

2010

# Suspensiones neumáticas en autocaravanas

## Parte 2

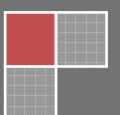
El presente artículo es una ampliación al presentado anteriormente (Suspensiones neumáticas en autocaravanas: ¿Por qué y para qué?).

Uno de los apartados de este artículo trata del método desarrollado para saber entre qué presiones tenemos que ajustar los muelles neumáticos para un correcto funcionamiento.

## ÍNDICE

- 1.- Suspensiones de flexibilidad variable
- 2.- Suspensiones mixtas
- 3.- Leyes fundamentales que rigen el comportamiento de un gas
- 4.- Rigidez de un muelle neumático
- 5.- Montaje efectuado en nuestra autocaravana
- 6.- Método para la obtención de las presiones de trabajo
- 7.- Funcionamiento en carretera
- 8.- Aspectos a mejorar

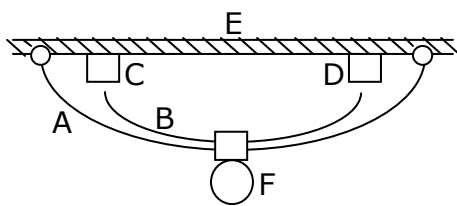
Miguel Angel Moliner Sarralde  
Ingeniero Técnico Industrial  
AMR Suspensiones Neumáticas  
17/04/2010



### 1.- Suspensiones de flexibilidad variable

Al cargar un vehículo la suspensión se hace más blanda, la flexibilidad aumenta, y las oscilaciones son de mayor amplitud y más lentas (frecuencia natural menor). Esto ocurre cuando la suspensión es de una rigidez fija (ballestas, muelles, etc...). Si el vehículo está vacío, la suspensión se endurecerá, la flexibilidad disminuirá, y las oscilaciones serán de menor amplitud y más rápidas (frecuencia natural mayor).

Para evitar este fenómeno, en un principio, se recurrió a las suspensiones de flexibilidad variable, compuestas por una ballesta principal que actuaba cuando el vehículo estaba descargado y una ballesta secundaria que se sumaba a la principal cuando el vehículo estaba cargado.

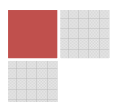


- A: Ballesta principal
- B: Ballesta secundaria
- C, D: Tacos de goma
- E: Larguero
- F: Eje

Posteriormente, se sustituyó la ballesta secundaria por un muelle neumático, naciendo así las suspensiones mixtas.

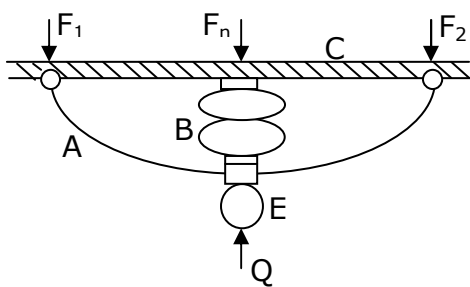
### 2.- Suspensiones mixtas

Los primeros intentos de instalar una suspensión neumática en los vehículos de carga, consistió en colocar un muelle neumático en paralelo con la ballesta. En estas condiciones la ballesta soporta la carga estática del vehículo en vacío y el muelle neumático está previsto para soportar la carga útil.



Una autocaravana está montada sobre un chasis de una furgoneta, siendo la carga útil todo el mobiliario, personas y demás enseres. Cuando la compramos, viene cargada con parte de la carga útil.

Todos los esfuerzos de frenada, aceleraciones y empujes laterales son soportados siempre por las ballestas. Con este tipo de suspensión se consigue un nivel constante (altura de la carrocería), tanto en vacío como en carga. El confort se mejora con respecto a las suspensiones de flexibilidad variable y a las suspensiones que se obtienen de reforzar la ballesta de serie con una hoja más, mejorando también el balanceo. Este diseño se ha utilizado en vehículos urbanos y vehículos de carga y ahora en las autocaravanas.



- A: Ballesta principal
- B: Muelle neumático
- C: Larguero
- E: Eje
- $Q = F_1 + F_2 + F_n$

### 3.- Leyes fundamentales que rigen el comportamiento de un gas

Proceso a volumen constante:  $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

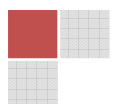
Proceso a temperatura constante:  $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$

Proceso adiabático:  $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$

donde:  $T_1, T_2$ : temperatura en grados kelvin

$P_1, P_2$ : presión absoluta

$V_1, V_2$ : volumen

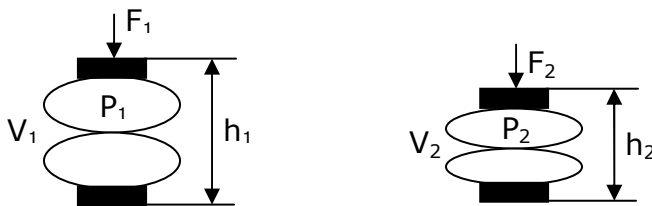


La anterior ecuación también se puede expresar como:  $P \cdot V^\gamma = cte$

Durante el proceso adiabático, el coeficiente politrópico del aire ( $\gamma$ ) permanece constante e igual a 1,4, pero en el proceso real de compresión del muelle neumático no se realiza en condiciones realmente adiabáticas, por lo que el valor generalmente aceptado en la práctica es 1,38.

