



**Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Avellaneda
Centro Tecnológico de Transporte, Tránsito y Seguridad Vial**

Director
Ing. Enrique María Filgueira

Av. Mitre 750 – Avellaneda
CP. 1870
4201-4133 Int. 124
utn.c3t@gmail.com
www.c3t.fra.utn.com.ar

“La seguridad en la marcha de los trenes y el movimiento de lazo”

Eugenio Cano
(ca6391no@yahoo.com.ar)

**Agosto de 2013*

El movimiento de lazo es uno de los movimientos en el desplazamiento de un tren, como el cabeceo y la oscilación, entre otros. Aparece como particularmente pernicioso a velocidades altas (más de 150 km/h) y en general no ha sido estudiado analíticamente por los ferroviarios argentinos atento a que las velocidades de nuestros servicios no superaban -por Norma de Ferrocarriles Argentinos- los 120 km/h. El objetivo del trabajo que se presenta, encuentra su razón de ser en la necesidad que, en la recepción del nuevo material rodante apto para circulación a velocidades superiores a los 120 km/h, se revisen y verifiquen los dispositivos de amortiguación lateral de los bogies a los efectos de disminuir tanto como sea posible, el movimiento de lazo e incrementar las exigencias de excelencia del servicio de mantenimiento de la vía y del material rodante.

Los contenidos de este trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente reflejan la opinión del C3T. Se permite la reproducción total o parcial de este documento citando la fuente.

La seguridad en la marcha de los trenes y el movimiento de lazo¹

Presentación

En una visita que nos hiciera el Ing. Gonzalo Martín Baranda –ex Director de RENFE y de FEVE (Ferrocarriles de Vía Estrecha) y uno de los máximos responsables de la construcción, instalación y puesta en servicio (1992) del AVE (Alta Velocidad Española)², tuvo a bien obsequiarnos una copia de su libro **EL AVE Madrid–Sevilla–Crónica de una aventura**.

Entre las anécdotas que comenta en el mismo, nos llamó la atención una en particular: **la rotura de las sujeciones elásticas** -los dispositivos que aseguran el riel al durmiente- en tramos rectos y con trenes que circulaban a 160 km/h o más (tope 180km/h).

Como el Ing. Baranda describe en su libro, se determinó en ese momento y fehacientemente, que la razón del problema era el “**movimiento de lazo**”. Este es uno de los **movimientos** en el desplazamiento del tren que se generan como consecuencia del perfil de la llanta, de la necesaria inclinación con respecto a un eje vertical que debe tener el riel y las imperfecciones de la enrielladura y de la infraestructura de la vía. Otros **movimientos** son el cabeceo, la oscilación, etc.

El **movimiento de lazo** aparece como particularmente pernicioso a velocidades altas (más de 150 km/h) y en general no ha sido estudiado analíticamente por los ferroviarios argentinos atento a que las velocidades de nuestros servicios no superaban -por Norma de Ferrocarriles Argentinos- los 120 km/h.

El objetivo del trabajo que se presenta, encuentra su razón de ser en la necesidad que, en la recepción del nuevo material rodante apto para circulación a velocidades superiores a los 120 km/h, **se revisen y verifiquen los dispositivos de amortiguación lateral de los bogies** a los efectos de disminuir tanto como sea posible, el movimiento de lazo e incrementar las exigencias de excelencia del servicio de mantenimiento de la vía y del material rodante

El **movimiento de lazo** aparece especialmente en la vía recta, y no en las curvas, donde tiene otras características, ya que la pestaña de la rueda externa al centro del radio de curvatura, por inercia, se apoya permanentemente (la velocidad de marcha es mayor que la velocidad de diseño del peralte) en el riel “exterior”. En rigor, *no siempre se apoya en el riel exterior en vías de alta velocidad con circulación de solo trenes de alta velocidad y en vías de un sólo sentido los peraltes de las curvas se calculan para la velocidad de circulación por lo que la fuerza centrífuga está compensada y el bogie circula - teóricamente - centrado.*

En resumen, un vehículo ferroviario en movimiento a lo largo de una vía recta, muestra desviaciones más o menos regulares del movimiento de traslación puro, no sólo cuando la vía está en mal estado, sino aun cuando esté en perfectas condiciones.

¹ Ing. Eugenio Cano, del C3T.

