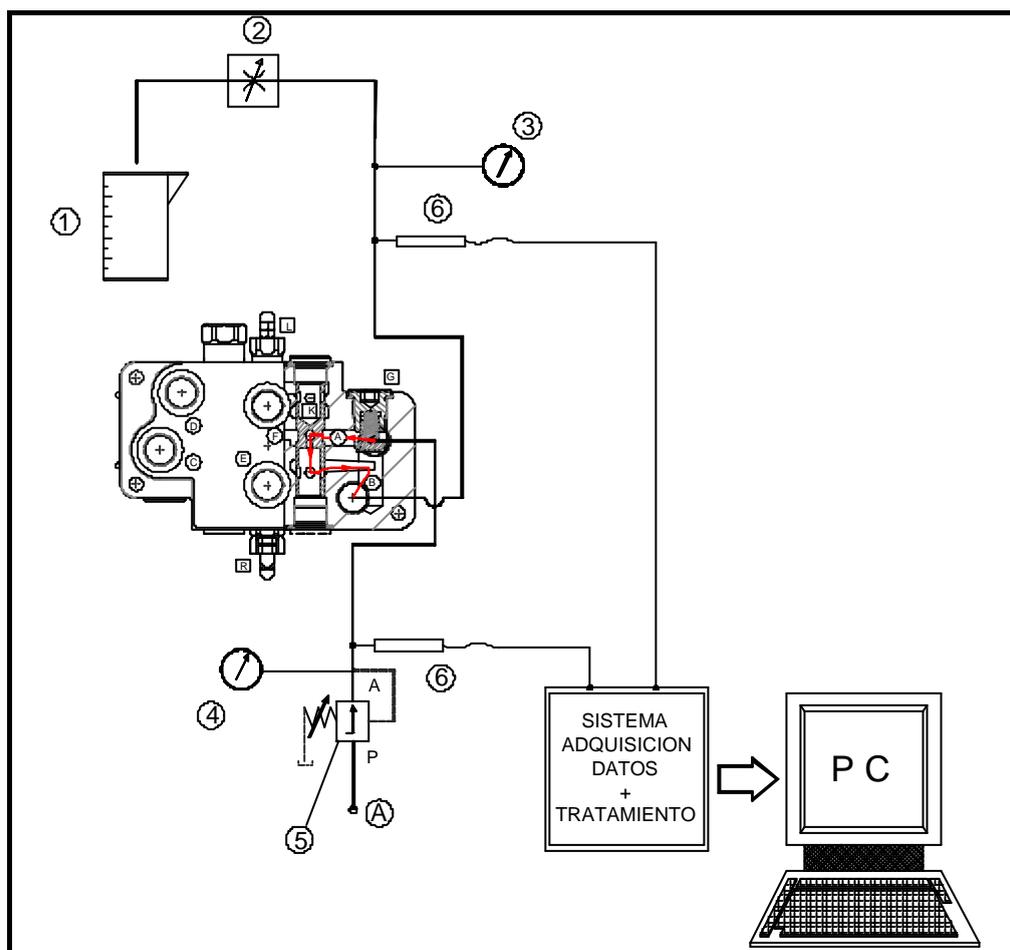


Figura 6.12 – Esquema del ensayo de la válvula divisora de caudal

Estrangulador de aguja derecha (EV-1) (trayectoria C – E)

Para la caracterización de los estranguladores de agujas derecho e izquierdo, se empleó una pieza mecanizada, presentada en la figura 6.13, de sección cuadrada de 50x50 mm y 70.25 mm de altura. El diámetro del asiento de la aguja es de 8 mm.

Tal como se presenta en el esquema de la figura 6.13, el caudal de entrada es Q_E y el de salida es Q_S . El caudal de salida aumenta o disminuye en la medida de que el estrangulador de aguja se abra o se cierre.

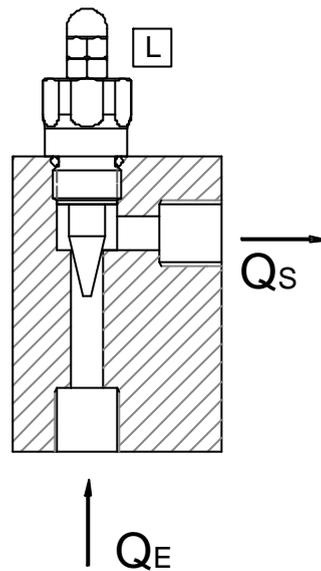


Figura 6.13 – Esquema de la pieza utilizada en el ensayo

El protocolo de ensayo específico para la obtención de los datos que permite evaluar a los estranguladores de aguja, cuyo esquema se encuentra en la figura 6.14, es la siguiente:

1. Colocar el estrangulador de aguja en la pieza, indicada en la figura 6.13, de tal manera que la vía $Q_E \rightarrow Q_S$ esté completamente abierta
2. Se conecta la trayectoria a caracterizar, de tal manera de que el caudal entre por Q_E y salga por Q_S
3. Se asigna una presión de entrada mediante la válvula reductora de presión (5) iniciando con una presión mínima que permita el paso de caudal al depósito.
4. Se asigna una nueva presión de entrada, la cual se va aumentando hasta alcanzar la máxima presión. Es necesario señalar, que por cada cambio de

presión, se determina el caudal sobre la base del tiempo medido para un volumen de aceite preestablecido.

5. Se asigna una nueva posición de la aguja, y se procede a repetir los pasos 3 y 4. Este paso se repite cada vez que se cambie de posición la aguja, y finaliza hasta donde, según una posición que determina una mínima apertura, permita el paso del flujo de aceite que sea medible.
6. Una vez obtenidos los datos de una de las agujas estranguladoras (derecha o izquierda), se procede a evaluar la otra siguiendo los pasos antes mencionados.
7. Cabe señalar, que tanto para la aguja estranguladora derecha como para la de la izquierda, se obtiene una curva característica por cada posición predeterminada.

6.3.2.3 Ensayo de las válvulas reguladoras de presión

Este tipo de ensayo comprende el ensayo de las válvulas reguladoras de presión nº 1 y nº 2 y se dan los siguientes pasos:

Válvula reguladora de presión nº 1 (VRP nº 1) (trayectoria E – B)

1. Se bloquea el obturador cónico de manera que éste quede completamente abierto.
2. Con el objetivo de simular a la presión de pilotaje, se sustituye la válvula antirretorno VAR(I) por un espárrago de 10 mm de diámetro por 150.5 mm de longitud, el cual, en la medida que avance con el giro, permite abrir, de manera gradual, la válvula.
3. De las dos vías en paralelo que configuran a la válvula divisora izquierda, se cierra la que está compuesta por el estrangulador de aguja y una secundaria (vía de salida por F) conectadas en serie, mediante el bloqueo de la corredera y del cierre total de la aguja.
4. Se tapan las tomas A y F.
5. Se bloquean la válvula reguladora de presión (VRP nº 2) y la válvula antirretorno VAR(G) con el objetivo de evitar escape de aceite por esa vía.
6. Se cierra completamente la válvula limitadora de presión.

