

# **SISTEMAS DE FRENOS EN LOS VEHÍCULOS INDUSTRIALES SEGURIDAD ACTIVA**

**IES – SEP Castellarnau (Sabadell)**

**Christian García Góngora**

**Sergio Sánchez Andrés**

**Tutor : Julián Rodríguez**

## **INDICE:**

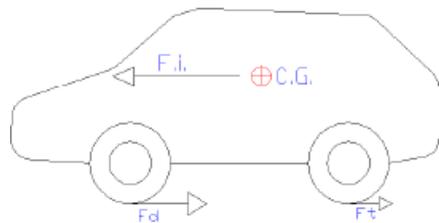
• Introducción.....	pág. 2
• Fuerza de frenado.....	pág. 2
• Resistencia a la rodadura.....	pág. 5
• Acciones aerodinámicas.....	pág. 6
• Resistencia del motor y la transmisión.....	pág. 6
• Condiciones impuestas por la adherencia.....	pág. 7
• Reparto optimo de las fuerzas de frenado.....	pág. 10
• Sistema ABS.....	pág. 12
• Sistema BAS.....	pág. 13
• Sistema EBV.....	pág. 14
• Sistema ASR.....	pág. 15
• Sistema ESP.....	pág. 16
1. sobrevirado.....	pág. 18
2. subvirado.....	pág. 19
• Conclusión.....	pág. 21
• Bibliografía.....	pág. 22

Uno de los sistemas fundamentales de todo vehículo automóvil es el que le confiere la capacidad a reducir su velocidad incluso llegando a detenerlo si así lo decide el conductor. Dicho sistema es el sistema de freno.

El principio de funcionamiento de un sistema de frenado es la reducción de la energía cinética y/o potencial para transformarla en energía calorífica. Con esta transformación de energía se consigue la reducción de la velocidad del vehículo.

### ***FUERZA DE FRENADO.***

Las principales fuerzas en juego en el proceso de frenado del vehículo son las que se representan en el esquema siguiente:



Esquema de las fuerzas en juego en el proceso de frenado

Como se puede observar en el diagrama, la inercia del vehículo al frenar genera una fuerza ( $F_i$ ) que actúa sobre el centro de gravedad del vehículo y que normalmente, al estar este punto situado a mayor altura que el eje de las ruedas, genera un par de cabeceo en el vehículo que modifica el reparto de cargas sobre los ejes. Aunque dicho reparto de cargas dinámicas durante la frenada depende de otros factores tales como el reparto de cargas estáticas, alturas del centro de

gravedad y otros, se puede estimar que en un vehículo tipo dicho reparto de masas en una situación dinámica es el 75 % sobre el delantero y un 25 % sobre el eje trasero.

Esta situación supone que tanto el dimensionamiento de los frenos delanteros y trasero así, como las características del material de fricción de las pastillas o zapatas, han de tener distintas dimensiones y/o coeficientes para evitar el bloqueo de las ruedas traseras.

De producirse el bloqueo del eje trasero, la estabilidad direccional del vehículo quedaría enormemente comprometida y en dicha situación el coche tendería a girar sobre su eje, como se verá más adelante con mayor detalle.

Las principales fuerzas retardadoras del vehículo en el proceso de frenado son las que se desarrollan en la superficie de las ruedas como consecuencia de su contacto con la calzada, al serles aplicados pares que se oponen a su movimiento, es decir, las fuerzas de frenado.

La fuerza de frenado máxima así como la fuerza de tracción máxima tienen dos límites. En ambos casos el impuesto por el "neumático - suelo". En lo relativo a las fuerzas de frenado, existe el otro límite impuesto es el que tiene el sistema de freno y en lo referente a las fuerzas de tracción máxima el que impone la potencia del motor. El límite crítico es el impuesto por la adherencia existente entre el neumático y el suelo. Cuando se rebasa este límite, en el caso del sistema de freno, se produce el bloqueo de las ruedas que deslizan sobre el pavimento, produciéndose efectos nefastos que más adelante comentaremos.

