

SUSPENSIONES NEUMÁTICAS EN AUTOCARAVANAS: ¿POR QUÉ Y PARA QUÉ?

ÍNDICE

- 1.- INTRODUCCIÓN
- 2.- SUSPENSIONES
- 3.- ADHERENCIA
- 4.- CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA SUSPENSIÓN Y AMORTIGUACIÓN SIN MUELLE NEUMÁTICO
- 5.- CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA SUSPENSIÓN Y AMORTIGUACIÓN CON MUELLES NEUMÁTICOS
- 6.- LA ESTABILIDAD DE UNA AUTOCARAVANA CON BALLESTAS Y MUELLES NEUMÁTICOS
- 7.- EJEMPLOS PRÁCTICOS
- 8.- MONTAJE DE LOS MUELLES NEUMÁTICOS
- 9.- PRUEBAS EN CARRETERA

1.- INTRODUCCION

El presente artículo consta de dos partes bien diferenciadas.

En primer lugar, repasaremos unos conceptos básicos sobre suspensiones, adherencia, vuelco, deslizamiento y resolveremos unos ejemplos para ver cómo se comportan dos tipos de autocaravanas (perfilada y capuchina), con respecto al vuelco y al deslizamiento con y sin muelles neumáticos; reforzando de esta manera el convencimiento y la necesidad de instalar en nuestras autocaravanas los muelles neumáticos.

En segundo lugar, se explicará el procedimiento de colocación de los muelles neumáticos y todos sus accesorios, documentándolo con fotografías de los diferentes pasos para el montaje.

2.- SUSPENSIONES

La suspensión de un vehículo tiene como cometido "absorber" las desigualdades del terreno sobre el que se desplaza, a la vez que mantiene la ruedas en contacto con el pavimento, proporcionando un adecuado nivel de confort y seguridad de marcha. Se puede decir que sus funciones básicas son las siguientes:

- Reducción de las fuerzas causadas por irregularidades del terreno.
- Control de la dirección del vehículo.
- Mantenimiento de la adherencia de los neumáticos a la carretera.
- Mantenimiento de una correcta alineación de las ruedas.
- Soporte de la carga del vehículo.
- Mantenimiento de la altura óptima del vehículo.

El comportamiento del vehículo vendrá determinado en gran medida por el tipo de suspensión que lleve.

El peso del vehículo se descompone en dos partes denominadas:

- Masa suspendida: la integrada por todos los elementos cuyo peso es el soportado por el bastidor o chasis (carrocería y motor).
- Masa no suspendida: constituida por el resto de los componentes (sistema de freno, llantas...).

El enlace entre ambas masas lo materializa la suspensión. El sistema está compuesto por: un elemento elástico (que bien puede ser una ballesta, muelle helicoidal, barra de torsión, estabilizador, muelle de goma, gas, aire, etc...), y otro de amortiguación (amortiguador en cualquiera de sus variantes), cuya misión es neutralizar las oscilaciones de la masa suspendida originadas por el elemento elástico al adaptarse a las irregularidades del terreno, transformando la energía que almacena el resorte en calor.

La mayoría de las autocaravanas emplean como elemento elástico delantero: muelles helicoidales y trasero: ballestas. En ambos casos en conjunción con modernos amortiguadores telescópicos.

3.- ADHERENCIA

La adherencia es clave en la seguridad ya que es la responsable de producir las reacciones necesarias para el guiado, la aceleración y el frenado. La capacidad adherente total es igual, en cada rueda, al coeficiente de adherencia disponible multiplicado por la carga dinámica de dicha rueda.

Por un lado, la carga dinámica depende de la carga estática, de la transferencia de carga producida de un eje a otro o entre ruedas de un mismo eje y de las variaciones ocasionadas por las irregularidades de la calzada.

Por otra parte, el coeficiente de adherencia depende de múltiples factores, algunos de los cuales de difícil evaluación, lo que hace complicado y costoso su conocimiento preciso en tiempo real. En general, los coeficientes son ligeramente diferentes en las direcciones longitudinales y transversales, aunque con frecuencia se obvia esta circunstancia.

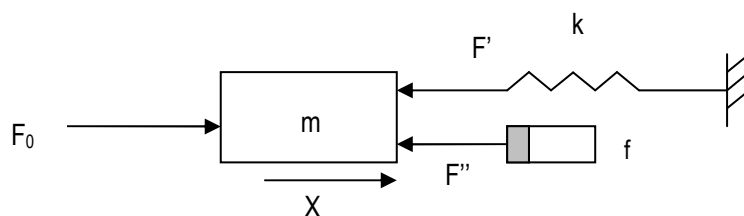
Cuando los esfuerzos son combinados, se presenta la situación en la que el neumático proporcionará toda la adherencia longitudinal requerida hasta alcanzar un máximo. La adherencia remanente que quede en cada instante se empleará para contrarrestar las fuerzas laterales.

4.- CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA SUSPENSION Y AMORTIGUACION SIN MUELLE NEUMATICO

Movimiento rectilíneo en presencia de un sistema elástico y de un rozamiento viscoso.

Sistema elástico: suspensiones (ballestas y muelles).

Rozamiento tipo viscoso: amortiguadores.