7. Se conecta la trayectoria a caracterizar, de manera tal que, el caudal entre por la lumbrera E y salga por la lumbrera B, del bloque de la válvula de sincronización.
8. Se pone en marcha la central oleohidráulica y se gira el tornillo, empujando la válvula hasta que ésta permita el paso del flujo de aceite que sea medible.
9. Se asigna una presión de entrada inicial con la válvula reductora de presión (5), comenzando con una presión mínima que permita el paso de caudal al depósito (1) y se mide el tiempo con un cronómetro para un determinado volumen de aceite.

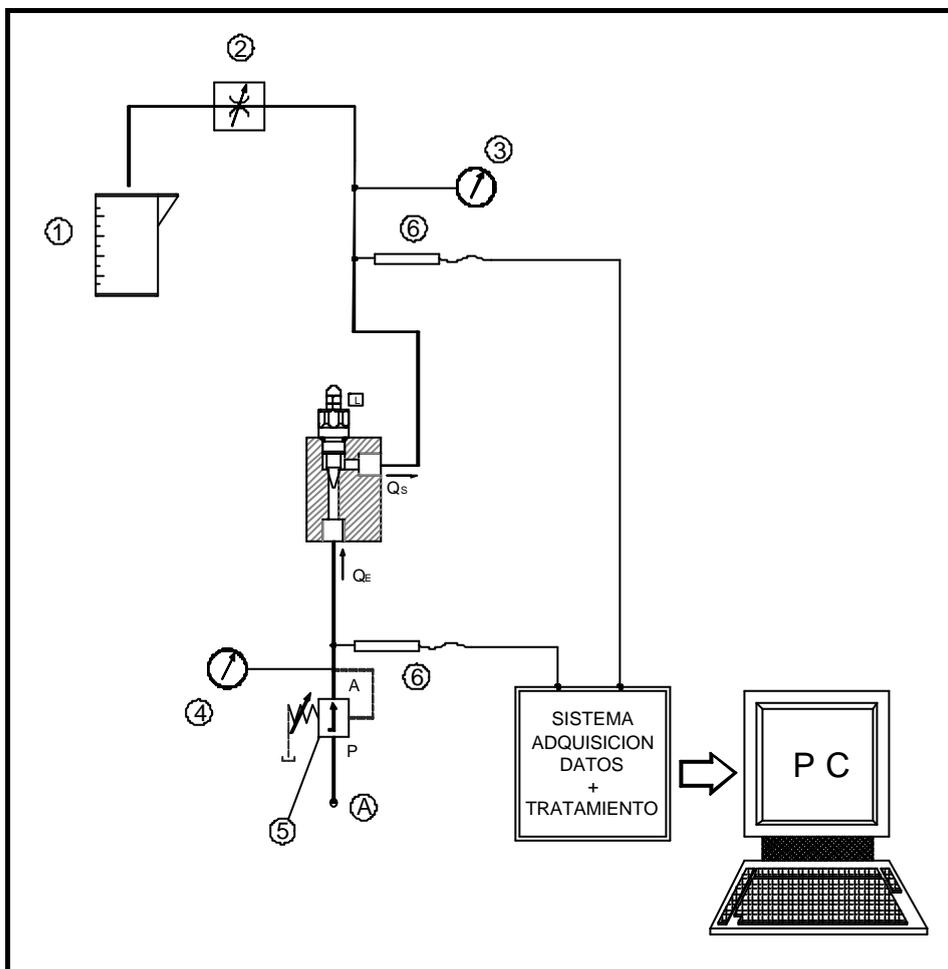


Figura 6.14 – Esquema del ensayo de la válvula estranguladora de aguja

10. Se va aumentando la presión de manera gradual con la válvula reductora de presión (5) hasta alcanzar la máxima presión. Cabe mencionar, que por cada cambio de presión, se determina el caudal midiendo el tiempo para un determinado volumen de aceite.

11. Para obtener una mayor apertura de la válvula, se gira el tornillo un número predeterminado de vueltas y así conseguir una nueva posición y se procede según los pasos 9 y 10. Este paso se repite por cada número de vueltas del tornillo preestablecido, hasta conseguir la máxima apertura de la válvula en donde ya no hay variación de caudal.
12. Se introducen los datos obtenidos en Excel para su procesado. Es necesario señalar que se obtiene una curva característica por cada posición de la válvula.

La válvula se abrió a las cuatro vueltas dadas al tornillo.

En la figura 6.15 se presenta el esquema del ensayo de la válvula reguladora de presión nº 1.

