

## 4. MONTAJE EXPERIMENTAL

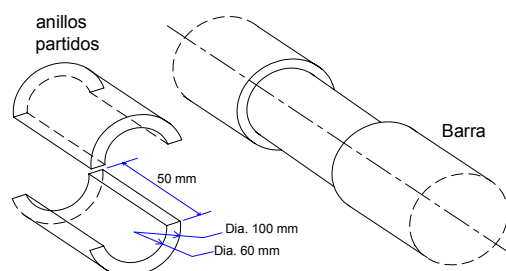
Para validar las ideas propuestas en el capítulo 3, es necesario realizar pruebas experimentales sobre cilindros oleohidráulicos. En este capítulo se describe el banco de ensayos diseñado para tal fin, el cual permite medir variables como deflexiones, tensiones, presiones internas presentes en un cilindro oleohidráulico sometido a carga axial.

### 4.1 Descripción del banco de ensayos

La Fig. 4.2 muestra el esquema del banco propuesto para tal fin. El banco está conformado por dos barras de 80 mm de diámetro y 6 m de longitud, soportadas entre lingotes macizos de acero configurando un marco rectangular que descansa sobre vigas transversales y estas sobre columnas vigas de tipo "H". Paralelamente a las dos barras, y en la parte central del marco, se instalan perfectamente alineados dos cilindros oleohidráulicos:

- Cilindro oleohidráulico objeto de ensayo.
- Cilindro oleohidráulico "fuerza" que nos permite aplicar una carga predeterminada.

El extremo del vástago del actuador "fuerza" estará sujeto a una estructura deslizante (carro) a lo largo de las barras, que garantiza la linealidad y estabilidad en la aplicación de la carga. Las barras están provistas de escalones maquinados de 60 mm de diámetro x 50 mm de longitud Fig. 4.1, donde están instalados un par de anillos partidos (por cada barra), que impiden el desplazamiento de la viga que soporta las cargas aplicadas al actuador de ensayo. Esta viga podrá ubicarse en diferentes puntos de acuerdo a las longitudes de los actuadores a ensayar.



**Fig. 4.1 Detalle de los Anillos partidos**

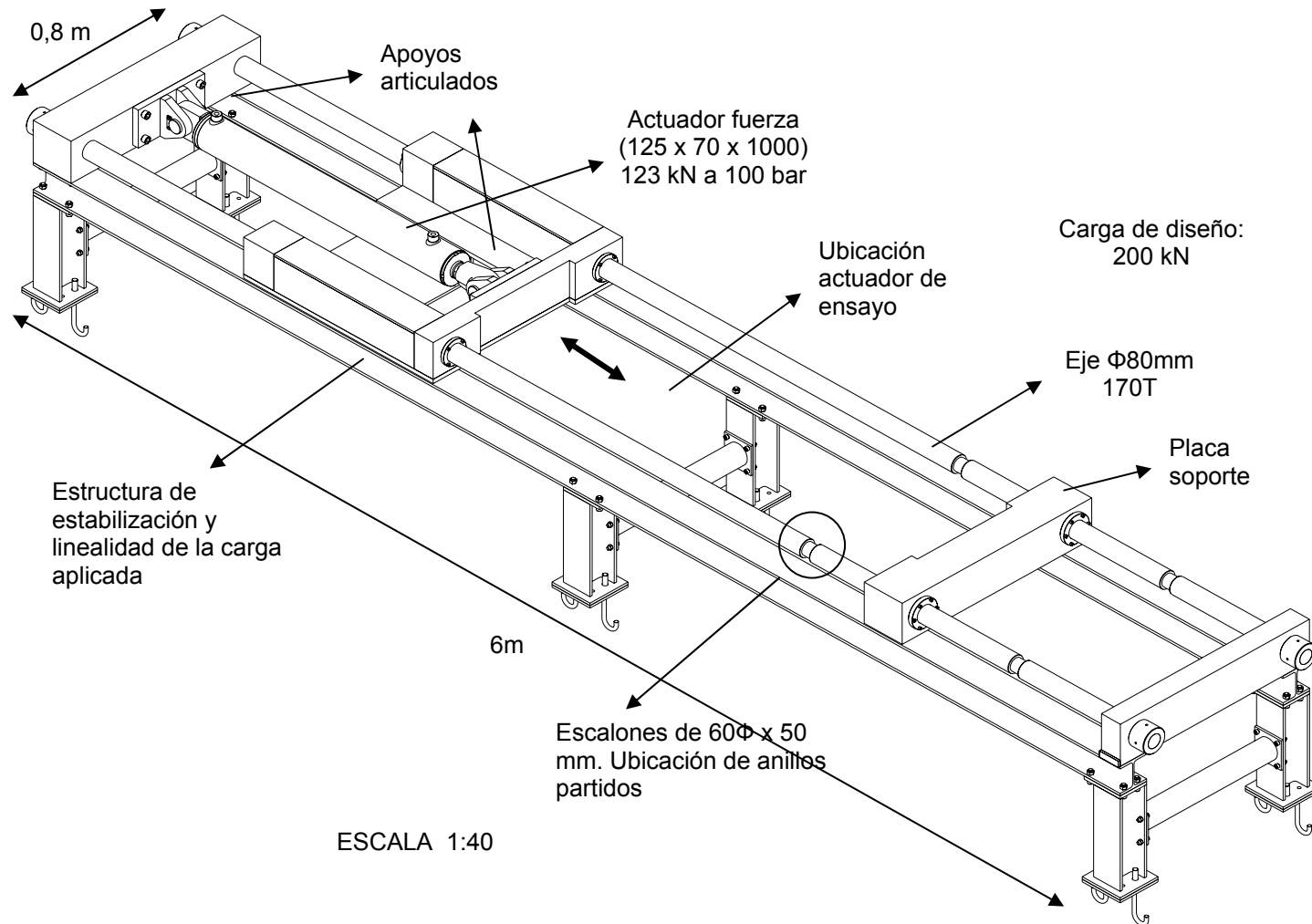
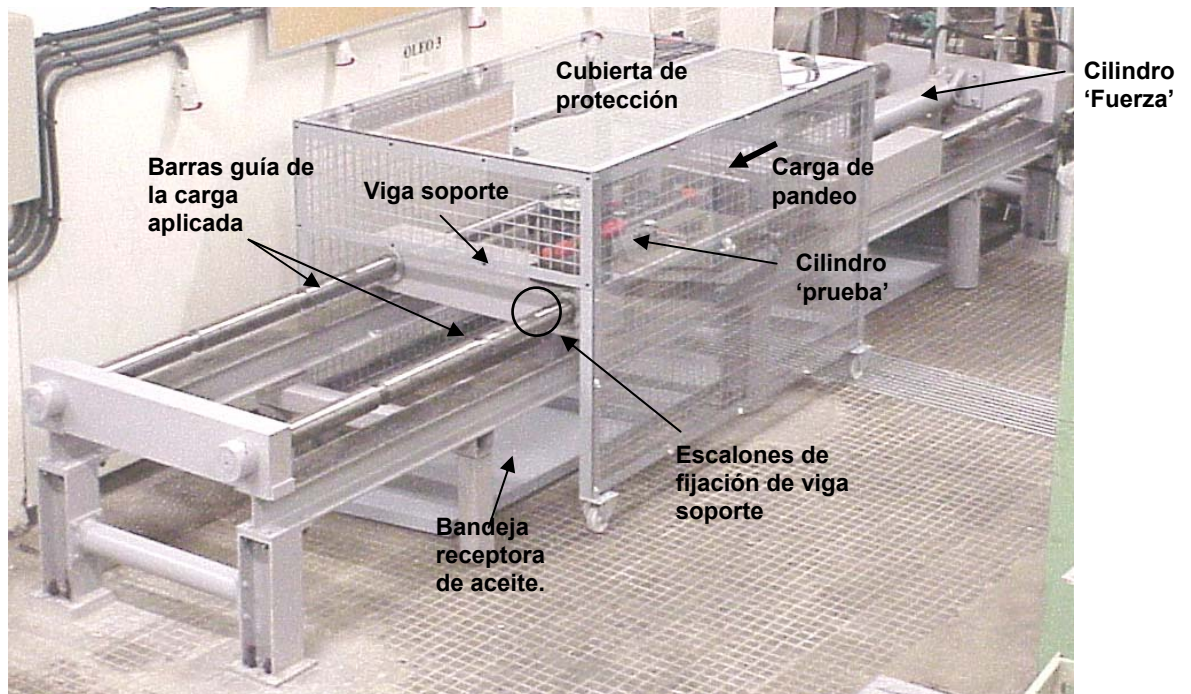