Siendo: x : espacio recorrido por la masa (m).
 K : coeficiente elástico de la ballesta o muelle.
 f : coeficiente viscoso del amortiguador.

- F_0 : fuerza ejercida sobre la masa suspendida.
- F' : fuerza que ejerce el elemento elástico (muelle o ballesta) sobre la masa suspendida.
- F'' : fuerza que ejerce el elemento viscoso (amortiguador) sobre la masa.

La ecuación fundamental de la mecánica dice:

$$F = m \cdot a \text{ (Fuerza = masa} \cdot \text{ aceleración)}$$

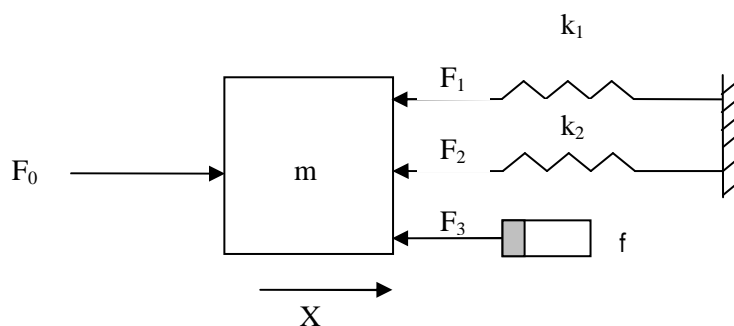
$$F_0 - F' = m \cdot a + F'' \text{ siendo } F' = k \cdot x \text{ y } F'' = f \cdot v$$

$$F_0 - k \cdot x = m \cdot v / t + f \cdot v$$

- Siendo:
- F_0 : fuerza que inicia el movimiento del sistema.
- $K \cdot x$: fuerza ballesta.
- $m \cdot v / t$: fuerza inercia.
- $f \cdot v$: fuerza amortiguador.

En general, se puede concluir diciendo que la suma de las fuerzas está equilibrada con la suma de las fuerzas de inercia y las de rozamiento viscoso.

5.- CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA SUSPENSION Y AMORTIGUACION CON MUELLES NEUMATICOS



Siendo:	x:	espacio recorrido por la masa (m).
	K ₁ :	coeficiente elástico de la ballesta o muelle.
	K ₂ :	coeficiente elástico del muelle neumático.
	f:	coeficiente viscoso del amortiguador.
	F ₀ :	fuerza ejercida sobre la masa suspendida.
	F ₁ :	fuerza ejercida por el muelle o ballesta sobre la masa suspendida.
	F ₂ :	fuerza ejercida por el muelle neumático sobre la masa suspendida.
	F ₃ :	fuerza ejercida por el elemento viscoso (amortiguador) sobre la masa suspendida.

La ecuación fundamental de la mecánica dice:

$$F = m \cdot a \text{ (Fuerza=masa} \cdot \text{ aceleración)}$$

$$F_0 - F_1 - F_2 = m \cdot a + F_3 \text{ siendo } F_1 = k_1 \cdot x ; F_2 = k_2 \cdot x ; F_3 = f \cdot v$$

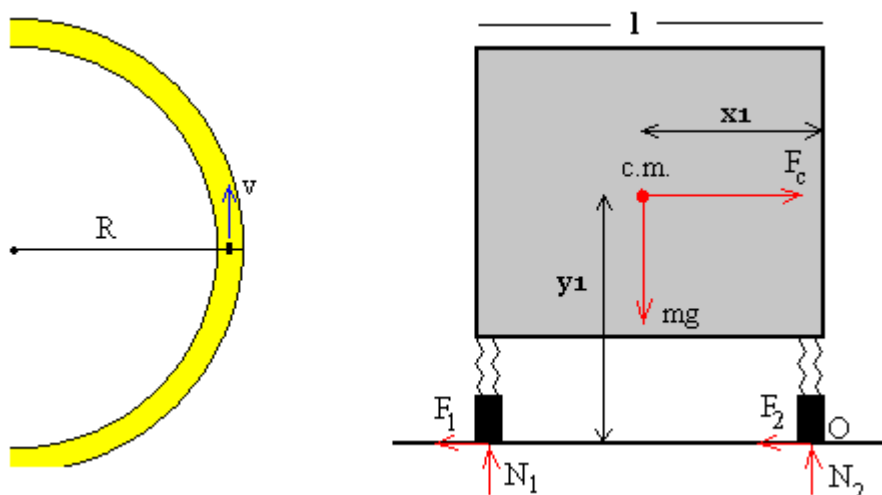
$$F_0 - k_1 \cdot x - k_2 \cdot x = m \cdot v / t + f \cdot v$$

$$\mathbf{F_0 - x \cdot (k_1 + k_2) = m \cdot v / t + f \cdot v}$$

Siendo:	F ₀ :	fuerza que inicia el movimiento del sistema.
	x·(k ₁ +k ₂):	fuerza ballesta más muelle neumático.
	m·v/t:	fuerza inercia.
	f·v:	fuerza amortiguador.

En general, se puede decir que la suma de las fuerzas está equilibrada con la suma de las fuerzas de inercia y las de rozamiento viscoso.

