

## CAPITULO VI - DESCRIPCION DE LOS BANCOS DE ENSAYOS.

### 6.1 Caracterización de los elementos de control básicos.

Para caracterizar experimentalmente los orificios fijos y variables de la válvula divisora/integradora de caudal, se procedió a diseñar y construir un banco de ensayos que nos permitirá la medida de los principales parámetros físicos que lo caracterizan, tales como el diferencial de presión ( $\Delta P$ ) y el caudal ( $Q$ ) que atraviesa la válvula. Para tal fin, el banco quedó constituido por los siguientes elementos (Los números están referenciados, según el esquema de la figura 6-1):

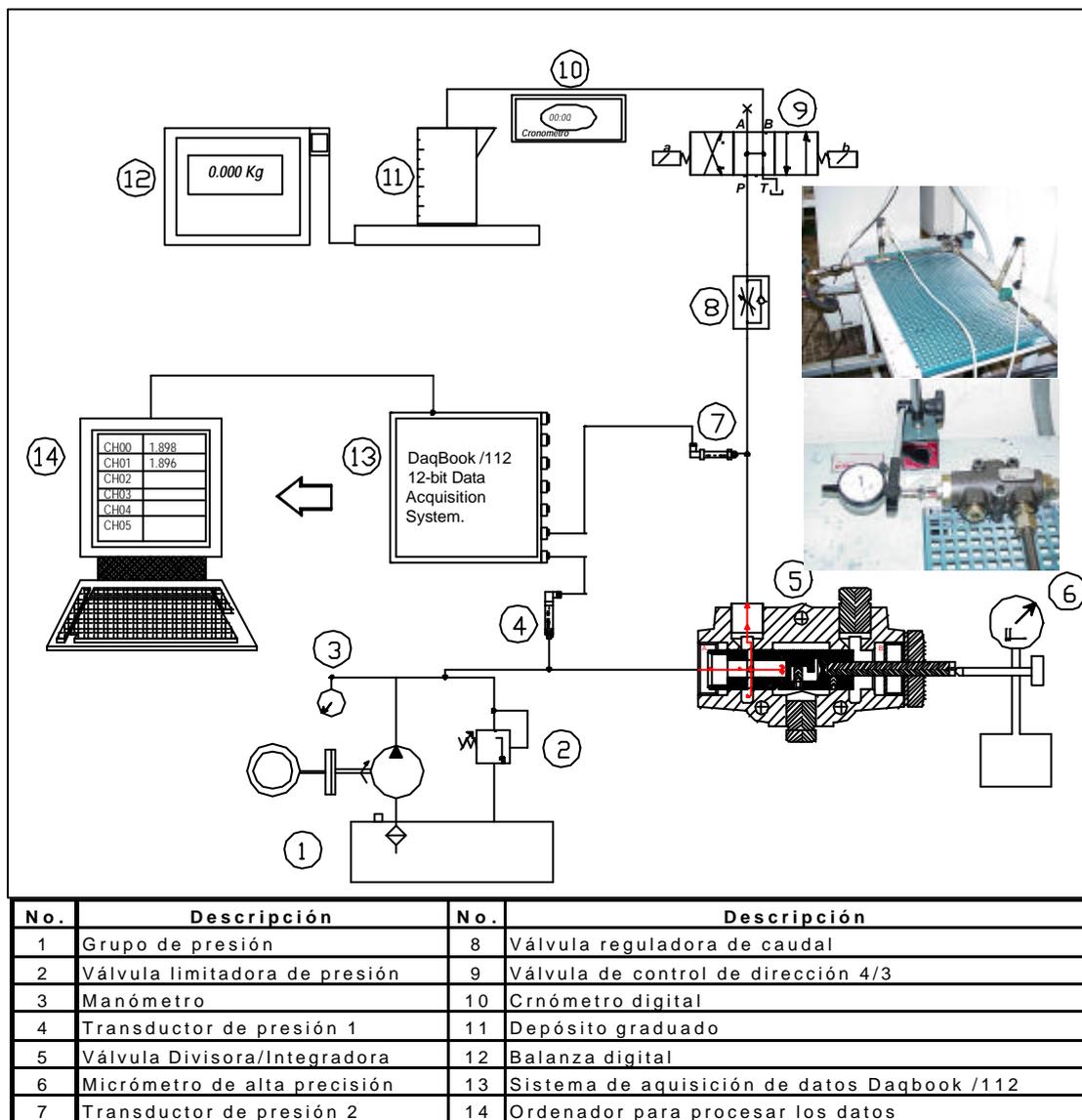


Figura 6-1. Esquema general del banco de ensayos de la válvula Divisora/integradora de caudal.

## 6.2 Descripción del banco de ensayos de los elementos de control.

### El sistema oleohidráulico

Es el encargado de suministrar la presión y el caudal necesarios para la realización de las pruebas experimentales. Está compuesto por los siguientes elementos:

- Depósito de aceite
- Motor eléctrico.
- Bomba
- Filtro
- Válvula de control de dirección (4/3)
- Válvula Divisora/integradora de caudal.
- Válvula reguladora de caudal.

### Instrumentación.

Estos elementos son los encargados de realizar la medición, adquisición y procesamiento de los datos, está compuesto por los siguientes elementos:

#### a) Transductores de presión

Los sensores transductores de presión (4 y 7 de la figura 6-1), utilizados son del tipo Keller serie 21-R, que son transductores del tipo piezoresistivos. Para las pruebas de este apartado, los transductores fueron calibrados en el banco de ensayos de transductores de presión del laboratorio. Las señales de voltaje emitidas por los transductores fueron captadas por medio del sistema de adquisición de datos del Daqbook. A continuación se muestra la tabla con las ecuaciones obtenidas a partir de la calibración experimental.

Ubicación del Transductor	Rango de Presión calibrado (bar)	Ecuaciones P(bar) V(voltios)
1.-Entrada Válvula	0-100	$P=13.769V-25.669$
2.-Salida de Válvula	0-100	$P=13.801V-26.076$

Tabla 6-1. Tabla de ecuaciones de ajustes de la calibración de los transductores de presión.

## b) Sistema de adquisición de datos Daqbook / 112

Este sistema es el encargado de adquirir y captar las señales de voltaje enviadas desde los transductores de presión en tiempo real y posteriormente, enviarlas al ordenador para su procesamiento.

## c) Otros elementos de medición utilizados en el ensayo.

- Probetas de aceite 5000 cc.
- Manómetro 0-150 bar.
- Cronómetro digital.
- Balanza electrónica 0-100 kg.
- Micrómetro comparador de reloj.

### 6.2.1 Protocolos.

Para la valoración experimental de la válvula divisora/integradora de caudal se diseñaron los siguientes tipos de ensayos:

1. Ensayo específico para la caracterización del comportamiento de la válvula divisora/integradora de caudal.
2. Ensayo específico para valorar la repetibilidad del comportamiento.

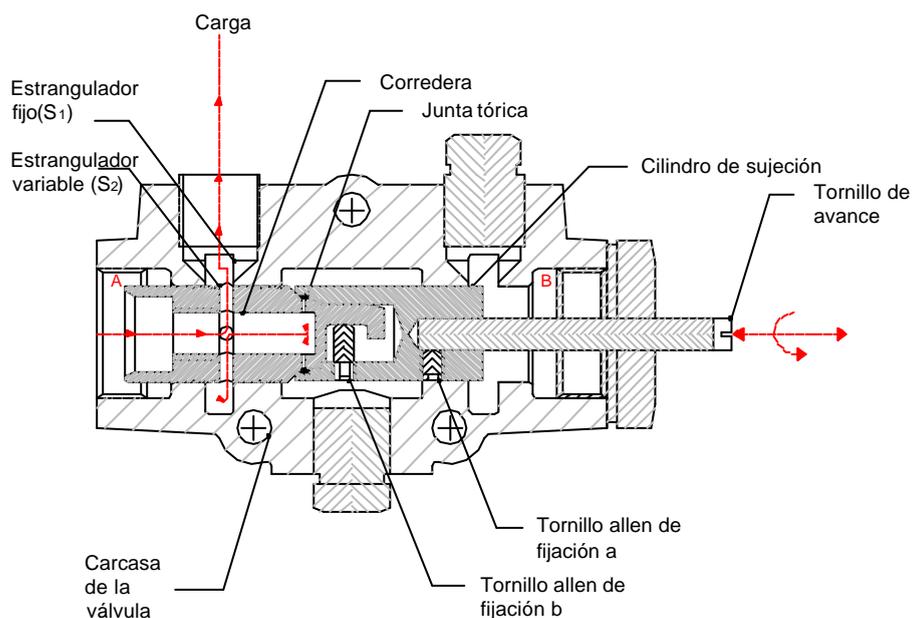


Figura 6-2. Válvula divisora de caudal modificada para realizar los ensayos experimentales.

Para la caracterización de la válvula divisora/integradora de caudal, se realizó una modificación en la corredera de la válvula, tal como se muestra en la figura 6-2. Esta modificación, en el interior de la válvula, permite variar la sección de paso del caudal de aceite, mediante el movimiento relativo entre, la corredera y el orificio de sección fijo ubicado en la carcasa del divisor.

### **Protocolo de puesta en marcha**

El protocolo de puesta en marcha comprende los siguientes pasos de trabajo:

1. Ajustar y verificar la fijación y apriete de los conectores, tubos flexibles y racores del banco de ensayos.
2. Poner en marcha el grupo de presión con el objetivo de: Ajustar la presión de suministro del grupo oleohidráulico a 100 bar. Controlar visualmente las probables fugas de aceite en todo el circuito y purgar el aire existente en el interior de los circuitos.
3. Accionar el interruptor de la válvula de control direccional para constatar su correcto funcionamiento y respuesta eléctrica.
4. Abrir desde el ordenador el programa Daqbook /112 para comprobar las lecturas de los voltajes emitidos por los transductores de presión.
5. Estabilizar la temperatura de trabajo del aceite que circula por el circuito oleohidráulico, ésta temperatura oscila en el rango de 40 y 45 ° C.

### **Ensayo específico para la caracterización del comportamiento de la válvula Divisora/integradora de caudal.**

La realización de este ensayo comprende los siguientes pasos:

1. Ajustar el micrómetro comparador de reloj en su posición cero, una vez que el palpador del micrómetro entra en contacto con el tornillo de avance. Esta posición cero coincide con la máxima apertura de la sección del orificio de la corredera interna de la válvula con respecto a la sección fija de estrangulación de la válvula divisora/integradora de caudal. Una vez puesto a cero el reloj, no se volverá a manipular hasta que el ensayo esté finalizado.
2. Manipular la válvula reguladora de caudal hasta su posición de máxima apertura.

3. Definir el tiempo de realización del ensayo con ayuda del cronometro.
4. Accionar el interruptor que comanda la válvula de control de dirección, durante el tiempo del ensayo.
5. Capturar los datos de presiones con el equipo de captación Daqbook /112.
6. Anotar el peso del aceite registrado en la balanza electrónica.
7. Manipular la válvula reguladora de caudal hasta una nueva posición de estrangulación.
8. Una vez finalizado el paso anterior, continuar la secuencia de pasos 4 a 6.
9. Repetir pasos 3 a 6 hasta que la válvula reguladora de caudal quede completamente estrangulada.
10. Procesar los datos registrados utilizando las ecuaciones de ajuste obtenidas mediante las calibraciones experimentales de los sensores de presión obtenidas anteriormente.
11. Estrangular la sección variable de la corredera interior de la válvula divisora a través del tornillo de avance.
12. Una vez realizado este ajuste, se repiten los pasos indicados en 2 a 10.
13. Procesar datos en la hoja Excel.

### **Ensayo específico para valorar la repetibilidad del comportamiento.**

Este ensayo se realizó para comprobar la repetibilidad y fiabilidad de los datos obtenidos en los ensayos anteriores. Para este ensayo, la corredera de la válvula divisora es ajustada y ensayada desde una posición inicial en la cual se estrangula por completo el paso del caudal de aceite a través del interior de la válvula. El protocolo de ensayos es el mismo, descrito en el punto anterior.

