

# CONTROL DE POSICIÓN DE UN SISTEMA HIDRÁULICO PARA ENSAYOS EN ESTRUCTURAS CIVILES<sup>1</sup>

Manuel Flores Menendez<sup>2</sup>; Facundo Enrique Gonzalez<sup>3</sup>; Carlos Maria Rodriguez<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Trabajo de Investigación, Becas CEDIT - UNAM

<sup>2</sup> Integrante de Proyecto, Estudiante de Ingeniería Electromecánica, menendez.manu@gmail.com

<sup>3</sup> Director de Proyecto, Mgter en Ing. Mecánica, facundog@fio.unam.edu.ar

<sup>4</sup> Co-Director de Proyecto, Mgter en ciencia y tecnología de los Materiales, c.rodriguez@fio.unam.edu.ar

## Resumen

En el presente trabajo se analiza el comportamiento del control de posición de un pistón hidráulico comandado mediante una electroválvula proporcional para la cual se comparan dos topologías de instalación distintas. Esto se lleva a cabo mediante un sistema de control PI realimentado con la posición del pistón mediante un sensor potenciométrico obteniéndose curvas representativas de la respuesta de éste. Para finalizar se determina las ventajas y desventajas de las topologías analizadas.

**Palabras Clave:** *Sistemas hidráulicos, Control de posición, ensayos civiles.*

## Introducción

En la Facultad de Ingeniería de Oberá (FIO) se cuenta con pórticos para ensayos de tracción, compresión y flexión de estructuras civiles. Estos constan de pistones hidráulicos con los cuales actualmente se realizan ensayos a modo de laboratorio demostrativo debido a que poseen un sistema en lazo abierto, por lo que se pretende adecuar uno de los pórticos para la realización de ensayos normalizados con la implementación de un sistema de control. Esto se lleva a cabo mediante la instalación de una válvula proporcional comandada mediante un sistema de control realimentado con la posición del pistón a controlar. Para ello se estudian dos topologías de instalación diferentes y sus respectivas respuestas para determinar cuál es la más conveniente en este tipo de sistemas.

## Metodología

La realización del trabajo fue dividida en diferentes etapas, primero se realizó una caracterización del sistema hidráulico y de los componentes en base a la observación de los mismos utilizando un anotador, una cámara fotográfica, elementos de medición y una computadora para esquematizar al mismo.

Por otro lado y una vez conocido el funcionamiento del sistema, se estudiaron las posibles alternativas de instalación de la válvula y que características debía cumplir la misma. La instalación se realizó por un lado sobre el manifold de válvulas de la central hidráulica, que de ahora en más llamaremos "P1", necesiándose para ello utilizar herramientas como ser llaves Allen, llave regulable, destornillador plano, amoladora y disco de corte. La segunda ubicación fue sobre el mismo pistón a comandar incorporando un manifold allí, de ahora

en mas llamaremos a esta posición “P2”, para lo cual se tomaron las medidas para cortar tuberías necesarias. Se utilizó una cierra de mano, cinta métrica, llave Allen, teflón y llaves regulables. En ambos casos la instalación precisó un ajuste correcto el cual debió asegurar la estanqueidad del sistema. La instalación en ambos casos se llevó a cabo según la Figura 1 y Figura 2.