6.- LA ESTABILIDAD DE UNA AUTOCARAVANA CON BALLESTAS Y MUELLES NEUMATICOS



Consideramos una autocaravana que está describiendo una curva de radio R , con velocidad constante v_0 . Debido a la distribución de la carga, el centro de masas o centro de gravedad está situado a una distancia de la carretera (y_1) y a una distancia de la vertical trazado por el punto O (punto de apoyo de la rueda que circula por el exterior de la curva y que recibe la mayor carga) y perpendicular a la carretera.

- μ : coeficiente de rozamiento entre las ruedas de la autocaravana y la carretera.
- N_1 : fuerza de reacción que ejerce la carretera sobre las ruedas que circulan por el interior de la curva.
- N_2 : fuerza de reacción que ejerce la carretera sobre las ruedas que circulan por el exterior de la curva.
- F_1 : fuerza de rozamiento ($F_1 = \mu \cdot N_1$).
- F_2 : fuerza de rozamiento ($F_2 = \mu \cdot N_2$).
- $m \cdot g$: ($m \cdot 9,81$) fuerza que ejerce la masa de la autocaravana aplicada en el centro de gravedad y perpendicular a la carretera.
- l : distancia entre ruedas de un mismo eje.
- F_c : fuerza centrífuga aplicada en centro de gravedad y con dirección hacia el exterior de la curva.

Suponiendo que al haber colocado y ajustado correctamente los muelles neumáticos, la autocaravana permanece estable a lo largo de la curva y sin apenas inclinación de la masa suspendida, tendremos que:

$$N_1 + N_2 = m \cdot g \quad (1)$$

$$F_c = F_1 + F_2 \quad (2)$$

Tomando momentos respecto al punto O (Momento = Fuerza · distancia) y como hemos dicho antes hay un equilibrio de fuerzas.

$$\left. \begin{array}{l} M_1 = -N_1 \cdot l \\ M_2 = m \cdot g \cdot x_1 \\ M_3 = -F_c \cdot y_1 \end{array} \right\} M_1 + M_2 + M_3 = 0 \text{ (condición de equilibrio)}$$

$$-N_1 \cdot l + m \cdot g \cdot x_1 - F_c \cdot y_1 = 0$$

Despejando N_1 :

$$N_1 = \frac{m \cdot g \cdot x_1 - F_c \cdot y_1}{l} \quad (3)$$

Tenemos dos situaciones para analizar:

- 1) **La autocaravana vuelca.** Si la velocidad v de la autocaravana va aumentando, aumenta la fuerza centrífuga ($F_c = m \cdot v^2/R$), hasta que N_1 (las ruedas interiores a la curva se empiezan a despegar de la carretera) se haga cero.

En esta situación, cualquier aumento de la velocidad hace que la autocaravana vuelque.

La condición para que la autocaravana empiece a volcar es que $N_1=0$. Tomando la expresión (3) para que $N_1=0$:

$$\begin{aligned} m \cdot g \cdot x_1 &= F_c \cdot y_1 \\ g \cdot x_1 &= \frac{v^2}{R} \cdot y_1 \end{aligned}$$

$$v = \sqrt{R \cdot g \cdot x_1 / y_1} \quad (4)$$

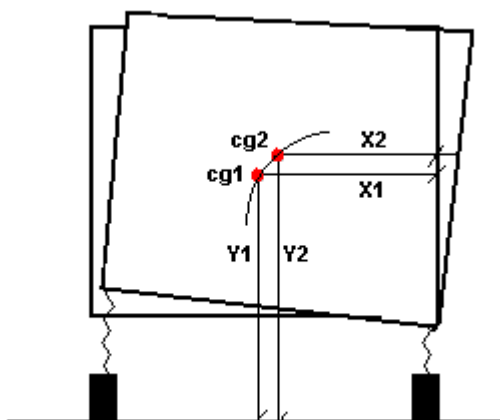
condición para que la autocaravana empiece a volcar

De esta expresión podemos deducir que si x_1 disminuye o y_1 aumenta o si se producen ambas condiciones, la velocidad de vuelco de la autocaravana se hace menor. La expresión también nos indica que a partir de esta velocidad la autocaravana vuelca, si al dar una curva de radio R , yendo a una velocidad v (velocidad crítica de vuelco), y por cualquier causa disminuye la relación entre x_1/y_1 .

Yendo cerca de la velocidad crítica de vuelco, si el centro de gravedad se desplaza hacia el exterior de la curva, bien por desplazamiento de la carga hacia su lado o porque la masa suspendida de la autocaravana se inclina excesivamente hacia el lado en cuestión, la autocaravana vuelca.

Esto ocurriría con más facilidad si no tuviéramos colocados los muelles neumáticos y las barras estabilizadoras, que refuerzan la suspensión e impiden que la autocaravana se incline en exceso.

