



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales

Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales

TESIS DOCTORAL

OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS DE SUJECCIÓN PARA VÍAS DE FERROCARRIL DE ALTA VELOCIDAD ESPAÑOLA



Autor: Isidro Alfonso Carrascal Vaquero

**Directores: Federico Gutiérrez-Solana Salcedo
Juan Antonio Polanco Madrazo**

Santander, Mayo 2006

CAPÍTULO 2

LA SUJECIÓN

1. GENERALIDADES

El camino de rodadura de las vías férreas está constituido por diversos elementos. La infraestructura se forma a partir de la plataforma y la superestructura que, a su vez, está integrada por los carriles, las traviesas y el balasto. Los carriles se fijan a las traviesas, las cuales descansan sobre el balasto. La superestructura se completa con una serie de accesorios, comúnmente denominados pequeño material de vía, y que constituyen el conjunto de piezas más numeroso de aquélla.

El carril es el elemento resistente del camino de rodadura y su función es la de soportar directamente las cargas de las ruedas y guiar los vehículos. Asimismo, debe servir como elemento conductor de las corrientes de señalización.

Las traviesas mantienen la separación de los carriles, conservando el ancho de vía y transmiten los esfuerzos soportados por los carriles al balasto.

Los elementos que permiten fijar el carril a la traviesa conforman, en su conjunto, la sujeción.

El balasto transmite y reparte sobre la plataforma lo más uniformemente posible las cargas originadas por el paso de los vehículos y evacua las aguas de lluvia. Asimismo, arriestra las traviesas por rozamiento para evitar el desplazamiento de la vía.

En la Figura 2.1 se presenta el principio de construcción del camino de rodadura donde se aprecian todos los elementos de que consta.

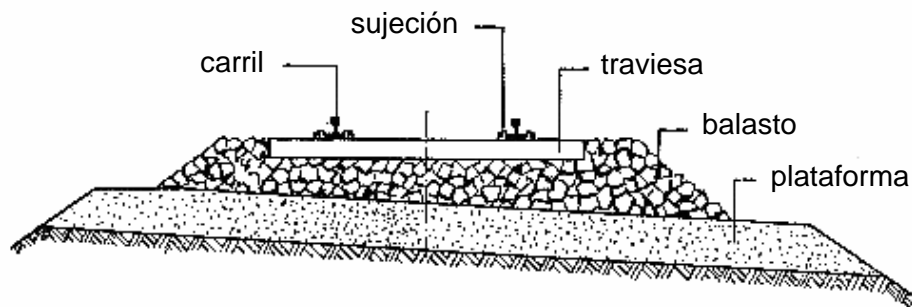


Figura 2.1. Elementos del camino de rodadura. [9]

2. SUJECIÓN: DEFINICIÓN, FUNCIONES Y CARACTERÍSTICAS

Se denomina sujeción al conjunto de elementos cuyo objeto es dar continuidad estructural a la vía. La sujeción se constituye a partir de los elementos que fijan el carril asegurando una posición estable del mismo sobre la traviesa. La importancia de la función de la sujeción se ha ido incrementando con el transcurso del tiempo a medida que las velocidades y cargas por eje aumentaban y, consecuentemente, crecían los esfuerzos a transmitir de los carriles a las traviesas, así como las exigencias del estricto mantenimiento del ancho de vía y de aislamiento eléctrico entre los dos hilos del carril.

Las principales funciones para las que se diseña la sujeción son las siguientes:

- ❑ Fijar los carriles a las traviesas
- ❑ Asegurar la invariabilidad del ancho de vía
- ❑ Facilitar la transferencia a la infraestructura de las acciones estáticas y dinámicas ejercidas por el material rodante sobre la estructura de la vía.

Entre las características básicas, de tipo general, de las sujeciones se destacan las siguientes:

- ❑ Poseer resistencia mecánica y elasticidad adecuada e invariable a lo largo de la vida de la sujeción.
- ❑ Dotar al sistema del correcto aislamiento eléctrico entre los dos hilos de carril en líneas electrificadas o dotadas de sistemas de señalización que lo hagan necesario.
- ❑ Estar constituida por el menor número posible de elementos y que éstos a su vez tengan una geometría sencilla, de modo que se facilite su fabricación, montaje, conservación y sustitución en caso de deterioro.
- ❑ Su coste debe ser bajo, tanto en fabricación como en su explotación.
- ❑ Su duración ó vida de trabajo debe ser elevada.

Para conseguir mantener la posición relativa de carril y traviesa, las sujeciones deben absorber una serie de esfuerzos que transmite el carril. Estos esfuerzos dependen de las cargas y características dinámicas del material móvil, así como de la geometría y estado de conservación de la línea, de las variaciones térmicas y de otra serie de factores. Por tanto, los sistemas de sujeción deben estar diseñados de forma que sus componentes sean capaces de resistir estos esfuerzos y transmitirlos al conjunto de estructura de la vía.

En recta actúan sobre el carril los esfuerzos verticales ejercidos por las ruedas, los longitudinales debidos a las tensiones térmicas y los transversales producidos por el movimiento de lazo e impactos debidos a irregularidades geométricas de las ruedas y de la vía.

