

## PROCESO DE DISEÑO DE UN SERVOFRENO ELECTROMAGNÉTICO CON FUNCIÓN ABS: GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA EMPRESA

Villanueva. P. <sup>(P)</sup>; Martínez. P; Pérez. A

### Abstract

The following work presents the methodology followed to develop a new electromagnetic servo-brake, used together with the brake pump to reduce the effort made by the driver in the braking action.

Up to the present, these mechanisms are helped by vacuum, pneumatic pressure or hydraulic pressure. It's proposed to generate a new servo-brake's design, which will use the own car's battery energy; contributing with the demanded pressure and volume, by the use of the electromagnetic laws.

The development team applies the knowledge hoarded by the enterprise in some servo-brake models, and to make the most of the knowledge management included in the general management of the enterprise.

The work gives rise to an innovative product, in which the braking system is coupled independently to each one of the wheels, contributing with the needed pressure and volume, depending on the requests of the vehicle-road environment. The new design incorporates an electronic ABS control, which, in this case, will be remarkably simplified.

Furthermore, it will substantially provide with the system features, resorting to different materials from those currently used, in order to reduce their impact on the environment.

*Keywords: methodology, design, knowledge management, environment impact*

### Resumen

El presente trabajo presenta la metodología seguida para desarrollar un nuevo servofreno electromagnético, utilizado conjuntamente con la bomba de freno para reducir el esfuerzo a realizar por el conductor en la acción de frenado.

Hasta el presente, estos mecanismos tiene ayuda de vacío, presión neumática o presión hidráulica.

Se plantea la posibilidad de generar un nuevo diseño de servofreno, el cual utilice la energía propia de la batería del automóvil; aportando la presión y el volumen demandado, utilizando principios electromagnéticos.

El equipo de desarrollo, aplica los conocimientos atesorados por la empresa en algunos modelos de servofrenos y aprovecha la gestión del conocimiento integrada en la gestión general de la empresa

El trabajo da lugar a un producto novedoso que en el sistema de frenos se acopla a cada rueda de forma independiente, aportando la presión y el volumen necesario en función de los requerimientos del entorno vehículo-carretera. El nuevo diseño incorpora un control electrónico ABS notablemente simplificado.

*Palabras clave: metodología, diseño, gestión conocimiento, impacto ambiental, frenos.*

## 1. Introducción

Los frenos de los automóviles, necesitan una energía complementaria, que se suma al esfuerzo realizado por el conductor sobre el pedal, para ajustar dicho esfuerzo a la reglamentación, dictada por el uso ergonómico de los mismos.

Normalmente para conseguir este efecto, se diseñan servofrenos regulados por el esfuerzo del pedal, y que utilizan una fuente de vacío, en la mayoría de los casos o de aire a presión o aceite a presión, según el equipamiento del automóvil.

Cuando el vehículo va equipado además con un control ABS de los frenos, necesita un circuito hidráulico complementario, con electroválvulas hidráulicas, reguladas electrónicamente de acuerdo con la velocidad y deslizamiento de las ruedas, que mandan sobre la presión enviada a los frenos por el conductor.

Los automóviles van equipados con fuentes de vacío, de aire a presión o de aceite a presión, según sus necesidades y usos. Todos ellos disponen de una batería eléctrica, cuya energía también puede ser aprovechada para conseguir la ayuda que el conductor necesita. En este caso el control electrónico de esta ayuda se realizaría sobre magnitudes eléctricas, sin elementos mecánicos de ajuste y por tanto, con posibilidades más directas de regulación y eliminando elementos mecánicos que pueden producir y producen vibraciones molestas en el proceso de frenado con necesidad de aplicación del ABS.

En el presente trabajo se va a presentar el desarrollo de un producto concreto, resaltando el proceso de diseño y desarrollo, y la utilización para el mismo de los conocimientos de la empresa, convenientemente archivados y clasificados, que le sirven para gestionar y dar valor a sus experiencias y conocimientos previos y utilizarlos como un valor añadido de dicha empresa

Además se resalta las ventajas medioambientales de dicho producto por reducción de los residuos generados al final de vida del producto.

## 2. Proceso de diseño

El proceso de diseño de un producto debe ajustarse a un método que defina las fases del proyecto del diseño y del desarrollo del producto a lo largo del todo el ciclo de vida de dicho proyecto.