En el dibujo vemos que al inclinarse la autocaravana el centro de gravedad se desplaza, siendo $x_2 < x_1$ y $y_2 > y_1$, que nos confirma lo dicho anteriormente, es decir, la relación entre x_1/y_1 se hace menor:



2) **La autocaravana se desliza.** Si tomamos las expresiones (1) y (2):

$$\left. \begin{array}{l} N_1 + N_2 = m \cdot g \text{ (1)} \\ F_c = F_1 + F_2 \text{ (2)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{y si } F_1 = \mu \cdot N_1 \text{ y } F_2 = \mu \cdot N_2 \\ \text{sustituyendo en (2) tenemos que:} \end{array}$$

$$F_c = \mu \cdot N_1 + \mu \cdot N_2 \quad \Longrightarrow \quad F_c = \mu \cdot (N_1 + N_2) \quad \Longrightarrow$$

$$F_c = \mu \cdot m \cdot g \text{ y como } F_c = m \cdot v^2/R \text{ entonces}$$

$$v^2/R = \mu \cdot g \quad \Longrightarrow$$

$$(5) \quad v = \sqrt{R \cdot g \cdot \mu}$$

La expresión nos indica que a partir de esta velocidad la autocaravana se desliza y se sale de la curva. Esto ocurriría al dar una curva de radio R, yendo a una velocidad v (velocidad crítica de deslizamiento), y si por cualquier causa disminuye el coeficiente de rozamiento μ . De ahí la importancia de tener un buen sistema de suspensión (ballestas + muelles neumáticos + barra estabilizadora + amortiguadores) y los neumáticos en buen estado.

La duda que se nos plantea al colocar los muelles neumáticos, es que tendríamos que colocar otros amortiguadores de mayor eficacia o de una eficacia acorde a la suspensión resultante del conjunto ballesta más muelle neumático.

7.- EJEMPLOS PRACTICOS

Ejemplo 1

Autocaravana perfilada con una anchura entre ruedas del mismo eje de 2 m, una altura total de 2,650 m, altura del centro de gravedad 1,2 m, distancia del centro de gravedad a la rueda que circula por el exterior de la curva 0,85 m, coeficiente de rozamiento de 0,7 y toma una rotonda de 30 m de radio.

Calcularemos a qué velocidad vuelca y a qué velocidad se empieza a deslizar.

$$v = \sqrt{R \cdot g \cdot x_1/y_1} = \sqrt{30 \cdot 9,81 \cdot 0,85/1,2} = 14,43 \text{ m/s}$$

luego empieza a volcar a una velocidad de **v = 51,97 km/h.**

$$v = \sqrt{R \cdot g \cdot \mu} = \sqrt{30 \cdot 9,81 \cdot 0,7} = 13,83 \text{ m/s}$$

luego el vehículo empieza a deslizarse a una velocidad de **v = 49,78 km/h.**

Ejemplo 2

Imaginemos qué hubiese ocurrido si la autocaravana hubiese sido una Capuchina con el centro de gravedad más alto. Anchura entre ruedas del mismo eje de 2 m, una altura total de 3,2 m, altura del centro de gravedad 1,6 m, distancia del centro de gravedad a la rueda que circula por el exterior de la curva 0,85 m, coeficiente de rozamiento de 0,7 y toma una rotonda de 30 m de radio.

Calcularemos a qué velocidad vuelca y a qué velocidad se empieza a deslizar.

$$v = \sqrt{R \cdot g \cdot x_1/y_1} = \sqrt{30 \cdot 9,81 \cdot 0,85/1,6} = 12,50 \text{ m/s}$$

luego empieza a volcar a una velocidad de **v = 45 km/h.**

$$v = \sqrt{R \cdot g \cdot \mu} = \sqrt{30 \cdot 9,81 \cdot 0,7} = 13,83 \text{ m/s}$$

luego el vehículo empieza a deslizarse a una velocidad de **v = 49,78 km/h.**

Como podemos apreciar con los ejemplos anteriores, la capuchina al tener un centro de gravedad más alto, vuelca a menor velocidad, teniendo las demás condiciones iguales. Sin embargo, la velocidad de deslizamiento es la misma.

Hay que recalcar que no hemos hablado de los vientos laterales, de las depresiones creadas al pasar un camión o al ser pasado por éste. Todos los que somos usuarios de autocaravanas hemos sentido muchas veces los efectos que esto produce en la conducción de la misma.

Por todo lo argumentado anteriormente, se intuye que hay una mejora manifiesta en la estabilidad, conducción, etc... al colocar unos muelles neumáticos que refuercen la suspensión que viene de serie.

En las autocaravanas capuchinas es conveniente colocar los muelles neumáticos tanto en el eje trasero como en el delantero. No olvidemos que una autocaravana es un vehículo que circula permanentemente con la carga máxima para la cual ha sido fabricada. Lo que no se entiende es cómo los fabricantes sabiendo esto, no mejoran los sistemas de suspensión en todos los vehículos que salen de serie y que se destinan a este uso.

8.- MONTAJE DE LOS MUELLES NEUMATICOS

Una vez de haber estudiado la necesidad de colocar los muelles neumáticos y el tipo de muelles, nos hemos decidido por montar un kit de suspensión auxiliar neumático.

La autocaravana está montada sobre un chasis Renault Master. Se ha instalado el kit básico más el kit compresor con control de doble nivel de inflado.

El kit básico consta de: dos muelles neumáticos más los soportes específicos para cada chasis y tornillería a instalar junto a las ballestas.