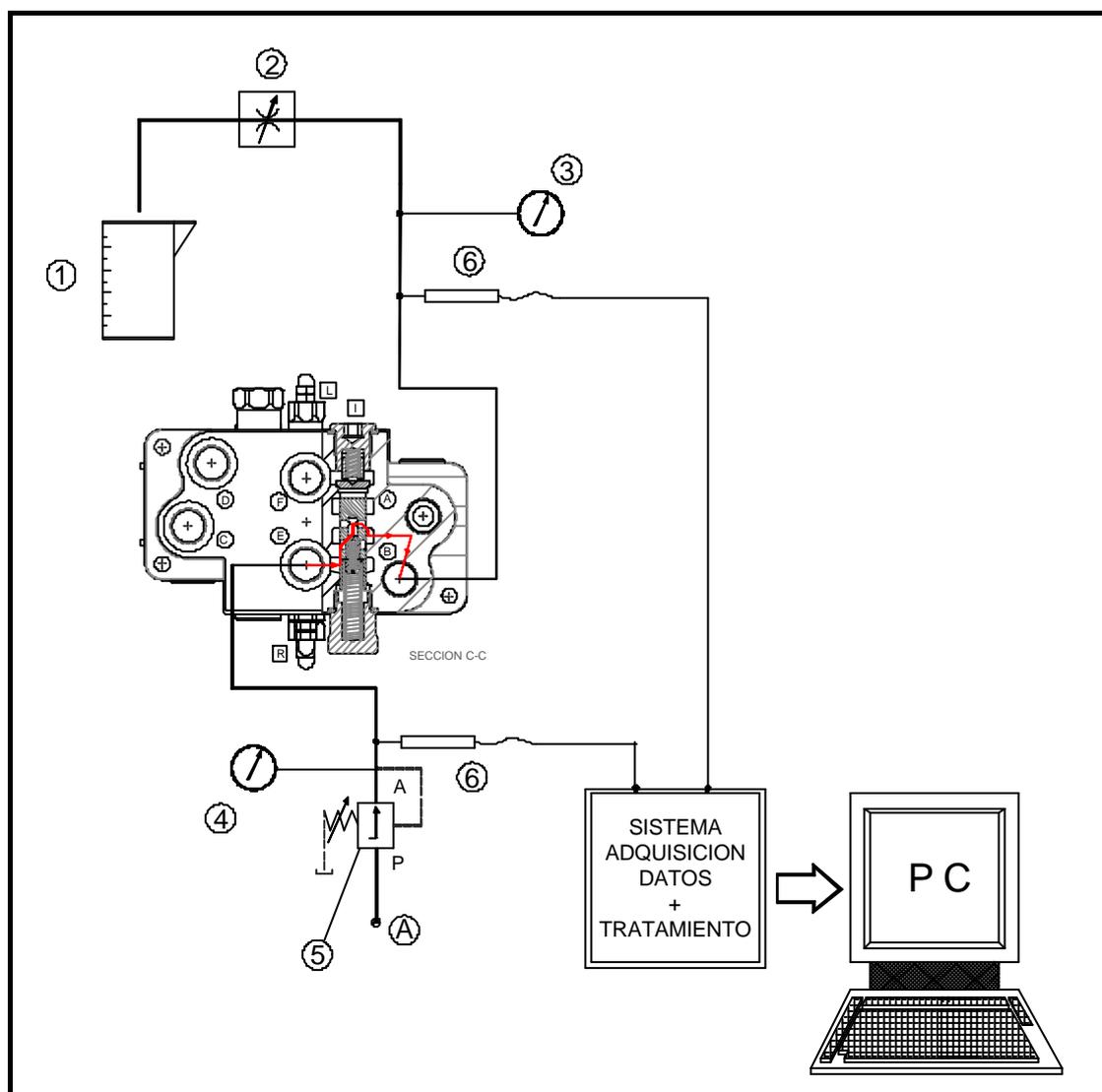


Figura 6.15 – Esquema del ensayo de la válvula reguladora de presión nº 1

Válvula reguladora de presión nº 2 (VRP nº 2) (trayectoria F – D)

1. Se cierran los orificios internos del chiclé de la válvula.
2. Con el objetivo de simular a la presión de pilotaje, se sustituye la válvula antirretorno VAR(J) por un espárrago de 10 mm de diámetro por 150.5 mm de longitud, el cual, en la medida que avance en el giro, permitirá abrir, de manera gradual, la válvula.
3. De las dos vías en paralelo que configuran a la válvula divisora derecha, se cierra la que está compuesta por el estrangulador de aguja y una secundaria (vía de salida por E) conectadas en serie, mediante el bloqueo de la corredera y del cierre total de la aguja.
4. Se tapan las lumbreras C y E del bloque de la válvula de sincronización.
5. Se bloquean la válvula reguladora de presión (VRP nº 1) y la válvula antirretorno VAR(H) con el objetivo de evitar escape de aceite por esa vía.
6. Se cierra completamente la válvula limitadora de presión.
7. Se conecta la trayectoria a caracterizar, de manera tal que, el caudal entre por la lumbrera F y salga por la lumbrera D, del bloque de la válvula de sincronización.
8. Se procede a repetir los pasos desde la 8 hasta la 13 citados en el ensayo específico de la válvula reguladora de presión nº 1.
9. Es necesario señalar que también para esta válvula se obtiene una curva característica por cada posición de apertura de la misma.

La válvula abrió a las 12.5 vueltas de giro del tornillo.

En la figura 6.16 se presenta el esquema del ensayo de la válvula reguladora de presión nº 2.