² El Ing. Gonzalo Baranda, fue parte del equipo que llevó adelante la idea, la estrategia y el diseño de parte del trazado del AVE, y fundamentalmente debió defenderlo ante los numerosos “tropiezos” que se iban creando en un contexto en el que el ferrocarril y particularmente RENFE no tenían mayor predicamento en la sociedad española de fines del siglo XX.

Con el interés que despierta la posibilidad que servicios ferroviarios circulen a velocidades superiores, el Ingeniero Eugenio Cano, integrante del Grupo Ferroviario del C3T ha desarrollado una aproximación al tema que sigue a continuación.

Introducción

Como acontece en todas las ciencias, los buenos resultados se dan con la interrelación entre las teorías de los científicos y su puesta en práctica en el campo real, que realimenta las teorías con nuevas fórmulas y soluciones que se aproximan cada vez más a la solución ideal.

Lo expresado también acontece con el caso del **movimiento de lazo** en la circulación ferroviaria. Veamos primero conceptualmente en qué consiste este movimiento y la razón de su estudio.

Desde que se implementó el sistema ferroviario como medio de transporte guiado por un par de rieles paralelos, la necesidad de marchar a mayor velocidad, condujo a estudios que se implementaron con éxito, pero surgieron otros problemas que afectaron el confort de marcha y la seguridad. Las nuevas velocidades originaban, por el contacto entre las ruedas y los rieles, ciertos esfuerzos mecánicos que no contribuían a la marcha del tren, sino que causaban movimientos transversales, longitudinales, verticales, y pendulares. Estos movimientos ponían límites a las velocidades a alcanzar por el tren. En particular, al movimiento con referencia a un eje vertical ubicado en el eje de la vía, lo llamaremos **movimiento de lazo o de vaivén**. El eje vertical del par montado va describiendo un movimiento ondulatorio sobre el eje de la vía.

El **movimiento de vaivén** con referencia a un punto ubicado en la línea media de la vía es lo que se denominó **movimiento de lazo**, y su generación se demuestra matemáticamente, como lo veremos más adelante. Se trata de un movimiento armónico, oscilatorio, que se repite periódicamente sobre el par montado. Tiene su propia longitud de onda y frecuencia de vibración, datos que resultarán necesarios tener en cuenta en los proyectos de infraestructura ferroviaria y de material rodante, para superar los efectos mecánicos no deseados en la marcha de una formación de trenes.

El movimiento oscilatorio armónico descrito se produce durante la marcha del tren como consecuencia del giro de la rueda -con su superficie de rodadura de forma cónica- apoyada en el hongo del riel, que -teóricamente- tiene la misma pendiente que la conicidad de la rueda. En el avance del tren este movimiento oscilatorio se desarrolla hacia un lado y otro de la línea central o eje de vía.

Con el avance tecnológico de la actividad ferroviaria, el perfeccionamiento de la geometría de los rieles y de las ruedas, y la constitución de los distintos componentes de la estructura de la vía, a los efectos de obtener un mejor comportamiento de la marcha, surgió la necesidad de colocar el eje de los rieles con una inclinación hacia el centro de la vía, en algunos casos con un valor de 1:20, y en otros 1:40, dando al sector de apoyo de la rueda del par montado una forma cónica en la superficie de rodadura, con una pendiente en correspondencia con la inclinación del riel de que se trate (1:20 o 1:40).

Estas inclinaciones en el eje del riel y en la superficie de rodadura de la rueda, trajeron como consecuencia un mejor desplazamiento del tren sobre las vías, una mejor

adherencia y una mejor distribución de los esfuerzos mecánicos sobre los rieles y la cama de la traza, evitándose asimismo que alguna pestaña de rueda se monte sobre el riel y provoque un descarrilamiento. En resumen, mayor **seguridad** en la marcha

También habrá que tener en cuenta la influencia de la flexibilidad de la estructura del coche. La rigidez del coche puede determinar que aumenten las vibraciones alcanzando frecuencias, que pueden ser una componente negativa a la hora de la evaluación del **confort**.

Este trabajo sólo contempla el Movimiento de Lazo de un par montado en un bogie, dejando de lado el análisis de dicho movimiento en los casos de los coches y obviamente de trenes en movimiento. Subrayamos lo de par montado –es el caso que analizaremos– porque el sistema de ruedas independientes (trenes TALGO por ejemplo) el caso es diferente y probablemente –según estudios desarrollados – menos crítico en cuanto a la generación del movimiento de lazo.