El kit compresor con control de doble nivel de inflado consta de un elemento compuesto por:

- Un manómetro de doble aguja y dos válvulas neumáticas de tres vías tres posiciones, centros cerrados y dos interruptores integrados en éstas, todo de accionamiento manual.

- Tubos de nailon de unos 6 mm. de diámetro para la conducción del aire a presión generado por el compresor.
- Un compresor, que junto al elemento anteriormente descrito, genera y distribuye el aire a los muelles, visualizando y ajustando independientemente las presiones de cada muelle neumático.

Junto con el kit anteriormente descrito, viene la información de montaje e instrucciones de instalación que están perfectamente detalladas y constan de 6 pasos más reglajes finales y mantenimiento. También adjuntan un certificado de homologación y un certificado de instalación a rellenar por el taller instalador para posteriormente poder pasar la inspección ITV.

Nosotros no hemos seguido el orden de montaje indicado en las instrucciones recibidas.

- 1) Se buscará dentro de la cabina un sitio adecuado para instalar las válvulas de inflado y el manómetro. En nuestro caso se ha instalado junto a la radio.



Vista del manómetro y válvulas de inflado en cabina

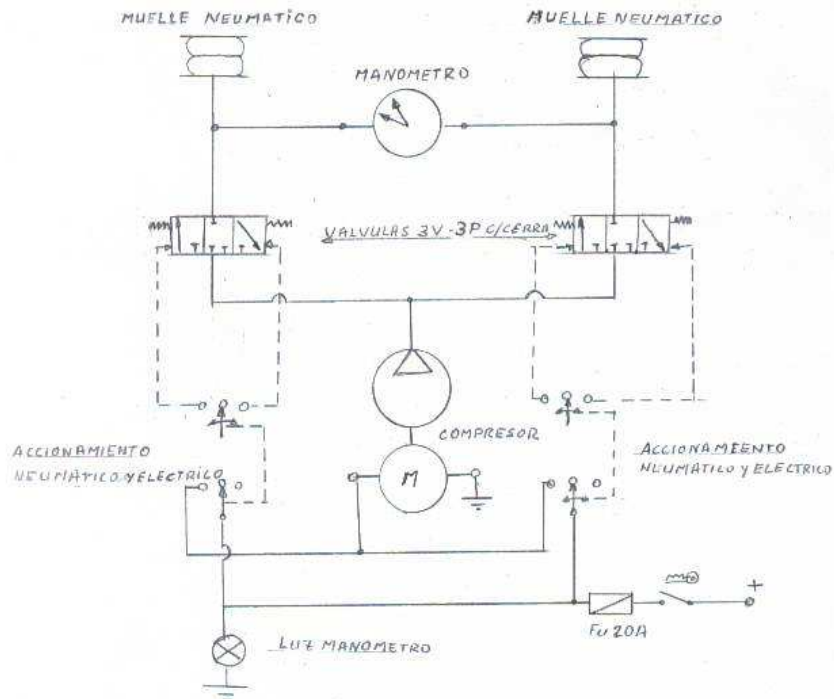
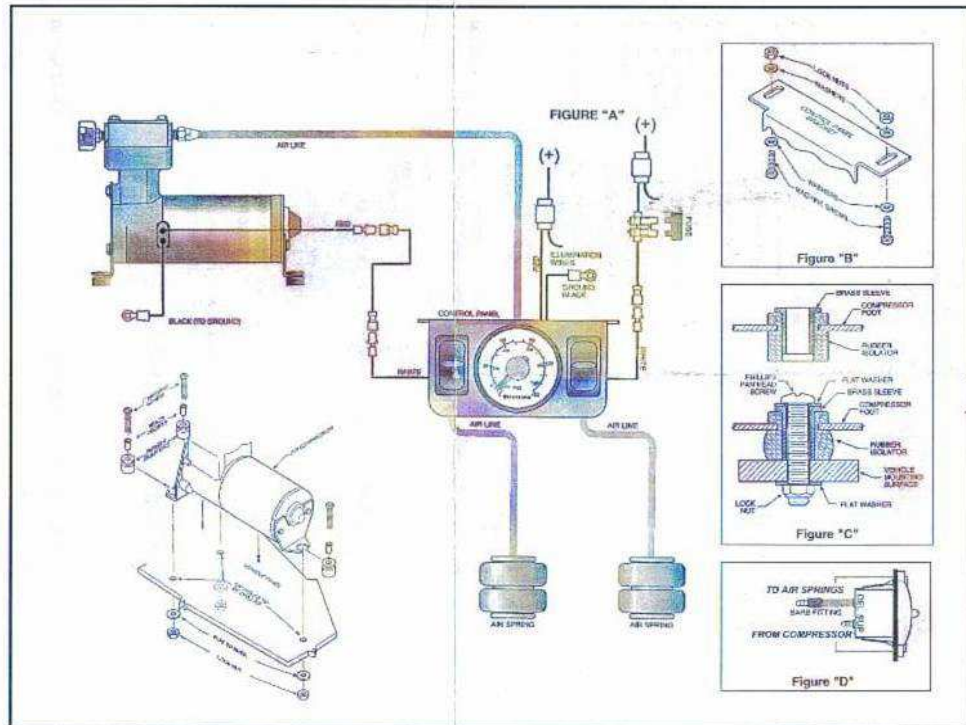
- 2) Se instalará el compresor en nuestro caso en el recinto motor.