#### 4.- Rigidez de un muelle neumático

Si comprimimos un muelle neumático, que previamente está a una presión  $P_1$  y un volumen  $V_1$ , adquirirá una presión  $P_2$  y un volumen  $V_2$ .



Se puede considerar que el proceso de compresión de los muelles neumáticos se desarrolla sin intercambio de temperatura al exterior, por ser la compresión y descompresión muy rápida, es decir, es un proceso adiabático (sin intercambio de calor).

Una vez hallados  $P_2$  y  $V_2$ , partiendo de la expresión  $P \cdot V^\gamma = cte$ , y operando, llegamos a otra expresión que es la nueva rigidez neumática en las condiciones de volumen  $V_2$ , presión  $P_2$  y superficie  $S_2$ :

$$K_2 = -S_2^2 \cdot \frac{P_2 \cdot 1,38}{V_2}$$

Vemos que la rigidez neumática es variable, es decir, depende de la presión, del volumen adquirido y de la superficie donde se ejerce la presión.

Al comprimir la suspensión, la presión aumenta y el volumen disminuye, por lo que la constante  $K$  (rigidez neumática) aumenta.

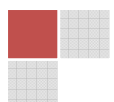
Quien quiera profundizar sobre este tema, puede consultar el "*Tratado sobre automóviles*", escrito por *José Font Mezquita, Juan Dols Ruiz* de la *Universidad Politécnica de Valencia*.

### 5.- Montaje efectuado en nuestra autocaravana

El fabricante **Oria** suministra 3 kits independientes del modelo de autocaravana que tengamos. La diferencia está en los soportes de los muelles neumáticos, que varían de cada modelo de chasis.



**Actuador 2600 con sus diferentes soportes**



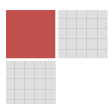


Hay que recalcar que el fabricante **Oria** suministra en todos sus kits el muelle neumático 2600, mientras que la competencia suministra uno más pequeño. El muelle suministrado por **Oria** da una fuerza de 400 Kp a una altura de muelle de 140 mm y 3 kg/cm<sup>2</sup> de presión. El muelle suministrado por la competencia da una fuerza de 306 Kp a una altura de muelle de 140 mm y 3 kg/cm<sup>2</sup> de presión.



**Comparativa**

Nosotros hemos instalado el kit más completo con compresor y calderín:

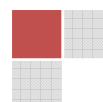




***Muelle montado***

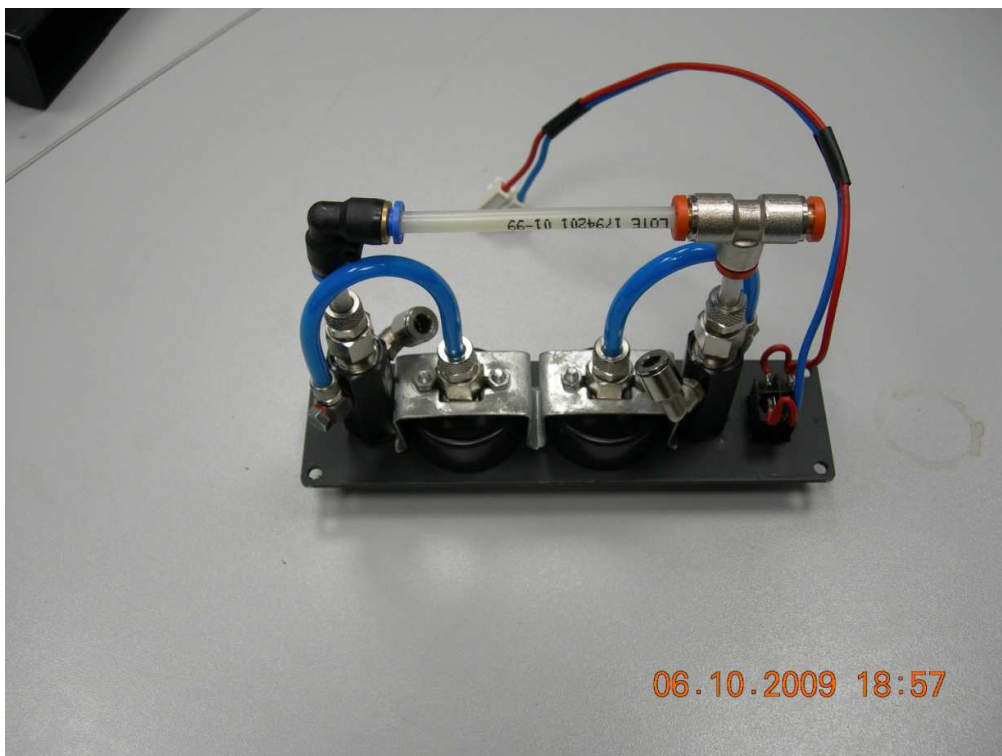


***Conjunto compresor-calderín montado***

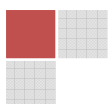


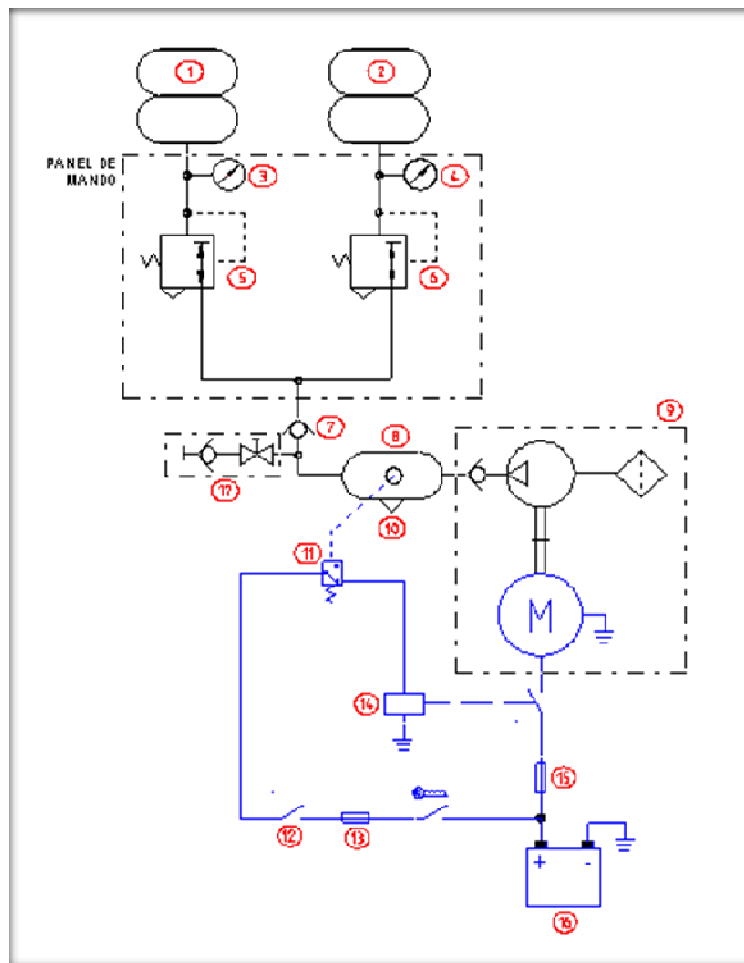


**Cuadro de mandos**



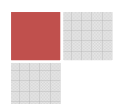
**Cuadro de mandos vista posterior**





**Esquema 1: Montado por nosotros**

ITEM	DESCRIPCIÓN
<b>1-2</b>	MUELLE NEUMÁTICO
<b>3-4</b>	MANÓMETROS
<b>5-6</b>	REGULADORES DE PRESIÓN
<b>7</b>	ANTIRRETORNO
<b>8</b>	CALDERÍN (5 LITROS)
<b>9</b>	COMPRESOR 20 A
<b>10</b>	PURGA
<b>11</b>	PRESOSTATO (6-7,5 Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>12</b>	INTERRUPTOR DE CUADRO DE MANDOS
<b>13</b>	FUSIBLE DE MANDO 3 A
<b>14</b>	RELÉ 12 V - 30 A
<b>15</b>	FUSIBLE DE FUERZA 20 A
<b>16</b>	BATERÍA
<b>17</b>	LLAVE Y ENCHUFE RÁPIDO



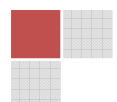
En el esquema 1 está representado el montaje efectuado en nuestra autocaravana y funciona de la siguientes manera.