En curva surgen otra serie de esfuerzos que las pestañas de las ruedas transmiten al hilo exterior del carril y que son debidos a la aceleración centrífuga, al rozamiento de las pestañas con la cabeza del carril, al cabeceo o galope de los bogies y a la aceleración de Coriolis cuando se producen cambios de curvatura en el trazado.

Por otra parte, en la concepción de un sistema de sujeción deben tenerse en cuenta otra serie de condiciones funcionales, entre las que podemos destacar las siguientes:

- ❑ La fuerza de apriete del carril sobre la traviesa debe ser tal que el esfuerzo de rozamiento entre ambos supere a la resistencia al deslizamiento, en dirección longitudinal a la vía, de la traviesa sobre el balasto. Este esfuerzo debe mantenerse con valores suficientes a lo largo de la vida de la sujeción.
- ❑ La frecuencia propia de vibración de las sujeciones debe ser mucho mayor que la del carril, de forma que al paso de los ejes no se pierda el contacto entre ambos. Además, el recorrido elástico de los elementos de apriete debe ser suficiente para que la sujeción mantenga una reacción elástica aun cuando esté sometida a la deformación máxima prevista.
- ❑ El montaje y desmontaje de las sujeciones debe poder realizarse con medios mecánicos de alto rendimiento. Esto resulta especialmente necesario en las operaciones de liberación de tensiones de los carriles continuos soldados para reducir al máximo los períodos de corte de vía. Además, la colocación de los carriles debe resultar sencilla y precisa y la sujeción debe mantener sus características elásticas aun después de varios montajes y desmontajes.

- ❑ El control del apriete debe ser sencillo de realizar y debe poder efectuarse sin desmontar la sujeción. En caso de deterioro debe ser posible sustituir con facilidad el componente defectuoso.

3. COMPONENTES Y CLASIFICACIÓN DE LAS SUJECIONES

Para establecer una clasificación de los diferentes tipos de sujeciones será preciso conocer todos aquellos elementos individuales que pueden formar parte de la misma, independientemente de que algún tipo de sujeción pueda prescindir de alguno o varios de ellos. Los elementos que pueden formar parte de una sujeción son básicamente los que se citan a continuación y cuyo esquema se refleja en las Figuras 2.2 a 2.4:

- ❑ Elementos de anclaje a la traviesa. Se trata de los elementos que unen el conjunto de la sujeción a la traviesa.
- ❑ Placa de asiento. Elemento que se sitúa entre el carril y la traviesa, que puede ser rígida para reducir la presión específica transmitida por el carril, protegiendo a la traviesa, o elástica para amortiguar los esfuerzos sobre la traviesa y dotando a la vía de una cierta elasticidad.
- ❑ Elementos de anclaje de la placa. Se trata de aquellos elementos que mantienen la placa unida a la traviesa.
- ❑ Elementos de anclaje a la placa. Se trata de los elementos que unen el conjunto de la sujeción a la placa.
- ❑ Elementos de anclaje del carril. Son los elementos que mantienen el carril en contacto con la placa de asiento o la traviesa, si la anterior no existe.
- ❑ Elementos elásticos, aislantes y de guía del carril.

3.1. CLASIFICACIÓN DE LAS SUJECIONES ATENDIENDO A LOS ELEMENTOS QUE LA CONSTITUYEN Y SU COLOCACIÓN

En función de los elementos que forman parte de la sujeción así como de su disposición, las sujeciones se pueden clasificar en:

- **Sujeciones directas.** En este tipo de sujeción la función de fijación del carril y, en su caso, la placa, a la traviesa es ejercida por un único elemento o conjunto de elementos, trabajando en paralelo con existencia o no de elementos auxiliares. En la Figura 2.2, se muestra un esquema de este tipo de sujeciones.

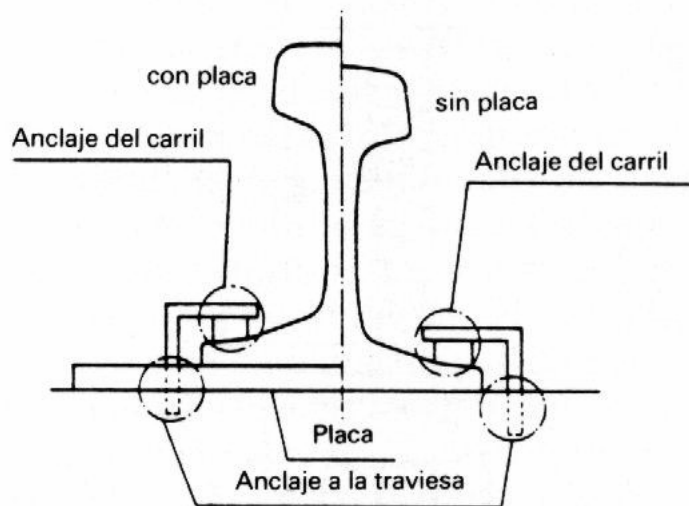


Figura 2.2. Sujeción directa [10]

- **Sujeciones indirectas.** En este tipo de sujeción el anclaje de la placa a la traviesa se realiza por medio de elementos o grupo de elementos independientes de los que cumplen la función de fijar el carril a la placa, pudiendo existir o no elementos accesorios. En la Figura 2.3, se muestra un esquema de este tipo de sujeciones.