Vista del compresor instalado en el recinto motor

- 3) Se conectará la parte eléctrica como indica el esquema de montaje. En nuestro caso la conexión de los dos positivos se ha efectuado a un positivo de la caja de fusibles que se activa con la llave de contacto. De esta manera, cuando giremos la llave, tendremos la posibilidad de inflar los muelles y se iluminará el manómetro.

KIT COMPRESOR - COMANDO DOBLE



- 4) Se conectarán todos los tubos neumáticos desde el compresor a las válvulas de inflado y las conexiones de las válvulas de inflado a los muelles neumáticos. En este momento del montaje, sólo se conectará en la parte de las válvulas, dejando todos los tubos preparados en el compartimento motor.



Vista conexiones eléctricas y neumáticas en las válvulas de inflado



Vista conexiones eléctricas y neumáticas en las válvulas de inflado



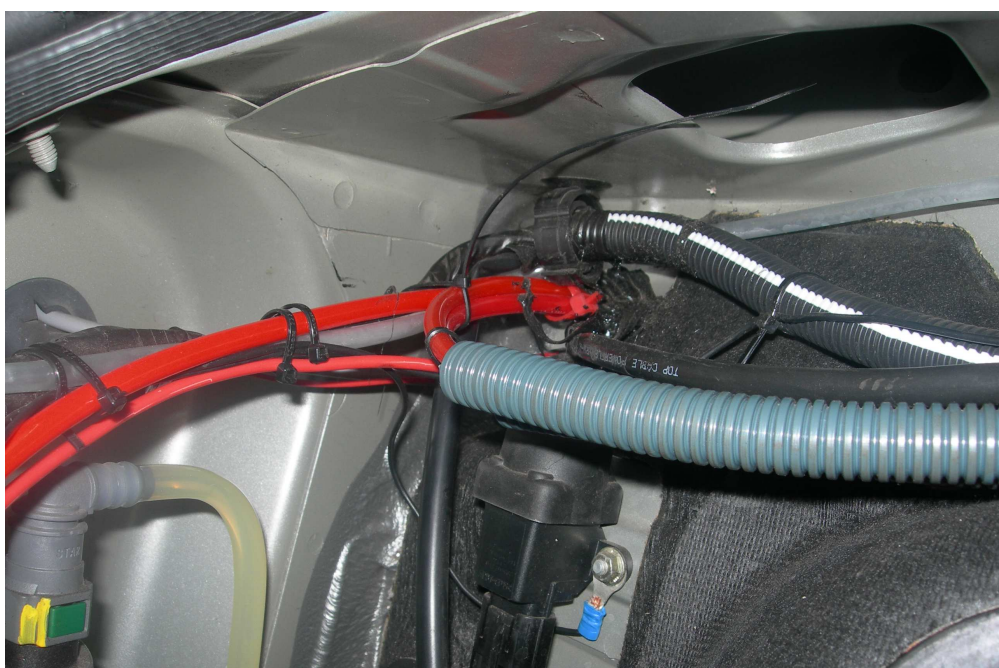
Vista conexiones eléctricas y neumáticas en las válvulas de inflado