## ***RESISTENCIA A LA RODADURA***

La resistencia a la rodadura así como la resistencia aerodinámica del vehículo intervienen como fuerzas retardadoras en el proceso de frenado. Aunque su influencia es pequeña frente a la fuerza de frenado, pero aún así ayudan durante el proceso de deceleración. La resistencia a la rodadura, fundamentalmente está compuesta por la fricción neumático – suelo y pérdidas mecánicas en el sistema de transmisiones. Su valor es generalmente pequeño en comparación con las otras fuerzas en juego. El valor de la resistencia a la rodadura crece casi proporcionalmente a la velocidad.

## ***ACCIONES AERODINÁMICAS***

Las fuerzas aerodinámicas al avance solo tienen interés como fuerzas retardadoras a altas velocidades. A velocidades moderadas o bajas pueden despreciarse frente al valor de la fuerza de frenado.

Las fuerzas aerodinámicas son importantes a altas velocidades ya que su valor aumenta con el cuadrado de la velocidad que el vehículo lleve. Es decir que cuando doblamos la velocidad de un vehículo, por ejemplo de 80 km/h a 160 km/h la resistencia aerodinámica al avance, por ejemplo 40 Kg. se multiplica por cuatro siendo necesario un empuje de 160 Kg.

## ***RESISTENCIA DEL MOTOR Y TRANSMISIÓN.***

La resistencia que ofrece el motor constituye, en muchos casos, un factor importante en el proceso de frenado. La potencia, como el par resistente, que ofrece el motor en procesos de frenado en los que permanece conectado a las ruedas a través de la transmisión, es importante cuando gira a un gran número de revoluciones y disminuye con la velocidad, hasta hacerse pequeño en el último intervalo de un proceso de frenado.

En bajadas prolongadas, especialmente si se trata de vehículos pesados, la retención efectuada por el motor es de suma importancia para preservar los elementos de fricción de los frenos del calentamiento y consiguientes desgastes elevados.

Si la deceleración con la que deseamos frenar es lo suficientemente fuerte, y el motor se encuentra embragado, las exigencias requeridas por el sistema de freno son mucho mayores que si desembragásemos el motor para realizar la frenada.

Evidentemente, este efecto de frenado es mayor en los motores diesel con relaciones de compresión del orden de 20:1 que en motores de gasolina en los cuales está establecido en valores de compresión de 9:1.

### ***CONDICIONES IMPUESTAS POR LA ADHERENCIA***

El bloqueo de las ruedas de un eje produce efectos negativos, ya que en una situación de bloqueo, el coeficiente de fricción entre el neumático y la calzada adquiere un valor inferior al de máxima adherencia ( $\mu = 0,75$ ), lo cual produce el deslizamiento del neumático sobre la calzada. En consecuencia, cuando las ruedas se bloquean, disminuye el valor de la fuerza de frenado respecto a la máxima fuerza potencial que puede obtenerse en condiciones de rodadura previas al bloqueo de las ruedas, ya que el coeficiente de fricción rueda / suelo cae a valores muy bajos del orden de  $\mu = 0,2$  o inferior en pavimentos mojados.

El efecto anterior, con ser de gran interés, no es el más importante. El bloqueo de las ruedas supone la superación de la adherencia neumático – suelo en la dirección longitudinal, razón por la cual, la interacción entre ambos elementos será incapaz de ofrecer una resistencia que equilibre una posible fuerza lateral, por muy pequeña que sea. Como, por otra parte, resulta en la práctica imposible que se produzca una situación exenta de todo esfuerzo lateral el vehículo podrá experimentar un desplazamiento lateral (viento, reparto de carga,

etc.), cuyo efecto es diferente según sea el eje cuyas ruedas se bloquean.

Si el eje que se bloquea es el trasero la adherencia de las ruedas de dicho eje con el suelo disminuye fuertemente como se ha visto antes, por lo que cualquier inestabilidad puede provocar el giro del vehículo sobre su eje haciendo perder totalmente la estabilidad direccional. Es decir, si en una situación de conducción normal nosotros tiramos con violencia del freno de mano, hasta llegar a bloquear los neumáticos, el vehículo tenderá a derrapar de la parte trasera hasta situarse a contra dirección.