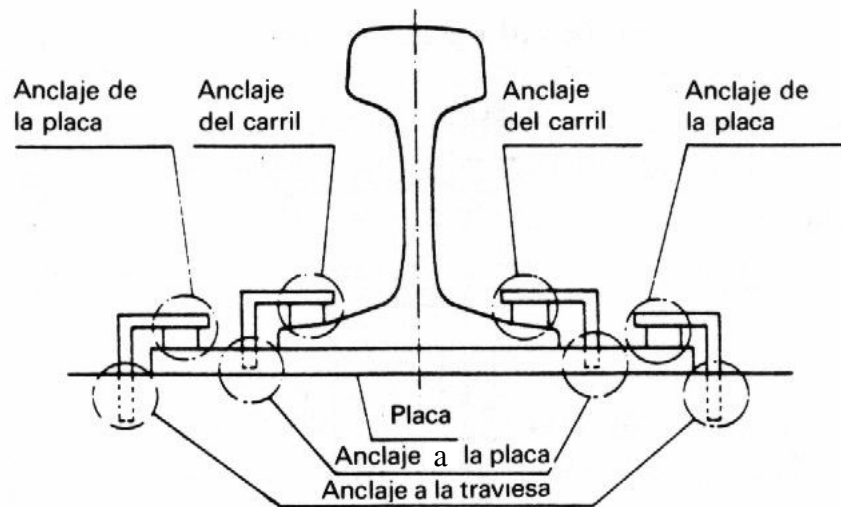


Figura 2.3. *Sujeción indirecta* [10]

- **Sujeciones mixtas.** En este tipo de sujeción la placa se fija a la traviesa por medio de elementos o grupos de elementos que actúan sólo sobre la placa (característica de las sujeciones indirectas), pero además existen otros elementos o conjunto de los mismos que actúan simultáneamente como anclaje del carril y de la placa a la traviesa (característica de sujeción directa). En la Figura 2.4, se muestra un esquema de este tipo de sujeciones.

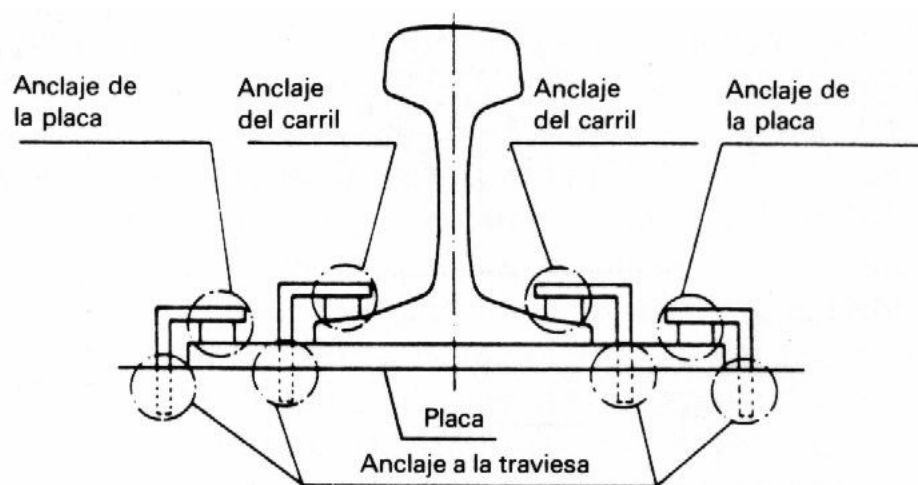


Figura 2.4. *Sujeción mixta* [10]

La ventaja que pueden presentar las sujeciones directas es que, generalmente, poseen un pequeño número de piezas, por lo que resultan más sencillas de montar que las indirectas y mixtas, que constan de un número similar entre ellas pero siempre superior a las directas.

3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS SUJECIONES ATENDIENDO A LA NATURALEZA DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS

En función de la naturaleza de los elementos que forman parte de la sujeción, las sujeciones se pueden clasificar en [11]:

- **Sujeciones rígidas.** Se trata de sujeciones en las que la transmisión de esfuerzos entre el carril y la traviesa se realiza a través de elementos rígidos.
- **Sujeciones elásticas.** Son aquéllas en las que la transmisión de esfuerzos del carril a la traviesa se efectúa por medio de elementos o conjunto de elementos flexibles, cuya misión puede ser: de fijación del carril a la traviesa, de fijación del carril a la placa y de fijación de la placa a la traviesa. Las sujeciones elásticas pueden dividirse en dos subgrupos: **simples** o **doblemente elásticas**. Las simples serían aquellas cuyos componentes solamente desarrollan una de las funciones indicadas anteriormente. En las sujeciones doblemente elásticas, tanto la sujeción del carril a la placa, como la de ésta a la traviesa, se realiza por medio de elementos o conjuntos de elementos elásticos.