El método de trabajo es una herramienta útil para que el diseñador industrial consiga su objetivo: La eficiencia de un producto que cumpla con las necesidades del cliente y con las de la empresa productora.

Para el desarrollo de este servofreno se ha utilizado la morfología conocida como Diseño total de PUGH, que contempla cuatro grandes fases en diseño del producto

- Análisis de mercado y viabilidad del producto
- Especificaciones de diseño
- Diseño conceptual
- Diseño de detalle
- Prototipos y ensayos
- Fabricación
- Venta

Dado que en el presente trabajo se pretende desarrollar un nuevo producto con aplicación de nuevas tecnologías para estudiar su viabilidad técnica posterior, se obvia en este caso la

etapa de Análisis de mercado y viabilidad económica y lógicamente el proyecto se termina con la fase de prototipos y ensayos, donde pueden sacarse conclusiones sobre la viabilidad técnica y económica del producto que sirvan para una eventual puesta en el mercado del mismo

Por tanto el ciclo de vida de este proyecto de desarrollo se extenderá desde la fase e de preparación de las especificaciones del diseño hasta la fase de ensayos del prototipo.

En estas fases y de acuerdo con el desarrollo de las mismas se aplicarán los conocimientos que la empresa y sus componentes tienen sobre este tipo de productos.

### 3. Especificaciones del diseño EDP

A fin de desarrollar un producto útil de uso inmediato, se pretende que el prototipo se pueda montar en un vehículo actual y por tanto preparar las EDP par un vehículo concreto.

Seleccionado el vehículo, ha de utilizarse una método para fijar las especificaciones a las que debe responder el producto.

En este caso no hay que dar respuesta a un cliente en concreto. El propio equipo diseñador es el cliente. El método utilizado es el método RED, con sus fases de

- Búsqueda intuitiva
- Ciclo vital y entorno
- Análisis secuencial de elementos funcionales
- Movimientos y fuerzas
- Productos de referencia (internos)
- Productos de referencia externos ( benchmarking)

Lógicamente en cualquiera de las fase puede utilizarse el conocimiento de la empresa



Figura 1. Archivo de conocimientos

A modo de ejemplo y reduciendo al máximo las especificaciones y sabiendo que ha de adaptarse el prototipo al vehículo (A), se consulta el archivo, Fig 1 , carpeta (1), y se definirá el siguiente cuaderno de carga o EDP.

- Presión de frenado: 75 bar
- Fuerza del conductor sobre el pedal: 300N
- Volumen a llenar en los frenos: 5.34 cm<sup>3</sup>
- Bomba de frenos de 23.8 mm o 4,45 cm<sup>2</sup>
- Presión bomba 10 bar
- Inicio de frenado 100 N

- Aceite Dot 4
- Temperatura de trabajo -20°C- 110°C.
- ABS: Regulación de presión en cada rueda
- Relación de pedal. 5 a 1

Definidas las especificaciones de diseño, el conocimiento almacenado por la empresa, proporciona información sobre la forma en que se deben alcanzar las prestaciones exigidas al producto, y las particularidades de su funcionamiento:

- Curva de presiones volúmenes Fig,2 (Carpeta 2 del archivo)

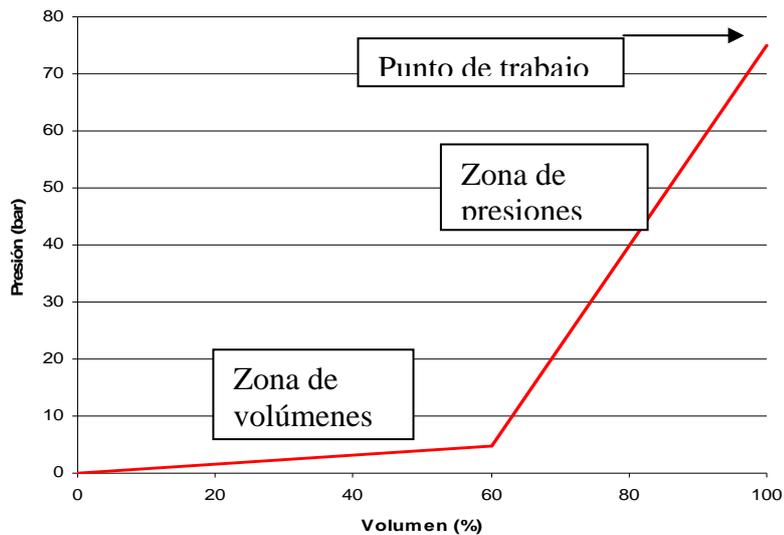


Figura 2. Aplicación de presiones en el freno

- Curva fuerza- presión Fig 3 ( Carpeta 2 del archivo)