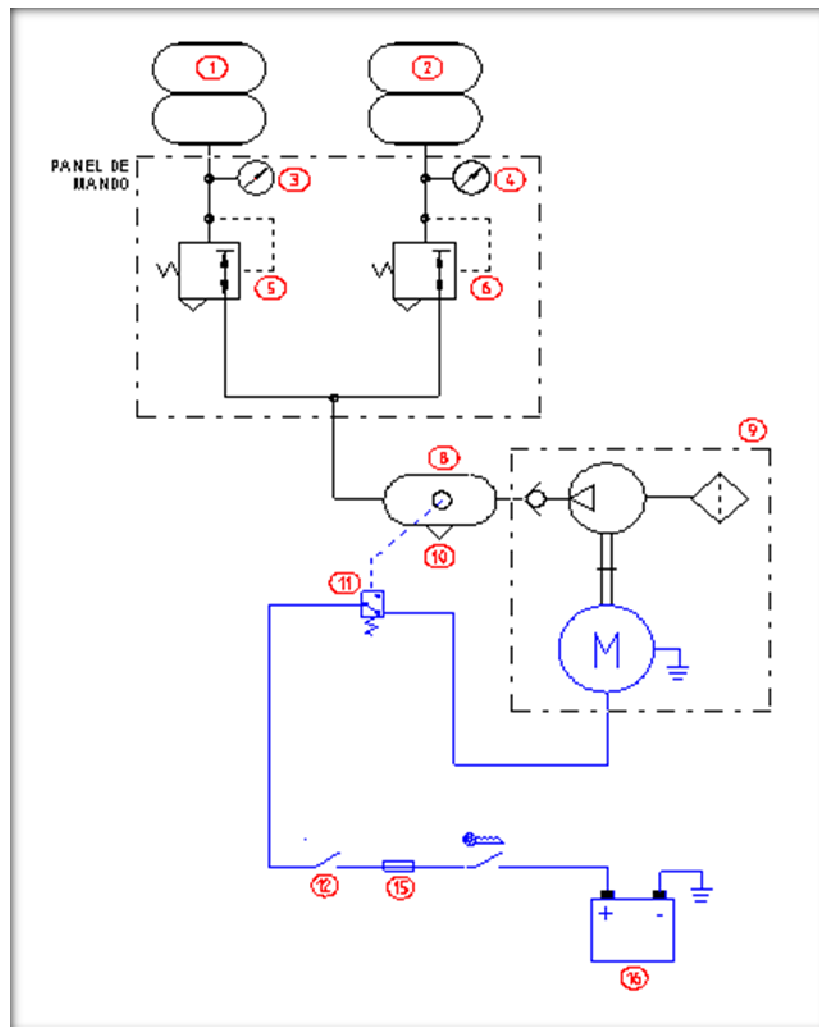
El compresor (9) suministra aire al depósito (8) hasta que la presión de éste sea de  $7,5 \text{ kg/cm}^2$ . En ese momento se para el compresor y vuelve a arrancar cuando la presión del calderín desciende por debajo de los  $6 \text{ kg/cm}^2$ . De la salida del calderín se alimenta:

1. Un enchufe rápido (17) que sirve para poder suministrar aire del exterior a los muelles neumáticos en caso de avería en el compresor o en el calderín y también para inflar las ruedas de la autocaravana.
2. A través del antirretorno (7), dos reguladores de presión (5) y (6) miniatura que son los encargados de mantener la presión de los muelles neumáticos al valor previamente ajustado y dentro de un margen (playa o banda proporcional) establecido por las características de los reguladores de presión.

Para poder visualizar las presiones, ajustadas manualmente por los reguladores de presión, hay 2 manómetros (3) y (4) situados en el panel de mandos junto a los reguladores de presión.

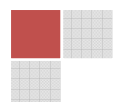
El compresor se alimenta desde el positivo de la batería a través de un fusible de 20 A (15) y un contacto del relé (14). La sección de cable será de  $4 \text{ mm}^2$ . El relé (14) se activará cuando la presión del calderín, detectada por el presostato (11), sea inferior a  $6 \text{ kg/cm}^2$ , desactivándose cuando esta presión supere los  $7 \text{ kg/cm}^2$  y siempre que el interruptor (12), colocado en el panel de mandos, y la llave de contacto estén activados.





Esquema 2: Suministrado por Oria

ITEM	DESCRIPCIÓN
1-2	MUELLE NEUMÁTICO
3-4	MANÓMETROS
5-6	REGULADORES DE PRESIÓN
8	CALDERÍN (5 LITROS)
9	COMPRESOR 20 A
10	PURGA
11	PRESOSTATO (6-7,5 Kg/cm <sup>2</sup> )
12	INTERRUPTOR DE CUADRO DE MANDOS
15	FUSIBLE DE FUERZA 20 A
16	BATERÍA



Las diferencias entre el esquema 1 (montado por nosotros) y el esquema 2 (suministrado por Oria) son:

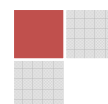
- 1) El antirretorno (7) lo hemos colocado: a) por si tenemos una fuga en el circuito del calderín y compresor y b) para que no se desinflen los muelles neumáticos al inflar las ruedas. El antirretorno está colocado lo más cerca posible del panel de mandos.
- 2) La llave de paso y el enchufe rápido (17).
- 3) El relé (14) que evita que la corriente de 20 A consumida por el compresor pase a través del presostato (11) y por el interruptor (12), alargando la vida de estos elementos.