A continuación se representa la terminología empleada para describir los ensayos a realizar durante la fase experimental de la válvula divisora/integradora de caudal.

De la tabla 6-2 se define como:

A –Es la posición de máxima apertura de la válvula divisora/integradora de caudal.

G –Es la posición de apertura mínima de la válvula divisora/integradora de caudal, en la cual el caudal de paso es nulo.

<b>Rutina de Ensayos experimentales de la Válvula Divisora</b>		
<i>Posición A - ? G</i>	<i>Avance longitudinal del tornillo de sujeción de la corredera 0 - ? 3 [mm]</i>	<i>Sección de paso estrangulada por la corredera [mm<sup>2</sup>]</i>
A	0.0	28.272
B	0.5	25.185
C	1.0	20.008
D	1.5	14.152
E	2.0	8.300
F	2.5	3.151
G	3.0	0.000

Tabla 6-2. Posiciones del tornillo de avance de la corredera de la válvula.

## 6.2.2 Metodología de tratamiento de los datos obtenidos.

### 6.2.2.1 Tipología de los resultados experimentales obtenidos.

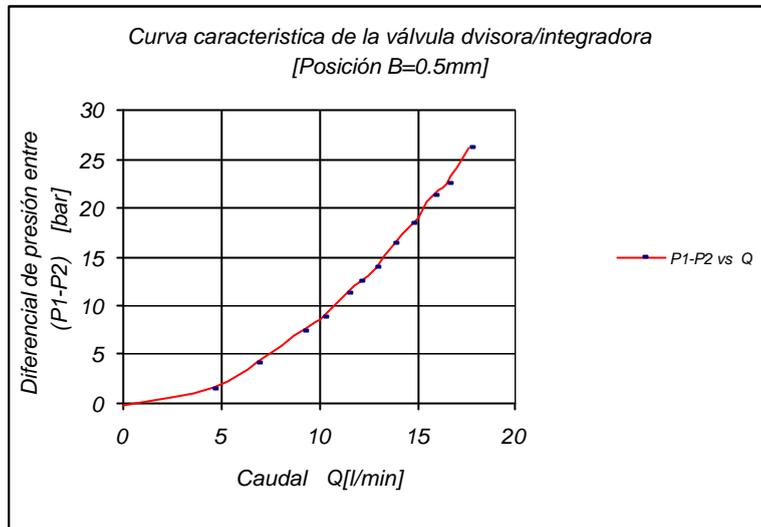


Figura 6-3. Curva característica obtenida a partir de las pruebas de ensayo.

La gráfica de la figura 6-3 representa, a modo de ejemplo, el desarrollo de una de las curvas características de la válvula divisora/integradora obtenida durante los ensayos. Los diferentes puntos de la curva se obtienen a partir de la estrangulación progresiva del caudal de aceite que pasa por la válvula reguladora. Este estrangulamiento provoca una variación en la presión diferencial nominal  $\Delta P$  ( $P_1 - P_2$ ) en la válvula divisora/integradora de caudal.

La gráfica anterior es una tipología de los resultados experimentales obtenidos durante los ensayos y sirvieron para caracterizar la válvula divisora.

A continuación se describe la forma en que fueron procesados los datos para obtener la caracterización de la válvula divisora/integradora de caudal.

a) Cálculo del caudal.

El caudal ( $Q$ ) es determinado por la expresión siguiente:

$$Q = \frac{V}{t} \quad [6.1]$$

El volumen ( $V$ ) es obtenido mediante la ecuación

$$V = \frac{m}{\rho} \quad [6.2]$$

En nuestro caso se determinó de forma experimental el valor de la densidad del aceite utilizado durante las pruebas, este valor es:

$$r = 876,4 \frac{kg}{m^3} \quad [6.3]$$

### 6.2.3 Resultados experimentales

En la tabla 7-3, se resumen las ecuaciones de ajuste obtenidas en base a los resultados experimentales.

<b>Resumen de Ensayos Experimentales</b>		
<i>Posición</i>	<i>Nº de ensayos</i>	<i>Ecuación de ajuste</i>
A	1	? P <sub>VDI</sub> = 0.0045Q <sup>2.0602</sup>
	2	? P <sub>VDI</sub> = 0.0057Q <sup>1.9804</sup>
B	1	? P <sub>VDI</sub> = 0.0041Q <sup>2.0942</sup>
	2	? P <sub>VDI</sub> = 0.0053Q <sup>2.0476</sup>
C	1	? P <sub>VDI</sub> = 0.0057Q <sup>2.048</sup>
D	1	? P <sub>VDI</sub> = 0.0085Q <sup>2.1003</sup>
	2	? P <sub>VDI</sub> = 0.0096Q <sup>1.9901</sup>
	3	? P <sub>VDI</sub> = 0.0108Q <sup>2.019</sup>
E	1	? P <sub>VDI</sub> = 0.0295Q <sup>2.0272</sup>
F	1	? P <sub>VDI</sub> = 0.0808Q <sup>2.022</sup>
G	1	? P <sub>VDI</sub> = 0

Tabla 6-3. Ecuaciones de ajuste de la válvula divisora/integradora de caudal.

De la tabla 6-3 se define que:

? P<sub>VDI</sub> es la diferencia de presión que corresponde a la caracterización de los elementos internos de la válvula divisora/integradora de caudal en (bar).

Con los valores de caudal nominal obtenidos de la tabla, podemos obtener el ajuste de la curva que relaciona la sección de paso de la corredera de la válvula con el caudal nominal, tal como se muestra en la figura 6-4.

La ecuación de ajuste que relaciona ambos parámetros es:

$$Q_{(l/min)} = 1.8078 \cdot S_{paso(mm^2)} + 2.6076 \quad [6.4]$$

De la misma forma se obtiene la ecuación que relaciona, el caudal nominal con el desplazamiento lineal de la corredera interna de la válvula, tal como se aprecia en el grafico de la figura 6-5.

Corredera VDI		
Posició	Ecuación de ajuste	Caudal (l/min) ? PN =10 bar
A	$QN = (? PN/0.0057)^{1/1.8804}$	53.11
B	$QN = (? PN/0.0053)^{1/2.0476}$	39.79
	$QN = (? PN/0.0055)^{1/2.0461}$	39.18
C	$QN = (? PN/0.0057)^{1/2.048}$	38.37
D	$QN = (? PN/0.0108)^{1/2.019}$	29.46
	$QN = (? PN/0.0096)^{1/1.9901}$	32.83
E	$QN = (? PN/0.0296)^{1/2.0322}$	17.55
F	$QN = (? PN/0.1086)^{1/1.9078}$	10.70
G		00.00

Tabla 6-4. Tabla de valores de caudal obtenidos para un valor ?P de 10 bar.

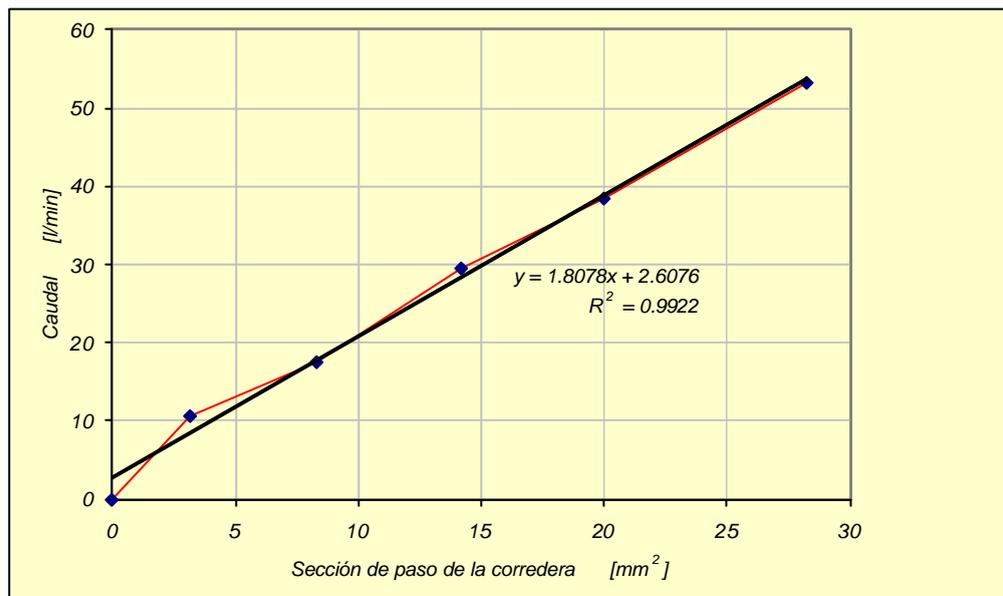


Figura 6-4. Caudal nominal vs. Sección de paso de la corredera.

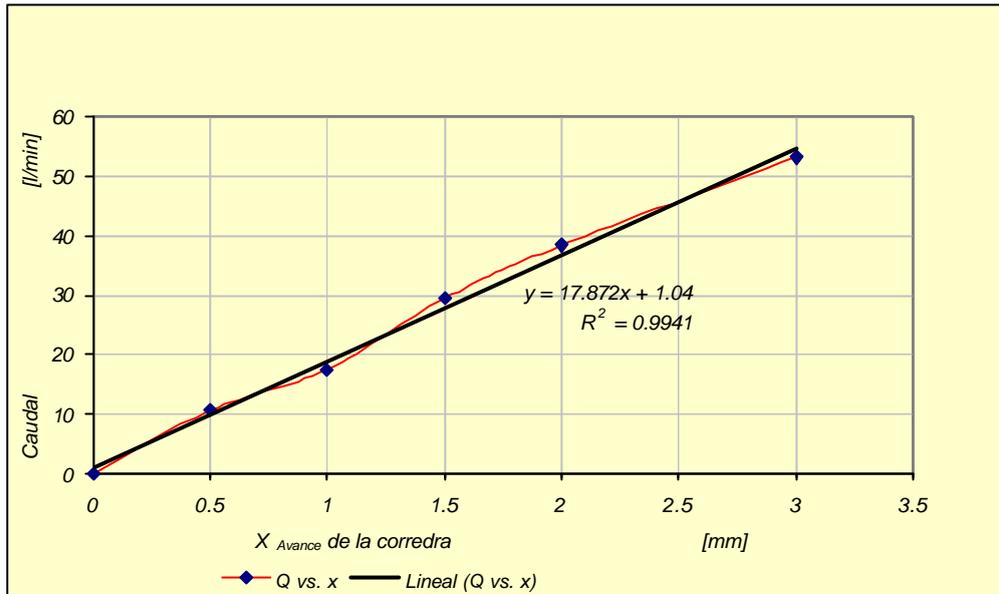


Figura 6-5. Caudal nominal vs Avance longitudinal de la corredera.

La ecuación de ajuste que relaciona ambos parámetros es:

$$Q_{(l/min)} = 17.872 \cdot X_{a(mm)} + 1.04 \quad [6.5]$$

En los gráficos representados en las figuras 6-6 a 6-11, pueden observarse los resultados de los ensayos obtenidos a partir de la curva característica de la válvula Divisora/integradora de caudal, para cada una de las posiciones examinadas, igualmente, se muestran sus respectivas curvas de ajuste. Es de resaltar, que con estas ecuaciones de ajuste, fueron determinadas las ecuaciones 6.4 y 6.5. Las figuras 6-13 y 6-14, muestran dos ensayos aleatorios realizados en las posiciones D y B, para constatar la fiabilidad de los ensayos.