Paso de los tubos neumáticos por detrás de la guantera

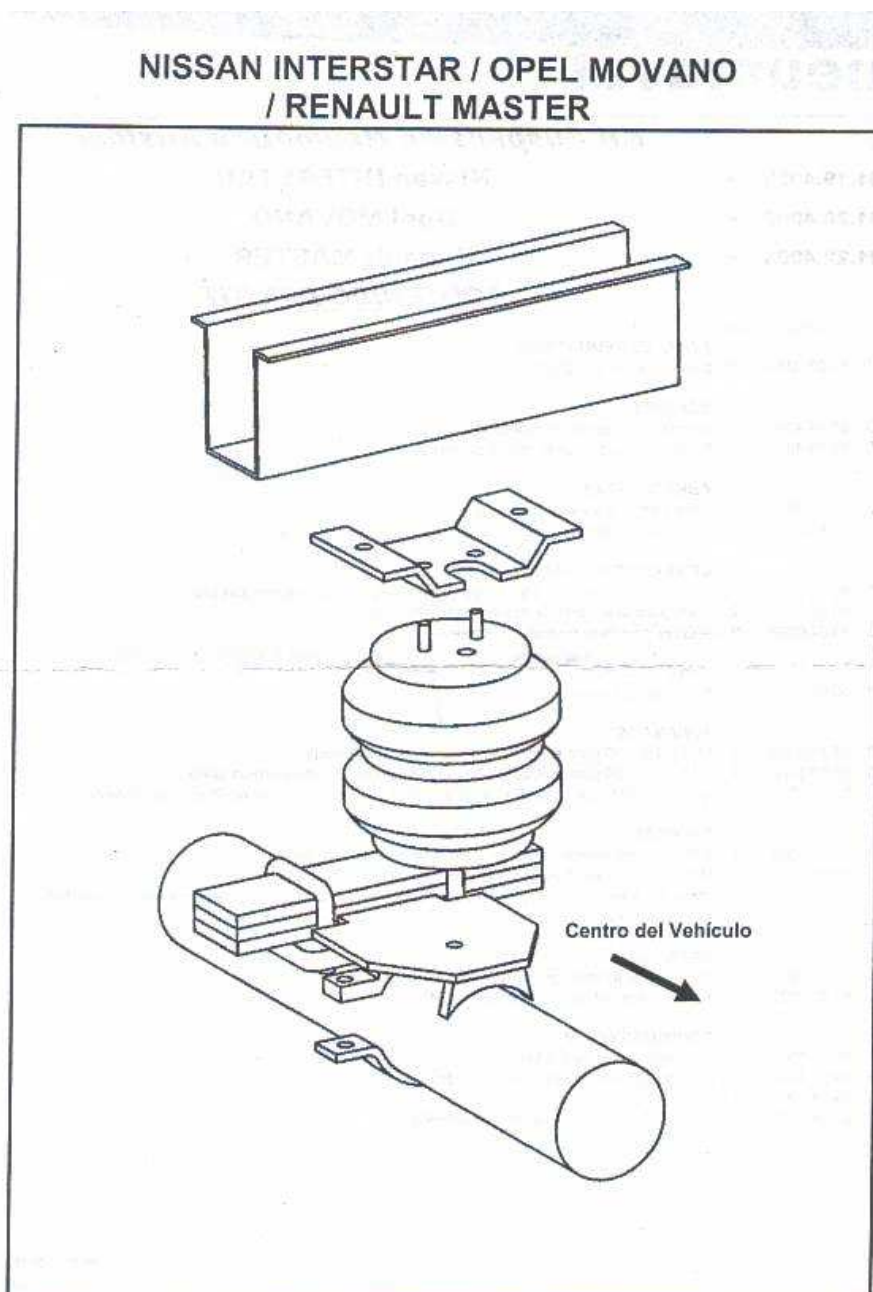


Paso de los tubos neumáticos y los cables eléctricos de marcha del compresor desde la cabina al compartimento motor



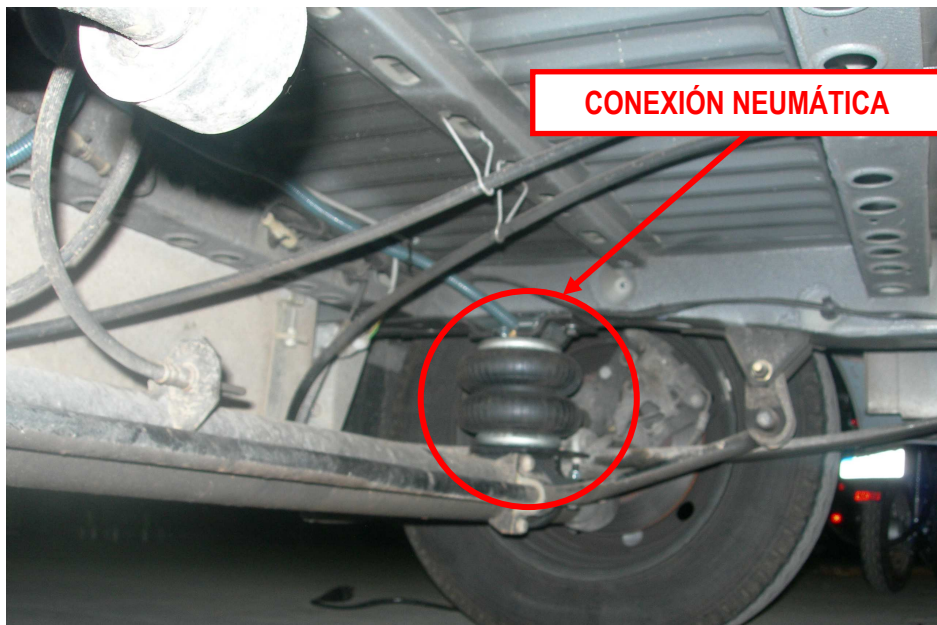
Tubos neumáticos y eléctricos en el compartimento motor pasados desde la cabina

- 5) Se montarán los soportes mecánicos en los muelles y los codos de conexión para los tubos.



- 6) Se colocará la autocaravana en el foso o se elevará con un elevador adecuado para poder elevar 4000 Kg. como mínimo.

- 7) Se quitarán los topes de goma que están colocados en el chasis, encima del eje trasero y en su lugar se atornillarán los muelles neumáticos al chasis y el otro extremo al eje mediante la tornillería recibida para tal efecto. Toda esta operación se efectuará teniendo cuidado de colocar los codos de conexión neumática hacia el centro del eje.



Vista del muelle neumático montado junto a la ballesta y a la barra estabilizadora



Vista del muelle neumático montado junto a la ballesta y al amortiguador

- 8) Se pasarán los tubos neumáticos, que previamente hemos dejado en el compartimento motor, hacia los muelles neumáticos, conectándolos y sujetándolos en el fondo de la autocaravana mediante bridas.