Velocidad crítica

La inestabilidad dinámica de los vehículos ferroviarios en circulación recta se produce por encima de una determinada velocidad: la denominada **velocidad crítica**. Si se supera dicha velocidad, cualquier oscilación en el vehículo tiende a amplificarse, dando lugar a un régimen de oscilaciones permanentes en el que las pestañas de las ruedas, chocan violentamente con las caras internas de los rieles provocando una disminución de la **seguridad**, un aumento de las exigencias físicas de la rueda y el riel, deterioro de la superestructura de la vía y disminución del confort de marcha.

Para las mediciones del Confort de Marcha hay que tener en cuenta lo establecido por la Unión Internacional de Ferrocarriles (conocida por la sigla UIC, del francés Union Internationale des Chemins de fer), mediante la Norma UIC 513 que regula las mismas. Así en el caso de la aceleración lateral máxima el límite de la norma es de 2,50 m/s², y lo mismo para la aceleración vertical. En el caso de las fuerzas laterales con que la rueda empuja el riel, el límite establecido por la Norma UIC 513 es de 62 kN.

Movimiento de lazo

Para determinar el origen del **movimiento de lazo**, además de tener en cuenta lo expresado precedentemente en cuanto a la inclinación de la cabeza del riel y la pendiente³ de la superficie de rodadura de las ruedas de los pares montados, habrá que considerar también una restricción técnica: hay que dejar una holgura, una separación al rodar, entre las pestañas de las ruedas y los laterales de la cabeza del riel, holgura que es indispensable para generar menor resistencia al rodamiento de las ruedas del tren sobre las vías, y tener menores esfuerzos mecánicos -rozamiento- que vencer en el arranque y la marcha. Estos aspectos también inciden en el confort y la **seguridad**.

Hay varias cuestiones que considerar, además de la referida, si se tiene como objetivo la reducción de la holgura o semi-juego, como ser:

- Evitar desgaste de ruedas y carril.
- Minimizar la resistencia al avance.

³ Podría ser "inclinación" o forma tronco-cónica.

- Limitar en las curvas los fenómenos de deslizamiento de la rueda exterior, dado que ambas ruedas van solidariamente unidas al mismo eje y el recorrido de la rueda exterior es superior al que realiza la rueda interna.
- Mejorar la superficie de rodadura de la rueda.

Estas disposiciones geométricas del riel y la conicidad de la superficie de rodadura de la rueda, dieron lugar al **movimiento de lazo**. Ya dijimos que este movimiento es armónico, oscilatorio, con una frecuencia dada según la geometría de la infraestructura y del par montado, tomando como centro el eje intermedio de la vía. Este movimiento es energía mecánica que se distribuye con una amplitud recurrentemente en la circulación. No sólo es un avance con vaivén del tren en forma longitudinal a la vía, sino que los esfuerzos mecánicos causan desplazamientos laterales del tren y vibraciones en los rieles de tal magnitud que afectan la **seguridad** del mismo.

Por otra parte se supone que sobre una vía en recta, todos los ejes en su movimiento de lazo siguen idéntica trayectoria. El pivote del bogie seguirá en consecuencia una trayectoria muy similar a la de los ejes. Como el empuje del bogie es muy pequeño, comparado con la longitud del movimiento de lazo, las características del movimiento del pivote del bogie se suponen idénticas a las del eje estudiado.

Para la parte suspendida se debe considerar respecto al centro de rotación de la caja ya que en el instante inicial en que el eje en estudio aborda la desviación, la caja, solicitada por el movimiento de lazo del bogie a través de la suspensión, oscila con otro movimiento, llamado **lazo secundario**, cuya frecuencia es idéntica a la del lazo del bogie, pero cuya amplitud y fase no coinciden. Aun admitiendo el caso más desfavorable de coincidencia total, los errores en el estudio del movimiento de la caja son despreciables, admitiéndose la hipótesis de coincidencia total.

Es importante subrayar que otros autores (Ver Bibliografía A), adjudican el movimiento de lazo a una falta o defecto de **alineación** del eje de vía en recta. En curva se traducen en esfuerzos laterales entre la rueda y el riel, y con aceleraciones transversales de la caja que forma el coche o vagón.