Por lo demás, para su montaje, hay que seguir los pasos descritos en el artículo anterior (*Suspensiones neumáticas en autocaravanas. ¿Por qué y para qué?*)

## **6.- Método para la obtención de las presiones de trabajo**

Para un funcionamiento correcto de las suspensiones, tendremos que tener varios aspectos importantes: el confort, la seguridad, la maniobrabilidad, el nivel de la carrocería y el ruido.

El confort en un automóvil se obtiene si la frecuencia natural ( $F_n$ ) de las suspensiones es muy cercana a 1,2 Hz. Toda frecuencia, que esté por debajo de ésta, hará que nos mareemos y por encima, que nos afecte al sistema nervioso, aunque ganaremos en seguridad. En una autocaravana la frecuencia natural de las suspensiones está por encima de este valor y es muy cercano a 2 Hz. Si le añadimos unas suspensiones neumáticas, éste valor será aún superior (ganaremos en seguridad y perderemos algo de confort).



$$F_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{980 \cdot \frac{K}{P}}$$

donde:  $F_n$  = Frecuencia natural

$K$  = Rigidez de la suspensión en kp/cm

$P$  = Peso sobre rueda en kp

$\pi$  = 3,1416

La rigidez de un resorte o una ballesta es la fuerza que hay que efectuar en ella, para que se comprima un centímetro.

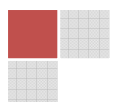
La frecuencia natural de un sistema de suspensión es las veces que se comprime y extiende en un segundo y se mide en Hz (ciclos/segundo).

A continuación mostraremos la frecuencia de oscilación de distintos vehículos.

Vehículo	Frecuencia natural [Hz]
Coche de serie	1,2
Coche deportivo	1,3 - 1,5
Coche competición	1,6 - 3,2
Fórmula 1	5 -6
Autocaravana sin neumática	1,5 - 2
Autocaravana con neumática	2 - 2,7

Hay que comentar que la rigidez es un parámetro que viene grabado en los muelles en kg/cm o en libras/pulgada (1 libra/pulgada=0,177 kg/cm).

Con el método que vamos a describir, calcularemos la frecuencia natural de las ballestas en las condiciones de carga normales. Para realizar esto, primeramente deberemos calcular la rigidez de las ballestas y de los muelles neumáticos.



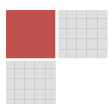
Realizaremos en montaje mostrado en las siguientes fotografías:



**Montaje gato, báscula y cinta métrica**



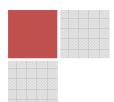
**Detalle de la marca de altura**



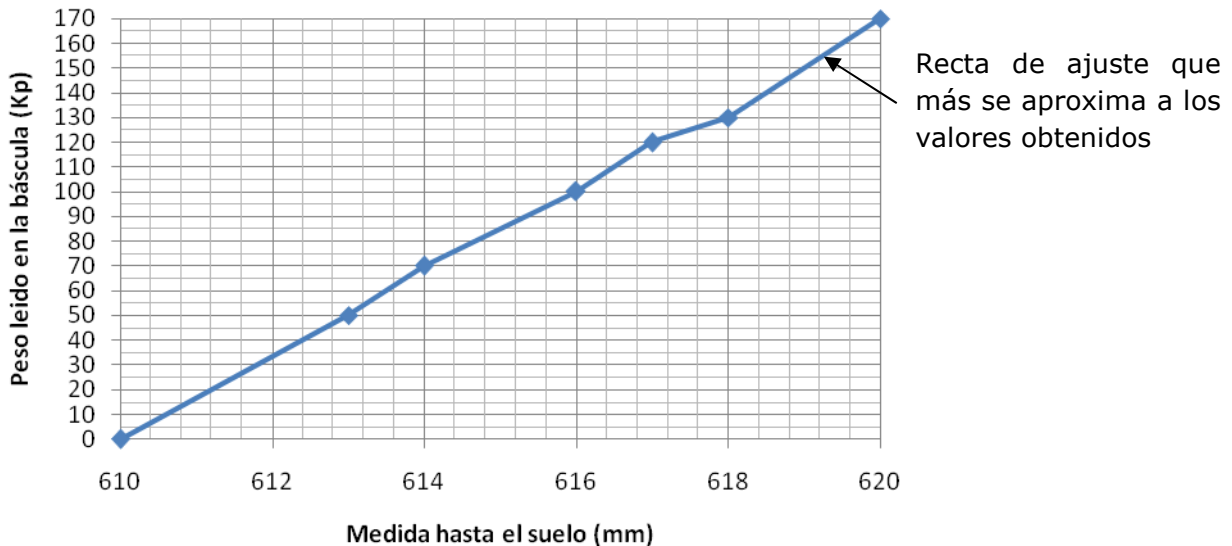


***Detalle de la báscula y el gato***

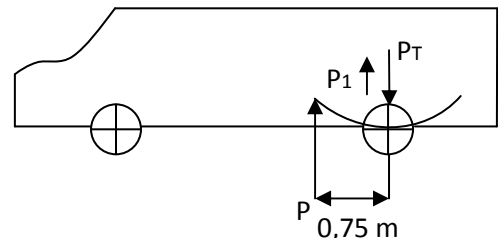
1. En el punto interior de la ballesta colocaremos un gato sobre una báscula. En nuestro caso, la báscula sólo pesa hasta 130 kg.
2. En el centro de la rueda trasera colocaremos una cinta métrica y pondremos una etiqueta para poder visualizar la variación de altura de la carrocería.
3. Con los muelles neumáticos completamente deshinchados, iremos subiendo el gato e iremos recogiendo una serie de valores, tal y como se refleja en la tabla de la figura 1 (kilogramos y altura hasta el suelo). Gracias a estos valores, podremos confeccionar la tabla de dicha figura. Para poder calcular la rigidez de las ballestas, es necesario mover un centímetro la carrocería. Como, ya hemos apuntado anteriormente, nuestra báscula sólo pesa hasta 130 kg, por lo que con los dos últimos puntos de la tabla, hemos trazado una recta con una pendiente determinada que nos indica que cuando la carrocería alcanza los 620 mm, la báscula debería pesar 170 kg.
4. Calcularemos la rigidez tal y como se muestra en la figura 1.



### Cálculo aproximado de la rigidez de la ballesta con un gato y una báscula de baño



Peso leído en la báscula (kp)	Medida hasta El suelo (mm)
0	610
50	613
70	614
100	616
120	617
130	618



$KB = 170 \text{ Kp/cm}$ , esto sería si hubiésemos colocado el gato en el eje trasero, pero se ha puesto en el extremo interior de la ballesta.

$$P_1 = P \times 0,75 \longrightarrow KB_1 = 170 \times 0,75 = 127,5 \text{ kp/cm}$$

**Rigidez de la ballesta = 127,5 kp/cm**

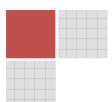
Figura 1

Una vez calculada la rigidez de la ballesta, desmontaremos el gato, la báscula y la cinta métrica.

A continuación explicaremos cómo hemos calculado entre qué valores de presión, deberemos ajustar las suspensiones neumáticas para un óptimo funcionamiento. Del mismo modo, podremos calcular la rigidez neumática, la frecuencia natural de la ballesta y la frecuencia natural del conjunto (ballesta + muelle neumático).

Para confeccionar las gráficas de la figura 3:

1. Aumentaremos la presión de  $\text{kg/cm}^2$  en  $\text{kg/cm}^2$  y comprobaremos la altura del muelle neumático, obteniendo así los 6 valores que se reflejan en la tabla.
2. Trasladaremos los 6 valores de altura obtenidos, a la gráfica del actuador 2600 proporcionada por el fabricante (**Grupo Oria**). Mirar la figura 2. Se obtendrá la fuerza ejercida (KN) por el actuador en cada uno de estos 6 puntos de altura.
3. Una vez obtenida la tabla de la figura 3, se confeccionará las gráficas tal y como se muestra en dicha figura.