Fig. 4.2 Esquema general de la máquina de ensayos

De esta manera, se ha construido<sup>1</sup> y montado en el laboratorio de sistemas oleohidráulicos y neumáticos de la UPC 'Labson', el banco mostrado en la Fig. 4.3.



**Fig. 4.3 Banco de pruebas para pandeo de cilindros (planos anexos)**

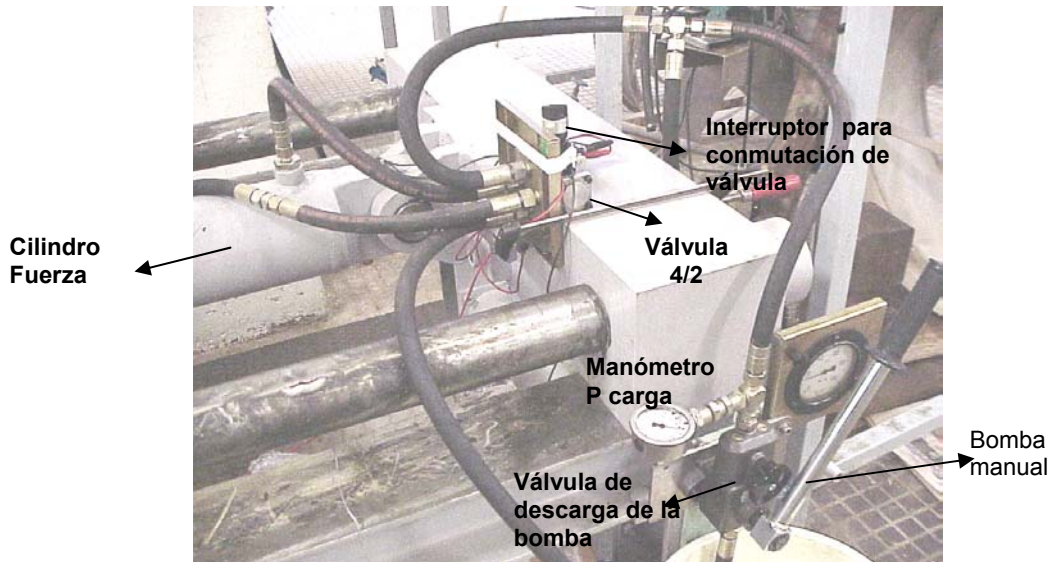
Se ha provisto de una cubierta de protección fabricada en metacrilato, para permitir la observación en la ejecución de las pruebas sin riesgo de accidentes por desprendimiento de piezas o fugas repentinas de aceite.

Con el cilindro 'Fuerza' que se ha montado, se pueden realizar pruebas de capacidad de carga en cilindros de hasta 3 m en su longitud total en carrera máxima. Se ha perforado la placa trasera del cilindro fuerza, para permitir en un momento dado, la instalación de un cilindro de doble efecto, con el que se puedan aplicar cargas alternativas a velocidad constante en avance y retroceso, en pruebas de fatiga.

El cilindro 'Fuerza' de medidas 125 x 70 x 1000, suministra la carga de pandeo mediante la presión de aceite generada por una bomba manual de 250 bar de

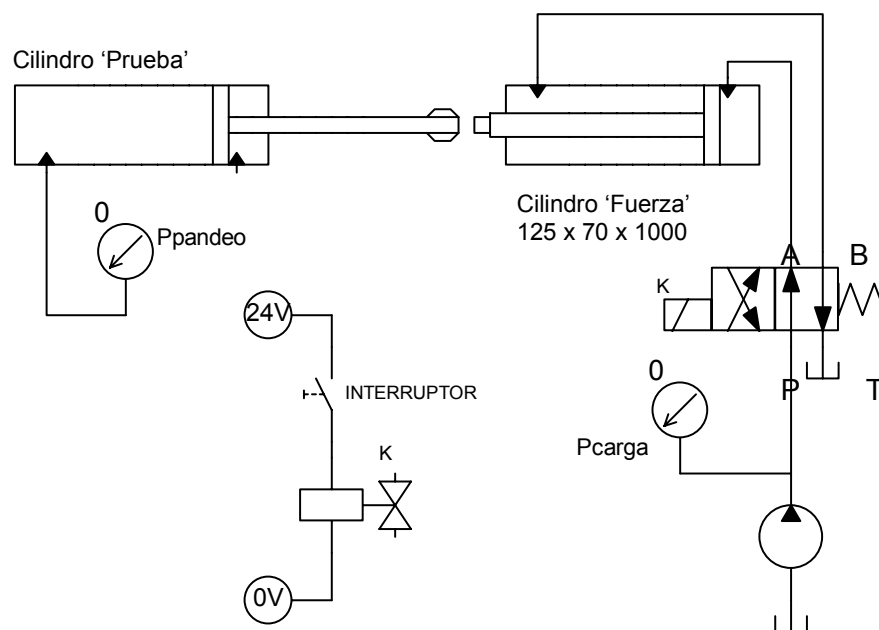
<sup>1</sup> Empresa Hydradina.

presión máxima y  $3,8 \text{ cm}^3/\text{embolada}$ , lo cual permite generar una carga máxima aproximada de 300 kN. Para permitir el avance y retorno del cilindro 'fuerza' en el momento de montaje y desmontaje de cilindros de ensayo, se ha instalado una válvula direccional 4/2 vías de conmutación eléctrica y retorno por resorte (Fig. 4.4).