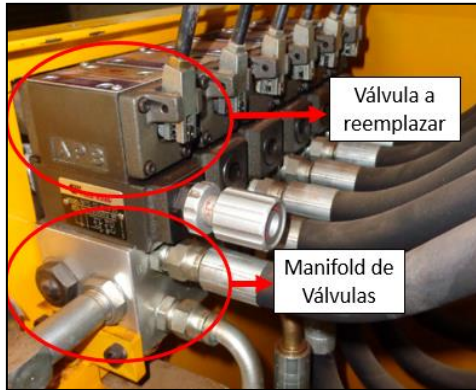


Figura 1 - Posición sobre el manifold de la central P1

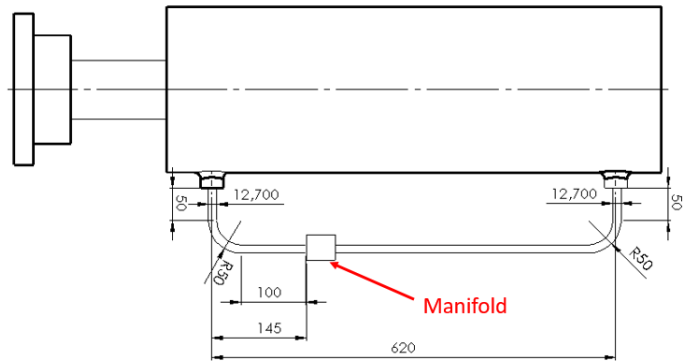


Figura 2 - Posición sobre el pistón a comandar P2

Una vez instalada la válvula en cada una de las posiciones se procedió a la realización de los ensayos. Se realizaron dos ensayos, uno con la válvula en la posición P1 y otro ensayo con la válvula en la posición P2. Los mismos consisten en realizar un escalón de 7,5mm de avance por el límite del sensor de desplazamiento. Para ello se instaló sobre el pistón un sensor potenciómetrico para realizar la medición del desplazamiento del mismo y con esta señal realimentar el sistema de control de la válvula. La señal de control fue la misma en ambos casos y se utilizó un sistema de control PI. Los datos de la posición eran simultáneamente guardados en el computador para su posterior análisis. Para realizar el enlace entre el computador, la válvula y el sensor se usó un adquisidor marca dSpace 1104. Como elementos auxiliares se utilizaron un acondicionador de señal conversor de 4-20 mA a 0-10V para que la señal de control del adquisidor sea compatible con al de la válvula, una fuente de energía para alimentar a la válvula, y un panel de conexiones auxiliares para poder conectar todas las señales al cable de entrada de la válvula, ya que el mismo cable proveía a la misma de su alimentación y de la señal de control. En la Figura 3 se puede observar un esquema de cómo se realizó la conexión para los ensayos.

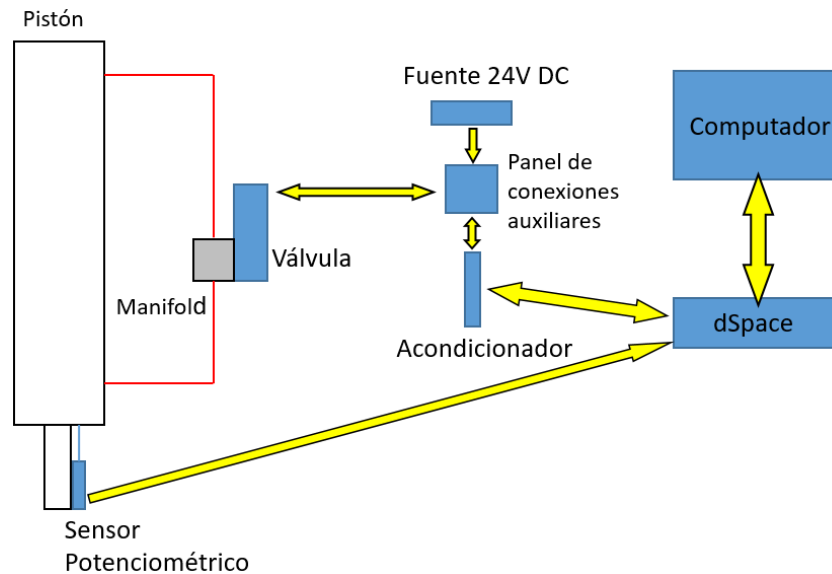


Figura 3 - Esquema de conexión

Luego de realizados los ensayos, con los datos obtenidos, se confeccionan las curvas correspondientes de desplazamiento en función del tiempo, y se miden los tiempos de respuesta tomando intervalos entre el 2% al 98% del escalón solicitado. Para poder conocer la velocidad de avance del sistema se derivan las curvas de posición, obteniéndose curvas que representan la variación de la velocidad en función del tiempo. Por último, y conociendo las dimensiones del pistón en cuestión se calcula el caudal consumido a partir de la ECUACION sacada de [1].