Esta clasificación, de uso generalizado en toda la bibliografía consultada, puede causar cierta confusión, ya que, entendiendo la elasticidad como aquella propiedad que tiene los materiales de recuperar la deformación sufrida al cesar el esfuerzo aplicado sobre el mismo, ambos grupos de sujeciones se podrían clasificar bajo la denominación de elásticas. La variable que se trata de diferenciar al hacer esta clasificación es la magnitud del desplazamiento sufrido

por la sujeción sometida a esfuerzos, aplicando el concepto de rígidas a aquellas sujeciones que sufren desplazamientos muy cortos, pero recuperables y, por tanto elásticos, mientras que las sujeciones elásticas son aquellas capaces de absorber mayores desplazamientos, por tanto, sería más acertado diferenciar entre sujeciones rígidas y flexibles.

Las sujeciones rígidas tienen el inconveniente de la rapidez con la que se produce su deterioro, debido, por un lado, a la acción de cargas dinámicas y, por otro, al propio paso del tiempo. En este tipo de sujeciones, la absorción de energía tiene un carácter acumulativo, lo que se traduce en deformaciones con carácter permanente y progresivo y, por tanto, dará lugar a la aparición de holguras y desajustes como consecuencia de la rigidez de los elementos incapaces de seguir las exigencias de movimiento debido a las sollicitaciones. Por el contrario, las sujeciones elásticas son capaces de deformarse y recuperar luego esta deformación al tener alta flexibilidad como conjunto, siempre que no se superen sus propiedades elásticas, lo que le permite una vida mucho más larga y una rodadura más suave.

3.3. CLASIFICACIÓN DE LAS SUJECIONES ATENDIENDO A LA FORMA DE TRABAJO

En función de la forma en que se materializa el anclaje de los elementos que forman parte de la sujeción, se pueden presentar los siguientes casos:

- Adherencia entre metal y hormigón.
- Clavado sobre madera o materiales sintéticos.
- Efecto de tornillo entre: metal y madera, metal y material sintético o metal y metal (roscado).
- Efecto de cuña entre: metal y metal; metal y madera o metal y material sintético (acodalamiento).
- Efecto de tope entre: metal y hormigón o metal y metal.
- Soldadura entre metal y metal.

4. PRINCIPALES SISTEMAS DE SUJECIONES EMPLEADOS EN LA ACTUALIDAD EN ESPAÑA

En este apartado se realizará una revisión de los principales sistemas de sujeción elásticos directos, que son los más comúnmente empleados en la actualidad.

La ventaja fundamental de las sujeciones de carril elásticas sobre las rígidas consiste en permitir movimientos verticales del carril al paso de las circulaciones, amortiguándose la energía de los choques que se producen. Estos movimientos deben existir sin ningún juego entre el carril y la traviesa y, para ello, se diseñan unos componentes elásticos (grapas, clips, ...) encargados de apretar el carril sobre la traviesa que funcionan como un muelle, absorbiendo las deformaciones de las placas de asiento de los carriles.

4.1. SUJECIÓN RN

Este tipo de sujeción puede funcionar en toda clase de traviesas, aunque su principal aplicación es sobre las traviesas RS [12] (bibloque ó mixtas de acero y hormigón) para las que se desarrolló en un principio.

Esta sujeción está integrada por los siguientes componentes (Figura 2.5) [13]:

- Una grapa de doble hoja con un bucle, fabricada en acero al cromo manganeso y con la hoja superior más larga que la inferior. Se trata del elemento principal de la sujeción y el que le confiere la propiedad elástica a la misma.
- Un bulón o tornillo de acero cuya cabeza se ancla en la traviesa.
- Una placa de caucho acanalada de 4,5 mm de espesor.
- Un sector de caucho que actúa como elemento amortiguador y protector de la traviesa de hormigón, en la parte más alejada del carril. También se utiliza un casquillo metálico fijo a la traviesa, en el caso de las metálicas y de madera.
- Un casquillo aislante de plástico intercalado entre el tornillo y la grapa.