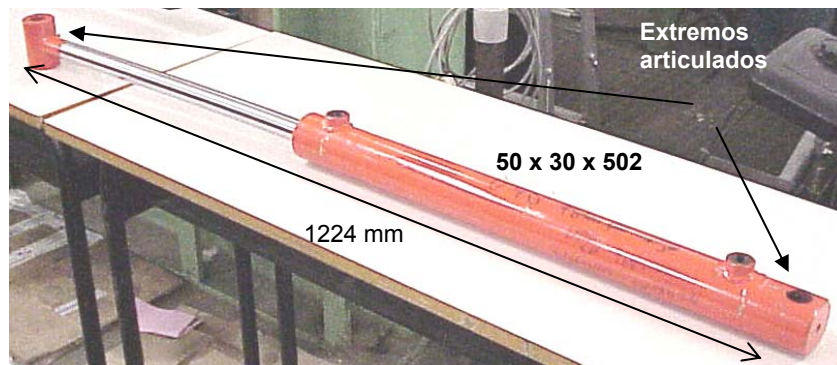
**Fig. 4.4 Bomba y válvula direccional del sistema de potencia hidráulica para la generación de la carga de pandeo**

La Fig. 4.5 presenta un esquema general del circuito hidráulico empleado para generación de carga de pandeo en el banco de pruebas.



**Fig. 4.5 Esquema hidráulico del circuito de potencia, pruebas de capacidad de carga de cilindros oleohidráulicos**

Para la validación de los resultados teóricos generados en los modelos planteados en el proyecto, en principio se ha optado por emplear un cilindro "prueba", cuyas medidas son 50 x 30 x 502 mm, con extremos articulados (Fig. 4.6). Las características de este cilindro oleohidráulico (analizado en el capítulo 3) se encuentran en la Tabla 3.4.



**Fig. 4.6 Cilindro empleado para pruebas de capacidad de carga (datos en Tabla 3.4)**

La posición del cilindro mostrada (en carrera máxima) es la usada para los ensayos. La longitud entre apoyos del cilindro totalmente extendido es de 1224 mm. y el diámetro del vástago es de 30 mm.

## 4.2 Instrumentación

### 4.2.1 Variables medidas

Interesa obtener en principio, la forma de deflexión del cilindro oleohidráulico para una carga aplicada dada. Es por esto que se requieren detectar diversos puntos del cilindro en el plano de deflexión, así como la presión en la cámara del cilindro 'prueba', la cual será proporcional a la carga neta sobre el actuador.

#### a) Medición de la carga axial aplicada

La presión de aceite dentro de la cámara del cilindro 'prueba' permite una evaluación directa de la carga neta aplicada sobre el cilindro:

$$F = P_{camara} \cdot A_{camara} = P_{camara} \cdot \frac{\pi \cdot (0,05m)^2}{4} \quad (4.1)$$

$$F(kN) = 0,196 \cdot P(bar)$$

Para tal medición se ha instalado un transductor de presión de tipo piezoresistivo, de la firma *KELLER Serie – PR21*, (catálogo anexo).

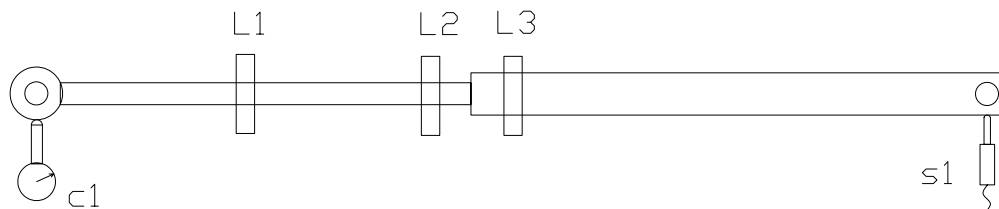
MARCA	Keller PR21
CARACTERÍSTICAS	Sensor de presión estática de 1000 bar. Linealidad = $\pm 0.2 \%$ (típica), $\pm 0.5 \%$ (máxima).
ALIMENTACION	8 - 28 VCD
SALIDA	4 – 20 mA, 2 hilos
NOTAS	Se incorpora una resistencia dentro del circuito para cambiar salida a 0 - 5 V.

**Tabla 4.1 Características del sensor de presión**

Además de este sensor de presión se ha instalado un manómetro entre la bomba y el cilindro ‘fuerza’, para tener así la visualización de presiones en todo el sistema.

#### b) Medición de la deflexión del cilindro.

Para tal efecto se han instalado inicialmente comparadores de carátula en diversos puntos de tubo y cilindro. Debido a la necesidad de obtención de señales simultáneas de deflexión y presión, y para evitar el riesgo de daño en los sensores de contacto en el momento de pandeo, se han instalado sensores de tipo Láser y potenciómetros, en distintos puntos del cilindro, tal como indica la Fig. 4.7.

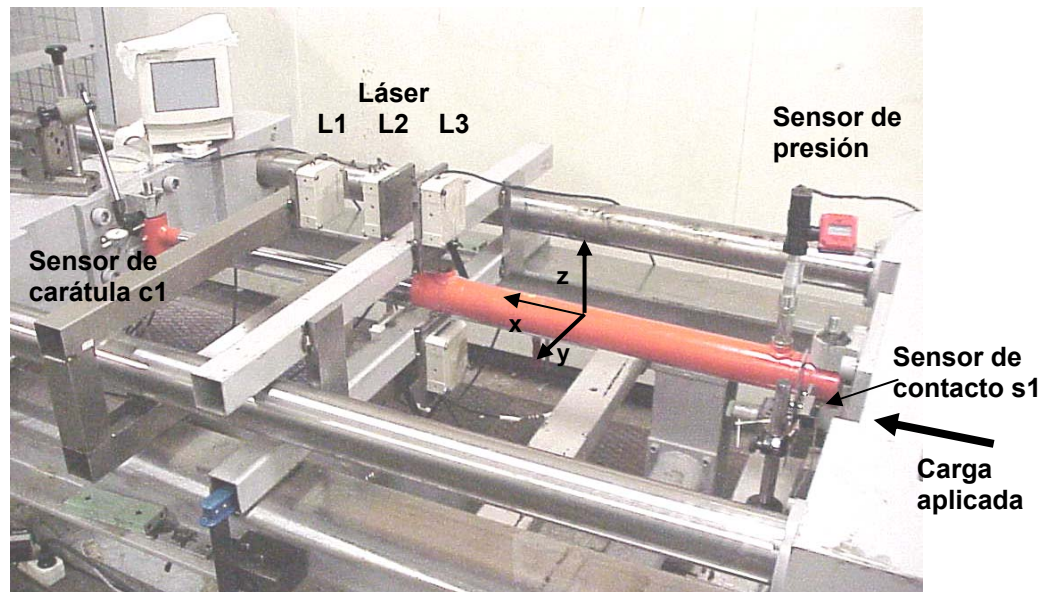


**Fig. 4.7 Vista superior de la ubicación de los sensores de desplazamiento (ver Fig. 4.8).**

Los sensores Láser corresponden a los señalados como L1, L2, L3, sensor de contacto (potenciómetro) s1, y sensor de carátula c1.