$$Q = V \cdot A$$

Donde Q=caudal en (m<sup>3</sup>/s); V= Velocidad en (m/s) y A=área del pistón en (m<sup>2</sup>)

### Resultados y Discusión

Realizando el trabajo en campo mencionado, se encontró que el equipo está compuesto por tres pórticos metálicos, formado por un pórtico central de carga y dos pórticos laterales de apoyo montados sobre una losa de hormigón, equipados con dos pistones cada uno con los cuales se realizan ensayos de:

- Flexión sobre estructuras forjadas y losas de distinta sección, con carga central o repartida en dos o más puntos.
- Flexión sobre vigas de hormigón de distinta sección y longitud máxima de doce metros, con carga central o repartida en dos o más puntos.

Este trabajo se basó en el control de un pistón de 50 tn de capacidad del pórtico central, esquematizado en la Figura 4.

Respecto a la central hidráulica, destinada al suministro en alta presión de aceite, ésta posee un depósito estanco con válvula de alivio de presión y filtro de aceite. El control de caudal se realizaba mediante válvulas reguladoras tipo unidireccional.

Características:

- Presión máxima de trabajo: 165 bar.
- Caudal de la bomba: 12 l/min.
- Capacidad del depósito: 90 litros

- Válvula limitadora de presión
- Mangueras y acoples para alta presión (hasta 400bar)

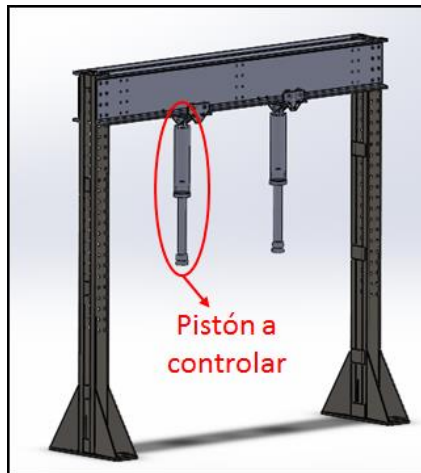


Figura 4 - Esquema del Pórtico y del pistón controlado

La válvula seleccionada para el trabajo es de la marca REXROTH Bosch Group y su modelo es: 4WRPEH6C1B12L-2X/G24KO/A1M. Ésta válvula maneja un caudal de 12 l/min con una presión de trabajo de hasta 315 bar, la misma posee un control proporcional del caudal.

Siguiendo con las tareas realizadas se instaló correctamente la válvula en la posición “P1” sin presentar pérdidas de aceite en las uniones. La Figura 5 muestra la válvula manual instalada originalmente que fue reemplazada por la válvula proporcional seleccionada tal como se observa en la Figura 6.