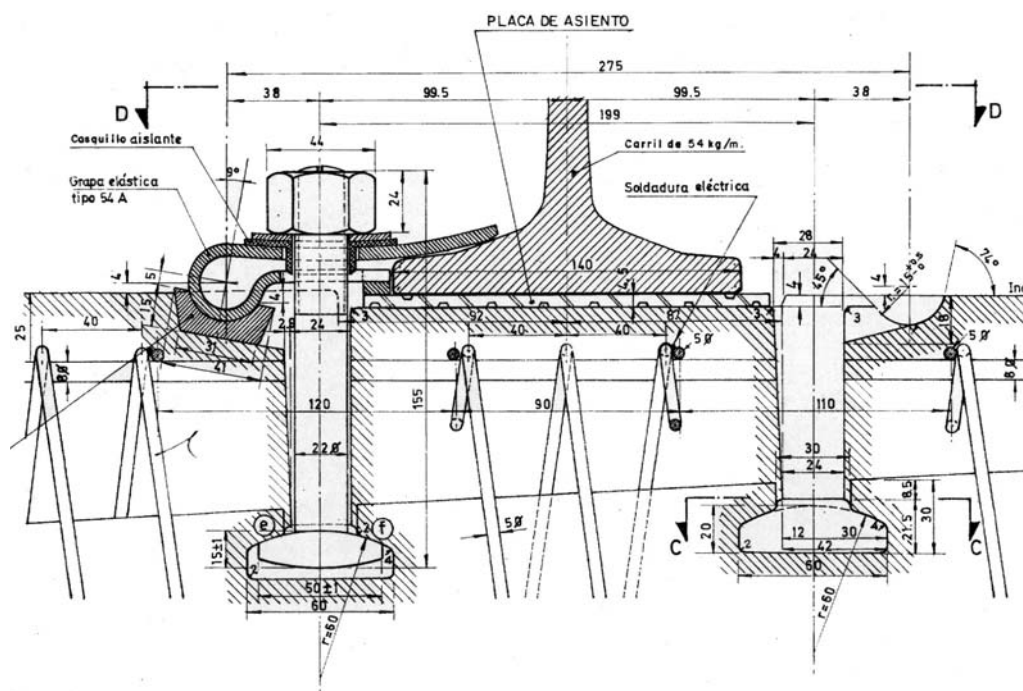


Figura 2.5. Sujeción RN [13]

La parte elástica de la sujeción, la grapa, puede llegar a perder sus propiedades y funcionar incorrectamente si, por error, se somete a un apretado excesivo a los tornillos que las fijan a las traviesas, originando sobre las mismas, tensiones superiores a su límite elástico y deformándolas plásticamente. En esta situación, la sujeción funcionaría como una sujeción rígida con todos los inconvenientes que ello conlleva.

Para evitar esta posibilidad, la rama superior de las grapas tiene una forma tal que sólo puede apoyar sobre el patín del carril en dos líneas paralelas que se denominan de “primer contacto” y de “segundo contacto”. El contacto del patín del carril no debe llegar a producirse en esta segunda línea para no sobrepasar la tensión admisible en la grapa, debiendo quedar un huelgo entre ésta y el patín, en su posición definitiva de apretado, de 0.2 a 0.5 mm. Esta condición es teórica y en la realidad suele incumplirse frecuentemente. En la figura Figura 2.6 se muestra, a efectos prácticos, el apretado correcto de una sujeción RN.

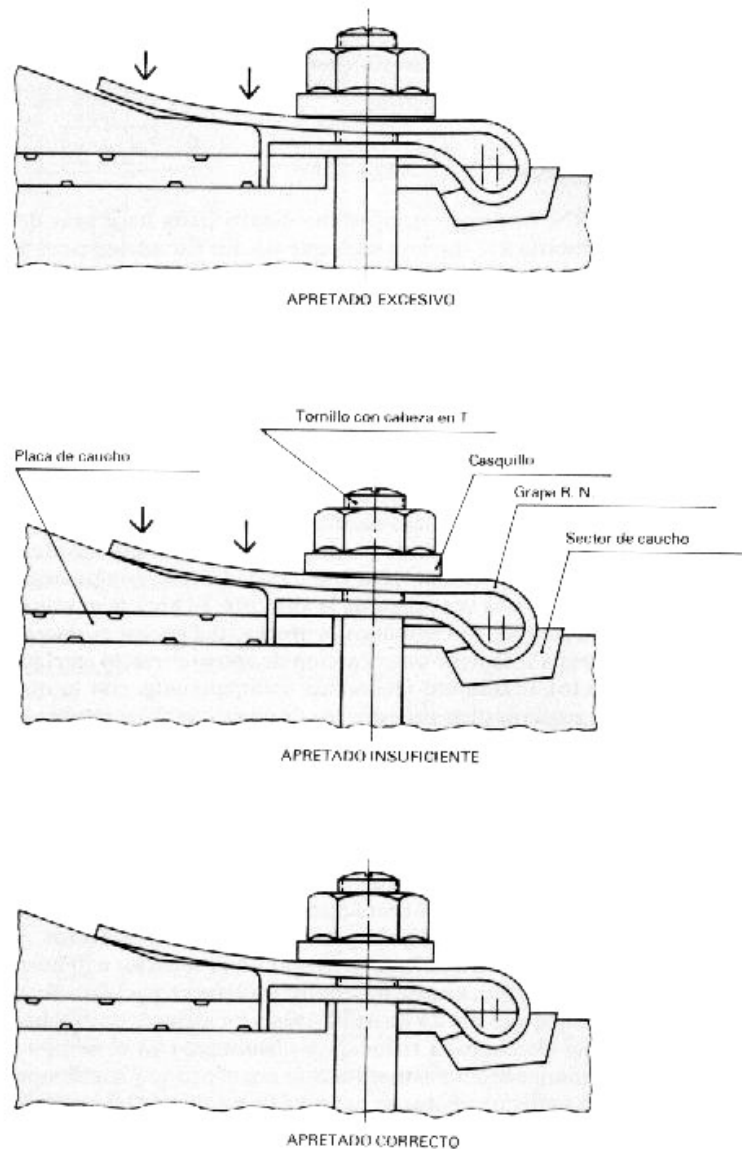


Figura 2.6. Apretado correcto de una sujeción RN [13]

La sujeción tiene un comportamiento elástico vertical en los dos sentidos. Por un lado, ante esfuerzos verticales que tienden a separar el carril de la traviesa, responde de forma elástica la grapa con fuerzas crecientes con la deformación. Y por el otro lado, ante esfuerzos que intentan hundir el carril, será la placa de asiento la que se comprime elásticamente y, gracias a las acanaladuras que posee se evita su expansión en dirección transversal.