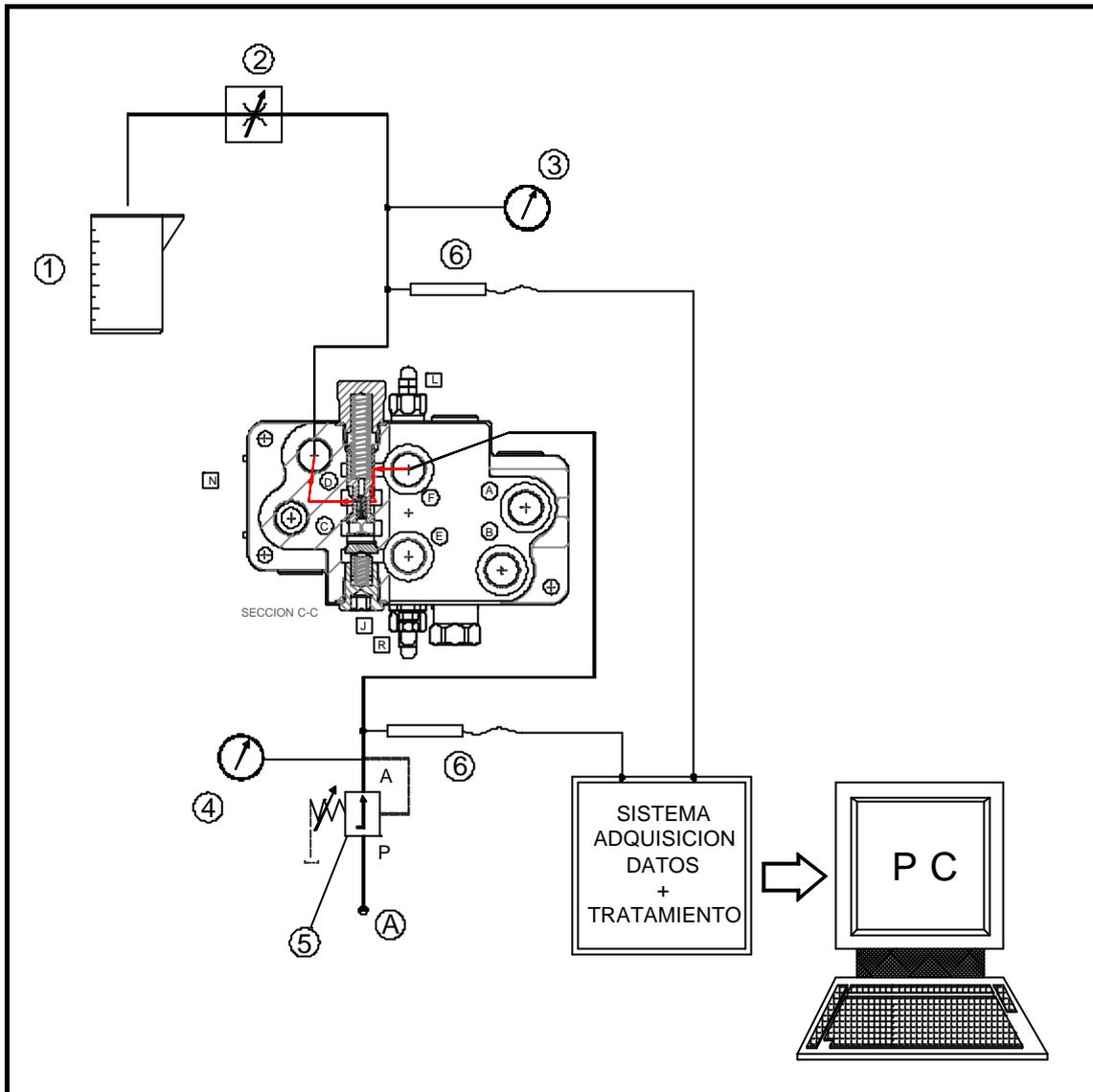


Figura 6.16 – Ensayo de la válvula reguladora de presión nº 2

6.4 Resultados experimentales

En el ensayo se obtuvieron, para cada uno de los elementos que configuran a la válvula de sincronización:

1. Las presiones entre la vía de entrada y salida de cada uno de los elementos que configuran a la válvula de sincronización.
2. El volumen de aceite V que fluye por la vía en un tiempo t .

Con estos datos podemos evaluar las variables caudal Q y caída de presión ΔP a través de la vía, desde la entrada a la salida de la válvula.

$$Q = \frac{V}{t} \text{ (lts / min)}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 \text{ (bar)}$$

Y se grafica las curvas de caída de presión – caudal para cada una de los elementos que configuran a la válvula de sincronización.

En la tabla 6.10 se resumen las ecuaciones de ajustes de las curvas características de las cuatro válvulas antirretorno. La constante de 0.6 en las ecuaciones es debido a la acción de los muelles de las válvulas.

<i>Válvulas Antirretornos</i>	<i>Ecuaciones de ajuste</i>
VAR - G	$\Delta P = 0.6 + 0.0121Q^{1.9933}$
VAR - H	$\Delta P = 0.6 + 0.0108Q^{2.0353}$
VAR - I	$\Delta P = 0.6 + 0.0107Q^{2.0953}$
VAR - J	$\Delta P = 0.6 + 0.0129Q^{2.0741}$

Tabla 6.10 – Ecuaciones de ajustes para las curvas características de las válvulas antirretornos G, H, I, J

Las curvas características presentada en la figura 6.17 corresponden a las válvulas antirretorno “G”, “H” las cuales se encuentran en las trayectorias B → A y D → C respectivamente, en la válvula de sincronización. A partir del gráfico, antes mencionado, se obtiene la curva de ajuste representada en la figura 6.18 cuya ecuación es:

$$\Delta P = 0.6 + 0.0115Q^{2.0143}$$

en donde

ΔP – es la diferencia de presión entre la entrada y salida de la válvula dado en bar

Q – es el caudal dado en lts/min

Las curvas características de las válvulas antirretornos “I” y “J”, las cuales se ubican en las trayectorias de A → F y de C → E respectivamente en la válvula de sincronización, están representadas en el gráfico de la figura 6.19.

A partir del gráfico de la figura 6.19, se obtiene la curva de ajuste para las válvulas I y J representado en el gráfico de la figura 6.20 y cuya ecuación es:

$$\Delta P = 0.6 + 0.0118Q^{2.0847}$$

Los parámetros ΔP , Q y la constante de 0.6 han sido definidos anteriormente.

En la tabla 6.11 se resumen las ecuaciones de ajustes de las curvas características de los dos estranguladores.

Las curvas características del gráfico de la figura 6.21 corresponden a los estranguladores fijos. A partir de estas curvas, se ha obtenido la curva de ajuste representada en el gráfico de la figura 6.22 cuya ecuación es: $\Delta P = 0.027Q^{2.0092}$

En las tablas 6.12 y 6.13 se encuentran las ecuaciones de ajustes que corresponden a las curvas características de los estranguladores de aguja derecha e izquierda para cada posición indicada en la tabla. Los datos experimentales fueron obtenidos en *LABSON del Departamento de Mecánica de Fluidos*.

De las ecuaciones de las tablas 6.12 y 6.13, se evaluó la curva inherente de los estranguladores de agujas ensayados en *LABSON* teniendo en cuenta una caída de presión nominal $\Delta P_{\text{nominal}} = 5$ bar. La tabla 6.14 presenta el resumen de los datos experimentales utilizando la ecuación $\Delta P = kQ^n$ que permite determinar el caudal nominal Q_{nominal} según posición que la aguja ocupe.

En la figura 6.23 se muestra la curva inherente posición – caudal nominal de los estranguladores de aguja. En ella se puede observar que ambas curvas son muy similares, lo cual es debido a que las agujas derecha e izquierda tienen la misma forma geométrica y fueron ensayadas bajo las mismas condiciones.

Los estranguladores de aguja se consideran vitales para lograr la sincronización, debido a que con su estrangulación determinan la relación de flujo de aceite necesario para mantener el movimiento sincronizado de los cilindros.

En las tablas 6.15 y 6.16 se presentan las ecuaciones de ajuste de las curvas características de los estranguladores de aguja.

De las ecuaciones de las tablas 6.15 y 6.16 se evaluó la curva inherente de los estranguladores de aguja teniendo en cuenta una caída de presión nominal $\Delta P_{\text{nominal}} = 5 \text{ bar}$. La tabla 6.17 presenta el resumen de los datos experimentales utilizando la ecuación $\Delta P = kQ^n$ que permite determinar el caudal nominal Q_{nominal} según posición que la aguja ocupe. En el gráfico de la figura 6.24 presenta la curva inherente de los estranguladores de aguja ensayados en la empresa *Pedro Roquet S.A.*

Trazando las curvas características de los estranguladores de aguja en un mismo plano, las obtenidas tanto en *LABSON* como las de la empresa *Pedro Roquet S.A.* (ver gráfico 6.25), permite trazar una curva de ajuste (6.26) para obtener una sola ecuación.

$$Q = X[7.7747 - 0.6181X]$$

siendo:

Q el caudal en (lts/min) y X la posición en (mm).