Si las ruedas que se bloquean son las del eje delantero, las fuerzas de inercia aplicadas al centro de gravedad y las de rozamiento o adherencia en las ruedas, proporcionan un momento de guiñada que disminuye con el valor de la perturbación lateral. Esto provoca que el sistema sea estable, es decir, las fuerzas tienden a hacer que el vehículo recupere su posición longitudinal. En esta situación se origina una cierta pérdida de control direccional, menos grave, en términos generales, que la inestabilidad provocada por el bloqueo del eje trasero y el vehículo, tiende en principio a seguir una trayectoria recta sin obedecer a la dirección del mismo.

De lo anterior se deducen en algunas conclusiones importantes:

1. El bloqueo de las ruedas del eje trasero de un vehículo de dos ejes produce una gran inestabilidad direccional de carácter irreversible.
2. El bloqueo de las ruedas del eje delantero de un vehículo de dos ejes puede producir pérdida de control direccional.
3. De todos lo anterior podemos concluir que tanto en el diseño del sistema de frenos, como en la conducción, debe de actuarse de tal forma que se eviten tanto

el bloqueo de las ruedas delanteras como traseras. En frenadas bruscas, especialmente en condiciones de baja adherencia, puede llegarse al bloqueo y será probable que las ruedas de ambos ejes no alcancen al mismo tiempo el bloqueo. En este caso, resulta menos desfavorable que el bloqueo se produzca antes en las ruedas delanteras. Por esto se añaden al sistema elementos que limiten la frenada en el eje trasero para que no se produzca su bloqueo antes que en el eje delantero.

4. El bloqueo hace disminuir el coeficiente normal de adherencia ( $\mu = 0,7$ ), pasando al valor de rozamiento en deslizamiento ( $\mu = 0,2$ ), lo cual, en el mejor de los casos, si no se produjese alteración grave de la trayectoria, haría aumentar la distancia de frenado respecto a la condición óptima, es decir si se aprovechase al máximo la adherencia.

De esto modo se puede comprender que es fundamental un buen aprovechamiento de la adherencia disponible en cada eje ya que constituye un problema crítico en el frenado. Tal aprovechamiento será máximo si el esfuerzo transmitido por el sistema de freno a cada rueda es proporcional a la carga dinámica que soporta. Para optimizar la frenada y evitar el bloqueo de las ruedas se estudia el *reparto óptimo de las fuerzas de frenado*.

Adicionalmente, algunos fabricantes especifican el material de fricción del freno del eje trasero con un coeficiente de fricción ( $\mu$ ) inferior al del eje delantero.

Otros, aceptan materiales de fricción de un mismo coeficiente, pero nunca que el freno trasero tenga un coeficiente de fricción superior al eje delantero en cualquier situación de presión en el circuito, velocidad o temperatura.

## ***REPARTO ÓPTIMO DE LAS FUERZAS DE FRENADO.***

Cuando el vehículo se encuentra estático, la masa del vehículo se reparte entre el eje delantero y el eje trasero, con valores que el diseño del vehículo ha provisto. Casi todos los vehículos comerciales de nuestros días, son ligeramente más pesados en la zona delantera que en la trasera. Ya que, no solo, el motor está ubicado en la parte delantera, sino que además al traccionar en ese mismo eje, caja de cambio, diferencial, las transmisiones, etc. se encuentran en el eje delantero.

El menor peso en el eje trasero implica que el diseño del reparto de fuerzas sea fundamental para no alcanzar el bloqueo de las ruedas traseras. Además como ya se ha comentado anteriormente, cuando nosotros frenamos aparece un momento de cabeceo alrededor del centro de gravedad, que genera una transferencia de carga del eje trasero al eje delantero. Esto significa, que no solo el eje trasero es menos pesado que el delantero, sino que además por dinámica vehicular en el eje trasero y siempre que se accione el freno, se va a descargar transfiriendo parte de esa carga al eje delantero.

El valor de la transferencia de carga que se produce al frenar del eje trasero al delantero, depende de la altura del centro de gravedad del vehículo y de la batalla del vehículo, es decir, de su distancia entre ejes.