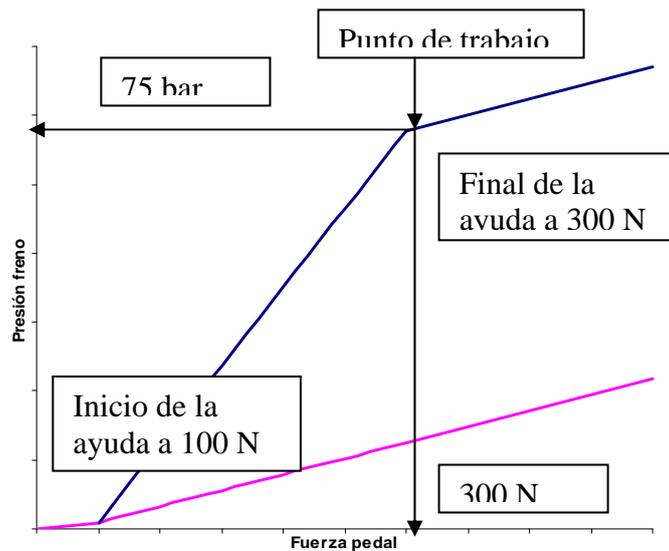


Figura 3. Forma de la curva fuerzas presiones

#### 4. Diseño conceptual

Definidas las EDP el paso siguiente es el diseño conceptual Donde tenemos se debe tener presente:

- Un generador único de presión situado detrás del pedal del freno
- Un servofreno por rueda que incremente de forma diferenciada la presión de cada rueda de forma que se pueda regular dicha presión de forma independiente.
- Sensores sobre cada una de las ruedas
- Alimentación del servofreno de cada uno de los servofrenos desde la batería.
- Alimentación regulada por un control electrónico que responda a las señales de fuerza en el pedal y a las señales de velocidad y deceleración de las ruedas

Bajo las premisas anteriores se llega al diseño conceptual de la Fig 4.

La bomba de freno es única y en ella se genera un primer tramo de presión para llenar los calipers o bombines de los frenos. Corresponde a la zona de volúmenes de la Fig 2. la presión a conseguir por la bomba ha de ajustarse a las necesidades de dicho tramo y a la fuerza  $F_p$  fijada por normativa y recogida en el documento EDP con el valor de 300N. La volumetría ( $4.45 \text{ cm}^3$ ), también recogida en el documento EDP determina la carrera.

La bomba de freno alimenta 4 servofrenos, uno para cada rueda, donde se produce un incremento de presión, hasta alcanzar la presión de frenado, fijada en el documento EDP en 75 bar

El servofreno comienza a actuar cuando la presión alcanza el final de la zona de volúmenes y por tanto solo tiene que llenar el 40% del volumen de las ruedas y dado que cada rueda tiene su servofreno, sólo tiene que llenar la cuarta parte de dicho volumen.

Par incrementar la presión que llega a las ruedas se necesita una fuente de energía, que cree una fuerza controlada, que se sume a la presión que llega de la bomba.

La fuente de energía es la batería del vehículo. El control es un circuito electrónico, cuyos inputs son la fuerza ejercida sobre el pedal y el deslizamiento de las ruedas. Los outputs son las intensidades que llegan a cada servofreno par regular la fuerza de ayuda.