El problema y sus consecuencias

Con respecto a lo expresado precedentemente y como ejemplo práctico de las consecuencias del **movimiento de lazo**, vale comentar lo expresado por el Ingeniero Gonzalo Martín Baranda, en su libro "El AVE Madrid-Sevilla". El relato describe que, en determinados tramos rectos de las Líneas Madrid-Valencia y Madrid-Valladolid, en los que circulaban trenes a 160 km/h, aparecieron fijaciones elásticas (elementos de sujeción del riel a la vía) rotas. Profundizando el análisis del tema, se pudo establecer en un primer momento que los causantes del tema eran las suspensiones laterales de las locomotoras, que empezaron a romperse al pasar –en algunos trenes- el servicio ferroviario de 140 km/h a 160 km/h..

El personal de taller, después de estudiar el problema de las locomotoras, decidió cambiar las suspensiones laterales por otras de mayor "dureza", suspensiones que dieron buen resultado a las distintas velocidades de marcha. Pero he aquí que con el tiempo aparecieron otros inconvenientes, ya no en la suspensión de las locomotoras, sino en las fijaciones elásticas de los rieles que aparecieron rotas, no en toda la Línea pero si en determinados tramos. Los relevamientos y el estudio de estos hechos que se presentaban intermitentemente en algunos tramos de vía recta, concluyeron que en algunos tramos de algunas líneas en los cuales circulaban trenes a 160 km se producían vibraciones -originadas en el **movimiento de lazo**- cuyas tensiones

mecánicas rompían las fijaciones elásticas de los rieles en los durmientes de hormigón monobloque.

A la anécdota del Ing. Baranda, cabe agregar que los avances tecnológicos dieron solución a la mayoría de los efectos no deseados que afectaban el confort, la buena marcha y sobre todo a la **seguridad**, con la creación de distintos tipos de AMORTIGUADORES de los movimientos transversales, longitudinales, verticales, de balanceo y de cabeceo, entre otros, de una formación de trenes en circulación a diferentes velocidades, neutralizándose así tales movimientos.

Surgen así varios tipos de amortiguadores del **movimiento de lazo**, que, ubicados en los bogies, logran controlar dichos movimientos. A manera de ejemplo se agregan en el **Anexo 1** diagrama y foto de algunos modelos de amortiguadores laterales.

También debemos expresar que los efectos no deseados de las tensiones mecánicas que se generan de los distintos tipos de movimientos en la circulación de los trenes, se fueron neutralizando a partir de los avances tecnológicos en el material rodante y en la forma estructural de las trazas. En el material rodante, las suspensiones primaria, secundarias y otras suspensiones complementarias entre las cajas y los bogies con nuevos diseños, materiales y tipo de suspensión (neumática v.gr.), como asimismo amortiguadores de movimientos, contribuyeron a un mejor desplazamiento en la marcha, a un mejor confort, y sobre todo a mejorar la **seguridad**. La infraestructura de la vía mejoró notablemente con las distintas capas que constituyen el plano de formación donde se apoyan las vías, los nuevos durmientes de hormigón con sus apoyos elásticos de elastómeros y los dispositivos de sujeción de las vías (clips elásticos), como la calidad de los rieles, también contribuyeron a una mejor disipación y absorción o mejor distribución de las tensiones mecánicas generadas por la marcha del tren.

Como se ha dicho anteriormente, la geometría del contacto rueda-riel influye de manera determinante en el comportamiento dinámico del vehículo, en los esfuerzos que éste va a transmitir a la vía, y en los movimientos del tren, resultando importante entonces las tareas de mantenimiento de vías y ruedas, restaurando las condiciones óptimas de sus perfiles geométricos para evitar efectos no deseados sobre el confort y la **seguridad**.

Movimiento cinemático de lazo

Se entiende por **acciones dinámicas** a las aceleraciones en los tres ejes (lateral, longitudinal y vertical), así como, a los movimientos angulares (cabeceo, balanceo y guiñada). Estos tipos de movimiento pueden verse influenciados por diferentes factores: el tipo de vehículo, el sistema de suspensión utilizado, las características del recorrido, la utilización de trenes con sistemas de anti balanceo, la vía, y la velocidad del tren.