Debido a todas estas variables, la fuerza frenante que se aplicará al eje delantero no es igual a la del eje trasero. Lo mismo debe decirse para las fuerzas que se aplican durante la aceleración. Si hiciésemos los cálculos para saber que

porcentaje de la frenada debe de producirse en el eje delantero y cual en el eje trasero, considerando un coeficiente de fricción neumático – suelo de valor  $\mu=0,8$ .

El reparto sería de un 0,75 % de la frenada en las ruedas delanteras; y 0,25 % en las ruedas traseras (Punto O)

Para un valor de adherencia entre el neumático y el suelo de valor  $\mu =0,80$ .

El punto O, de intersección de ambas curvas, corresponde al frenado óptimo y, por tanto, a un reparto de esfuerzos de frenado como se ha descrito anteriormente. Si en el vehículo se estableciese un reparto de frenada con un 86% de frenada en el eje delantero y un 14% en el eje trasero (Punto B), se alcanzaría antes el bloqueo en las ruedas delanteras, consiguiéndose una deceleración máxima 0,62, muy por debajo del valor óptimo. Si por el contrario, el coeficiente de reparto de frenada se establece en un 40% en las ruedas delanteras y un 60% en las traseras,(punto A).

Bloquearían antes las ruedas traseras y el límite de la deceleración quedaría establecido, también en un valor de 0,62 muy por debajo del valor óptimo y además con los perjuicios que provoca el bloqueo del eje trasero, visto anteriormente. Como vemos la mejor solución es la representada en el punto O con un reparto de frenada de un 75% en el eje delantero y un 25% en el trasero.

Para que estos valores de reparto de frenada se mantengan dentro de la máxima adherencia consiguiendo así la mayor deceleración, los vehículos van equipados con reguladores de presión que consiguen la variación de la presión del circuito trasero para evitar el bloqueo de los neumáticos y las consecuencias negativas que ya se han comentado.

## **SISTEMA ABS**

El ABS (del alemán *Antiblockiersystem*, sistema de antibloqueo) es un mecanismo utilizado en los aviones y en los vehículos automóviles, que evita que los neumáticos pierdan el contacto con la pista de aterrizaje o la calzada

durante un proceso de frenado brusco.



El sistema fue desarrollado inicialmente para los aviones, los cuales acostumbran a tener que frenar fuertemente una vez han tomado tierra. Más adelante, Mercedes-Benz desarrolló este sistema por primera vez para automóviles. Con el tiempo el ABS se ha ido generalizando, de forma que en la actualidad la absoluta mayoría de los automóviles y camiones de fabricación reciente dispone de él. Algunas motos de alta cilindrada también llevan este sistema de frenado.

El ABS funciona en conjunto con el sistema de frenado tradicional. Consiste en una bomba que se incorpora a los circuitos del líquido de freno y en unos detectores que controlan las revoluciones de las ruedas. Si en una frenada brusca una o varias ruedas reducen repentinamente sus revoluciones, el ABS lo detecta e interpreta que las ruedas están a punto de quedar bloqueadas sin que el vehículo se haya detenido. Esto quiere decir que el vehículo comenzará a patinar, y por lo tanto, a deslizarse sobre el suelo sin control. Para que esto no ocurra, los sensores envían una señal a la bomba, que afloja la presión realizada sobre los

frenos, sin que intervenga en ello el conductor. Cuando la situación se ha normalizado y las ruedas giran de nuevo correctamente, el sistema permite que la presión sobre los frenos vuelva a actuar con toda la intensidad. El ABS controla nuevamente el giro de las ruedas y actúa otra vez si éstas están a punto de bloquearse por la fuerza del freno. En el caso de que este sistema intervenga, el procedimiento se repite de forma muy rápida, unas 50 a 100 veces por minuto, lo que se traduce en que el conductor percibe una vibración en el pedal del freno.

Permite que el conductor siga teniendo el control sobre la trayectoria del vehículo, con la consiguiente posibilidad de poder esquivar el obstáculo causante de la situación de riesgo.