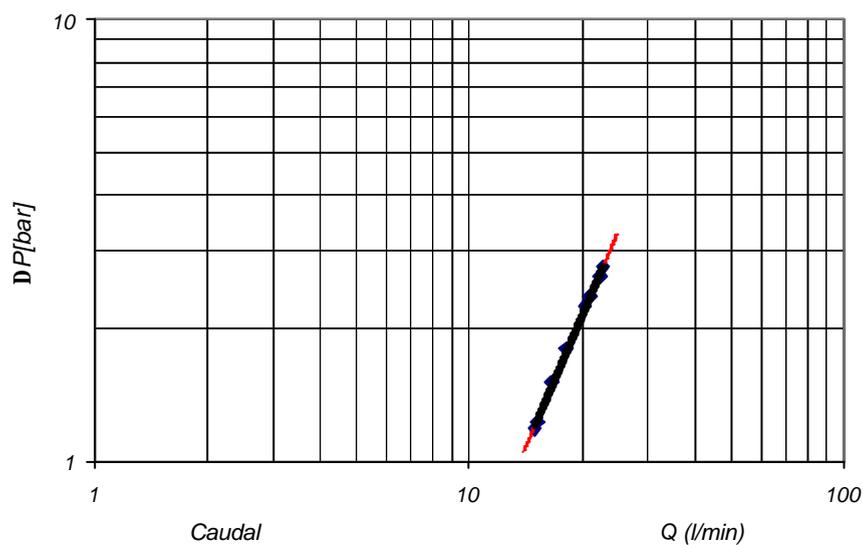


Figura 6-6. Presión diferencial vs caudal (posición A).

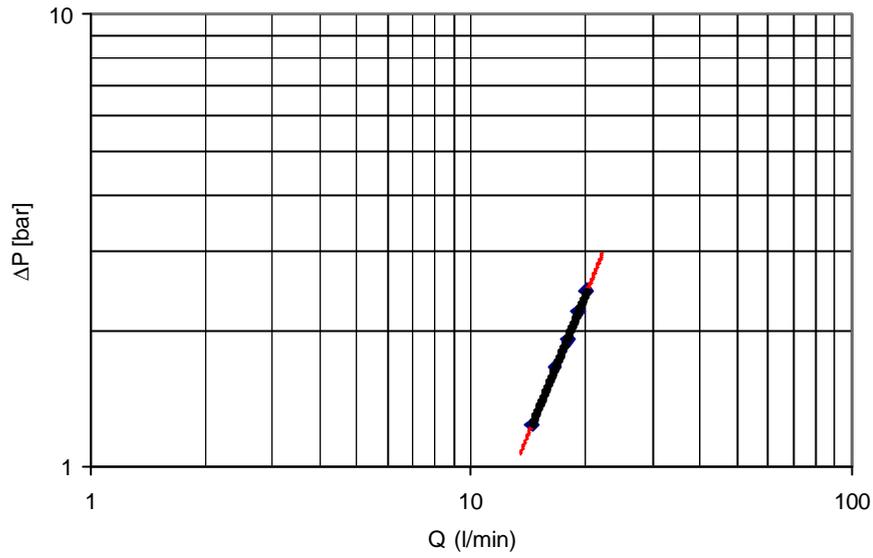


Figura 6-7. Presión diferencial vs caudal (posición B).

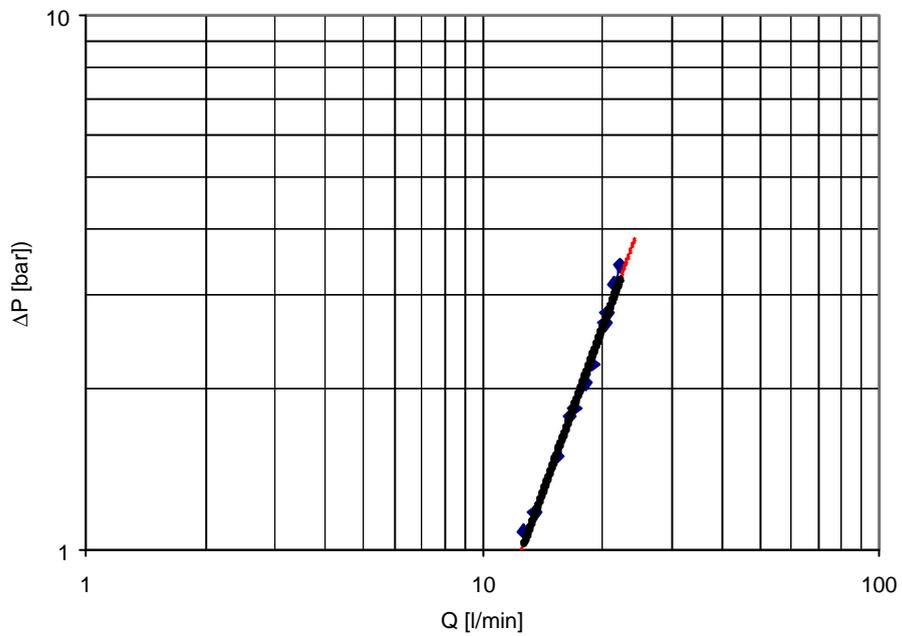


Figura 6-8. Presión diferencial vs caudal (posición C).

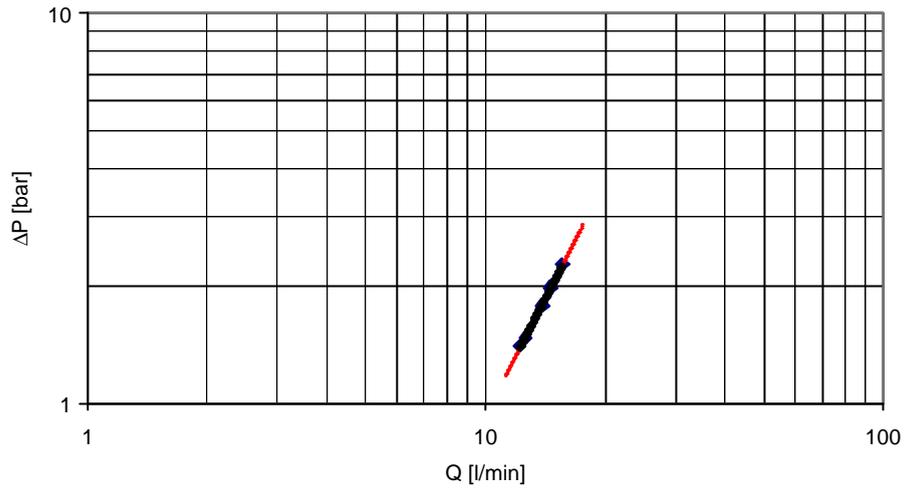


Figura 6-9. Presión diferencial vs caudal (posición D).

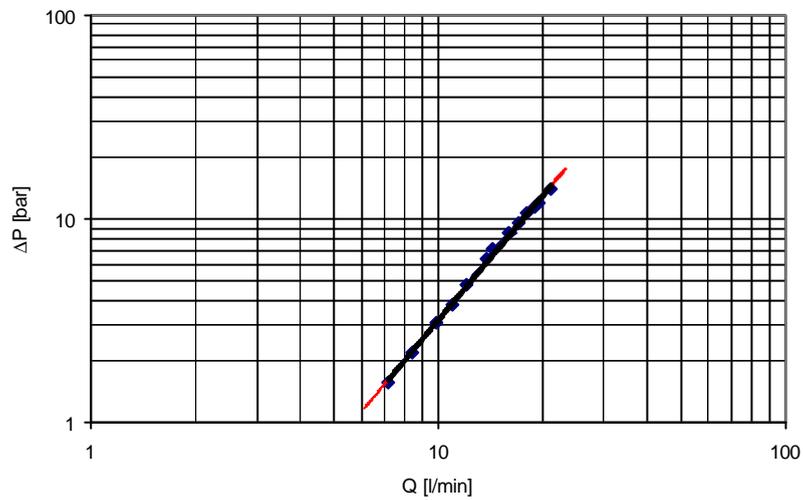


Figura 6-10. Presión diferencial vs caudal (posición E).

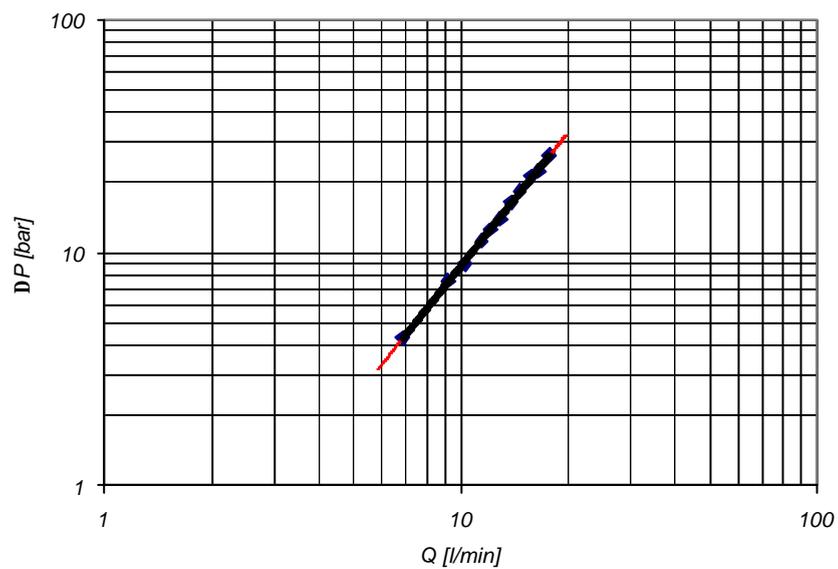


Figura 6-11. Presión diferencial vs caudal (posición F).

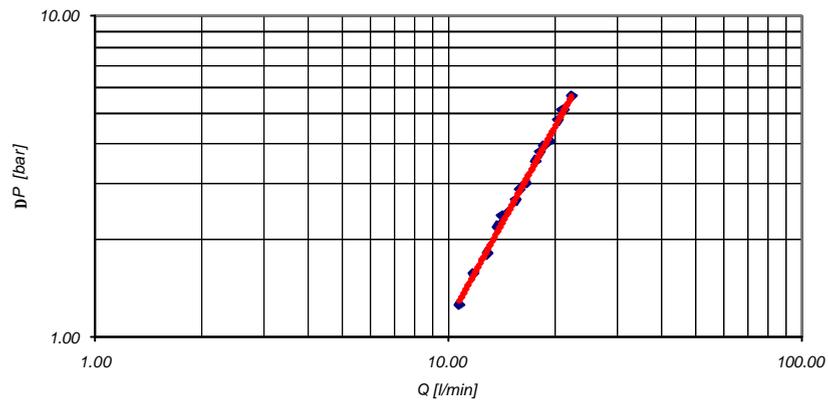


Figura 6-12. Presión diferencial vs caudal (posición D). (Pruebas de repetibilidad).

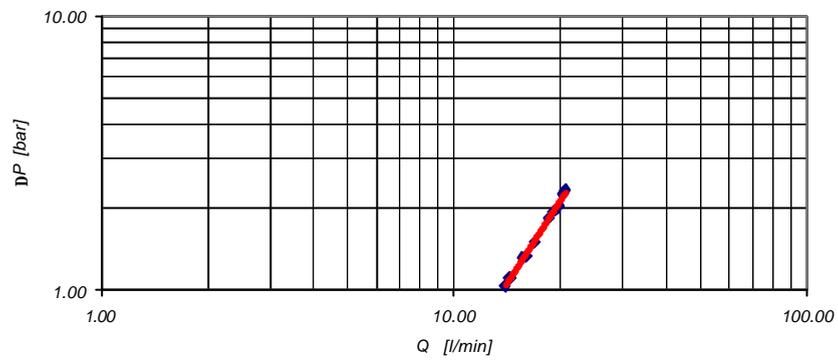


Figura 6-13. Presión diferencial vs caudal (posición B). (Pruebas de repetibilidad).

### 6.3 Otros elementos auxiliares (Muelles).

Otros elementos que juegan un papel importante en el funcionamiento de una válvula divisora/integradora de caudal son sus muelles de recuperación. Dichos muelles, tienen diferentes funciones dentro de la mecánica de trabajo de la válvula, algunas de estas son

- Muelle central: 1) aseguran un contacto permanente entre las dos correderas de la válvula. 2) permitir, el movimiento relativo entre ambas correderas, cuando éstas trabajen sometidas bajo la acción de las fuerzas del fluido, tanto en el modo divisor como el modo integrador de caudal.
- Muelles laterales: 1) mantienen ambas correderas en la posición central siempre y cuando dichas correderas no estén sometidas a las fuerzas de flujo.