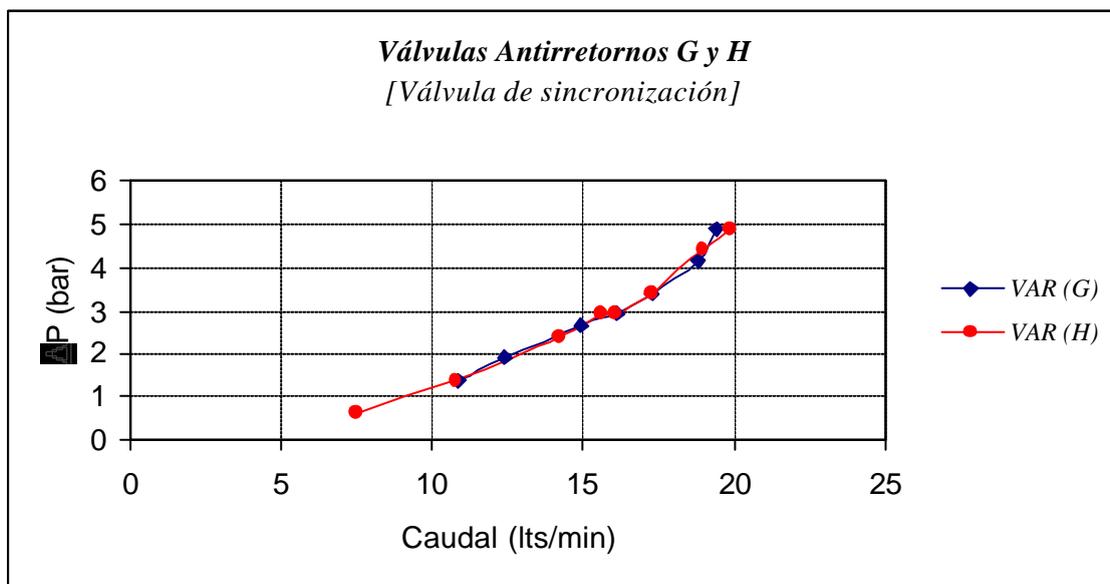


Figura 6.17 – Curvas características de las válvulas antirretorno G y H de la válvula de sincronización

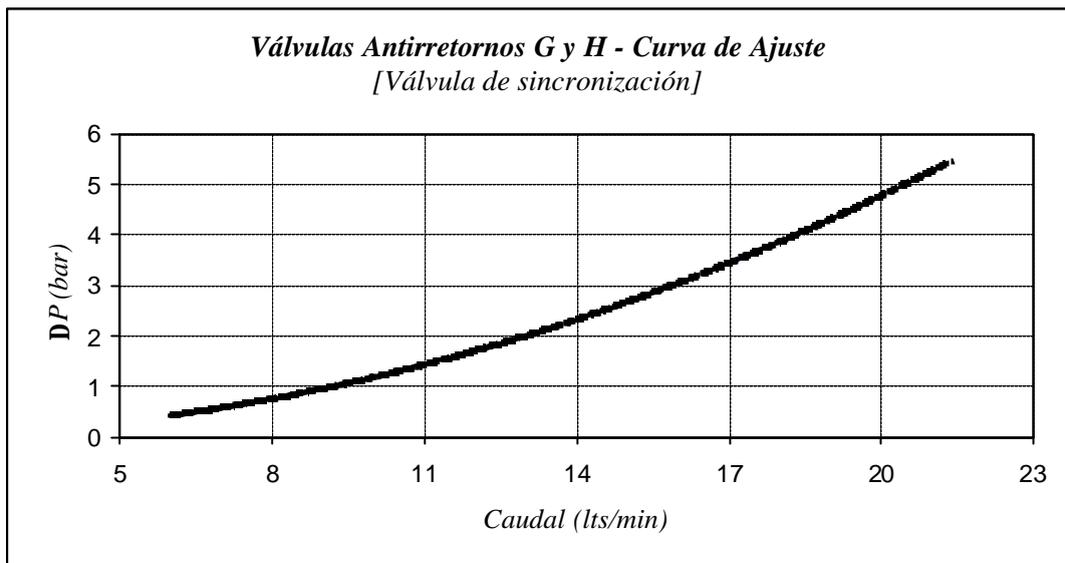


Figura 6.18 – Curva de ajuste de las gráficas correspondiente a las válvulas antirretorno G y H

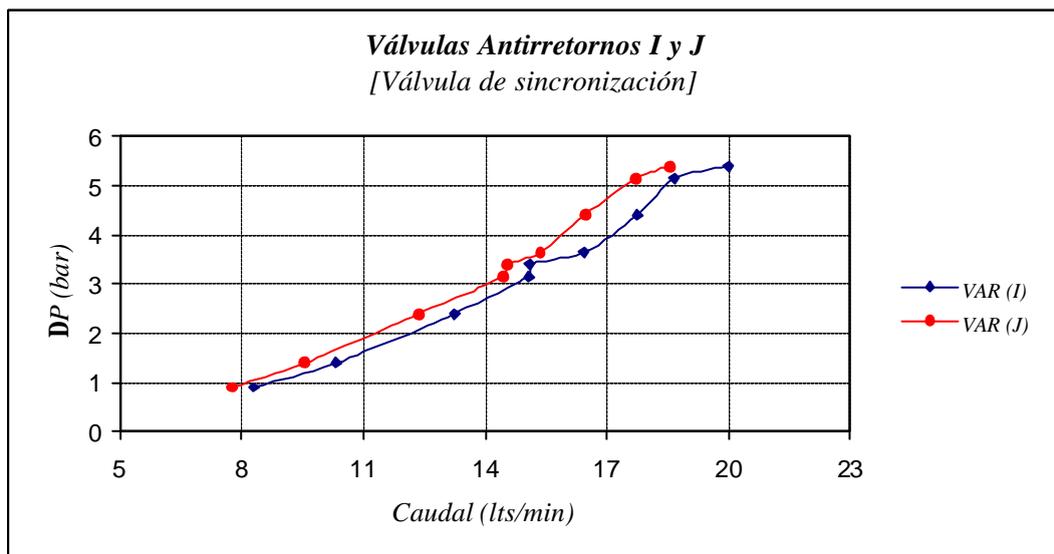


Figura 6.19 – Curvas características de las válvulas antirretorno I y J de la válvula de sincronización