Como ya expresáramos, en el sistema ferroviario se conoce por **movimiento de lazo** a una oscilación armónica, que describe un material rodante cuando circula por la vía y es separado de la posición centrada de la misma; se trata de un movimiento oscilatorio. Consta de un movimiento lateral y de un giro del eje respecto de la referencia vertical.

En síntesis, la conicidad de la superficie de rodadura de la rueda y la inclinación del riel producen una variación en el radio de rodadura al desplazarse el par montado lateralmente de su posición de equilibrio.

Ya hablamos de la necesaria luz entre riel y la pestaña de la rueda del par montado, que puede variar según el desgaste de la rueda y el riel entre 3 y 20 mm. Con el desgaste de riel y ruedas, los efectos no deseados aumentan. **Obviamente, la falta de mantenimiento adecuado empeora la situación.**

El par montado está condicionado en su movimiento por la caja del vehículo y los otros ejes, afectando el movimiento sinusoidal alrededor de un punto ubicado en el eje de la vía. Es decir, este movimiento sinusoidal se modifica por la acción de los elementos de unión del eje del par montado con el chasis del bogie, y de éste con la caja del vehículo.

El análisis del movimiento del par montado sobre la vía férrea puede verse bajo dos enfoques, uno cinemático determinando la ecuación de la trayectoria del eje, y otro dinámico, evaluando los esfuerzos del par montado sobre la vía.

El desplazamiento lateral del par montado, hace que su trayectoria sufra además de su desplazamiento transversal, otro angular con relación al eje longitudinal del vehículo. Así, los radios de los “círculos de rodadura” iniciales se modifican; cambian con la marcha del tren al girar la rueda⁴.

A partir de la variación de los radios de los círculos de rodadura y del ángulo δ como inclinación o pendiente de la banda de rodadura, se demuestra que la ecuación diferencial del movimiento oscilatorio del par montado es⁵:

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{2\delta y}{S.r} = 0$$

Donde “S” es la longitud del eje o par montado, medido entre las secciones de rodadura de las ruedas, “r” es el radio de la rueda, y “ δ ” es la inclinación del eje del riel y del perfil de rodadura de las ruedas.

Recordando que la solución de esta ecuación diferencial de segundo grado viene dado por la expresión:

$$(1) \quad y = y_0 \cdot \text{sen} \sqrt{\frac{S.r}{2 \cdot \delta}} \cdot x \quad (\text{Donde } \sqrt{\quad} \text{ es raíz cuadrada})$$

Esta solución pone de manifiesto que el centro del eje horizontal del par montado de un bogie sigue una trayectoria sinusoidal con respecto al eje de la vía, definida por un desplazamiento del par que llamamos –como ya dijimos - **de vaivén** (cada rueda del par montado se adelanta y se atrasa con respecto a la otra rueda)

En un movimiento oscilatorio la longitud de onda viene dada por la relación:

$$(2) \quad L = 2 \pi \sqrt{\frac{S.r}{2\delta}}$$

Si los valores de referencia son: S= 1,5m ; r = 0.45 ; $\delta = 1:20$ nos encontramos con una longitud de onda de 16m.

⁴ Tracción Diesel –David Gristein– Capítulo VI – Pag 160 y otros autores.

⁵ Infraestructuras Ferroviarias - Ing. Andrés Lopez Pita -Ediciones UPC – España.

Pero si la inclinación de los carriles es de 1:40, como está normado en Argentina la longitud de onda aumenta hasta 22m.

Si el vehículo se desplaza a una velocidad V , se tendrá $V = LT$ donde T es la frecuencia del movimiento de lazo, luego $T = V/L = V/2\pi \sqrt{2\delta/S.r}$

Para los siguientes valores:

$$\delta = 1:20 = 0,05m$$

$$S = 1,5m$$

$$r = 0,5m$$

$$V = 50m/seg (180 km/h)$$

Resulta que la frecuencia T es = 2,9 hz.

Es importante conocer la frecuencia del movimiento de lazo para saber si coincide con la frecuencia propia del material rodante, ya que si se produce una resonancia se generará una inestabilidad del vehículo.

Se ve que para un ángulo de conicidad de la rueda y del eje del riel de 1:40, más suave, la frecuencia de onda es menor, consecuentemente mayor la longitud de onda y mayor confort para el pasajero.