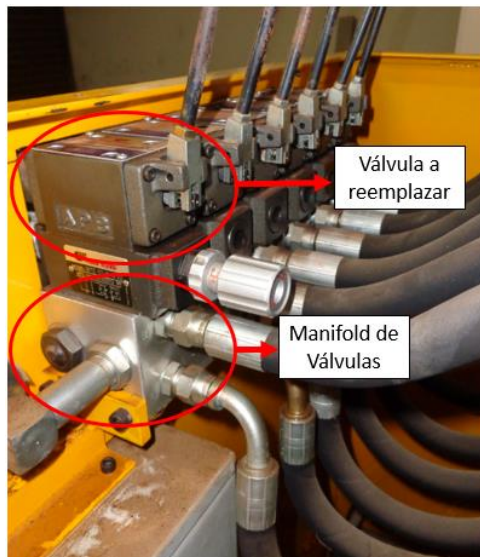


Figura 5 - Válvula manual a reemplazar

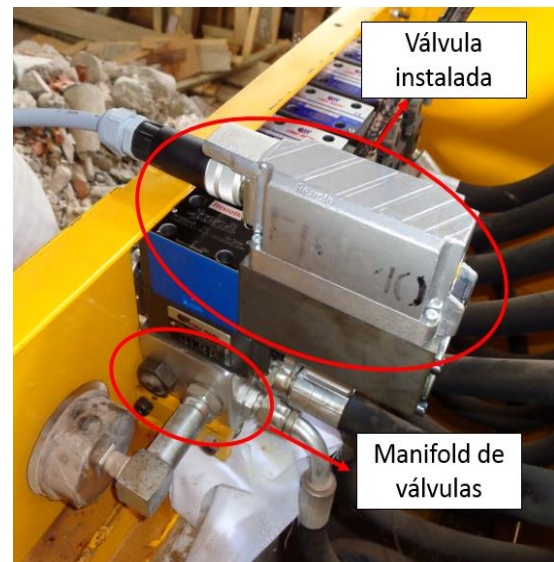


Figura 6 - Válvula proporcional instalada

Debido a que la nueva válvula es más alta que la original, se realizó un recorte a la tapa de la central hidráulica para que ésta quepa allí, esto se aprecia en la Figura 7, donde se observa la parte superior de la válvula proporcional instalada.



Figura 7 - Válvula instalada y recorte de la tapa

Una vez finalizada la instalación se realizaron los ensayos pertinentes, los cuales se presentan luego junto con los ensayos realizados con la válvula instalada en la posición “P2”.

De la misma manera, se concluyó con la instalación de la válvula en la posición “P2”, Figura 8, donde fueron realizados nuevamente los ensayos que se muestran en la Figura 10 junto con los resultados del primer ensayo sobre la posición “P1”.