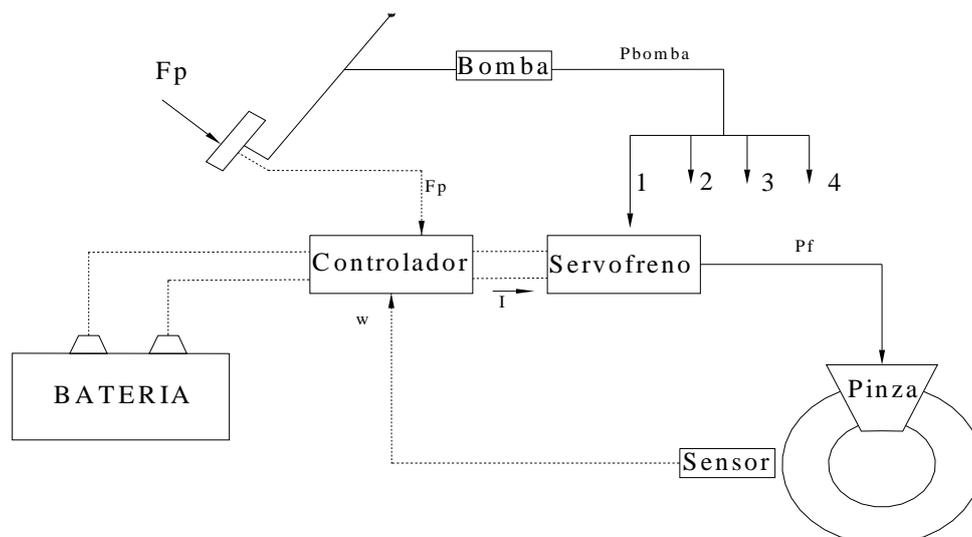


Figura 4. Diseño conceptual

El equipo diseñador tiene experiencia en el diseño de bombas de freno, y en el diseño de servofrenos de vacío, experiencia almacenada en la carpeta 5 del archivo de conocimientos

Esta experiencia se utilizará para la parte hidráulica del servofreno y se deberá idear una solución alternativa a los conocimientos de servofrenos de vacío, aire y aceite.

## 5. Diseño conceptual y dimensional de los componentes hidráulicos

### 5.1 Bomba de freno.

Para dimensionar la bomba del freno se usa el conocimiento y la experiencia acumulados. El volumen de los frenos, nos condiciona el diámetro de la bomba. Los cálculos correspondientes nos fijan una bomba de freno de 23.8 mm de diámetro con la que en base a las condiciones del EDP, se consigue una presión en el punto de trabajo de 29 bar. El resto hasta los 75 se deberán conseguir con el servofreno.

### 5.2. Servofreno

La experiencia nos aconseja una solución ya usada y de resultados conocidos cuyo diseño conceptual aparece en la figura 5.

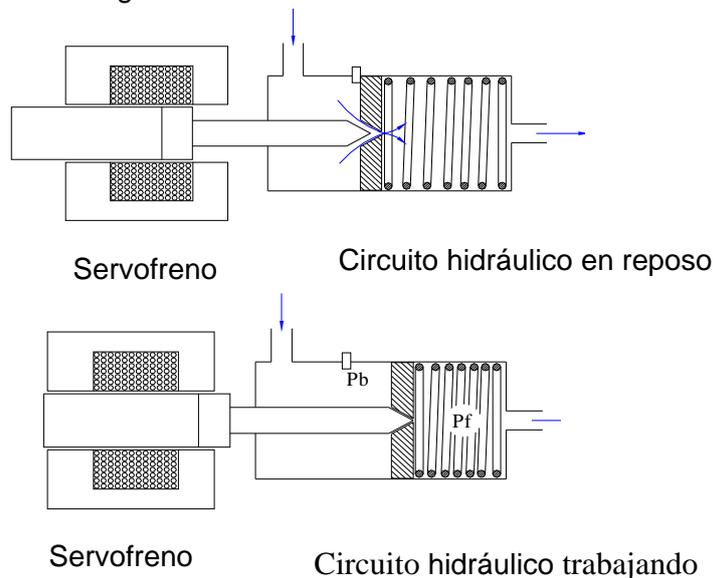


Figura 5. Diseño conceptual del servofreno

Las condiciones de trabajo, viene fijadas por la curva de la fig 3 : El servofreno deberá proporcionar la fuerza necesaria para elevar la presión de 29 bar hasta los 75 bar de trabajo generada por la bomba que a su vez servirá para dimensionar el conjunto