Para comprobar y caracterizar los muelles de recuperación propuestos para el montaje de la válvula divisora/integradora de caudal, se utilizó el banco de ensayos de la empresa Pedro Roquet, S. A. que se muestra en las fotografías de la figura 6-14.

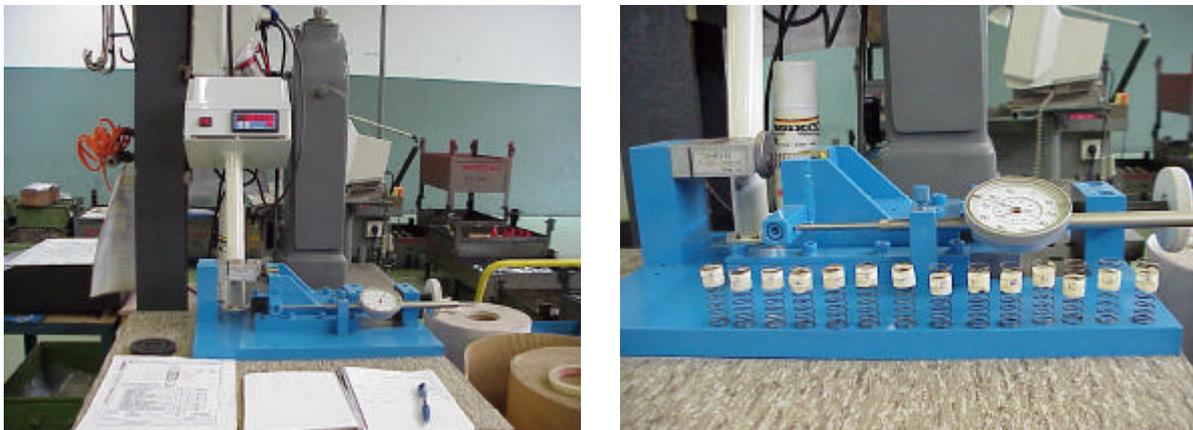


Figura 6-14. Fotografías del banco de ensayos y de los muelles ensayados.

#### 6.3.1 Descripción del banco de ensayos.

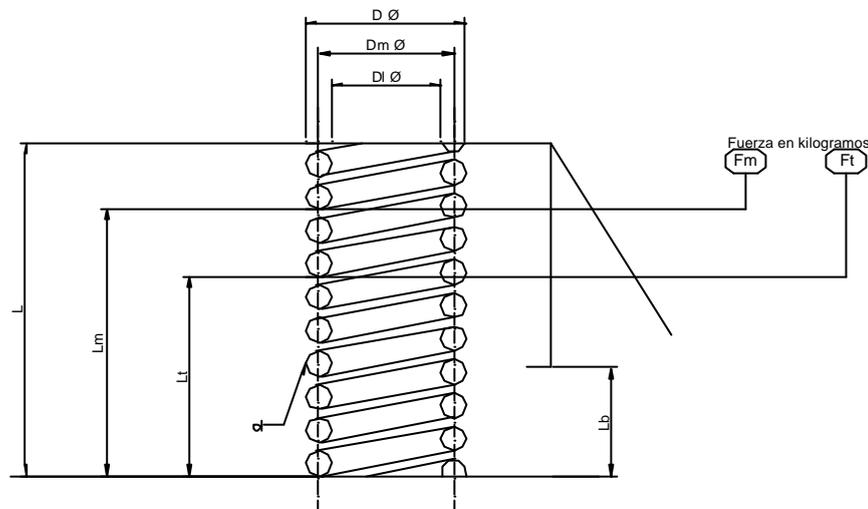
La máquina para caracterizar estos muelles es de la firma comercial Lexitron, modelo 546QD y está compuesta principalmente, por los siguientes elementos:

- Elemento de sujeción.
- Transductor de fuerza o carga (rango de trabajo de 0 – 60 kg, precisión 0.0001 kg).
- Comparador de carátula (0.01 mm de precisión).

- Mecanismo de avance (manivela, tornillo helicoidal, carriles y de un carro desplazable).
- Display de lectura.

### 6.3.1.1 Parámetros del muelle.

A continuación, se describen los principales parámetros característicos de dichos muelles de recuperación. Con la ayuda de la figura 7-15, estos parámetros se pueden definir como:



Referencia	Descripción
D	Diámetro exterior
$D_m$	Diámetro medio
$D_i$	Diámetro interior
L	Longitud libre
$L_m$	Longitud mínima de trabajo
$F_m$	Fuerza de montaje
$F_L$	Fuerza registrada cuando el muelle alcanza la longitud de montaje
$F_t$	Fuerza mínima de trabajo
k	Constante del muelle

Figura 6-15. Parámetros geométricos del muelle

### 6.3.2 Protocolo de ensayos.

En la realización de estos ensayos se tomó, al azar, un grupo de 14 muestras de muelles. Una vez elegido el grupo de muestreo a ensayar, se siguieron cada uno de los pasos siguientes:

- 1.- Numerar y marcar la muestra a ensayar.
- 2.- Fijar la muestra en el mecanismo de sujeción.

- 3.- Ajustar, en un valor aproximado a cero, el display del sensor de fuerza.
- 4.- Colocar en cero, la aguja del reloj del comparador de carátula que indica la posición del muelle, una vez que éste alcance su longitud libre (L).
- 5.- Posicionar el carro desplazable comprimiendo el muelle hasta alcanzar su longitud de montaje ( $L_m=26$  mm).
- 6.- Anotar la lectura de fuerza indicada en el display.
- 7.- Avanzar nuevamente el carro desplazable hasta completar la longitud mínima de trabajo ( $L_t= 23$  mm).
- 8.- Anotar la lectura de fuerza indicada en el display.
- 9.- Desmontar el muelle e iniciar nuevamente el proceso.

### 6.3.3 Metodología para el tratamiento de los datos obtenidos.

#### 6.3.3.1 Tipología de los datos obtenidos.

Una vez finalizado los ensayos, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 6-5.

Habida cuenta que todos los muelles ensayados son muelles lineales:

$$k = \frac{DF}{DX} \quad [6.6]$$

Donde:

? F, Es el diferencial de fuerza entre dos posiciones del muelle ( $? F = F_t - F_m$ ) en N.

? x, es el diferencial de posición entre la longitud de montaje y la longitud de trabajo del muelle ( $? x = L_m - L_t = 0.003$  m = cte.).

k, es la constante experimental del muelle en N/m.

Mediante la ecuación [6.6], y, procesando los resultados experimentales mostrados en la tabla 6-5, se obtiene la constante k, para cada uno de los muelles ensayados. Tales resultados pueden ser observados en la tabla 6-6:

Muestra	$F_m$ [N]	$F_t$ [N]	DF [N]
1	8.482707	9.618705	1.135998
2	8.274735	9.305766	1.031031
3	7.996131	9.183141	1.187010
4	8.286507	9.346968	1.060461
5	8.252172	9.291051	1.033879
6	8.509194	9.664812	1.155618
7	8.655363	9.715824	1.060461
8	8.266887	9.315576	1.048689
9	8.276697	9.330291	1.053594
10	8.260020	9.305766	1.045746
11	8.453277	9.518643	1.065366
12	8.261982	9.312633	1.050651
13	8.568054	9.628515	1.060461
14	8.284545	9.317538	1.032993
<b>Valores Medios =</b>	<b><math>F_m = 8.02862</math></b>	<b><math>F_t = 9.323914</math></b>	<b>DF = 1.043293</b>

Tabla 6-5. Tabla de resultados experimentales.

$k_i$	[N/m]
$k_1$	378,66
$k_2$	343,67
$k_3$	395,67
$k_4$	353,48
$k_5$	346,29
$k_6$	385,20
$k_7$	353,48
$k_8$	349,56
$k_9$	351,19
$k_{10}$	348,58
$k_{11}$	355,12
$k_{12}$	350,21
$k_{13}$	353,48
$k_{14}$	344,33
$K_m$	357,78

Tabla 6-6. Valores de la constante  $k$  del muelle.

Desde el punto de vista estadístico, se hace uso de la función densidad, la cual se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(k_i - k_m)^2}{2\sigma^2}} \quad [6.7]$$

Donde:

$k_m$ : Valor medio de la constante del muelle.

$K_i$ : Constante de rigidez de cada uno de los muelles.

$s$ : desviación típica.

Sustituyendo datos en la ecuación de densidad y calculando cada uno de los parámetros, se puede construir el gráfico de distribución normal que aparece en la figura 6-16.

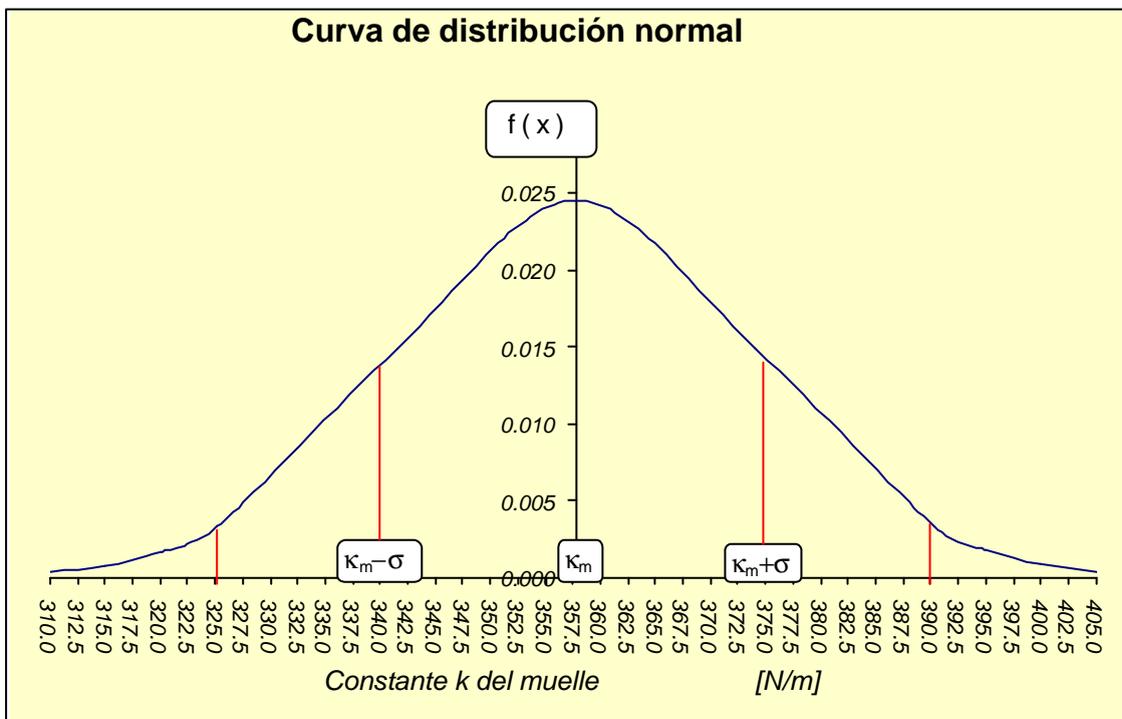


Figura 6-16. Gráfica de distribución normal.