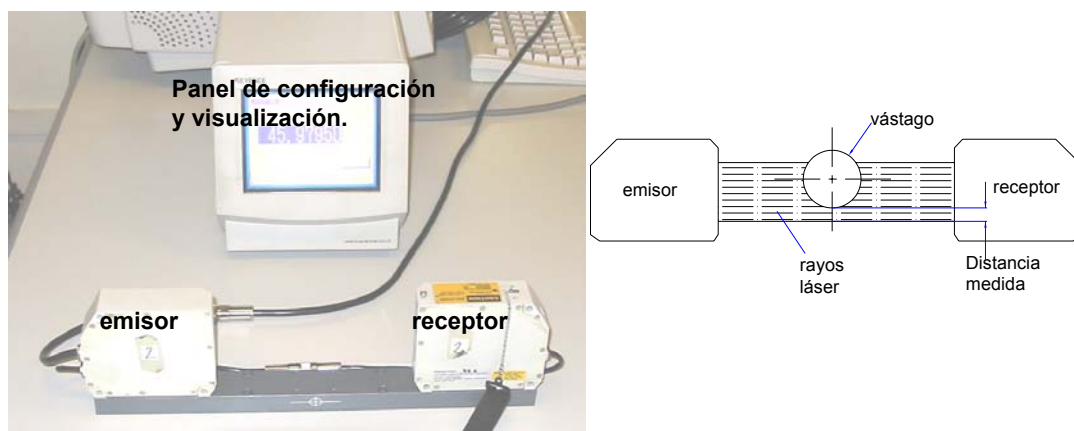


La Fig. 4.8 presenta el montaje del cilindro 'prueba' con la configuración de los sensores de presión y desplazamiento.



**Fig. 4.8 Montaje del cilindro 'prueba' y configuración de sensores**

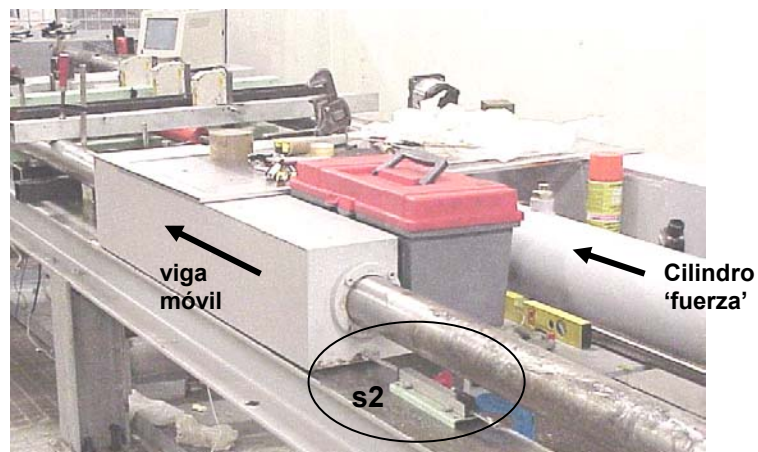
Con esta configuración el cilindro puede flexionar en el plano horizontal  $x$ - $y$  (los pasadores están verticales) sin riesgo alguno para los sensores de desplazamiento. El punto de aplicación de la carga se desplaza a lo largo del banco (dirección  $x$ ), debido a la compresibilidad del fluido dentro del tubo del cilindro 'prueba'. La configuración mostrada en la figura anterior garantiza que el vástago no se desplace a lo largo de ( $x$ ) para una mejor medición de los desplazamientos laterales en ( $y$ ).



**Fig. 4.9 Sensor de desplazamiento tipo Láser**

Cada sensor Láser (Fig. 4.9) está conformado por dos elementos emisor y receptor, configurados paralelamente, en medio de las cuales se ubica el cilindro, objeto de medición.

Se han instalado además dos sensores de contacto (s1 y s2) tipo potenciómetro de la firma 'Mapro', con sus respectivos acondicionadores de señal (catálogo anexo). El sensor s2 ha sido instalado para detectar la señal de desplazamiento del cilindro en la dirección (x, Fig. 4.8) de aplicación de la carga (Fig. 4.10).



**Fig. 4.10 Montaje del sensor de desplazamiento s2 a lo largo de la dirección de la carga aplicada**

Los sensores de contacto han sido calibrados mediante comparadores de carátula digitales con precisión de 0,001 mm.

Los sensores de contacto y sus acondicionadores de señal tienen las siguientes características generales:

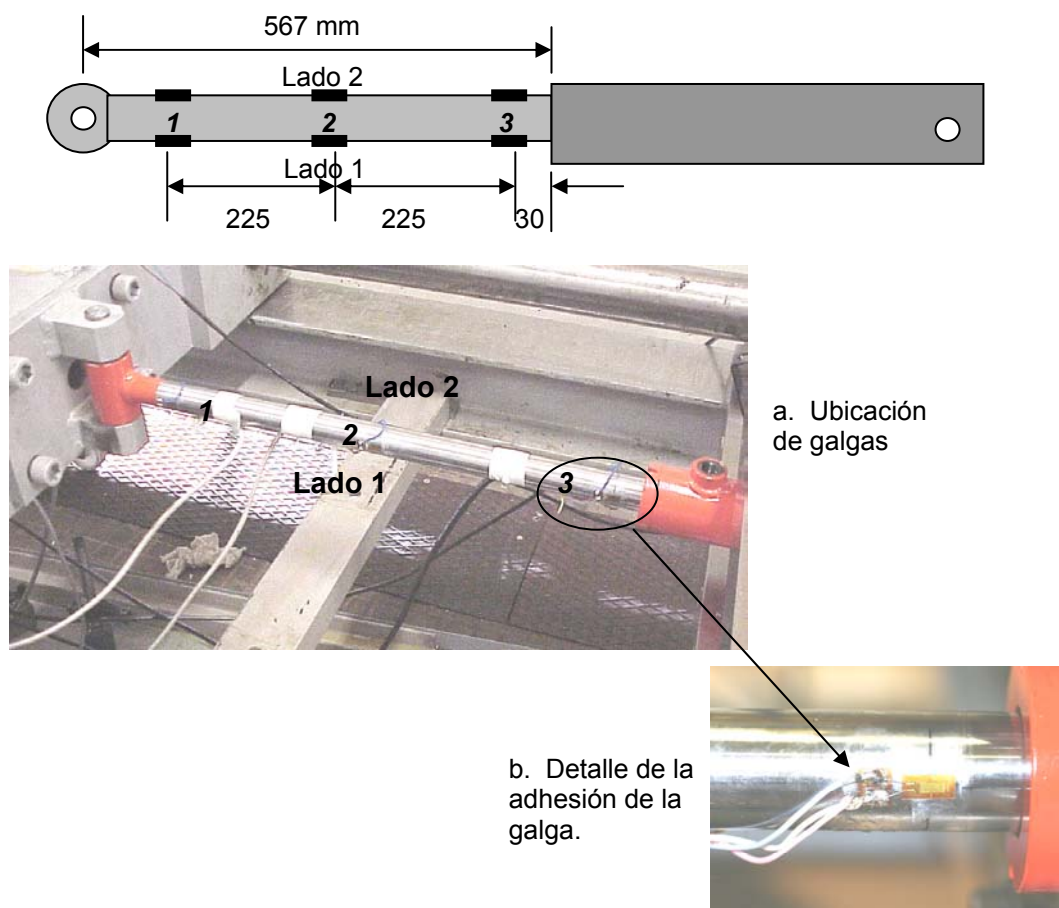
<b>Sensores de contacto s1 y s2</b>	
MARCA/MODELO	Mapro/ T25 y T150.
CARACTERÍSTICAS	Tipo potenciómetro.
RANGO	25mm y 150mm.
LINEALIDAD	0,2 y 0,075 % respectivamente.
<b>Acondicionador de señal</b>	
MARCA/MODELO	Mapro/ M600.5
ALIMENTACION	18-36 VDC.
SALIDA	4-20 mA, 0-10 VDC
NOTAS	Se ha usado el mismo tipo de acondicionador para cada sensor.