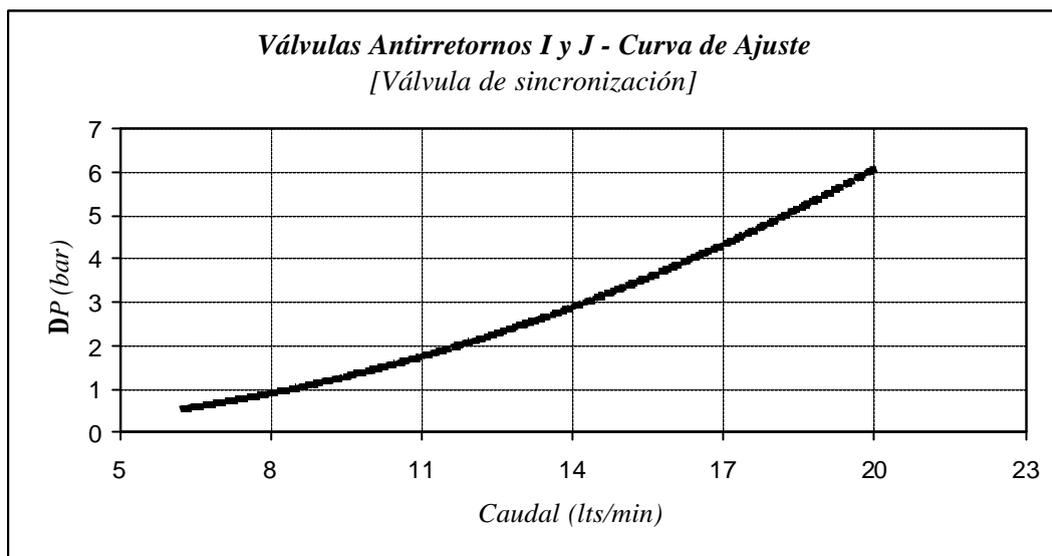


Figura 6.20 – Curva de ajuste de las gráficas correspondiente a las válvulas antirretorno I y J

Estranguladores fijos	Ecuaciones de ajuste
EF – 1	$\Delta P = 0.0271Q^{2.0156}$
EF – 2	$\Delta P = 0.027Q^{2.0027}$

Tabla 6.11 – Ecuaciones de ajustes de las curvas características de los estranguladores fijos EF – 1 y EF – 2

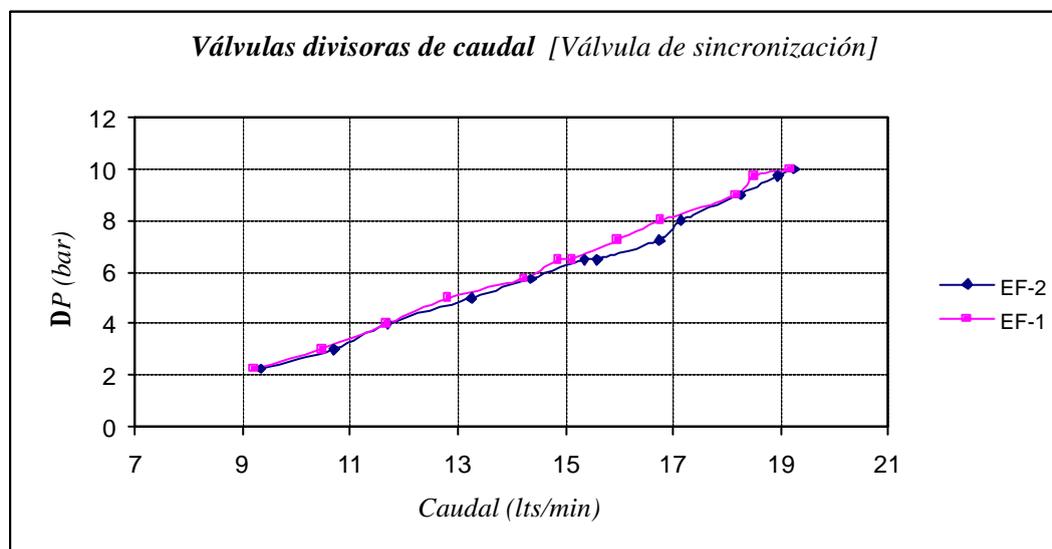


Figura 6.21 - Curvas características de los estranguladores fijos de la válvula de sincronización

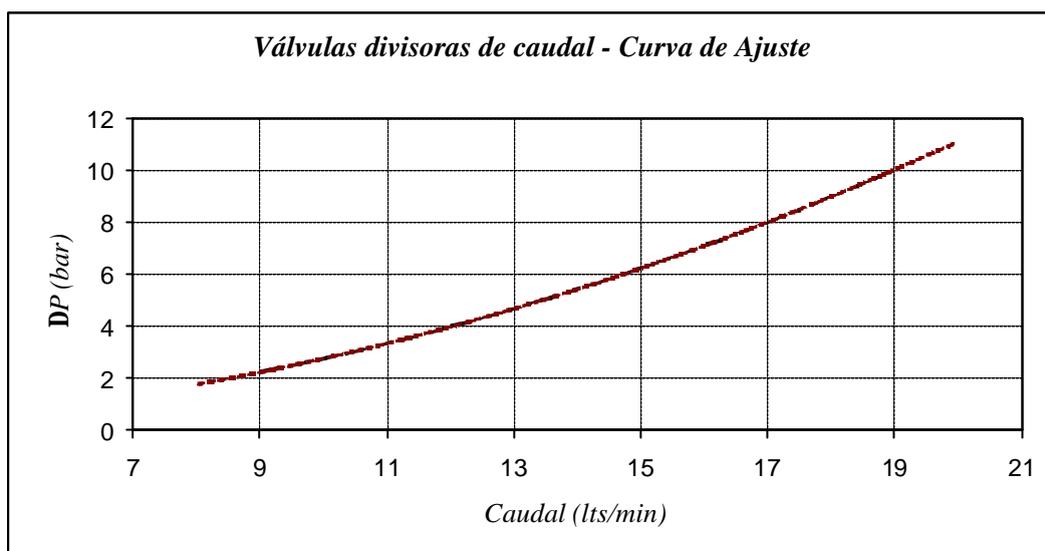


Figura 6.22 - Curva de ajuste de las gráficas correspondiente a los estranguladores fijos

Posiciones	Ecuaciones de ajustes Estrangulador de aguja derecha (EV-1)
0.75	$\Delta P = 0.1697Q^{2.0047}$
1.00	$\Delta P = 0.0985Q^{2.0393}$
1.50	$\Delta P = 0.0371Q^{2.0312}$
2.00	$\Delta P = 0.0274Q^{1.9913}$
2.50	$\Delta P = 0.0184Q^{2.0043}$
3.00	$\Delta P = 0.0151Q^{2.0108}$
3.50	$\Delta P = 0.0117Q^{2.0289}$
4.00	$\Delta P = 0.0113Q^{1.9934}$
4.50	$\Delta P = 0.0099Q^{2.0187}$
6.50	$\Delta P = 0.0107Q^{1.9868}$
6.50	$\Delta P = 0.0095Q^{2.014}$

Tabla 6.12 – Ecuaciones de ajuste del estrangulador de aguja derecha a diferentes posiciones ensayadas en LABSON.