La parte hidráulica responde a la ecuación que se define en la figura 6

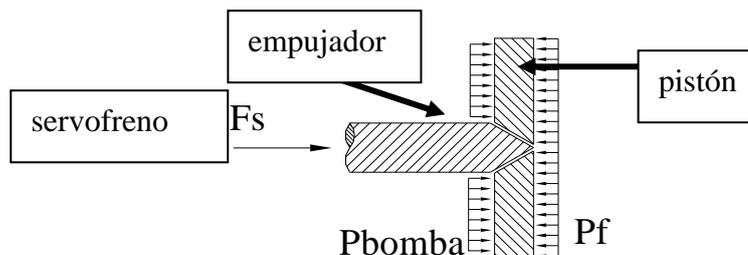


Figura 6. Equilibrio de fuerzas en la zona hidráulica

Los cálculos pertinentes, definen un pistón de 12 mm de diámetro y un empujador de 5 mm, que necesita una fuerza de ayuda de 675 N a recibir desde el servofreno.

En la figura 6 se presenta el diseño conceptual del servofreno electromagnético y el elemento magnético generador de fuerza: Una bobina eléctrica que se alimentará de la batería y un circuito magnético con una carcasa fija y un vástago móvil sobre el que se genera la fuerza a aplicar al circuito hidráulico

Conocida la fuerza necesaria y los desplazamientos permitidos se dimensiona bobina y circuito. Se diseña una bobina para que con una intensidad de trabajo de 25<sup>a</sup>.

La figura 7 presenta las curvas calculadas para diferentes intensidades y posiciones.

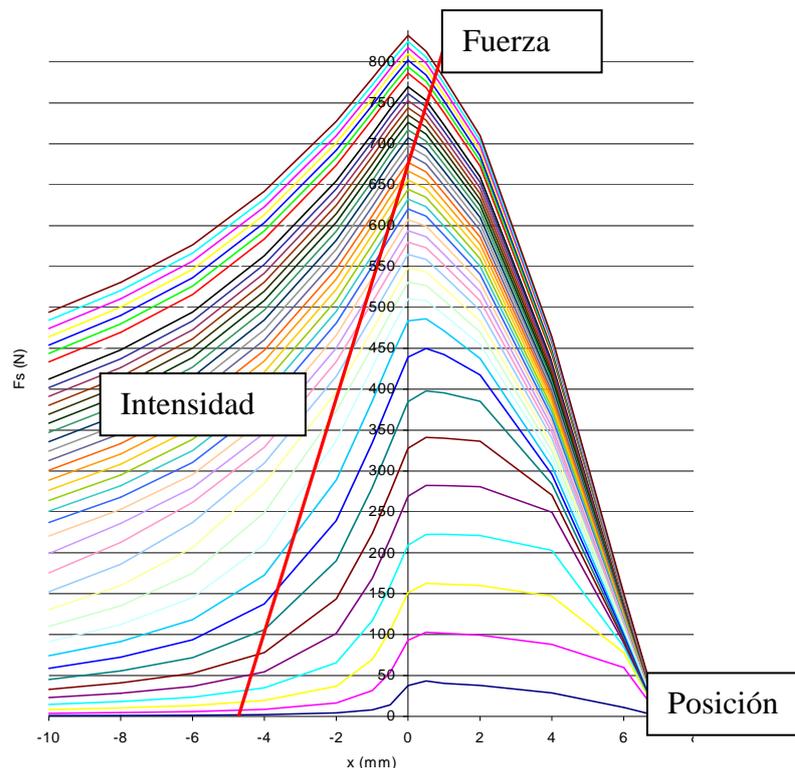


Figura 7. Curva reesforzos en función de la posición y la intensidad

## 6. Diseño de detalle

Del diseño conceptual y de las dimensiones se alcanza el diseño total (Fig 8)