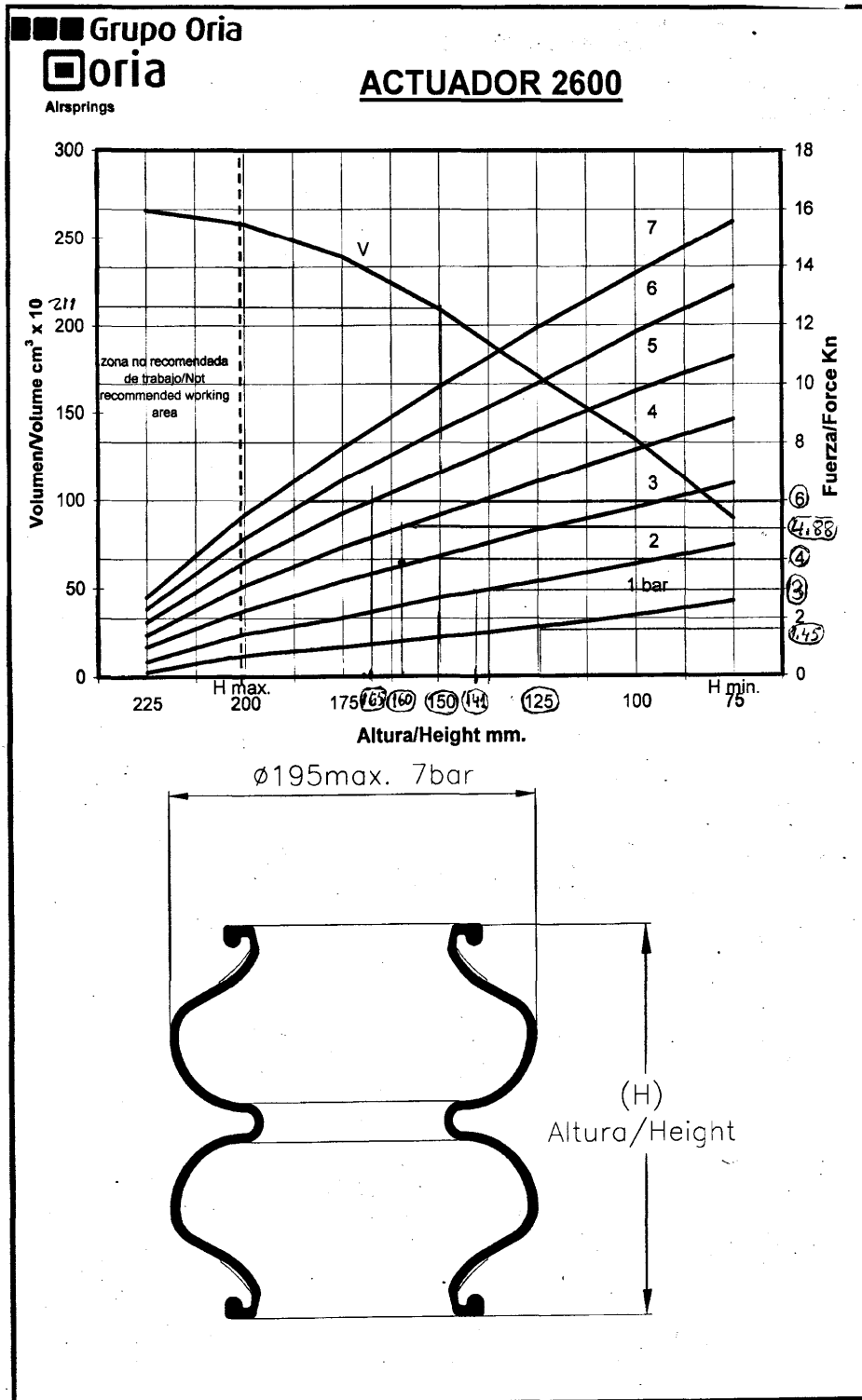
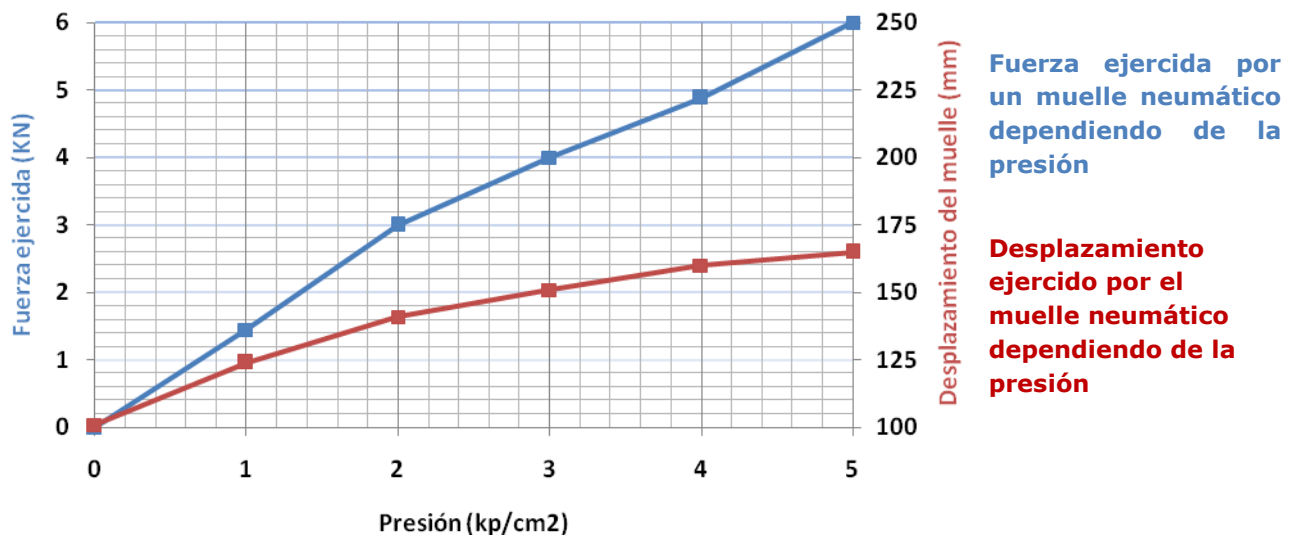


Figura 2



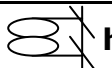
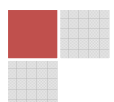
Presión (Kp/cm <sup>2</sup> )		Fuerza (KN)
0	101	0
1	124	1,45
2	141	3
3	151	4
4	160	4,88
5	165	6

Figura 3

Las conclusiones a las que llegamos, gracias a estas 2 gráficas, son las siguientes:

- Entre 0 y 2 kp/cm<sup>2</sup> vemos que, mientras que la fuerza ejercida por el muelle es lineal y con una pendiente constante, el desplazamiento o altura cambia de pendiente. Esto es debido a que, en este punto de carga, las ballestas están muy blandas.
- Entre 2 y 4 kp/cm<sup>2</sup> vemos que las pendientes de las 2 gráficas son constantes (zona de trabajo idónea).