<i>Posiciones</i>	<i>Ecuaciones de ajustes</i> <i>Estrangulador de aguja izquierda (EV-2)</i>
0.75	$\Delta P = 0.1599Q^{2.02}$
1.00	$\Delta P = 0.1059Q^{2.0184}$
1.50	$\Delta P = 0.0458Q^{2.0262}$
2.00	$\Delta P = 0.0304Q^{2.0146}$
2.50	$\Delta P = 0.0189Q^{2.0156}$
3.00	$\Delta P = 0.0141Q^{2.0314}$
3.50	$\Delta P = 0.0124Q^{2.0125}$
4.00	$\Delta P = 0.012Q^{1.9922}$
4.50	$\Delta P = 0.009Q^{2.0205}$
6.50	$\Delta P = 0.0092Q^{2.0018}$
6.50	$\Delta P = 0.0079Q^{2.0124}$

Tabla 6.13 – Ecuaciones de ajuste de la estranguladora de aguja izquierda a diferentes posiciones ensayadas en LABSON.

<i>Estrangulador</i>	<i>Posición</i>	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>Q_{nominal}</i>
EV-1_L	0,75	0,170	2,005	5,407
	1,00	0,099	2,039	6,860
	1,50	0,037	2,031	11,180
	2,00	0,027	1,991	13,663
	2,50	0,018	2,004	16,386
	3,00	0,015	2,011	17,916
	3,50	0,012	2,029	19,800
	4,00	0,011	1,993	21,248
	4,50	0,010	2,019	21,835
	5,50	0,011	1,987	22,063
	6,50	0,010	2,014	22,447
EV-2_L	0,75	0,160	2,020	5,497
	1,00	0,106	2,018	6,752
	1,50	0,046	2,026	10,136
	2,00	0,030	2,015	12,590
	2,50	0,019	2,016	15,918
	3,00	0,014	2,031	17,996
	3,50	0,012	2,013	19,710
	4,00	0,012	1,992	20,655
	4,50	0,009	2,021	22,827
	5,50	0,009	2,002	23,247
	6,50	0,008	2,012	24,663

Tabla 6.14 – Caudal nominal para cada posición de los estranguladores aguja a una caída de presión de 5 bar LABSON

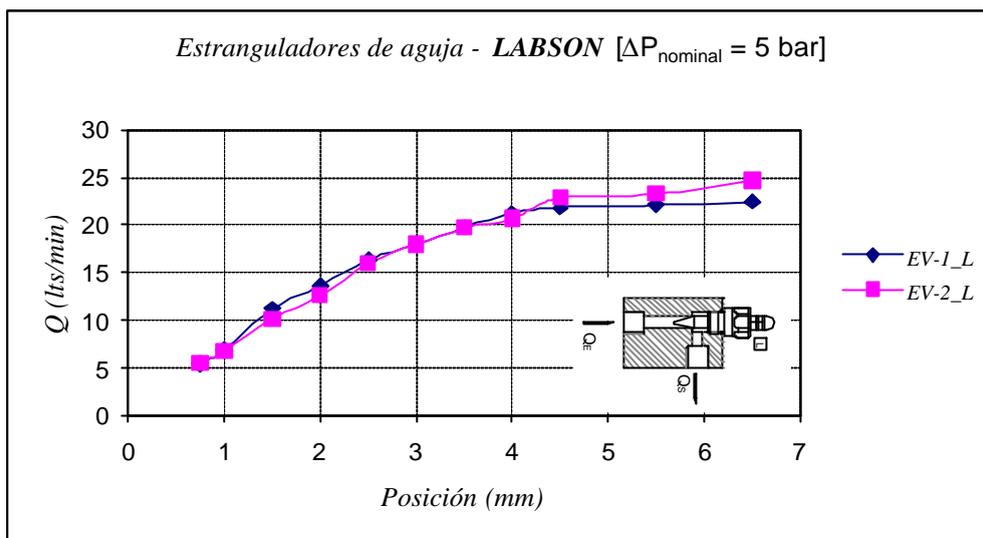


Figura 6.23 – Curva inherente de los estranguladores de aguja derecha e izquierda ensayadas en LABSON para $\Delta P_{\text{nominal}} = 5 \text{ bar}$

Posiciones	Ecuaciones de ajustes Estrangulador de aguja derecha (EV-1)
1.0	$\Delta P = 0.311Q^{1.430}$
1.5	$\Delta P = 0.145Q^{1.501}$
2.0	$\Delta P = 0.087Q^{1.565}$
2.5	$\Delta P = 0.073Q^{1.510}$
3.0	$\Delta P = 0.088Q^{1.401}$
3.5	$\Delta P = 0.078Q^{1.413}$
4.0	$\Delta P = 0.074Q^{1.377}$
4.5	$\Delta P = 0.065Q^{1.416}$
5.0	$\Delta P = 0.052Q^{1.476}$
6.5	$\Delta P = 0.061Q^{1.427}$
6.0	$\Delta P = 0.06Q^{1.418}$

Tabla 6.15 – Ecuaciones de ajuste del estrangulador de aguja derecha a diferentes posiciones ensayadas en ROQUET

<i>Posiciones</i>	<i>Ecuaciones de ajustes Aguja estrangulador izquierdo (EV-2)</i>
1.0	$\Delta P = 0.311Q^{1.4948}$
1.5	$\Delta P = 0.188Q^{1.444}$
2.0	$\Delta P = 0.129Q^{1.433}$
2.5	$\Delta P = 0.091Q^{1.446}$
3.0	$\Delta P = 0.105Q^{1.348}$
3.5	$\Delta P = 0.087Q^{1.382}$
4.0	$\Delta P = 0.089Q^{1.331}$
4.5	$\Delta P = 0.069Q^{1.376}$
5.0	$\Delta P = 0.070Q^{1.335}$
6.5	$\Delta P = 0.066Q^{1.350}$
6.0	$\Delta P = 0.066Q^{1.332}$

Tabla 6.16 – Ecuaciones de ajuste de los estranguladores de aguja izquierda a diferentes posiciones ensayadas en ROQUET