Desde el punto de vista de la aceleración transversal que ocasiona el movimiento de lazo, generará el "golpeteo" de las ruedas contra el riel (rompieron las fijaciones elásticas!) y afectará el mayor confort del pasajero

Teniendo en cuenta las fórmulas anteriores (1) y (2) se demuestra el aumento de la frecuencia del movimiento de lazo con el aumento del ángulo de inclinación del riel para igual velocidad de circulación, y el efecto favorable de una inclinación inicial de los carriles de 1:40 frente a 1:20, a igualdad de velocidad de circulación. A mayor longitud de onda- menor frecuencia para una misma - velocidad mayor confort.

Por otra parte, al considerar la conicidad de la llanta, tengamos presente que, por desgaste, aumenta con los kilómetros recorridos, aumentando en consecuencia la frecuencia del movimiento de lazo y disminuyendo el confort, por lo cual el **mantenimiento** de los valores originales de las ruedas y el ángulo de inclinación de los rieles será muy importante para la restitución de los perfiles geométricos del conjunto rueda-riel y por lo tanto de la **seguridad** y el confort.

Efectos de la conicidad y la velocidad crítica de un vehículo

Como ya hemos dicho, la conicidad de la llanta de la rueda – entre otros factores, como por ejemplo la alineación de la vía - juega un papel fundamental en la estabilidad transversal de los vehículos. Lo importante es que la conicidad tenga el menor valor posible, compatible -igual- con el diseño recíproco del sistema rueda-riel.

La velocidad crítica, definida como aquella a partir de la cual se torna inestable el vehículo, es función – obviamente que además de la velocidad - de la conicidad: a mayor conicidad (1:20 > 1:40) disminuye la velocidad crítica. Es decir a menor velocidad crítica habrá más posibilidades de que surja la inestabilidad.

Se ha demostrado experimentalmente, que en horizontal y recta, en función de la conicidad y de la inclinación del eje del riel, los valores de la velocidad crítica del tren son los siguientes:

Para una conicidad de 1:20, la velocidad de circulación debe ser menor que 140 km/h.

Movimiento cinemático de un bogie

En el caso de un bogie, se demuestra que la longitud de onda (λ) del movimiento de lazo viene dado por la expresión:

$$\lambda = 2 \pi \sqrt{\frac{r \cdot S}{\delta} \left(1 + \frac{L^2}{S^2}\right)}$$

Siendo "L" el semi-empate (distancia entre ejes) del bogie; "S" el semiancho de vía y "r" el radio del círculo de rodadura de las ruedas en la posición media de los ejes.

Sustituyendo los valores usuales para un bogie de los trenes franceses TGV, donde:

$$L = 1,5\text{m}$$

$$S = 0,75\text{m}$$

$$\delta = 0,025 \text{ perfil nuevo}$$

$$r = 0,46\text{m}$$

La longitud de onda $\lambda = 55\text{m} !!$

Conclusiones

- Existen frecuencias críticas del sistema rueda-riel que pueden poner en peligro la estabilidad de un vehículo ferroviario (o de un tren).
- Según algunos autores el movimiento de lazo es consecuencia de la conicidad de la rueda y de la inclinación del riel. Para un sistema rueda-riel dado, se genera un movimiento de lazo de longitud de onda y frecuencia propio. Este movimiento genera empujes laterales (transversales) importantes sobre la vía.
- Por otra parte, según otros autores (Rives y otros, Tratado de Ferrocarriles Tomo I – pag. 65) imputan la mayor responsabilidad de la generación del movimiento de lazo en recta a la falta **de alineación** de la vía.
- Como una última opinión al respecto, fruto de la búsqueda de información, la circulación de los trenes TALGO en Argentina, permitió obtener otro punto de vista. En los coches Talgo, las ruedas son independientes, y según la Asociación Española de Científicos, como consecuencia de esta tecnología se tiene una baja agresividad sobre el riel y un bajo desgaste de la rueda, al minimizarse el ataque de la pestaña de la rueda contra el riel. Como las ruedas no están caladas sobre un mismo eje no hay deslizamiento entre ellas, (efectos típicos de los bogies con ejes rígidos) evitándose así también el **movimiento de lazo**, (en lo que tenga que ver el par montado) y obteniendo una mejora de la estabilidad.
- **Como opinión del Grupo Ferroviario del C3T consideramos que la generación del movimiento de lazo recae en “causas concurrentes” pero lo más importante a tener presente es que la eventualidad de su existencia limita la máxima velocidad de una formación ferroviaria y crea –en general y cualquiera sea su origen- malas condiciones operativas.**
- **La presencia de amortiguadores “laterales” en el material rodante es imprescindible a velocidades altas. El mantenimiento de excelente calidad –vía y material rodante– es insoslayable**