**Tabla 4.2 Características de los sensores de desplazamiento.**



### c) Medición de tensiones en el vástago

La capacidad de carga de un actuador se ve afectada por las tensiones que en este, puedan presentarse. En los resultados previos del modelo (Cap. 3) se ha definido el vástago como el componente más débil del actuador, es decir, aquel donde se presentan los valores de tensión más altos, y por ende, el que llega más pronto a la fluencia del material. Es por eso, que se hace importante la medición de la tensión en función de la carga aplicada sobre el cilindro. Para esto, se han instalado galgas extensiométricas (strain gauges) a lo largo del vástago que permitan conocer los valores de tensión que en éste se presentan. La Fig. 4.11 presenta la configuración de las galgas instaladas.



**Fig. 4.11 Montaje de galgas extensiométricas para medición de tensiones en vástago.**

Han sido instalados 6 galgas extensiométricas de tipo unidireccional sobre el vástago, ubicados por pares en 3 secciones (1, 2, 3, Fig. 4.11), en lados adyacentes (Lado 1 y Lado 2), a iguales distancias entre sí.

Cada galga, conectada eléctricamente mediante puente de Wheatstone, permite la medición independiente en cada punto, de las microdeformaciones generadas debido a la aplicación de carga. Los resultados de estas mediciones son presentadas en el capítulo siguiente.

Todos los sensores utilizados han sido calibrados de acuerdo con los protocolos establecidos en el manual de calidad específico para el centro de LABSON.

#### 4.2.2 Tarjetas de adquisición de datos y conexiones eléctricas.

Las tarjetas de adquisición de datos (catálogos anexos) permiten comunicar las señales obtenidas a través de los sensores, con el ordenador, mediante el cual se pueden visualizar en pantalla y almacenar en tiempo real, para su posterior análisis. Las características generales de la tarjeta utilizada son presentadas en la Tabla 4.3.

MARCA/MODELO	National Instruments/PCI 6035E
ENTRADAS ANALÓGICAS	16 single – ended / 8 diferenciales Resolución: 16 bits Frecuencia de muestreo: 200 kS/s Rango de entrada: $\pm 0.05$ a $\pm 10$ V
SALIDAS ANALÓGICAS	2 Resolución: 12 bits Frecuencia de escritura: 10 kS/s Rango de salida: $\pm 10$ V.
CONTADORES / TIMERS	2,24 bits
I / O DIGITALES	8
TRIGGERS	Digital

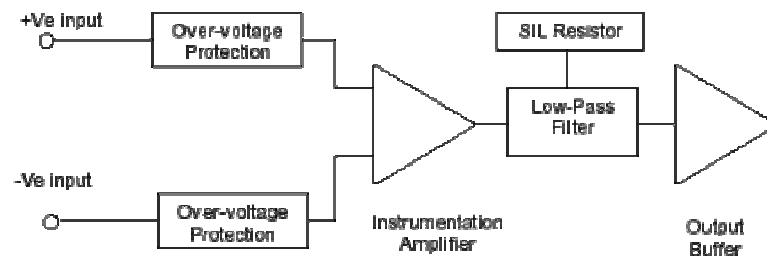
**Tabla 4.3 Características de la tarjeta de adquisición de señales**

Es inevitable la presencia de ruido eléctrico en las señales obtenidas. Es por esto que se ha empleado una tarjeta de filtros, la cual incorpora 8 filtros pasa bajo cuya referencia es FBU-8 (catálogo anexo). Cada canal está conformado por un **amplificador de instrumentación** de ganancia diferencial programable seguida de un **filtro pasa bajo** butterworth de tercer orden, también programable.

#### - Amplificador de instrumentación

El amplificador de instrumentación manifiesta un excelente rechazo en modo común y un amplio rango de ganancia que va desde 1 hasta 1000. Incorpora un protector de sobrecarga hasta  $\pm 40$  voltios. La frecuencia de corte del filtro de pasa bajo, se selecciona insertando una resistencia SIL formada por una red de resistencias de valor adecuado en un conector. Los rangos de frecuencia de corte van desde 5Hz hasta 10KHz. La salida del filtro está protegida contra cortocircuitos y puede conducir cargas tan bajas como  $600\Omega$ .

En la Fig. 4.12 se presenta el diagrama de bloques del filtro. Cada canal filtro consta de un amplificador de instrumentación diferencial. La ganancia del amplificador de instrumentación es completamente ajustable por el usuario.