En el gráfico de la figura 6-16, pueden apreciarse los siguientes datos:

- $s = 16.29247617$  N/m
- $k_m = 357.785$  N/m
- $k_m - s = 341.492$  N/m
- $k_m + s = 374.077$  N/m

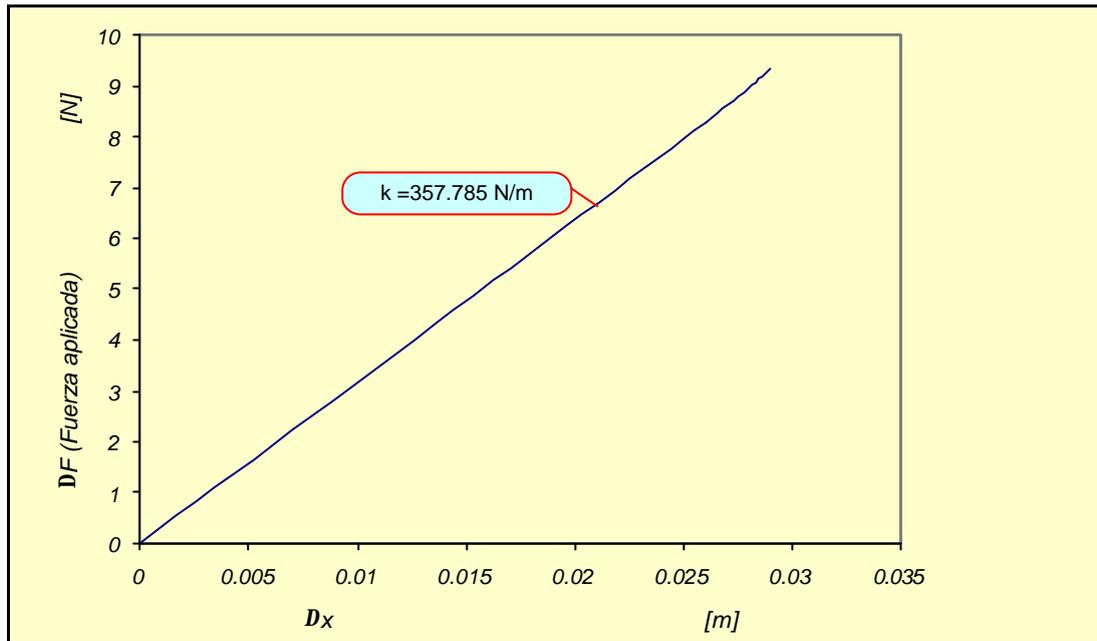


Figura 6-18. Fuerza aplicada vs Desplazamiento del muelle.

#### 6.4 Descripción del banco de ensayos de unidades divisoras de caudal.

Este apartado se ha dedicado exclusivamente al diseño, construcción y puesta a punto de un banco de ensayos que nos permita evaluar la bondad de componentes oleohidráulicos específicos cuyo objetivo básico es la sincronización de actuadores lineales (cilindros oleohidráulicos).

Los componentes oleohidráulicos específicos que han sido objeto de estudio en esta tesis cabe citar:

- Válvula divisora de caudal.
- Divisor rotativo.

La característica principal de este banco de ensayos es que utiliza elementos de trabajo comunes en cuanto a geometría, diseño y construcción que permiten evaluar y analizar, desde un punto de vista comparativo, las diferentes prestaciones y características de funcionamiento de cada uno de los métodos de sincronismo estudiados. A continuación, se describe la estructura del banco de ensayos el cual está constituido por lo siguientes elementos: a) Bancada, b) Sistema y equipos oleohidráulicos, c) Mecanismo para variación de la carga aplicada, d) Sistema de control, e) Instrumentación, f) Sistema de filtración y adquisición de datos



Figura 6-19a, Fotografía del banco de ensayos experimentales..



Figura 6-19b. Sistema de carga.

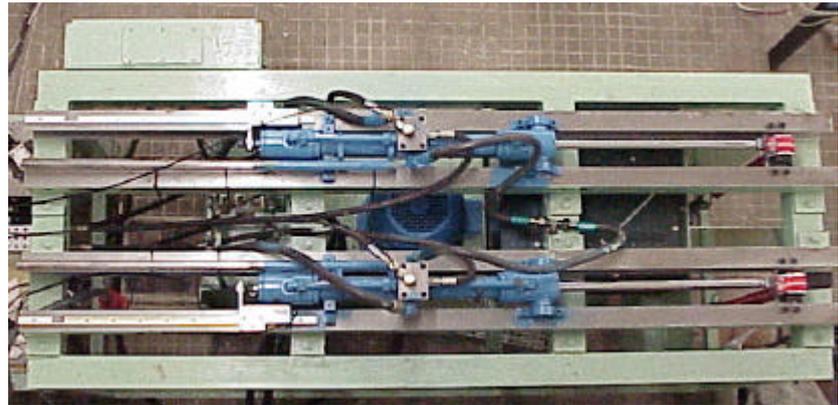


Figura 6-19c. Cilindros actuadores dispuestos en paralelo.

#### 6.4.1 Componentes del banco de ensayos.

##### Bancada

Las funciones de la bancada (1) son: (a) Permitir el fácil montaje y desmontaje de los equipos a ensayar y (b) Asegurar la rigidez suficiente que permita resistir el continuo movimiento cinemático y dinámico de los elementos móviles que soporta. Se utilizaron en su construcción 10 tubos de sección cuadrada de 80 x 80 x 2 mm, dispuestos de la siguiente forma: la bancada está alzada de la superficie del suelo por medio de cuatro tubos de 1160 mm de altura, la parte superior de la superficie de la bancada es de forma rectangular, y está conformada por dos tubos de 2000 mm dispuestos longitudinalmente; cuatro tubos de 640 mm son dispuestos transversalmente a los anteriores, estos tubos se mantienen unidos por sus extremidades por medio de soldadura eléctrica espaciadas 500 mm uno del otro. Sobre la anterior estructura se montaron longitudinalmente cuatro vigas UPN 100 (perfiles en U) de 2000 mm, los cuales fueron mecanizados en su parte superior.

##### Sistema y equipo oleohidráulico.

El sistema oleohidráulico en el banco de ensayos, es el encargado de suministrar y distribuir la energía necesaria para permitir el movimiento del mecanismo variador de la carga. La energía suministrada por el grupo oleohidráulico en forma de presión y caudal es utilizada para obtener valores de fuerza, posición,

velocidad y aceleración en los elementos movibles del banco experimental. Los elementos que conforman el sistema oleohidráulico se muestran en la figura 6-20, y está constituido por los siguientes componentes (referencia numérica según el esquema de la figura 6-20):

- (2) Grupo de presión.
- (5) Válvula de control direccional (VCD) 4/3.
  - Caudal nominal: 18 L/min.
  - $A_p = 10$  bar.
  - Rfa. = EP3D52CF2C24
- (6) Válvula Divisora/ integradora de caudal.
  - Caudal de entrada = 1,5 – 5 L/min.
  - Presión máxima de trabajo = 230 bar.
  - Rfa. = DCF3R F5
- (7) Electroválvula de retención de dos vías.
  - Caudal nominal = 25 L/min.
  - Presión máxima de trabajo = 250 bar.
  - Rfa. = ECP1D902C24.
- (8) Actadores..
  - 40 X 22 X 500 mm.
  - Doble acción / doble vástago.

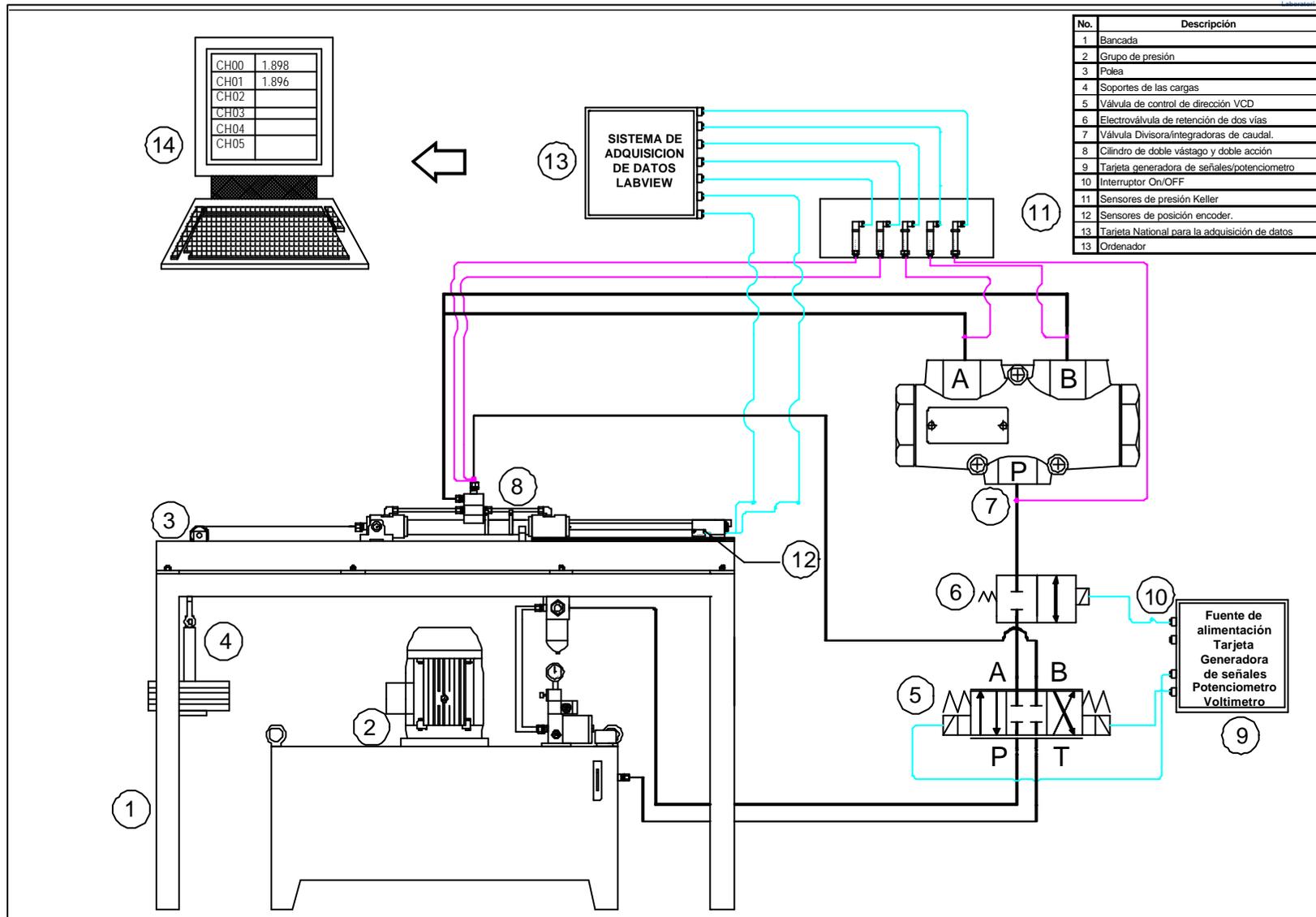


Figura 6-20. Esquema oleohidráulico experimental del banco de ensayos para el sincronismo de actuadores con válvula divisora/Integradora.

## Mecanismo dosificador de la carga.

Este mecanismo está constituido de los siguientes elementos:

Poleas: Dos poleas dentadas (3) de F65 mm se ubican longitudinalmente en el sentido del desplazamiento longitudinal de los vástagos de ambos actuadores. Las poleas rotan en ambos sentidos con respecto a un eje concéntrico de F14 mm que está, a su vez, soportado por dos placas de acero de dimensiones 44 x 56 x 12 mm, colocadas verticalmente y unidas entre sí en su parte inferior a una placa de acero de 180 mm de longitud. Dichos soportes están unidos en su parte superior al interior de los perfiles en U de la bancada por medio de cuatro pernos de sujeción.

Soportes de la carga (4) Este elemento está construido en su base por una placa circular de acero de F125 mm y 14 mm de espesor en cuyo centro se soldó verticalmente una barra cilíndrica de acero de F40 mm por su extremo inferior y de F30 mm por su extremo superior. La longitud de esta barra es de 320 mm. En la parte superior se taladró un orificio de F15 mm de diámetro que permitió la colocación del pasador de una rótula de 110 mm de longitud y de F32 mm. Una banda transportadora de nylon de 780 mm de longitud mantiene unidos el extremo de los vástagos de los cilindros actuadores con las bridas de sujeción de los soportes de la carga, permitiendo el movimiento vertical de subida y bajada de la carga mediante una polea.