Otra función de la grapa es resistir los esfuerzos transversales, los cuales, al sobrepasar un cierto valor, producen el deslizamiento lateral del carril sobre la placa. Estos esfuerzos se transmiten a la hoja inferior de la grapa y se componen con la tensión del tornillo sobre el bucle para dar una resultante oblicua. La transmisión al hormigón de este esfuerzo oblicuo se realiza a través del sector de caucho, que por su naturaleza hace las veces de amortiguador.

El aislamiento eléctrico la sujeción RN lo logra por medio de tres elementos:

- ❑ la placa de caucho, que aísla el carril de la traviesa
- ❑ el sector de caucho amortiguador, que aísla la grapa de la traviesa, y
- ❑ el casquillo aislante, que aísla el tornillo de la grapa.

4.2. SUJECIÓN P-2

La sujeción P-2 se desarrolló en España para sustituir a la sujeción RN. Fue proyectada para evitar los problemas que presenta la vía montada con el conjunto formado por la traviesa bloque RS y la sujeción RN, especialmente en lo que se refiere al aislamiento eléctrico entre sus dos hilos y a la conservación de su ancho. Esta solución resuelve el problema del aislamiento, incluso en condiciones atmosféricas desfavorables, y anula, casi por completo, la variación del ancho de vía que ocasiona la sujeción RN. Lo que no puede evitar esta solución es la modificación del ancho debido al giro de las cabezas de las traviesas como consecuencia de sus asientos y de la falta de rigidez de la riostra metálica que las une [14-16].

La sujeción P-2 está compuesta por dos tornillos de fijación a la traviesa que transmiten su presión al patín del carril por medio de unas arandelas, unas láminas elásticas y unas piezas aislantes, interior y exterior (Figura 2.7).

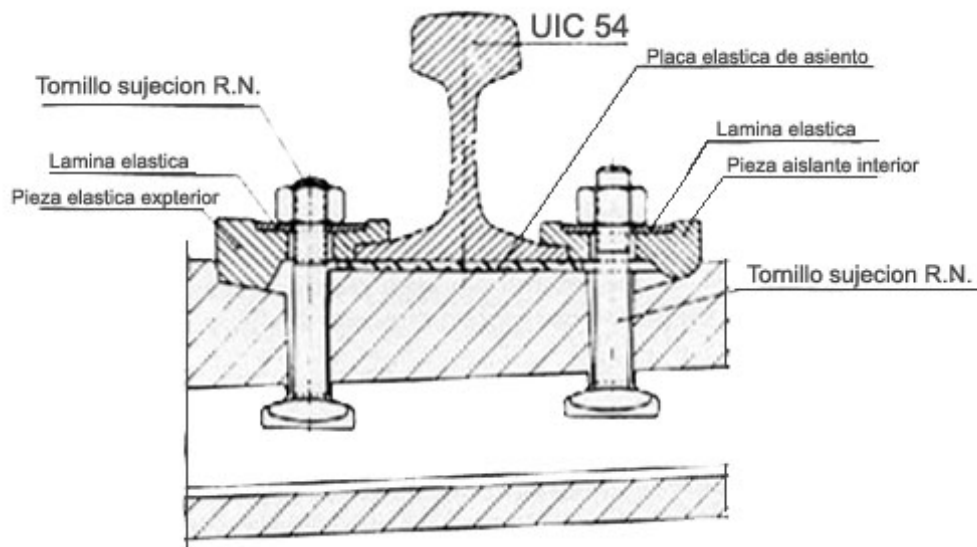


Figura 2.7. Sujeción P-2 [10]

En la Figura 2.7 se aprecia la composición de la sujeción, cuyos elementos más importantes son:

- Tornillos y arandela de la sujeción.
- Lámina elástica metálica.
- Piezas aislantes exterior e interior de poliamida reforzada con fibra corta de vidrio.
- Placa de asiento del carril.

Las grapas aislantes interiores y exteriores permiten conseguir un buen aislamiento eléctrico del carril. Por otra parte, la grapa exterior cumple la función de transmisión de los esfuerzos transversales del patín del carril a los alojamientos de la traviesa, por lo que su diseño es más robusto que el de la grapa interior, que tan sólo transmite esfuerzos verticales. El apriete vertical se consigue por flexión de las láminas elásticas de acero que, inicialmente, son planas, pero que sometidas a un esfuerzo vertical, por el apretado de los tornillos, se deforman elásticamente hasta entrar en contacto con la superficie superior de las grapas aislantes, que es cóncava [17-20].