**Fig. 4.12 Diagrama de bloques del filtro**

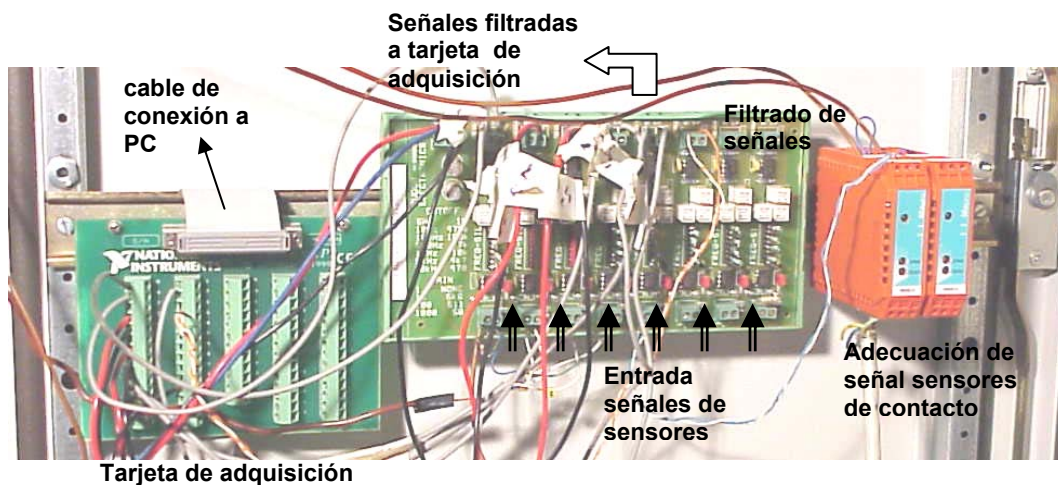
#### - Filtro pasa bajo

El filtro pasa bajo de tercer orden es programable por el usuario utilizando una red de resistencia Single-in-line (SIL). Esta red de resistencia consta de 4 resistencias aisladas de igual valor. Las características más relevantes de esta placa de filtros son:

MARCA/MODELO	Audon Electronics/FBU8
CARACTERÍSTICAS	Filtros Butterworth de tercer orden. Consta de amplificadores de instrumentación para señales diferenciales.
ALIMENTACION	-15 ->+ 15VDC.
PROTECCION	Sobrecargas de entrada de hasta $\pm 40$ voltios.
GANANCIA DE LOS AMPLIFICADORES	Programables desde 1 hasta 1000 mediante una resistencia estándar.
FRECUENCIA DE CORTE	programable mediante una resistencia SIL para valores de 5Hz hasta 10KHz.

**Tabla 4.4 Características de la tarjeta de filtros**

La Fig. 4.13 muestra las tarjetas de adquisición y filtrado de todas las señales; además de los acondicionadores de los sensores de contacto s1 y s2.



**Fig. 4.13 Montaje de tarjetas de adquisición, filtrado de señales y acondicionadores de sensores de contacto**

Ya que el sensor de presión genera una señal de salida de 4 – 20 mA, y siendo preferible con esta tarjeta de adquisición, el manejo de voltaje diferencial por cada señal, ha sido necesario ubicar entre los bornes del filtro correspondiente (Fig. 4.14), una resistencia de 220  $\Omega$ , la cual convierte dicha señal a un rango de 0 – 5 VDC aproximadamente.

En síntesis, se han captado 6 señales de 0-10 VDC correspondientes a los sensores instalados, así:

- 1 señal de presión.
- 3 señales de desplazamiento (sensores Láser L1, L2, L3).
- 2 señales de desplazamiento (sensores de contacto, s1 y s2).

Para efectos de comprensión del conexionado y posibilitar futuras modificaciones, se describe con bastante detalle, mediante la Fig. 4.14, la ubicación de los sensores instalados en el banco y la configuración de las conexiones eléctricas.

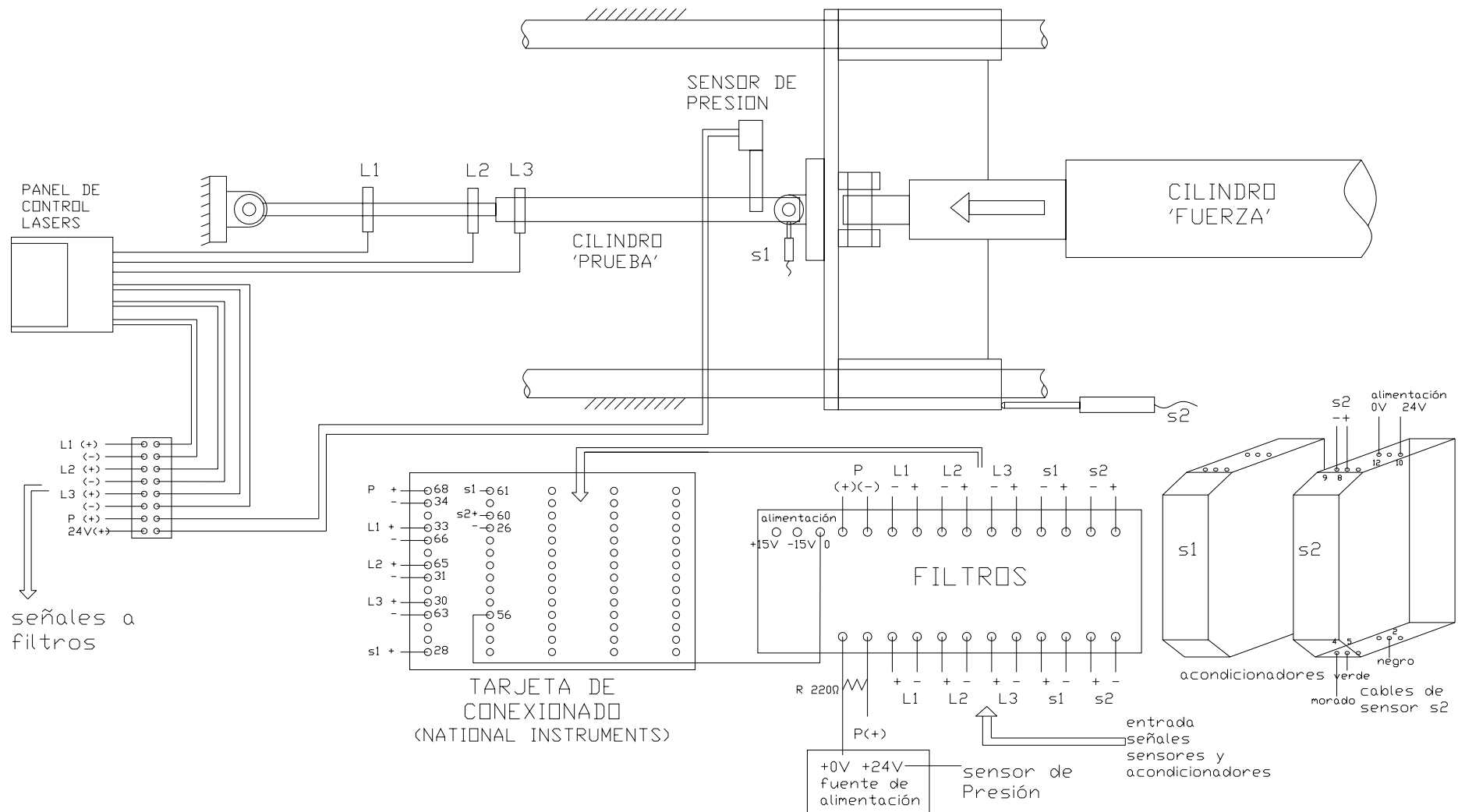


Fig. 4.14 Esquema de ubicación de sensores y conexionado eléctrico



### 4.2.3 Programa de adquisición y visualización de datos

Para recibir los datos de las pruebas de capacidad de carga, y observar el comportamiento de la deflexión del cilindro y la carga aplicada, se ha empleado el programa LabView (versión 7.1) de la National Instruments Corporate, el cual es un sistema de programación de carácter general con amplia librería de funciones para la adquisición, control, análisis y presentación de datos.