Cargas: Estos elementos son placas de hierro de sección cuadrada. Sus dimensiones son 280 x 280 x 20 mm, con un peso de 110 N y fueron mecanizados desde uno de sus lados hasta sus centros geométricos para permitir su acoplamiento a los soportes de carga descritos anteriormente. Se fabricaron 10 unidades para la realización de las pruebas experimentales.

## Sistema de control.

El sistema de control (9) es el encargado del movimiento alternativo de extensión y retorno en los actuadores del banco de ensayos y está constituido por los siguientes elementos:

### Tarjeta de alimentación de válvulas proporcionales compensada en intensidad.

La tarjeta CAID 11/24 P instalada en el banco de ensayos es apta para el mando de dos electroimanes proporcionales independientes. En la figura 6-21 se aprecia el esquema de la instalación electrónica de control que constituye la tarjeta y que tiene las posibilidades de realizar las siguientes funciones:

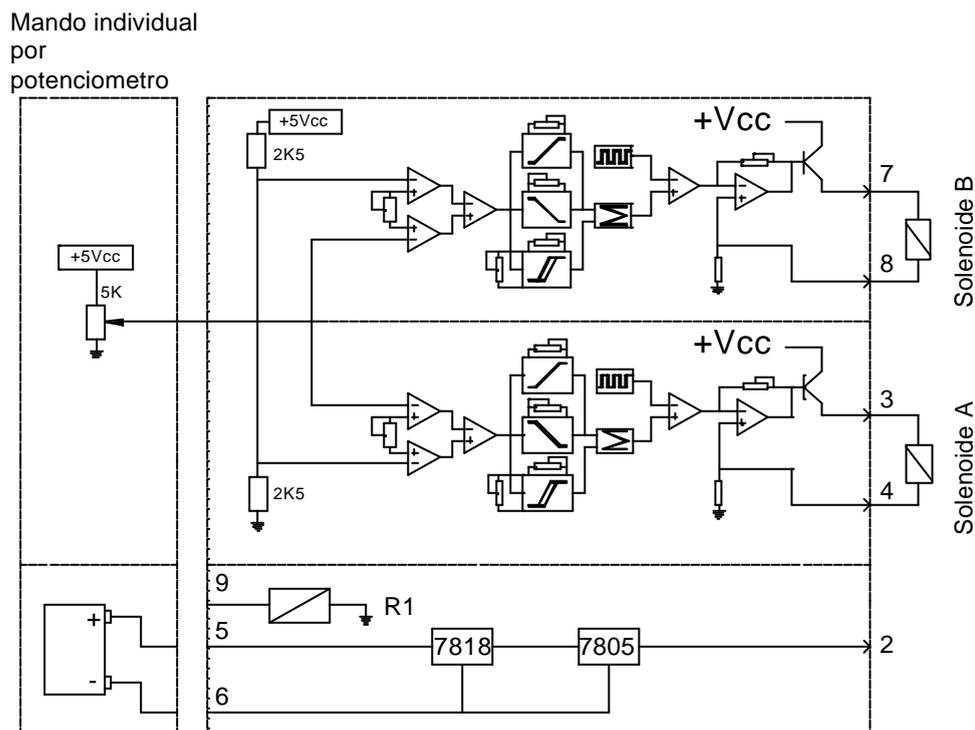


Figura 6-21 Esquema de la tarjeta CAID 11/24 P utilizada como sistema de control en los ensayos.

**Sistema de control:** La carta está diseñada para suministrar una intensidad de potencia a los solenoides proporcionalmente a la tensión de pilotaje. La regulación de tensión de pilotaje/intensidad de potencia a los solenoides, es regulable con un potenciómetro de ganancia (P1). Las cartas estándar se suministran con una relación 5v/1200mA.

**Trigger:** La carta está diseñada para que la salida de potencia a los solenoides tenga un salto en escalón al inicio de la conexión para minimizar la zona muerta.

**Rampas:** Es posible retrasar la respuesta de la salida de potencia correspondiente a una excitación de entrada, tanto para la aceleración como para la desaceleración.

**Potenciómetro:** El mando de accionamiento previsto es por medio de un potenciómetro único con el que excitamos uno u otro solenoide (“a” o “b”) de la válvula de control de dirección proporcional.

### Instrumentación.

Fueron instalados en el banco de ensayos dos tipos de instrumentos de medición, uno del tipo analógico y otro del tipo digital, los cuales se describen a continuación:

1.- **Sensores transductores de presión:** En nuestro banco de ensayos fueron instalados transductores de presión (11) marca *Keller serie 21R*, los cuales poseen una cápsula de presión del tipo piezoresistivo de alta precisión y confiabilidad de medición. Las características principales de los cinco transductores de presión utilizados son:

Transductor Kéller serie 21R	
Señal de salida	4...20mA
Voltaje de alimentación	8...28Vdc
Intensidad requerida	máx. 20 mA
Configuración	2 cables
Linealidad	$\pm 0,2$ % typ. / $\pm 0,5$ % máx.
Error total de banda - 20 ...+80 ° C	$\pm 4$ % máx.. / $\pm 2,5$ % typ.
Rango de trabajo	0 ... 100 bar

Tabla 6-7 Resumen de las principales características técnicas de los sensores transductores de presión Keller 21 R instalados en el banco de ensayos.

Antes de su instalación en el banco de ensayos, los transductores de presión han sido calibrados en el banco experimental de transductores de presión ubicado en el laboratorio de mecánica de fluidos. El esquema del montaje experimental, la rutina de ensayos y los resultados obtenidos durante el calibrado de los transductores de presión son mostrados en los anexos de la tesis.

En la tabla 6-8 que se muestra a continuación se encuentran las ecuaciones particulares de los transductores de presión y que relacionan la presión en función

del voltaje ( $P = f(V)$ ). Estas ecuaciones de ajuste son obtenidas a partir de las calibraciones individuales realizadas en cada uno de los transductores.

Ubicación del transductor en el banco de ensayos	P = [bar] V = [volts]
Numero de referencia	Ecuaciones de ajuste
1 (Entrada al divisor)	$P_1 = 13.626V - 26.003$
2 (Entrada al cilindro 2)	$P_2 = 13.728V - 25.540$
3 (Entrada al cilindro 1)	$P_3 = 13.729V - 25.793$
4 (Retorno cilindro 2)	$P_4 = 13.772V - 25.602$
5 (Retorno cilindro 1)	$P_5 = 13.681V - 25.327$

Tabla 6-8. Ecuaciones de ajuste determinadas experimentalmente en el laboratorio.

2.- Sensores de posición: El sistema de medición del desplazamiento óptico que se instaló en el banco experimental fue del tipo *encoder incremental* (que generan una frecuencia de velocidad de desplazamiento). Estos elementos son dispositivos que convierten desplazamientos lineales en señales o pulsos digitales. El encoder utiliza una fuente emisora de luz la cual se proyecta sobre una cinta reflectiva a escala que posee patrones de opacidad (reflexión dispersa) y de transparencia (reflexión perfecta) que son detectados por el cabezal lector (sensor lumínico) del encoder que a su vez, los convierte en una señal de salida en formato digital o analógico estándar o analógico sinusoidal o de onda cuadrada. En el banco de ensayos se instaló un encoder modelo *RGH22D* de la marca *Renishaw*, y una cinta reflectiva *RGH20-S*. Este sistema está diseñado para situaciones donde es requerida la medición del control del movimiento lineal de alta precisión o donde sea requerida la retroalimentación de la posición. La figura 6-22, muestra las ondas cuadradas generadas por las salidas del encoder A y B que nos indican la posición y la dirección de la señal generada por el encoder. Las características técnicas principales del encoder óptico lineal de la serie *RGH22D* y de la cinta *RGS20-S* autoadhesiva instalados en el banco de ensayos se presentan en la tabla 6-9.

La frecuencia del contador de reloj mínima recomendada para este tipo de sensor se puede calcular por la fórmula siguiente:

$$\text{Velocidad máxima} = 10.0 \text{ m/s}$$

$$\text{Frecuencia contador (MHz)} = \frac{\text{velocidad de encoder (m/s)}}{\text{resolución (mm)}} \times 4 (\text{factor de seguridad})$$

La cinta *RGS20-S* posee una escala de graduación de 20  $\mu\text{m}$ , grabada sobre una cinta de 6 mm de ancho y de 0.2 mm de espesor, y cubierta de una capa de alta

reflexión. En el banco experimental fueron instalados dos encoders (uno por cilindro). Los encoders fueron instalados sobre unos carros movibles que, a su vez, se desplazan longitudinalmente por medio del sistema de recirculación de rodillos RUE. D, Sobre este último sistema, y por su superficie superior, está adherida la cinta reflectiva que permite cubrir un recorrido de 500 mm de la carrera de los vástagos de cada uno de los cilindros (Ver fotografías y detalles de dibujos en los anexos). Una particularidad importante del sensor RGH 22 D es que posee un LED integrado que indica el momento en que se ha realizado su correcta instalación y calibración.

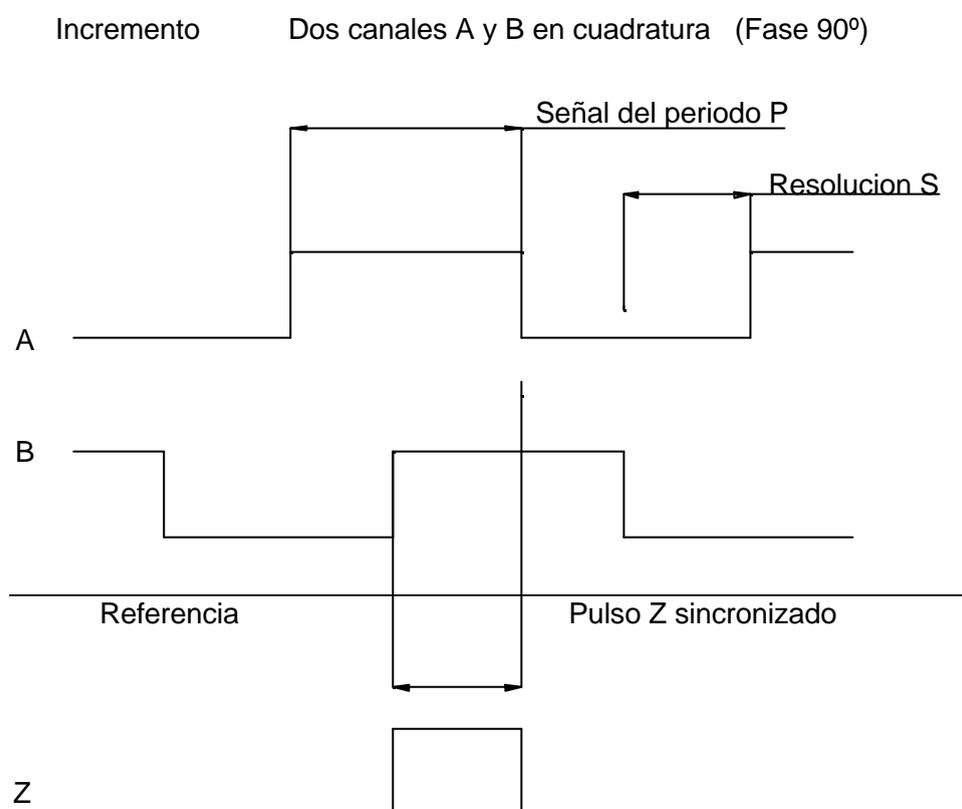


Figura 6-22. Esquema que muestra las salidas del encoder RGH22D para unos valores de  $P = 20\mu\text{m}$  y  $S = 5\mu\text{m}$ .

Especificaciones de operación	Unidades
Suministro de potencia	$5V \pm 5\%$
Temperatura de operación	$0 - 55^\circ\text{C}$
Aceleración	$1000\text{ m/s}^2$ , 11 ms, $\frac{1}{2}$ sine
Vibración (operación)	$100\text{ m/s}^2$ 55 a 2000 Hz

Tabla 6-9. Características técnicas de los encoder RGH 22 D.