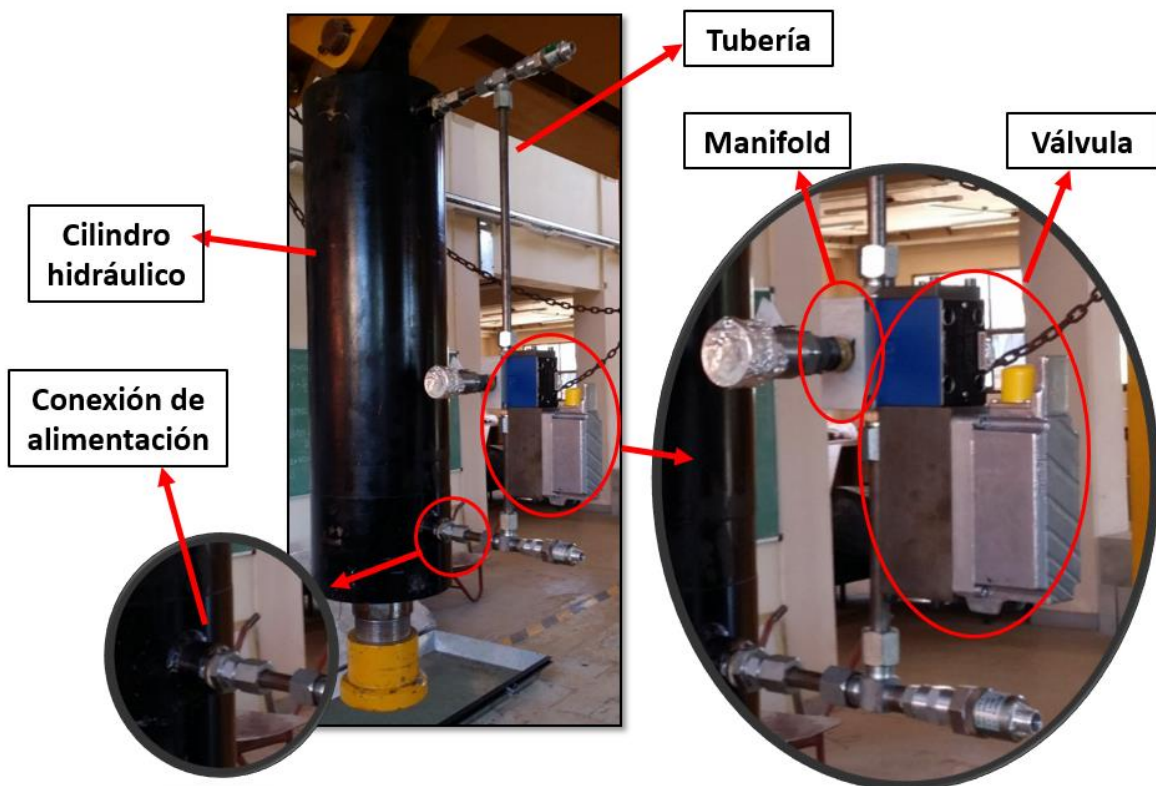


Figura 8 - Válvula instalada sobre el pistón

En la Figura 9 se puede observar el circuito hidráulico obtenido en comparación con el original.



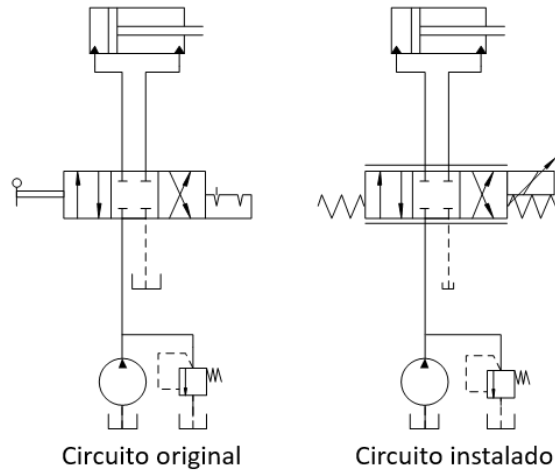


Figura 9 - Esquemas de los circuitos hidráulicos

### Resultados de las mediciones

Primeramente, observaremos en la Figura 10 las curvas resultantes de los ensayos realizados donde pueden observarse tres curvas:

- La curva de línea llena y espesor fino representa la referencia dada (escalón).
- La curva de línea gruesa representa la respuesta del pistón con la válvula sobre la central hidráulica.
- La curva punteada representa la respuesta del pistón cuando la válvula se instaló sobre el pistón en cuestión.

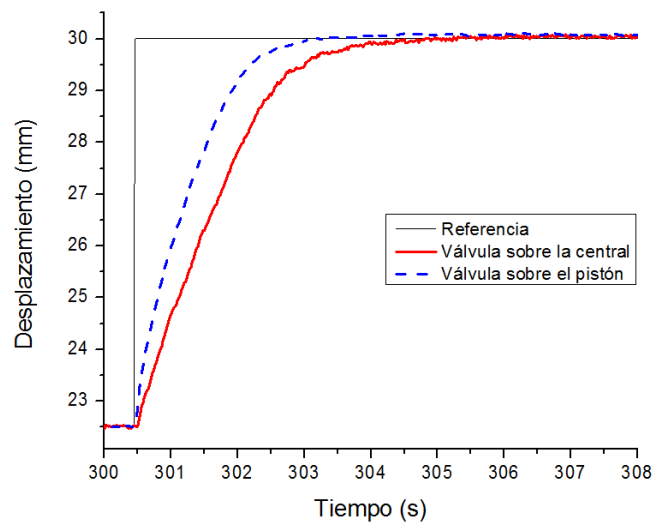


Figura 10 – Curvas obtenidas

Podemos observar entonces que la respuesta a la referencia dada en ninguno de los casos es inmediata, pero en la curva azul puede apreciarse una mayor pendiente

Los tiempos de respuesta son los marcados en la Figura 11 como las distancias “A” y “B” y corresponden al intervalo de subida desde el 2% hasta el 98% como ya se mencionó, sus valores se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