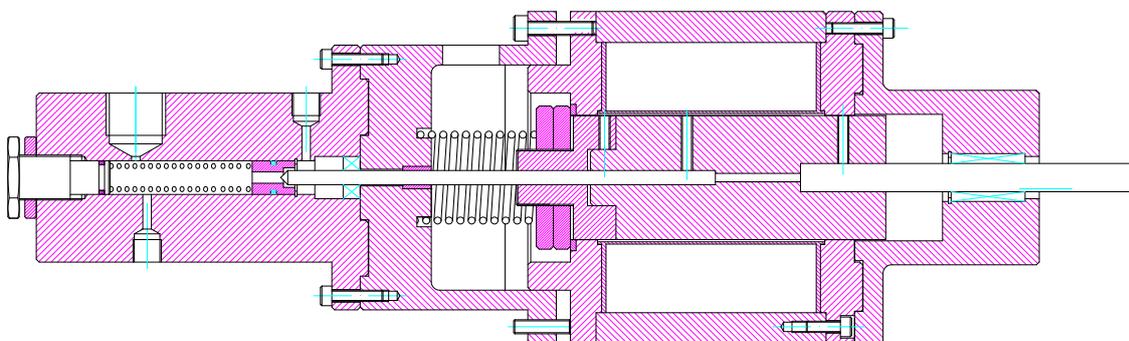


Figura 8 Servofreno

En este diseño para las soluciones constructivas se tiene en cuenta diseños similares recogidos en la carpeta nº 6 del archivo de conocimientos

Por otra parte, como es este un prototipo que es necesario ensayar, este primer diseño tiene en cuenta la posibilidad de variar posiciones de las diferentes piezas de forma cómoda y rápida

## 7. Control: diseño conceptual

El diseño conceptual de la unidad de control tiene las etapas siguientes:

- Acondicionamiento de la señal de entrada
- Conversión analógico digital
- Calculador
- Fase de potencia
- Comprobación de errores

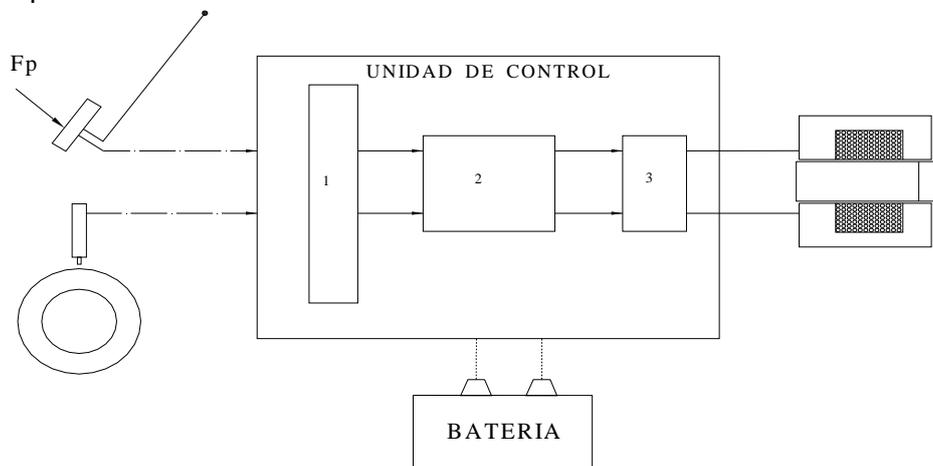


Figura 9. Controlador. Diseño de bloques

### 8. Diseño de detalle controlador

Es la etapa posterior y se recoge en la figura 10

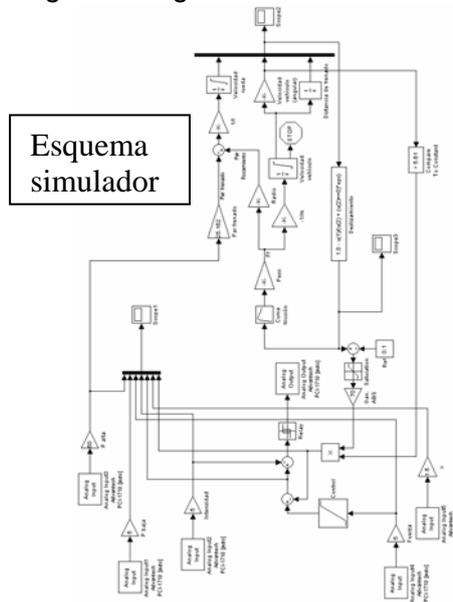


Figura 10. Controlador. Esquema

### 9 Prototipo y ensayos

Para validar el producto es necesario ensayarlo y verificar que da respuesta al documento EDP.