3. Entre 4 y 5 kp/cm<sup>2</sup> vemos que, mientras que la fuerza ejercida por el muelle aumenta ligeramente (mayor pendiente), el desplazamiento o altura disminuye (menor pendiente). Esto es debido a que las ballestas están acercándose a su flecha máxima y ahora el muelle neumático empieza a mover la carrocería él sólo, con la oposición de la ballesta.
4. Para esta autocaravana, cargada de esta manera y estos muelles neumáticos, los valores ideales de ajuste de los muelles serán entre 2 y 4 kp/cm<sup>2</sup>. Por otra parte, los datos técnicos de los reguladores de presión, usados en este montaje, nos indican que los valores de la presión secundaria son entre 2 y 7 kg/cm<sup>2</sup> y la presión máxima de alimentación es de 8 kg/cm<sup>2</sup>. Vemos que no vamos a poder bajar de 2 kg/cm<sup>2</sup> debido a los reguladores de presión. El fabricante **Oria** indica que las presiones de trabajo sean entre 2,5 kg/cm<sup>2</sup> y 3,5 kg/cm<sup>2</sup>, márgenes que están entre los 2 y 4 kg/cm<sup>2</sup> calculados.

Para calcular la rigidez neumática de los muelles tomaremos 2 puntos entre la zona de 2 y 4 kg/cm<sup>2</sup>. Entre los puntos de 2 y 3 kg/cm<sup>2</sup> tenemos una diferencia de altura en el muelle neumático de 10 mm (1cm) y de fuerza de 1 KN (  $1\text{KN} = 1000\text{N} = \frac{1000}{9,81}\text{Kp} = 102\text{Kp}$ ), por lo que la rigidez neumática será de 102 Kp/cm.

La frecuencia natural de las ballestas y del conjunto (ballestas + muelles neumáticos) serán:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Kn}=102 \text{ kp/cm} \\ \text{kB}=127,5 \text{ kp/cm} \end{array} \right\} \text{Frecuencia natural ballesta} = \frac{1}{2\pi\sqrt{980 \frac{127,5}{825}}} = 1,95 \text{ Hz}$$

$$\left. \begin{array}{l} 825 = \text{Peso en una} \\ \text{rueda trasera de la} \\ \text{masa suspendida} \end{array} \right\} \text{Frecuencia natural en conjunto} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{980 \frac{127,5 + 102}{825}} = 2,62 \text{ Hz}$$

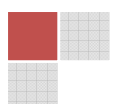
Vemos que la frecuencia natural ha pasado de 1,95 Hz a 2,62 Hz, haciéndose la suspensión más dura pero ganando en seguridad. Tengo que recalcar que este método no es muy riguroso debido a los elementos de medida utilizados (báscula de baño, metro...), pero son elementos que todos podemos tener en casa y nos da una idea clara y aproximada de las presiones a las que nos tenemos que ajustar los reguladores.

## 7.- Funcionamiento en carretera

El funcionamiento del kit **Oria** es muy bueno, notándose un soplido o descarga de presión de los muelles cuando la autocaravana coge un bache muy grande y evitando el correspondiente golpe interno. En estas condiciones, aumenta la presión en los muelles, de tal manera, que la playa o banda proporcional establecida de fábrica en los reguladores de presión es superada por la presión interna de los muelles neumáticos al comprimirse excesivamente. La presión perdida por los muelles neumáticos es repuesta inmediatamente por el calderín cuando la perturbación ha desaparecido y la presión del calderín es repuesta por el compresor, siempre y cuando la presión del calderín descienda de 6 kg/cm<sup>2</sup>.

En condiciones normales de marcha, esto no ocurre ya que la presión en los muelles neumáticos no supera la playa o banda proporcional.

Anteriormente tenía instalado en mi autocaravana un kit de otra marca que funcionaba bien, pero el kit de **Oria** le supera con creces.



### **8.- Aspectos a mejorar en este kit**

Considero que se podrían mejorar algunos aspectos en el kit como por ejemplo:

1. Luz en los manómetros.
2. Antirretorno (7).
3. Relé (14).

Si el fabricante toma nota de estas mejoras, el kit sería casi perfecto.