## **Sistema de filtración y adquisición de datos.**

El sistema de adquisición de datos instalado en el banco de ensayos y en el ordenador esta compuesto por una tarjeta *PCI*<sup>1</sup> de interconexión de datos, un programa *DAQ* de adquisición de datos, un sistema de filtrado de los datos colectados y, finalmente, el software *LabVIEW* que controla los sistemas *DAQ* y *NI-DAQ*. A continuación se realiza una descripción de tales componentes:

### **a.-Tarjeta PCI – 6035E de National Instruments.**

Este es un elemento hardware que está definido por sus siglas en ingles como Componente periférico de interconexión. Fue desarrollado por Intel y permite ser instalado en ordenadores PCs y estaciones de trabajo con una transferencia de 132 Mbytes/s. En la Tabla 6-10, se presentan las principales características técnicas de la tarjeta utilizada e instalada en el rack del banco de ensayos.

<b>Tarjeta PCI 6035E</b>	
Entradas analógicas	16 Single- Ended / 8 diferenciales Resolución : 16 bits Frecuencia de muestreo : 200 kS/s Rango de Entrada : $\pm 0.05$ a $\pm 10V$
Salidas analógicas	2 Resolución : 12 bits Frecuencia escritura : 10 kS/s Rango de Entrada : $\pm 10V$
Contadores / Timers	2.24
I / O digitales	8
Triggers	Digital

Tabla 6-10. Características técnicas de la tarjeta de adquisición de datos PCI 6035E.

### **b.-Programa NI – DAQ 6.8 de National Instruments:**

Es un programa software diseñado para controlar y administrar el hardware instalado en el ordenador. Permite, básicamente, realizar la adquisición de los datos. El programa tiene dos funciones: (1) Adquirir y medir señales eléctricas provenientes

<sup>1</sup> Peripheral Component Interconnection.

de los sensores, transductores y bancos de pruebas, ajustándolos e introduciéndolos en su interior para ser procesados por el ordenador. (2) Adquirir y medir el mismo tipo de señales eléctricas A/D (Analógico a Digital) y/o DIO de dispositivos conectados dentro del ordenador y, posiblemente, generar señales de control con D/A (Digital a Analógico) y/o DIO (Entrada / Salida digital) dispositivos dentro del ordenador. Una de las ventajas de este sistema instalado es que permite sincronizar diferentes funciones de medición a un común trigger o a un evento de tiempo. Esta última ventaja permite sincronizar todas las mediciones en tiempo real.

Algunas características técnicas del sistema de adquisición de datos se pueden ver en la documentación técnica mostrada en los anexos de esta tesis.

### **c.- Sistema de filtración de datos LS7084:**

Si el encoder está sometido a vibraciones lo suficientemente perceptibles por su cabezal lector originará transiciones activas en el canal A, por lo tanto, cada movimiento vibratorio realizará “lecturas” y conteos incorrectos. Para filtrar tales conteos incorrectos fue necesario instalar un convertidor de reloj de cuadratura *LS7084* el cual, instalado en el sistema de adquisición de datos, permitió corregir las lecturas defectuosas de la posición originadas por las vibraciones. En la figura 6-23, se muestra el esquema que describe el filtrado de la instalación.

Otro problema detectado fue el registro de valores de voltaje menores que cero enviados por el encoder. Este problema fue resuelto ubicando filtros de resistencias de 100 KO antes de la entrada del acondicionador, tal como se muestra en el esquema electrónico de la figura 6-24. Aparentemente, no es evidente que pueda pasar esta situación, pero se observaron mediciones de tal tipo en el osciloscopio.

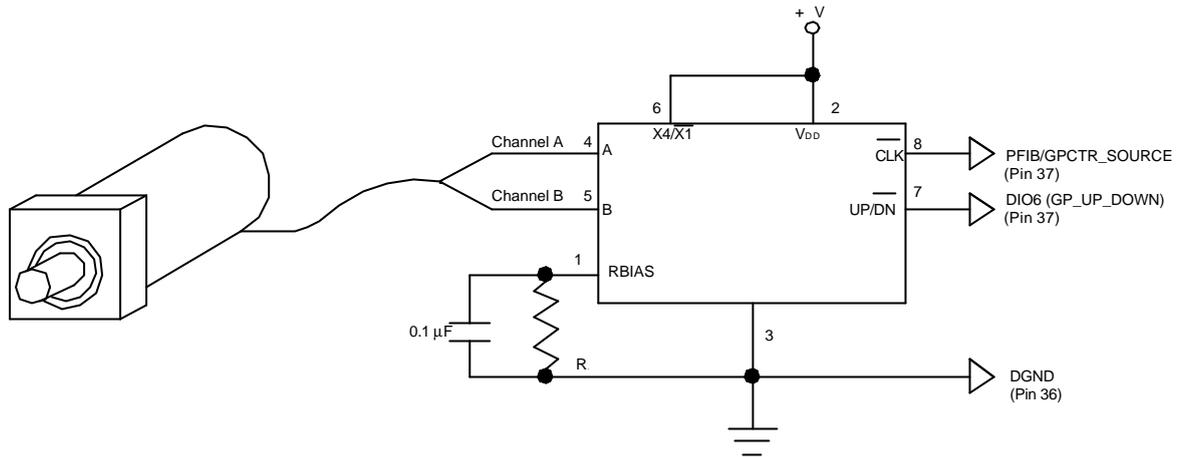


Figura 6-23. Diagrama eléctrico de instalación del filtro LS7084 sugerido por National Instruments.

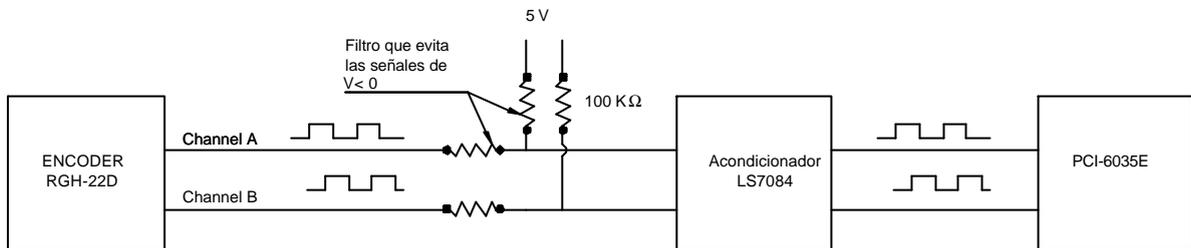


Figura 6-24. Esquema eléctrico del filtro instalado para eliminar a las señales de voltaje menores que cero.

#### **d.- LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench):**

LabVIEW está desarrollado en un ambiente de programación mucho más moderno que los lenguajes C y Basic (incluso que National Instruments y LabWindows/CVI). La principal diferencia entre LabVIEW y los software de programación mencionados, es que éstos hacen uso de *textos basados* en lenguajes para crear sus códigos de líneas o códigos fuentes, mientras que LabVIEW usa un lenguaje de programación *grafica G* para crear formas de diagramas de bloque como códigos fuentes. LabVIEW está completamente habilitado para la comunicación con el hardware de la tarjeta de National Instruments para la adquisición de datos. En la elaboración del programa del contador de esta tesis, se realizó un programa para el conteo con DAQ-STC, utilizando las librerías de utilidades que se incluyen con el paquete de LabVIEW para ser utilizadas como subrutinas del programa RegistroBancoSincroCilindros.vi, elaborado para la captación de datos. Cabe mencionar que, al existir problemas de compatibilidad con la versión instalada, se recurrió a buscar en la Web de National Instruments una utilidad de librería compatible con la configuración del equipo adquirido. En resumen,

y una vez configurado correctamente el DAQ-STC y con ayuda del programa LabVIEW, se obtuvo, vía programación, el conteo de las cuadraturas del encoder desde el contador y de las señales AI de los transductores de presión. Se puede convertir la cuenta en rotaciones mediante la siguiente formula:

$$\text{Con el LS7084 en modo x 4 es: cantidad de rotacion} = \frac{\text{contador}}{4N} \times 360^\circ$$

### **e.-Estructura del programa LabVIEW elaborado en la tesis.**

En la figura 6-25, se representa un esquema del diagrama de flujo de los datos procesados por el programa “RegistroBancoSincroCilindros.vi” elaborado en el ambiente de programación del software LabVIEW. El programa LabVIEW ordena la inicialización de la tarjeta con los datos de entrada, procesa la información por medio de un bucle For-Next el cual, de una forma iterativa, cuenta las señales de cuadraturas del encoder y, simultáneamente, las señales AI generadas por los transductores de presión. El programa genera dos tipos de salidas, una visual a través de la interfase del Front Panel y otra salida hacia un archivo Excel ordenado en forma matricial con los datos de tiempo, posición y presión. Una ventaja del programa es que permite establecer los tiempos de muestreo y visualizar en tiempo real el posicionado de los cilindros.

En los anexos III, puede apreciarse el código fuente del programa elaborado en LabVIEW, así como, también, la interfase Front Panel que permite la interacción visual del usuario con el programa desde la pantalla del monitor. De la misma forma se presentan en el Anexo III una descripción ordenada de los pasos y funciones de programación utilizadas.

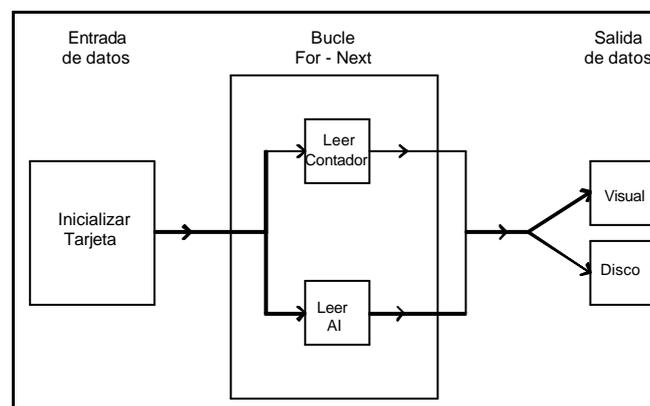


Figura 6-26. Diagrama de flujo de los datos realizado con el programa LabVIEW.

## 6.4.2 Protocolo de ensayo genérico.

Para valorar experimentalmente en el laboratorio el comportamiento del sistema de sincronizado de actuadores oleohidráulicos utilizando como dispositivo divisor a la válvula Divisora/integradora, DC03R5 (Pedro Roquet, S. A), se diseñaron los siguientes tipos de ensayo:

- a) Sincronismo de actuadores, modo divisor e integrador, con cargas simétricas en ambos actuadores (0 N).
- b) Sincronismo de actuadores, modo divisor e integrador, aplicando cargas asimétricas, (Actuador 1 = 560 N; Actuador 2 = 0 N).
- c) Sincronismo de actuadores, modo divisor e integrador, aplicando cargas asimétricas, (Actuador 1 = 0 N; Actuador 2 = 560 N).
- d) Sincronismo, modo divisor e integrador, con cargas simétricas en ambos actuadores (560 N).
- e) Ensayos en ciclo continuo divisor-integrador, con variación sistemática de la carga.
- g) Ensayos de sincronismo con válvula divisora/integradora de caudal, utilizando dos nuevas carcasas mecanizadas a tolerancias mínimas
- j) Ensayo de sincronismo con válvula divisora/integradora de caudal, utilizando diferentes muestras de correderas mecanizadas a diferentes tolerancias.
- k) Ensayo con válvula Divisora/integradora de caudal, para valorar el funcionamiento del orificio antibloqueo.

### **Protocolo de puesta en marcha.**

A continuación, se describe de una manera secuencial el protocolo de puesta en marcha del banco de ensayos experimental:

1. Comprobar que los racores y demás elementos flexibles del conexionado oleohidráulico del banco de ensayos estén debidamente asegurados.
2. Comprobar, visualmente, el conexionado de los cables y conectores eléctricos existentes entre los sensores, los sistemas de control y los sistemas de adquisición de datos.