### ***SISTEMA BAS***

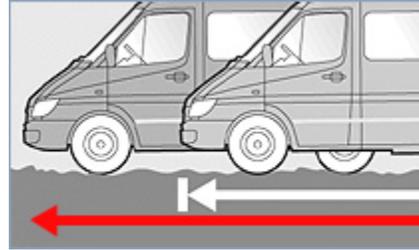
Mercedes-Benz comprobó que ante una frenada de emergencia, la reacción del conductor es frenar menos de lo que el coche le permite e ir aumentando la presión sobre el freno según se acerca el impacto. Como resultado, se alarga la distancia de frenada.

Para evitar este aumento, se ideó un sistema que interpreta cuándo se produce una frenada de emergencia, y en tal caso, frena con la máxima potencia aunque el conductor no lo esté haciendo.

Para interpretar cuándo se produce un frenada de emergencia, el BAS mide la velocidad con la que se pisa el freno, además de la presión con la que este movimiento se hace, mediante un sensor de presión. El ABS se convierte en un

equipo de serie obligatorio en todos los coches fabricados en la Unión Europea a partir de junio de 2004, gracias a un acuerdo voluntario de los fabricantes de automóviles.

Siempre funciona combinado con el ABS.



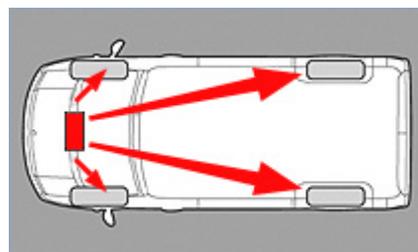
### **SISTEMA EBV**

El EBV es un sistema electrónico de reparto de frenada entre los ejes para aprovechar la frenada de cada eje al máximo.

El sistema calcula si el reparto es adecuado a partir de los mismos sensores que el ABS, mejorando la frenada más que el ABS en solitario ya que éste último frena y deja de frenar de modo alternativo si una de las ruedas frena demasiado y se

bloquea, y el reparto electrónico reparte entre los ejes ayudando a que uno no se sobrecargue (esté continuamente bloqueando y desbloqueando) y el otro esté infrutilizado.

Siempre funciona combinado con el ABS

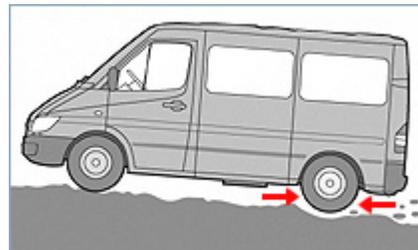


## **SISTEMA ASR**

Este sistema se utiliza para mejorar la aceleración. El sistema no se activa si una rueda tiende a bloquearse, sino al contrario, si una rueda propulsada gira en vacío cuando se está acelerando.

Este sistema frena la rueda motriz que este derrapando, con lo que se transfiere más par motor a la otra rueda que no está derrapando y por lo tanto puede dar más aceleración al vehículo. Este control de frenado de la rueda que desliza se efectúa hasta que esta deja de patinar, o en caso de que la otra rueda comience a derrapar también, en ese caso la función ASR manda una información a la unidad de motor para que se baje el par motor.

La fase de frenado de la rueda que desliza se efectúa a velocidades bajas (hasta los 40 Km/h aprox.) a partir de aquí solamente se interviene cortándole par al motor.



## **SISTEMA ESP**

Con el sistema activo de seguridad de marcha ELECTRONIC STABILITY PROGRAM ESP MERCEDES-BENZ contribuye desde 1994 con una nueva importante aportación a la mejora de la seguridad automovilística. Este sistema complementa la técnica de los sistemas antibloqueo de frenos y tracción antideslizante gracias a una serie de sensores que se requieren para calcular el movimiento de derrapaje del coche.