Se construye el prototipo, y el banco de prueba Fig. 11, simulando sobre ordenador las características del vehículo en marcha

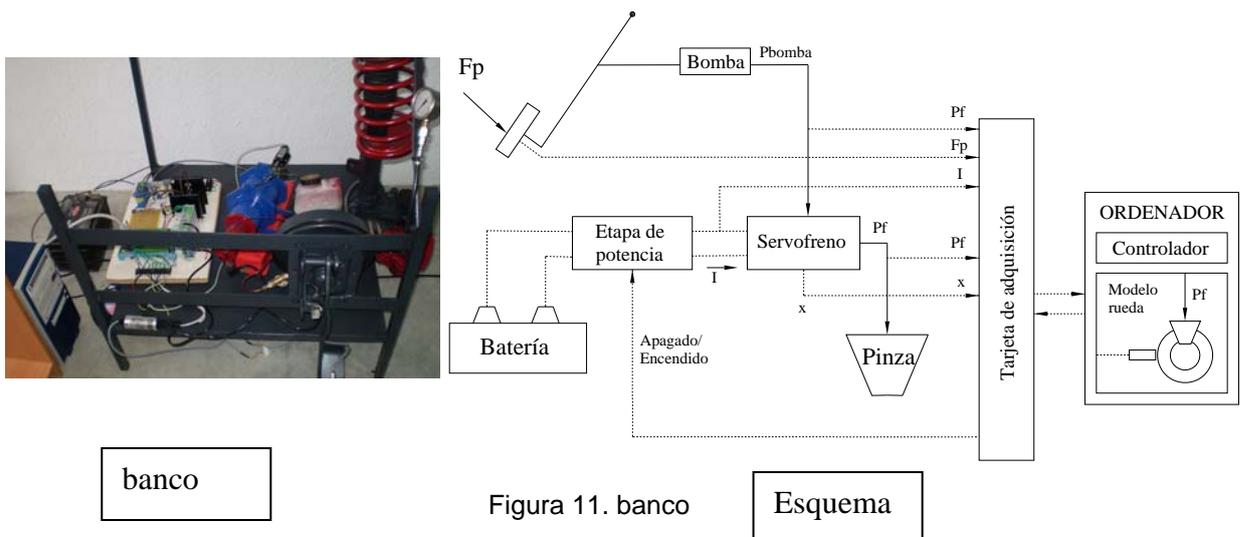


Figura 11. banco

Esquema

### 10. Resultados

De los resultados obtenidos se ha representado únicamente una curva fuerza presiones (Fig 12) donde se comprueba que el producto cumple con su función de incrementar la presión y esta es función de la fuerza