Vista de la sujeción de los tubos neumáticos protegidos por un tubo eléctrico y sujetos por medio de bridas

- 9) Se efectuarán las pruebas de inflado de los muelles neumáticos a una presión próxima a 7 kg/cm^2 . En nuestro caso hemos dejado 24 horas a esta presión y no hemos observado ninguna fuga.
- 10) **Ajuste final.** Las presiones de trabajo de los muelles es recomendable tenerlas entre $2,5 \text{ kg/cm}^2$ y $3,5 \text{ kg/cm}^2$. En nuestro caso funciona muy bien alrededor de 3 kg/cm^2 .

Nota: los muelles no deben llevar nunca una presión menor de $0,5 \text{ kg/cm}^2$ (peligro de rotura de la goma por cizalladura), ni mayor de 7 kg/cm^2 , valor máximo que el fabricante da. Se puede dar el caso de que inflemos demasiado los muelles neumáticos, anulando así la suspensión de serie.

9.- PRUEBAS EN CARRETERA

Después de haber recorrido 2500 km. hemos observado una mejoría notable de la estabilidad en curvas y al poder ajustar la altura en carga (moto en garaje, etc...) hemos evitado que la autocaravana roce al pasar muchos de los obstáculos en los que esto ocurría anteriormente.

Lo que es importante que veamos, es que las agujas del manómetro se muevan con soltura. Si esto no ocurre, es porque hemos ajustado con demasiada presión los muelles.

El ruido interior de la cacharrería no ha aumentado apreciablemente.

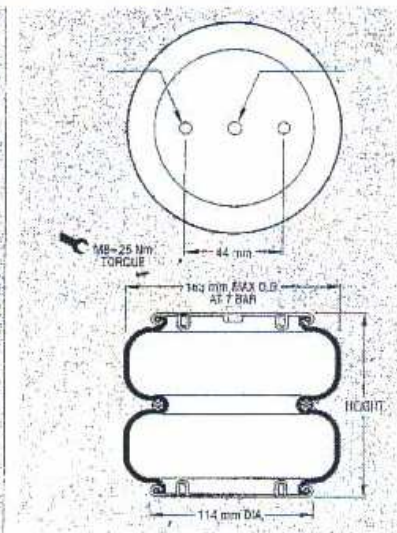
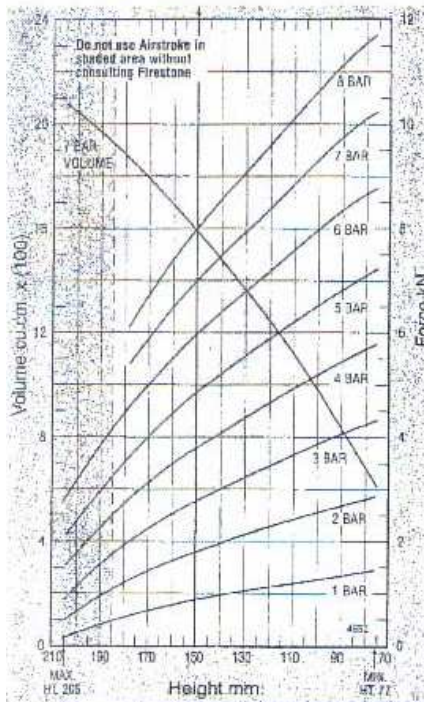
Una de las ventajas cuando estamos estacionados y no podemos acampar (no sacar las patas), es que podemos aumentar la presión de los muelles a unos 6 kg/cm², evitando que la autocaravana tenga un excesivo balanceo.

Por todo esto podemos decir que los objetivos buscados inicialmente al instalar la suspensión neumática, han sido alcanzados satisfactoriamente.

Partiendo del ajuste realizado, aproximadamente 3 kg/cm² (3 bar), las suspensiones han adquirido una altura de 140 mm. Si miramos en la gráfica o tabla adjunta podremos comprobar que corresponde a una fuerza de 3,01 kN o lo que es lo mismo de aproximadamente 306 kg. Esto nos indica que, gracias a los muelles neumáticos, estamos liberando a las ballestas de soportar un peso de 306 kg en cada rueda del eje trasero. De este modo, podemos intuir que la vida de las ballestas va a ser mayor y no van a perder apenas flecha debido a la fatiga.



ESPECIFICACIONES DEL MUELLE 255-1,5 C



DIAMETRO EN VACIO : 14,73 cm
 ALTURA EN VACIO : 15,24 cm
 Ø MAX. (Muelle Chafado): 16,30 cm
 ALT.MIN.(Muelle Chafado): 10,50 cm

TABLA DE CARGAS

Altura del montaje (mm)	Volumen a 7 BAR (cm3)	EFF Area a 7 BAR (cm2)	kN Fuerza				
			a 3 BAR	a 4 BAR	a 5 BAR	a 6 BAR	a 7 BAR
180	1.896	74	1,91	2,71	3,49	4,40	5,19
160	1.708	92	2,51	3,46	4,41	5,47	6,43
140	1.491	106	3,01	4,09	5,18	6,37	7,43
120	1.255	119	3,44	4,64	5,85	7,15	8,33
100	992	132	3,84	5,16	6,49	7,92	9,23
80	703	144	4,22	5,65	7,08	8,62	10,06