Desde el punto de vista de la física, un derrapaje es el giro del automóvil entorno a su eje vertical. Cuanto mas rápido sea este giro, mayor será le movimiento de derrapaje y el riesgo de accidente. Para registrar esta velocidad de giro, se desarrollo un sensor especial que transmite directamente su información a la unidad de control electrónica. Aquí se evalúan estos datos junto con las informaciones de sensores sobre el ángulo de viraje, los números de revoluciones de las ruedas, la precisión de frenado y la aceleración transversal de coche, a partir de esto se calcula los valores teóricos de velocidad giratoria. Mediante la comparación entre valores reales y teóricos la unidad reconoce si el vehículo se encuentra en situación critica. La unidad recibe vía CAN información del motor y el cambio automático de modo que recibe los datos actualizados del par motor, la posición del pedal de aceleración y la desmultiplicación del cambio. La unidad ESP comprar continuamente el comportamiento real con los valores teóricos calculados. Si el automóvil diverge de la línea ideal de seguridad, el sistema intervendrá instantáneamente según un sistema de lógica especialmente

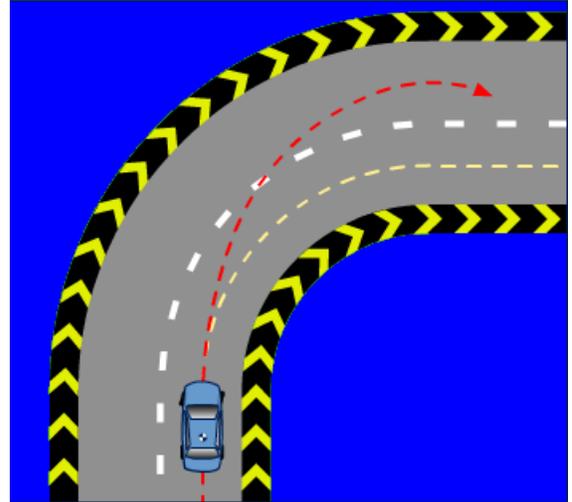
desarrollado, llevando el automóvil a su correcta ruta, lo cual se efectúa de dos modos:

Dosificando exactamente la intervención de los frenos en una o varias ruedas y/o reduciendo el par motor. Al hacerlo, el ESP corrige tanto falta de conducción como también movimientos de derrapaje originados por calzadas heladas, mojadas o cubiertas de gravilla suelta, o bien a causa de otros estados desfavorables de la calzada en donde el conductor normalmente apenas tiene la oportunidad de mantenerse en ruta maniobrando y frenando. Por esta razón, el ESP está listo para funcionar en todo momento:

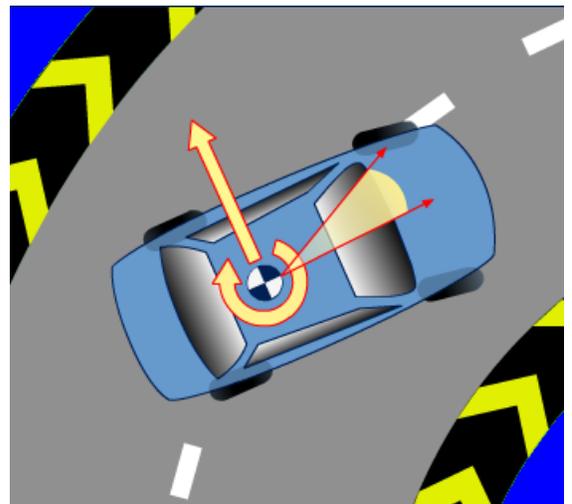
Al frenar, al acelerar, al marchar uniformemente, si por ejemplo, al recorrer el vehículo una curva a gran velocidad, su eje trasero tiende demasiado hacia fuera, la unidad ESP reducirá primeramente el momento de impulsión, con el consiguiente aumento de las fuerzas de conducción lateral de las ruedas traseras. Si no resulta suficiente esta intervención del motor el ESP irá frenando además sistemáticamente las ruedas delanteras en el exterior de la curva hasta que disminuya el movimiento de derrapaje. La fuerza de frenado contrarrestará el movimiento giratorio crítico y, con ello, estabilizará el comportamiento del vehículo.