El diseño geométrico de la sujeción P-2 permite su acoplamiento a las cavidades existentes en las traviesas RS para el alojamiento de la sujeción RN, por lo que la sustitución de una por otra se realiza sin ninguna modificación de la traviesa.

A continuación, se relacionan las características ventajosas que la sujeción P-2 presenta frente a la sujeción RN:

- ❑ Posee un tope para su apretado que elimina la ardua tarea de medir el par a aplicar. Su estado de ajuste suficiente, para fijar el carril, se consigue cuando está apretado hasta dicho tope.
- ❑ Las deformaciones de la lámina elástica y de la pieza aislante son pequeñas en comparación al esfuerzo de apretado obtenido sobre el patín del carril.
- ❑ Todo el conjunto de la sujeción presenta un buen comportamiento a la fatiga de sus materiales.
- ❑ La sujeción proporciona el ancho de vía en forma notablemente mejor que la sujeción RN, ocasionando variaciones del orden de la quinta parte del valor de la amplitud que ésta produce.
- ❑ Consta de 18 piezas por traviesa en lugar de las 24 que posee la RN.
- ❑ Como consecuencia de esta mayor sencillez, el montaje y la conservación presentan más facilidades.

Por otro lado, las principales desventajas de la sujeción P-2 frente a la RN son los siguientes:

- ❑ Menor recorrido elástico.
- ❑ Más sensibilidad a la acción del fuego.
- ❑ Precio de fabricación más elevado.

La sujeción P-2 se utiliza en España para vías con velocidades máximas de 160 km/h, pudiendo incluso utilizarse hasta 200 km/h siempre que la geometría y el grado de conservación de las vía sean adecuados para esta velocidad.

4.3. SUJECIÓN J-2

La sujeción J-2 se trata de una evolución de la sujeción P-2. Su origen se encuentra, básicamente, en la mejora del comportamiento de la sujeción P-2 ante las sollicitaciones de fatiga, debidas a la acción conjunta de la fuerza de apriete y las cargas que actúan sobre la vía, para así, incrementar su vida útil [21].

La variación introducida sobre la sujeción P-2 consiste en evitar el eventual contacto de la placa metálica con la pieza de plástico mediante la interposición de escalones de apoyo sobre la cara superior de la pieza. De esta manera, la placa no transmitirá todos los esfuerzos verticales a la pieza de plástico. También la J-2 presenta una mayor resistencia a los esfuerzos laterales que la P-2.

El esquema de la sujeción, como se muestra en la Figura 2.8, es similar al de la P-2, estando formada por 22 piezas por traviesa, entre las que destacan básicamente [22]:

- ❑ Tornillo y arandela de la sujeción.
- ❑ Lámina elástica metálica de 5 ó 6 mm.
- ❑ Piezas aislantes J-2 de poliamida reforzada con fibra corta de vidrio.
- ❑ Placa de asiento elástica bajo carril.

La estructura general del sistema de sujeción J-2 del carril sobre la traviesa en la que este apoya a través de una lámina elástica de asiento, se compone de dos piezas de plástico, una correspondiente al lado exterior del carril respecto de la vía y otra que corresponde a su lado interior. Las 2 piezas de plástico están unidas a la traviesa por medio de sendos tirafondos con sus respectivas arandelas y tuercas. Estas últimas aprietan, contra su asiento, a una placa metálica elástica capaz de absorber, mediante su deformación, el exceso de presión producida por el par de apriete.