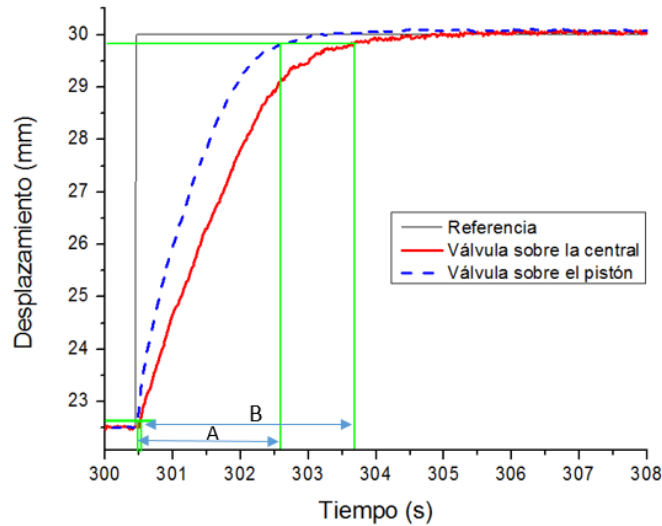


Figura 11 - Tiempos de respuesta

Tabla 1 - Tiempos de respuesta

Curva	Inicio [s]	Fin [s]	Tiempo Total [s]
<b>Azul</b>	300,48	302,60	2,12
<b>Roja</b>	300,50	303,68	3,18

En la Figura 12 se aprecian las curvas de velocidad de avance y en la Figura 13 el caudal suministrado.

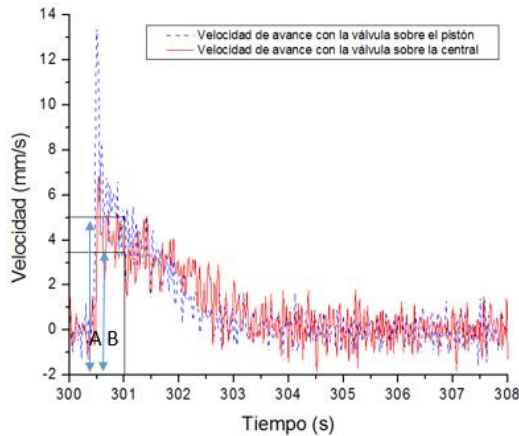


Figura 12 - Curvas de velocidad de avance

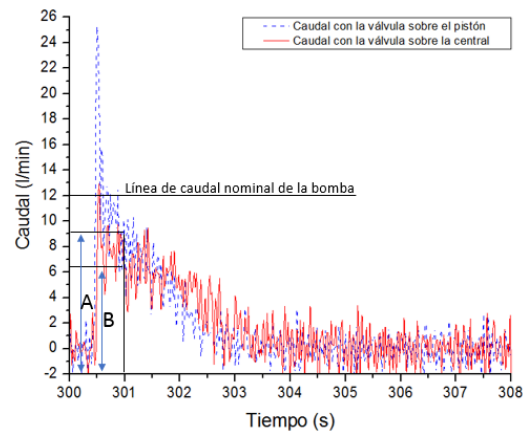


Figura 13 - Curvas de caudal suministrado

Ahora bien, en la Tabla 2 - Caudal suministrado para el instante 301 se pueden observar el caudal suministrado para ambos casos calculado a partir de los datos del segundo 301 tomando los valores de velocidad instantánea y con las características del pistón.

Tabla 2 - Caudal suministrado para el instante 301

Curva	Velocidad [m/s]	Área [m <sup>2</sup> ]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Caudal [l/min]
<b>Azul</b>	0,00488	0,03141	0,0001532	9,19
<b>Roja</b>	0,00332	0,03141	0,0001042	6,25

## Conclusiones

Luego de haber realizado los ensayos pertinentes y estudiado el funcionamiento del sistema en las dos condiciones mencionadas se puede observar que el mismo tiene diferente comportamiento para cada tipo de instalación.