Para la correcta adquisición de las señales se requiere definir la naturaleza de estas, sus rangos y la frecuencia de muestreo. Todas las señales se han capturado con una frecuencia de 100 Hz, voltaje diferencial de -10 – 10VDC para los láser, 0-5 VDC el de presión y 0-10 VDC los sensores de contacto (potenciómetros).

Las señales detectadas y su referencia de configuración en el programa de adquisición, así como sus correspondientes borneras de conexión en la tarjeta de adquisición PCI 6035E de la National Instruments, son registradas en la Tabla 4.5.

Señal	Referencia programa	Bornera de conexión No	
Presión	Channel 0	V(+)	68
		ref	34
Láser 1	Channel 1	V(+)	33
		ref.	66
Láser 2	Channel 2	V(+)	65
		ref.	31
Láser 3	Channel 3	V(+)	30
		ref.	63
Sensor de contacto s1	Channel 4	V(+)	28
		ref.	61
Sensor de contacto s2	Channel 5	V(+)	60
		ref.	26

**Tabla 4.5 Señales detectadas, y su referencia en programa y tarjeta de adquisición (National Instruments)**

La programación y presentación de las señales adquiridas se realiza mediante dos pantallas denominadas: *Block Diagram* y *Front Panel*. La Fig. 4.15 presenta el programa desarrollado en diagrama de bloques para la adquisición y presentación de las señales.

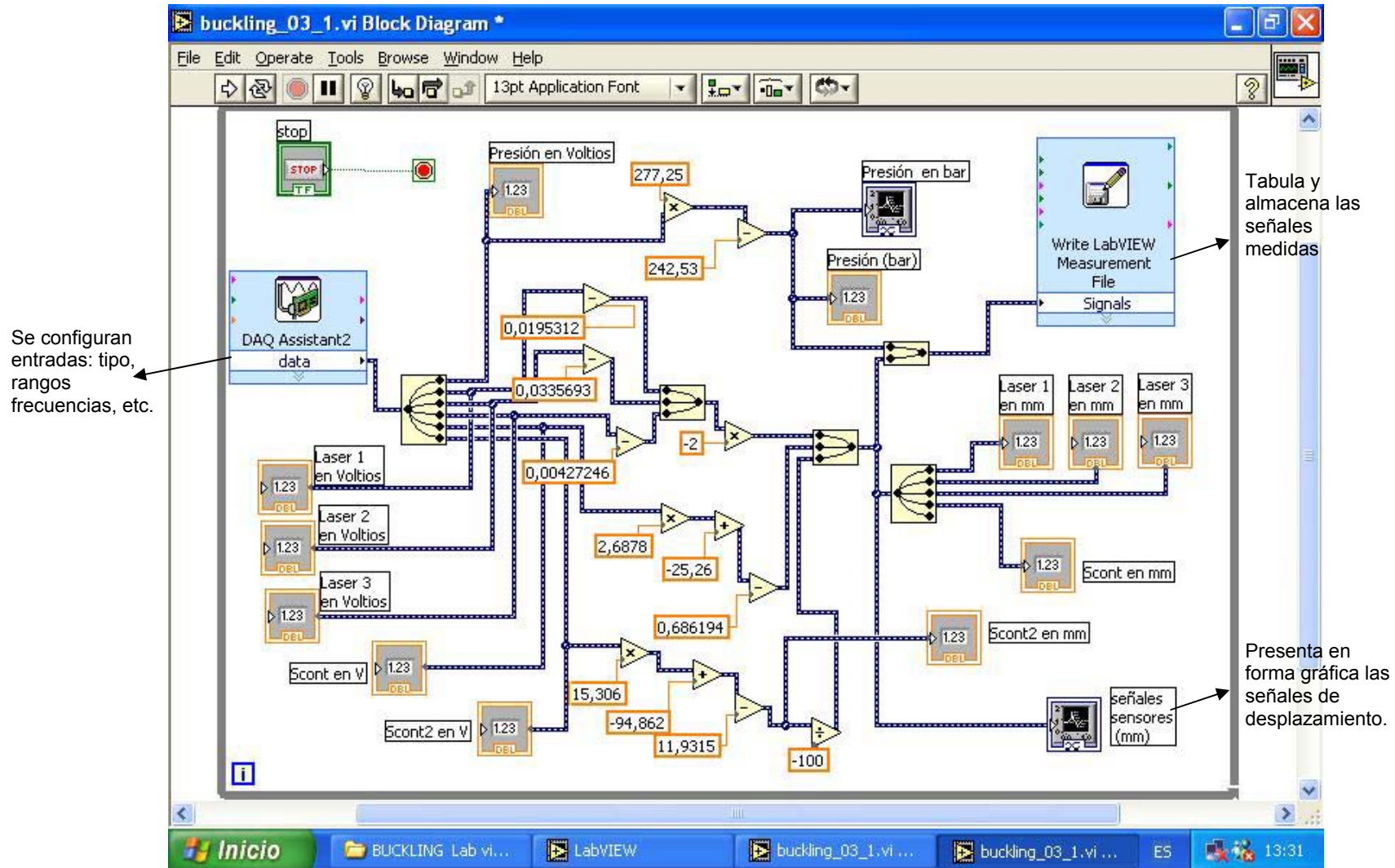
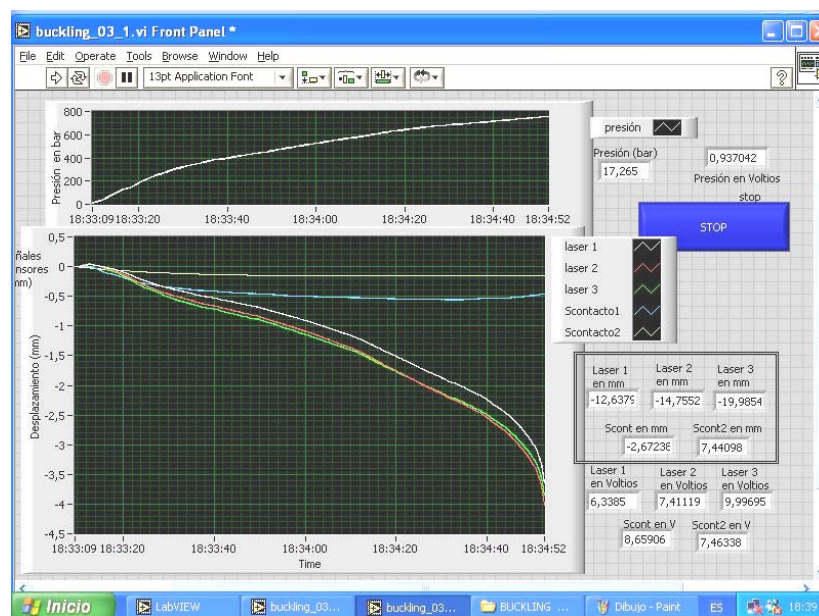


Fig. 4.15 Diagrama de bloques (programa de adquisición de señales)

En el *DAQ Assistant* se configuran las entradas, su naturaleza (voltaje, corriente, etc.), su frecuencia, su rango, etc. Las señales se distribuyen a través de un multiplexor (virtual) para poder ser manipuladas independientemente.