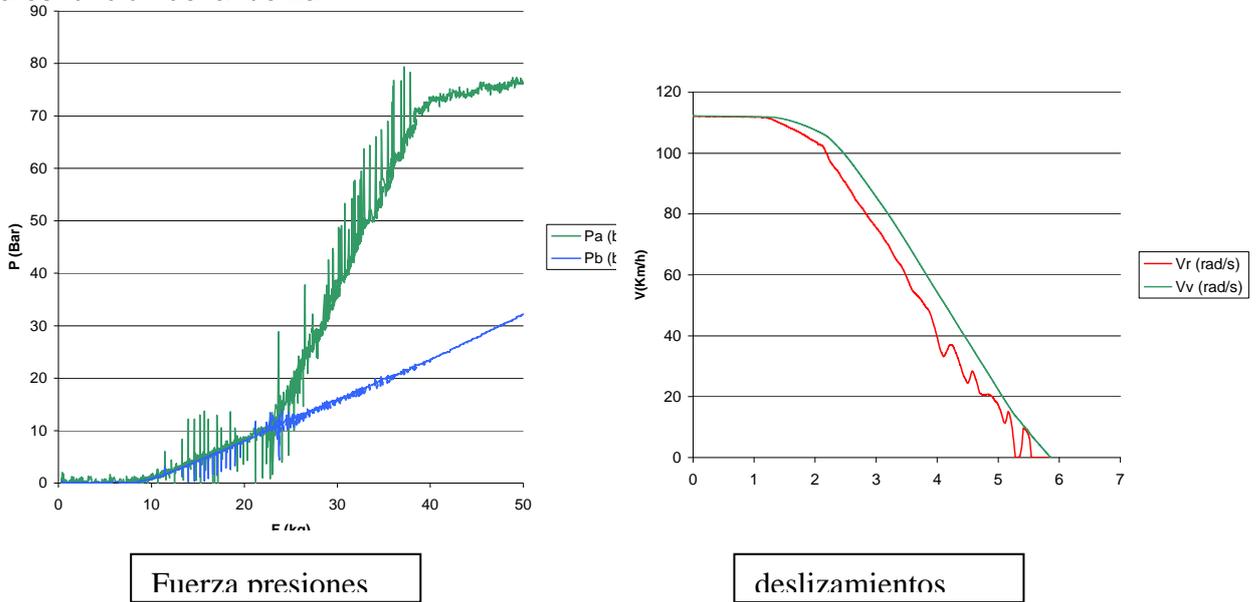


Figura 12. curva fuerza –presiones y deslizamientos

Y la curva de deslizamiento, donde se comprueba que cumple con su función ABS

### 11. Impacto ambiental

En el servofreno electromagnético, la bobina sustituye al servofreno de vacío, y al conjunto de modulación de la presión de frenado Fig. 13. se reduce el número de piezas y se elimina un conjunto de válvulas que funcionan con un elevado índice de vibraciones y consumen aceite

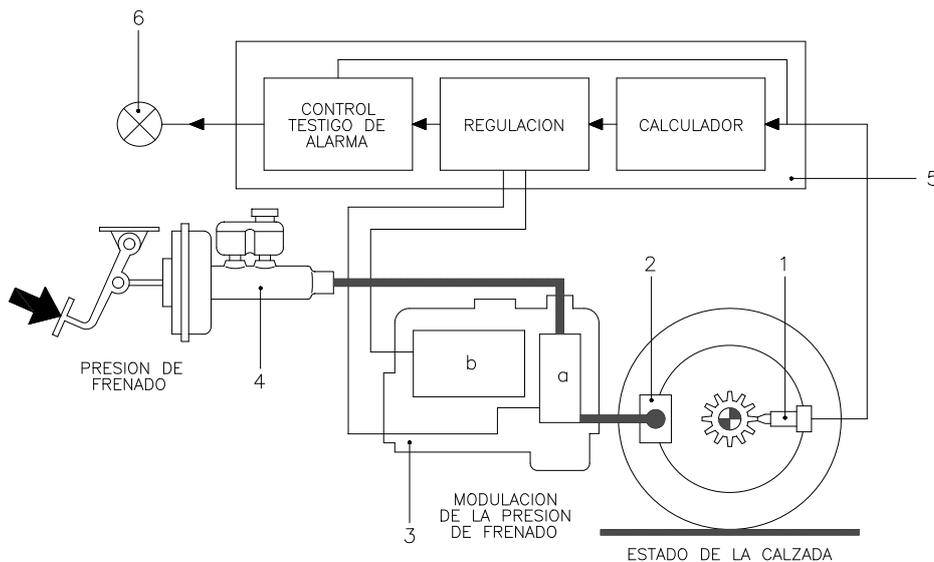


Figura 13. ABS convencional

## 12 Conclusiones

- a) El diseño del servofreno electromagnético da respuesta a las especificaciones recogidas en el documento EDP
- b) Tanto para preparar el documento EDP, como para buscar soluciones en el diseño conceptual y en el de detalle, ha sido útil el conocimiento y experiencia previa recogidos en el archivo de conocimientos
- c) el diseño sustituye a otro en uso con ventajas claras a la hora del reciclaje y del uso de materiales contaminantes.

## Referencias

- Eder, EE., Design Engineering, CRC PRES. 2007
- Aguayo, F., Metodología del diseño industrial., RA-MA. 2002
- Luque, p. Ingeniería del automóvil. Sistemas y comportamiento dinámico THOMSON.2004
- Happian- Smith, J., Modern Vehicle Design, BH-2003

## Correspondencia:

Paulino Martínez Landa  
Universidad Pública de Navarra. Campus Arrosadía s/n 31006  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación  
[paulino@unavarra.es](mailto:paulino@unavarra.es) tno 948169330/331