Por un lado, podemos observar en la Figura 11 que la curva punteada, la cual representa al ensayo con la válvula instalada sobre el pistón, tiene un tiempo de respuesta menor, por lo cual el desplazamiento del mismo es más rápido comparándolo con el segundo ensayo representado por la curva de mayor grosor. Dichos tiempos se ven reflejados en la

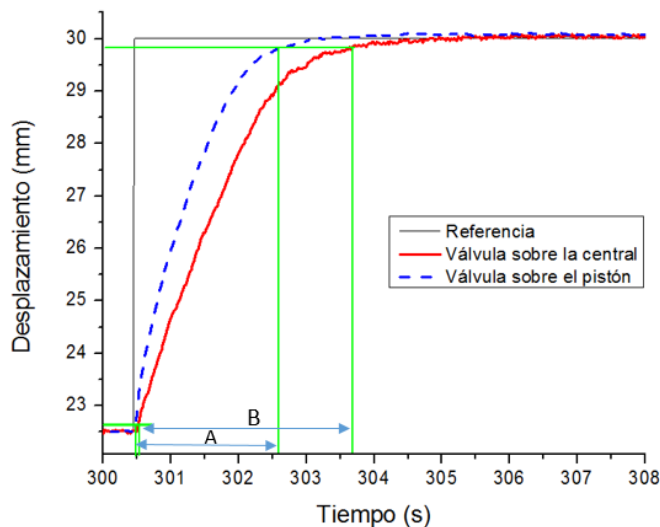


Figura 11 - Tiempos de respuesta

Tabla 1. Ahora bien, refiriéndonos a las velocidades, nuevamente se corresponde lo dicho con lo representado en la Figura 12 la cual caracteriza las velocidades de avance para cada caso.

Lo dicho anteriormente se debe a que, en el caso de la instalación sobre la central, la conexión entre la válvula y el pistón se realiza mediante mangueras, las cuales generan una pérdida de carga mayor respecto a las tuberías de acero utilizadas en la posición “P2”, No debe dejarse de tener en cuenta que las mangueras son de mayor longitud lo cual agrava aún más dicha pérdida. Por otro lado, al ser las mangueras de un material flexible estas poseen un módulo de compresibilidad equivalente menor, lo cual genera que al enviarse caudal a presión la manguera se expanda un cierto porcentaje provocando un retraso en el aumento de la presión ejercida sobre el cilindro.

Por otro lado, se observa en la Figura 13 el caudal suministrado es mayor para el caso de la válvula sobre el pistón, correspondiéndose con su mayor velocidad. Se observa que para los primeros instantes el caudal suministrado toma valores elevados, los cuales no son reales debido a que superan la capacidad nominal de la bomba que es de 12 l/min. Esto se debe a que en un principio el pistón se encuentra en reposo, luego cuando se emite la señal de referencia la válvula responde a ésta abriendo su paso y dejando fluir caudal, el cual primero deberá vencer la fricción estática del pistón para comenzar a moverlo [2]. Mientras que la fricción estática no es vencida se produce un leve aumento de la presión hasta el momento en que comienza el movimiento, dando como resultado una gran aceleración y velocidad inicial, indicando un suministro de caudal mayor al nominal de la bomba, el cual



disminuye rápidamente como se observa en la Figura 13. Es por este motivo que se desprecian los datos de los primeros 0,5 segundos de la Figura 12 y Figura 13.

Tabla 3 - Ventajas y desventajas sobre la posición de instalación de la válvula.

Sobre el manifold de válvulas		Sobre el pistón	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación prolija, no visible y compacta.</li> <li>• Buen control de la posición del pistón</li> <li>• Posibilidad de realizar un cambio a otro cilindro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retardo en la respuesta del pistón.</li> <li>• Mayor pérdida de carga.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buen control del desplazamiento o por el pistón.</li> <li>• Respuesta rápida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La instalación queda visible y la válvula expuesta a golpes.</li> <li>• Imposibilidad de utilización en otros pistones.</li> </ul>

### Referencias

- [1] Sperry-Vickers (1994) Manual de Hidráulica Industrial
- [2] Gonzalez, F.E. (2012). Estudio das forças atuantes em mecanismos de regulação de ângulo de passo e desenvolvimento de um sistema emulador de cargars.