<i>Estrangulador</i>	<i>Posición</i>	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>Q_{nominal}</i>
EV-1_R	1,00	0,311	1,430	6,978
	1,50	0,145	1,501	10,581
	2,00	0,087	1,565	13,331
	2,50	0,073	1,510	16,375
	3,00	0,088	1,401	17,824
	3,50	0,078	1,413	18,939
	4,00	0,074	1,377	21,256
	4,50	0,065	1,416	21,421
	5,00	0,052	1,476	22,126
	5,50	0,061	1,427	21,986
6,00	0,060	1,418	22,582	
EV-2_R	1,00	0,331	1,495	6,907
	1,50	0,188	1,444	9,703
	2,00	0,129	1,433	12,875
	2,50	0,091	1,446	15,951
	3,00	0,105	1,348	17,567
	3,50	0,087	1,382	18,744
	4,00	0,089	1,331	20,688
	4,50	0,069	1,376	22,506
	5,00	0,070	1,335	24,391
	5,50	0,066	1,350	24,747
	6,00	0,066	1,332	25,899

Tabla 6.17 – Caudal nominal para cada posición de los estranguladores de aguja a una caída de presión de 5 bar Laboratorio ROQUET

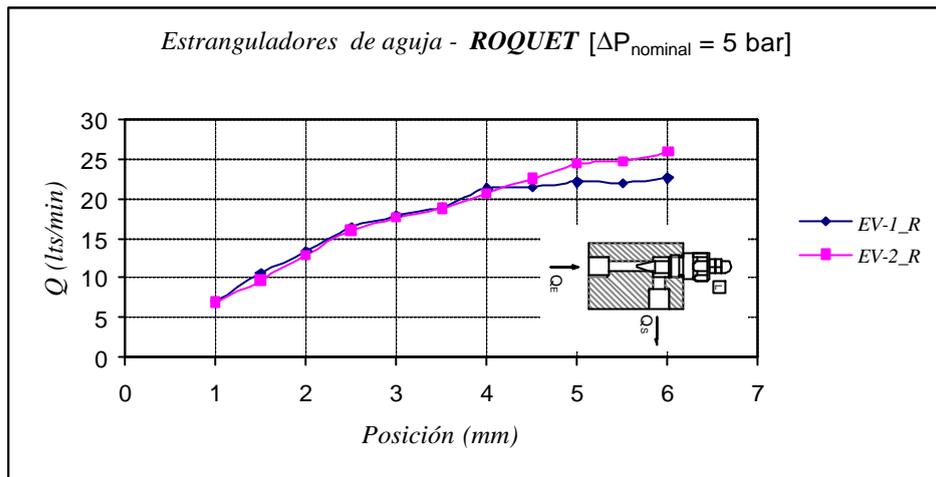


Figura 6.24 – Curva inherente de los estranguladores de aguja derecha e izquierda ensayadas en ROQUET para $\Delta P_{\text{nominal}} = 5 \text{ bar}$

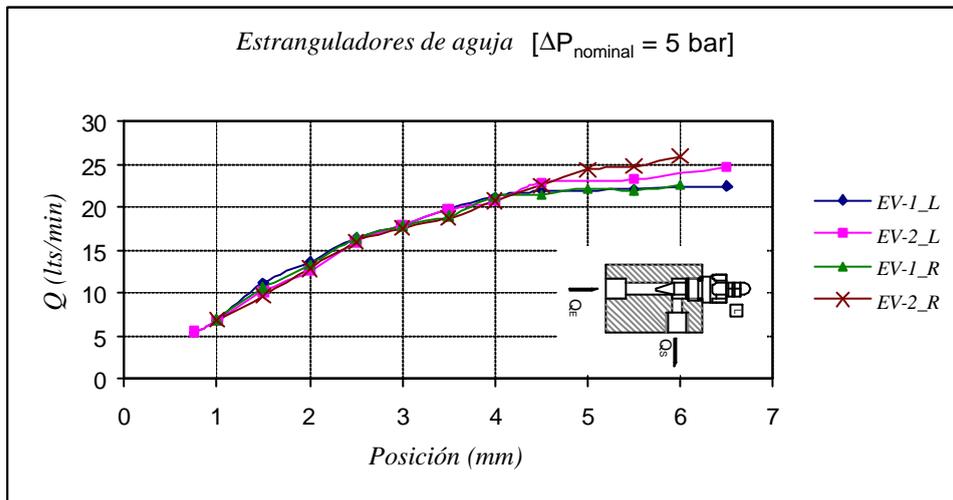


Figura 6.25 – Curvas inherentes de los estranguladores de aguja

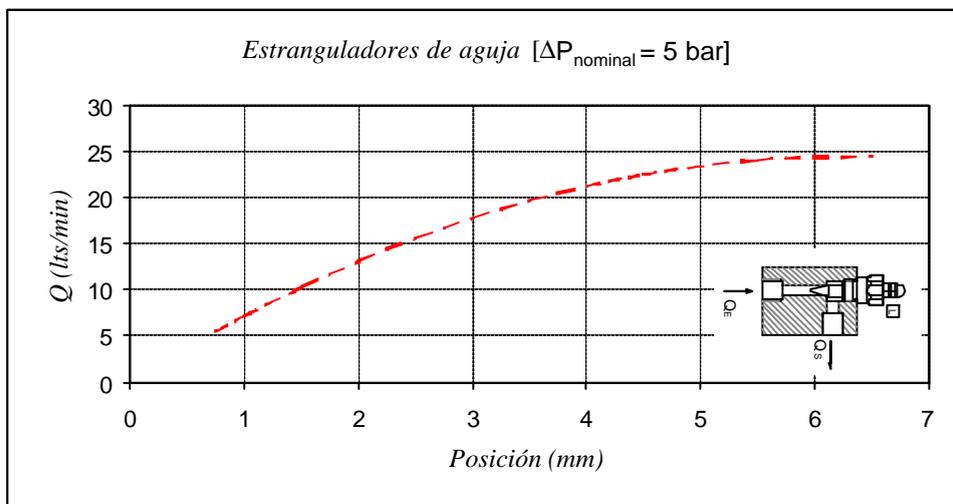


Figura 6.26 – Curva de ajuste de los estranguladores de aguja ensayados en Roquet y en LABSON

En anexo D se muestran algunos ejemplos de las curvas experimentales de las válvulas que configuran a la válvula de sincronización con sus líneas de tendencia

Los resultados obtenidos en este capítulo han permitido:

1. Validar algunos de los submodelos de componentes o elementos oleohidráulicos convencionales.
2. Estimar los valores o intervalos de variación de algunos de los parámetros utilizados en los submodelos desarrollados para evaluar el comportamiento dinámico del conjunto válvula de sincronización.