Cada señal posee un multiplicador y un restador/sumador para introducir la ecuación de la curva de calibración respectiva. La señal de presión está conectada a un icono *display* para ser mostrada en el *Front Panel*. Las demás señales de la misma manera mediante otro icono *display*; esto, por la diferencia de unidades manejadas (bar y mm). Además de su presentación mediante gráfico (*display*), las señales son presentadas en valor (digitalmente) como método de verificación. Todas las señales son almacenadas a través del ícono: *Write LabVIEW Measurement File*. En este ícono se configura el tipo de archivo, el número de valores por archivo, etc.

En la Fig. 4.16 se observa el *front panel*, configurado para presentar las señales en pantalla.

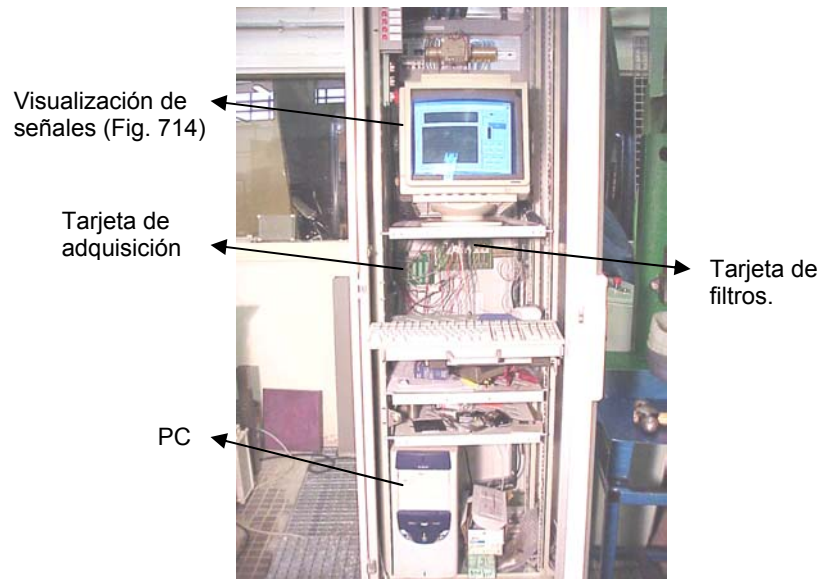


**Fig. 4.16 Panel frontal, programa LabVIEW.**

Este panel presenta un *display* que muestra el comportamiento de la presión (en bar) en función del tiempo; y otro *display* que presenta conjuntamente las señales de desplazamiento (en mm) de los sensores láser y de contacto. Al lado

derecho se encuentran las casillas de presentación de los valores digitales de las señales adquiridas.

La figura siguiente presenta la foto del rac empleado para la adquisición de señales. En este se encuentran el PC con su monitor para visualización de señales y las tarjetas de acondicionamiento, filtrado y captura de datos.



**Fig. 4.17 Rac: PC, sistema de adquisición de datos**

### 4.3 Protocolo de experimentación

Para ejecutar las pruebas de determinación de la capacidad de carga de los cilindros, es necesario realizar las siguientes actividades:

1. Instalar el cilindro a ensayar: Para esto:
  - a- Verificar que la válvula de descarga de la bomba manual del cilindro carga (Fig. 4.5) se encuentre abierta.
  - b- Ubicar el cilindro de ensayo (cilindro 'prueba') entre los zócalos ubicados en las placas fija y móvil del banco. Insertar los pasadores correspondientes en los orificios de soporte (articulaciones) del cilindro.
  
- 2 Extender el cilindro a su posición de carrera máxima:

- a- Cerrar la válvula de descarga de la bomba y activar mediante el interruptor la válvula 4/2 en posición *PB* (Fig. 4.5).
  - b- Mover a través de la bomba, el cilindro 'fuerza' hasta extender completamente el cilindro 'prueba'.
  - c- Llenar completamente de aceite hidráulico el tubo del cilindro 'prueba'.
3. Instalar el sensor de presión.
- a- Una vez lleno el tubo de aceite, instalar el sensor de presión en el orificio de carga del cilindro con el apriete respectivo, y su correspondiente conector eléctrico.
  - b- Descargar la válvula de la bomba y desenergizar la válvula direccional del cilindro 'fuerza', ubicándola en la posición *PA*
  - c- Generar presión a través de la bomba para mover el cilindro 'fuerza' en su carrera de avance hasta comprimir el aceite dentro del tubo 'prueba' a 100 bar aproximadamente. Posteriormente abrir la válvula de descarga.
4. Ubicar los sensores de desplazamiento:
- a- Ubicar los sensores tipo láser en la posición de interés a lo largo del cilindro 'prueba' (Fig. 4.8), y verificar que tanto emisor y receptor se encuentren lo mas paralelo posibles y fijos a las placas respectivas. Sujetar las vigas soporte de los Láser a la bancada.
  - b- Configurar mediante el panel de control de los láser, los parámetros de captura y salida de las señales, como: rangos, frecuencia, límites, etc.
  - c- Ubicar los sensores de contacto *s1* y *s2* en los puntos correspondientes y fijarlos lo mejor posible a la bancada .mediante vigas soporte.
5. Captar señales a través del sistema de adquisición de datos mediante PC:
- a- Ejecutar en el PC el archivo *buckling \_03* correspondiente a la toma de 5 señales de desplazamiento y una de presión. En el



diagrama de bloques se encuentran los valores vigentes de calibración de los sensores. Los sensores han sido calibrados siguiendo el proceso de calibración Labson-cal0013.

- b- Correr el programa (*run*) desde el panel frontal (Fig. 4.16) en donde se observará el comportamiento de todas las señales detectadas.
- c- Cerrar la válvula de descarga de la bomba y mover alternativamente la palanca de bombeo de manera moderada hasta la carga crítica del cilindro montado.
- d- Una vez terminada la prueba (una vez se supera el punto de fluencia), parar la captura de señales (clic en *STOP* del panel frontal). Los datos se almacenarán en un archivo tipo texto, para posteriormente ser procesados y analizados mediante Excel.

Una vez efectuado este montaje tendremos la posibilidad de realizar estudios experimentales de la capacidad de carga de cilindros oleohidráulicos, que permitan analizar en profundidad la influencia entre otros, de factores como: imperfección inicial, momentos en apoyos y daño acumulado, tal como se describirá en el capítulo siguiente.