3. Iniciar la puesta en marcha del equipo oleohidráulico a bajas presiones de trabajo con el objetivo de asegurarse nuevamente el conexionado oleohidráulico, controlar las posibles fugas de aceite y para que este último alcance una temperatura de trabajo estable.
4. Inicializar el programa LabVIEW, abrir el archivo *RegistroBancoSincroCilindros.vi*, el cual permite realizar la captación de datos. Comprobar, individualmente, cada uno de los sensores encoder y transductores de presión en la pantalla frontal del programa LabVIEW.
5. Verificar el funcionamiento del sistema de control generando con el potenciómetro diferentes voltajes de consigna en la válvula de control de dirección proporcional y observando su respuesta en los actuadores.
6. Purgar el aire existente en el sistema oleohidráulico.
7. Verificar el funcionamiento del interruptor que controla la válvula de retención.
8. Verificar que la temperatura de trabajo del aceite alcance los 40° C y que ésta se mantenga constante a la temperatura predeterminada.

### 6.4.3 Metodología para el procesamiento de los datos obtenidos.

#### 6.4.3.1 Tipología de resultados experimentales obtenidos en los ensayos experimentales.

Los datos adquiridos y ordenados de forma matricial por el programa LabVIEW, para cada uno de los ensayos, generan unos gráficos que describen la evolución del ciclo de trabajo de los actuadores en función del tiempo. Dichos parámetros son la posición “ $X_1$  y  $X_2$ ” de ambos actuadores, las presiones “P” de cada uno de los transductores y el tiempo (t) en que se suceden.

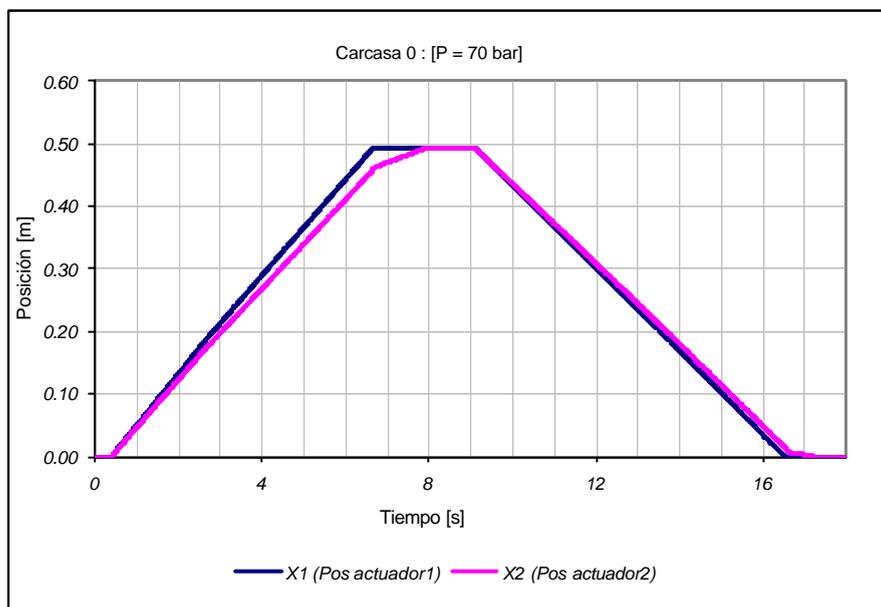


Figura 6-27 Desplazamiento de los actuadores, para un ciclo de extensión y retorno, sin carga.

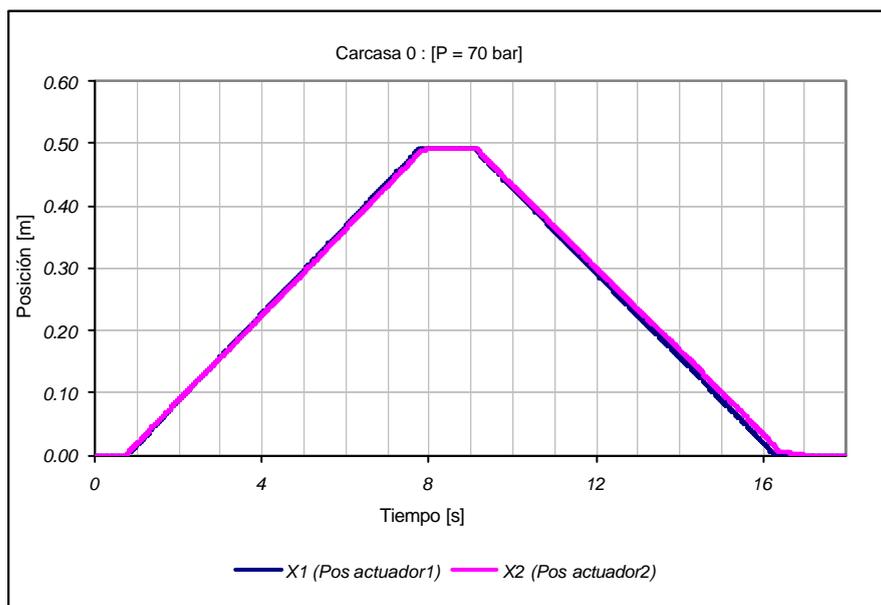


Figura 6-28. Desplazamiento de los cilindros oleohidráulicos para un ciclo de extensión y retorno con carga aplicada en el cilindro 1.

En el Front Panel del programa LabVIEW es posible visualizar gráficamente el desarrollo del posicionado en ambos actuadores, tal y como se muestra en las figuras 6-27 y 6-28. El gráfico de la figura 6-27, muestra la evolución en un ciclo de trabajo de ambos cilindros actuadores cuando no se aplica ninguna carga resistiva.

En el gráfico de la figura 6-28 se aprecia el mismo ciclo de trabajo para el caso en que uno de los actuadores es sometido a la acción de una carga resistiva.

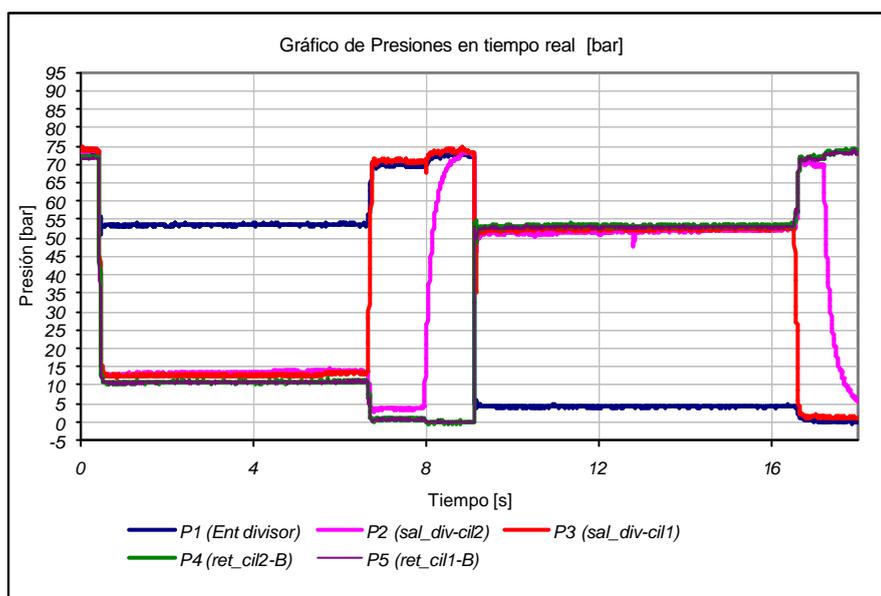


Figura 6-29. Presiones registradas por el programa LabVIEW. Ensayo de un ciclo extensión/retorno, sin carga en ambos actuadores.

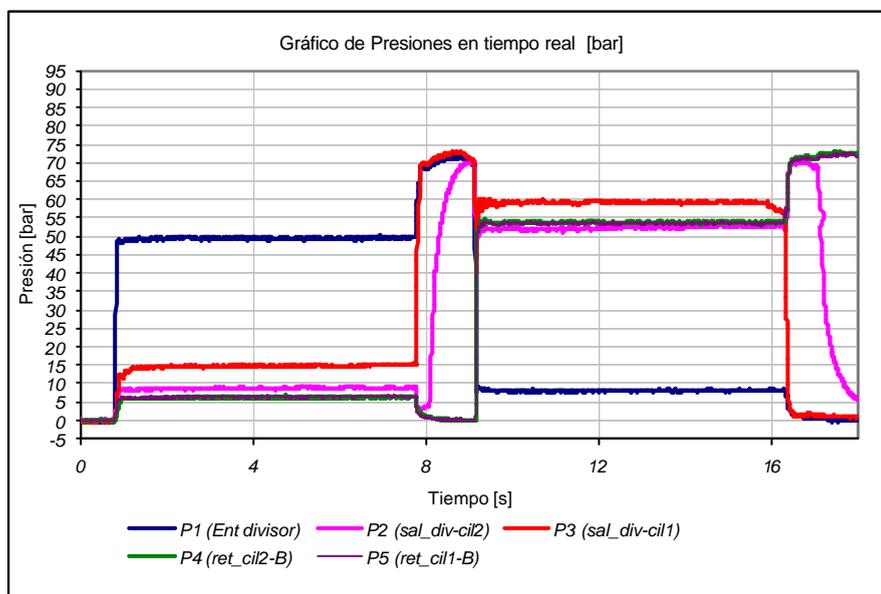


Figura 6-30. Presiones registradas por el programa LabVIEW. Ensayo de un ciclo extensión/retorno, con carga tractiva en el actuador 1.

Las figuras 6-29 y 6-30 muestran la tipología básica de las graficas de las señales de presión generadas en la pantalla de interfase interactiva del programa LabVIEW, y que se corresponden con los posicionados mostrados en las figuras 6-

27 y 6-28. A partir de las mismas, es posible manipular los datos para obtener la información necesaria con la cual es posible analizar y estudiar los diferentes sincronismos en esta tesis.

A continuación, y en base a los archivos matriciales generados por el programa LabVIEW, se procederá a explicar la forma en que se han manipulado numéricamente los resultados experimentales con el objetivo de obtener:

- Velocidad del vástago de los actuadores 1 y 2.
- Error de división entre los actuadores 1 y 2.
- Caudal hacia los actuadores 1 y 2, divididos por la válvula Divisora/integradora de caudal.
- Caudal total.

#### 6.4.3.2 Cálculos.

La velocidad del vástago de los actuadores 1 y 2, es obtenida con los datos de la posición (generados por LabVIEW) de los vástagos de los actuadores respecto al tiempo (datos de LabVIEW). Para cada uno de los actuadores, la velocidad en [m/s], es calculada mediante la formula:

$$V_{\text{cilindro1}} = \frac{X_{i+1} - X_i}{t_{i+1} - t_i} \quad [6.8]$$

$$V_{\text{cilindro2}} = \frac{X_{i+1} - X_i}{t_{i+1} - t_i} \quad [6.9]$$

Debido a que, en los resultados observados se originan ciertas variaciones (entre un resultado y el siguiente) ocasionadas por el ruido excesivo. Como una forma de minimizarlo es tomado un valor medio de cada 20 datos. Este valor medio de velocidad generado, se corresponde igualmente a 20 intervalos de tiempo (cada 0.01 s).

El caudal total [l/min], se calcula de forma instantánea si se suma,

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{cilindro1}} + Q_{\text{cilindro2}} \quad [6.10]$$

El cálculo del error de posición se obtiene aplicando de las siguientes formulas:

Error instantáneo de posición:

$$E_{\text{posición}} = |x_{i\_cil1} - x_{i\_cil2}| \quad [6.11]$$

Error máximo de posición:

$$E_{m\acute{a}x} = MAX(E_{posici\acute{o}n}) \quad [6.12]$$

Error de posición porcentual:

$$E_{\%} = \frac{E_{m\acute{a}x}}{L_{total}} 100\% \quad [6.13]$$

El cálculo del error de velocidad se obtiene aplicando las siguientes formulas:

Error instantáneo de velocidad:

$$E_{velocidad} = |v_{i\_cil1} - v_{i\_cil2}| \quad [6.14]$$