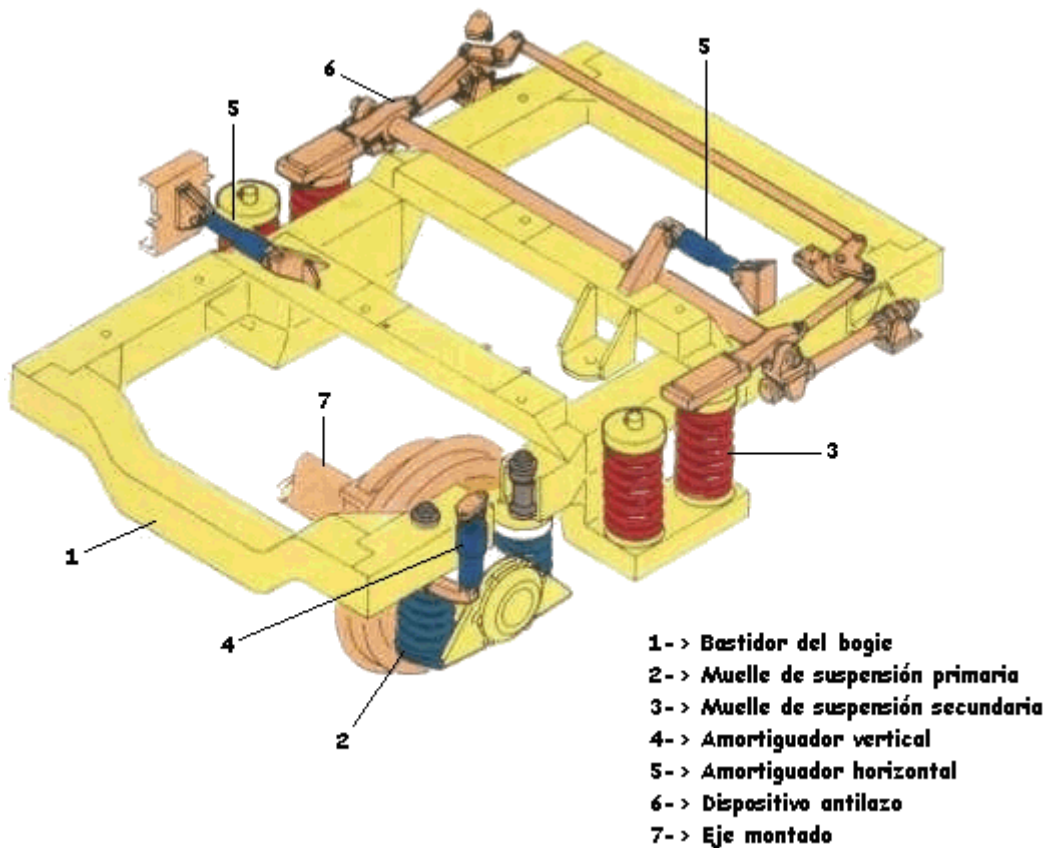
Bibliografía

- (A) Tratado de Ferrocarriles Tomo I – pag 65 – 1977 - Ing. Rives. Pita y Puente
- (B) Tracción Diesel –David Gristein – Capítulo VI – Pag 160 y otros autores
- (C) Infraestructuras Ferroviarias - Ing. Andrés Lopez Pita -Ediciones UPC - España

Anexo 1: Diagrama del bogie de la locomotora S269-200 de RENFE⁶

La parte mecánica de una locomotora se compone de caja, bastidor y tren de rodadura. A continuación se exponen estos elementos además de detallar algunos otros aspectos importantes de la parte mecánica de una locomotora:

1. **El bogie** se compone de los ejes que soportan el chasis y lo guían por la vía, más un sistema de suspensión apropiado.
2. **Notar puntos 5 y 6 como elementos preventivos del movimiento de LAZO.**



⁶http://gitel.unizar.es/contenidos/cursos/FTE/Web_Ferrocarriles/LOCOMOTORAS%28Parte_mecanica%29.html

Anexo 2: amortiguador horizontal bogie - carrocería