**Sobrevirado:**

Causa: resbalamiento demasiado elevado en las ruedas traseras



La unidad ESP detecta: elevada aceleración transversal, elevado deslizamiento de las ruedas traseras, giro demasiado fuerte del vehículo y el ángulo de desviación pasa el valor límite



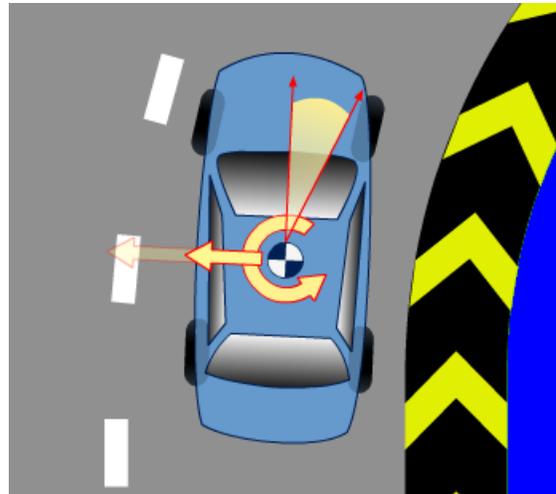
Intervención de la unidad de ESP: impulso sobre la rueda delantera exterior de la curva que produce un valor de guiñada, reduciendo el ángulo de desviación.



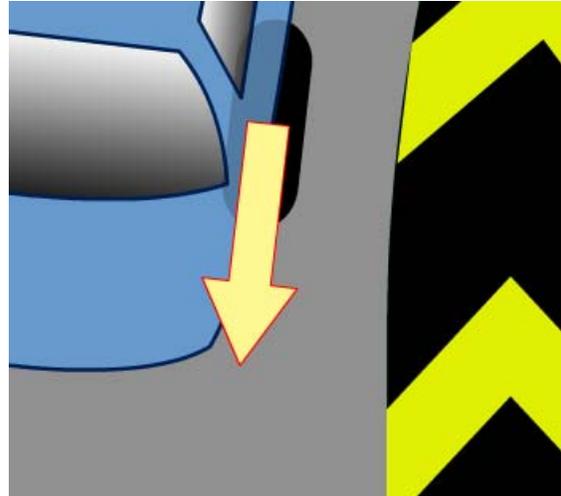
### ***Subvirado:***

Causa: resbalamiento demasiado elevado en las ruedas delanteras.

La unidad ESP detecta: contradicción entre el ángulo de viraje y la velocidad de giro, el ángulo de desviación sobrepasa el valor límite predeterminado y contradicción entre el ángulo de viraje y la aceleración transversal.



Intervención e la unidad de ESP:  
actúa frenado la rueda trasera interior  
de la curva.



El impulso de le la rueda trasera  
interior de la curva produce un valor  
de guiñada que reduce el ángulo de  
desviación del vehículo.



## **Conclusión**

La versión de ESP 8.1 que se monta actualmente en vehículos industriales de Mercedes-Benz ( Sprinter Vito) comprende además las siguientes funciones:

ABS, BAS, ASR, EBV, y las nuevas funciones:

LAC (control adaptativo del a carga): cálculo del centro de gravedad dependiendo de la distribución de la carga.

ROM (ayuda al antivuelco): actúa frenado la rueda delantera exterior.

RMI (ayuda antivuelco al esquivar un obstáculo): actúa al notar un giro brusco de volante.

USC (control por subviraje): frena todo el coche actuando conjuntamente con el ESP.

La filosofía en seguridad en el vehiculo industrial a cambiado en los últimos años. Los fabricantes son concientes de su responsabilidad y por ello los vehículos industriales de nuestros días desarrollan prestaciones que, hasta hace unos años, se consideraban exclusivas de los turismos con motores de gama alta. Por ese motivo,

Se utilizan técnicas y equipos de seguridad cada vez más perfectos para garantizar el nivel de protección más elevado posible.

## ***BIBLIOGRAFIA***

- <http://www.robert-bosch-espana.es/content/language1/html/index.htm>
- <http://www.todomecanica.com/>
- [http://www2.mercedes-benz.es/content/spain/mpc/mpc\\_spain\\_website/es/home\\_mpc.html](http://www2.mercedes-benz.es/content/spain/mpc/mpc_spain_website/es/home_mpc.html)
- <http://www.daimlerchrysler.es/>
- Manual ESP