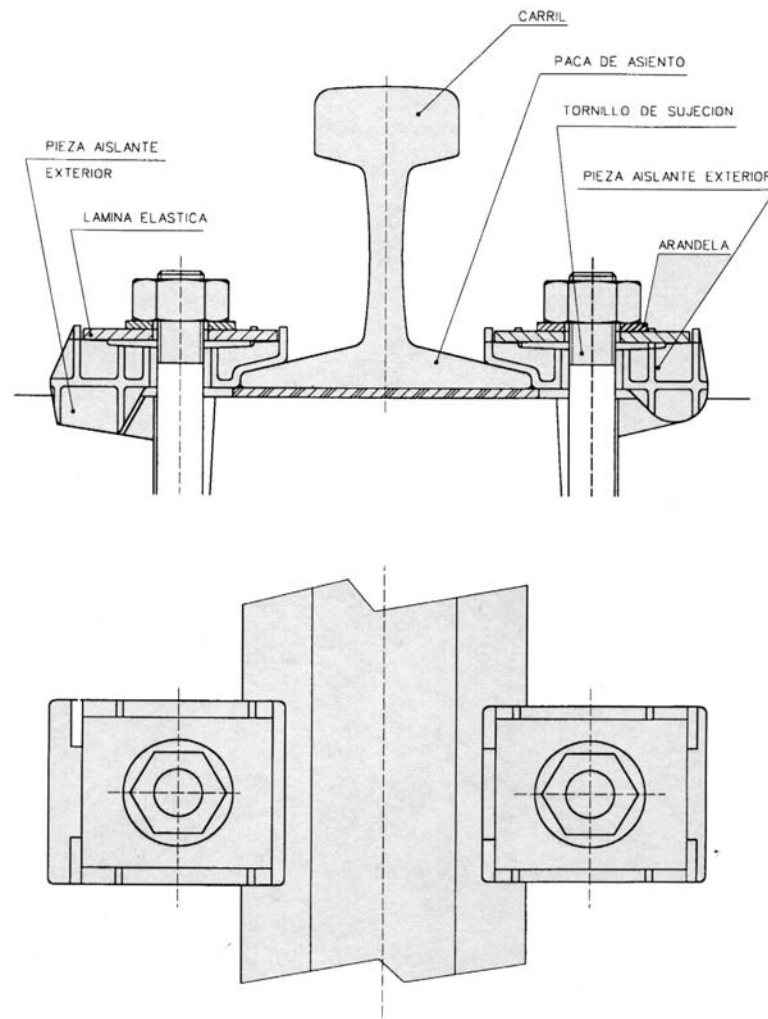


Figura 2.8. Sujeción J-2 [23]

En la Figura 2.8, se puede observar que la pieza J-2 dispone de unos escalones de apoyo de la lámina metálica a uno y otro lado del tirafondo, los cuales facilitan la capacidad de deformación de dicha placa sin transmitir esfuerzos a toda la cara superior de la pieza aislante de plástico.

El elemento fundamental está constituido por la pieza aislante que aprieta el patín contra la traviesa, asegura el ancho de vía y juega un papel muy importante en el aislamiento eléctrico entre los carriles de los hilos de la vía.

La pieza aislante J-2 dispone de nervios longitudinales y transversales en su diseño interior. Los longitudinales, en su cara superior están dispuestos ortogonales al plano de ataque del patín y los transversales, perpendiculares a éstos.

El Grupo de Materiales de la Universidad de Cantabria colaboró en el diseño, optimización y desarrollo de la Sujeción J-2 junto con RENFE, TIFSA, MONDRAGÓN, Rhône-Poulenc, DSM y Du Pont. El trabajo del Grupo de Materiales de la Universidad de Cantabria se centró, básicamente, en la caracterización mecánica de la sujeción, tanto estática, como dinámicamente [24 y 25]. El resultado de este trabajo fue la optimización del sistema de sujeción J-2, además de la definición del Procedimiento de Homologación [26].

4.4. SUJECIÓN NABLA

La sujeción NABLA es de origen francés, deriva de la RN y surge con la misión de sustituirla. Su configuración geométrica no permite su acoplamiento a los alojamientos previstos inicialmente para la RN, ya que está concebida para equipar traviesas bibloque nuevas (Figura 2.9), que se utilizan en Francia incluso para las líneas de alta velocidad.

El diseño de la sujeción NABLA resuelve las deficiencias apuntadas en la RN:

- Solventa el aislamiento eléctrico de los hilo de la vía.
- Anula las variaciones de ancho de vía.
- Proporciona, al carril, una unión elástica más sencilla y eficaz como consecuencia de la sustitución de la grapa por una lámina doblemente elástica.
- Simplifica el apretado de la lámina.

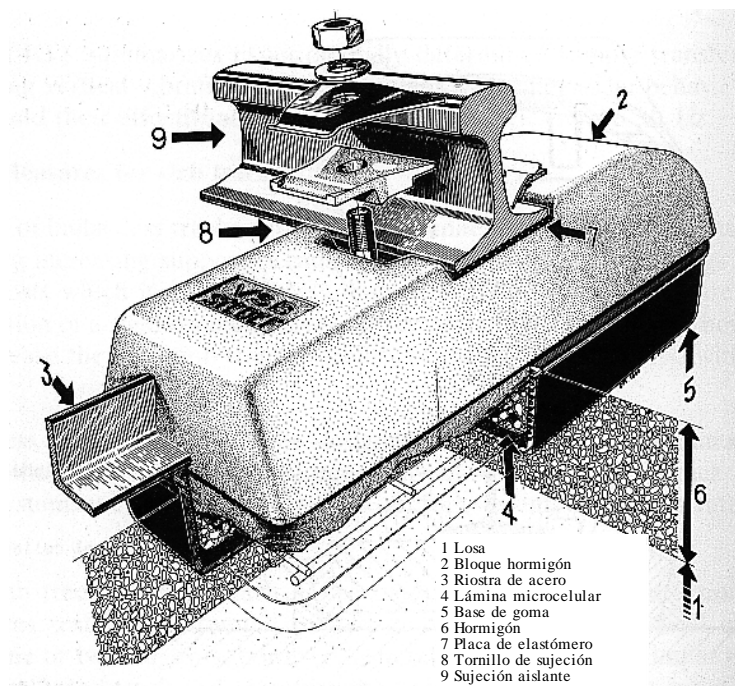


Figura 2.9. Sujeción NABLA en traviesa bloque [9]

Los principales componentes de la sujeción NABLA para traviesa de hormigón, tanto bloque como monobloque, como puede verse en la Figura 2.10, son los siguientes [27]:

- ❑ Anclaje de fijación a la traviesa. Este anclaje puede ser de tres tipos:
 - Tirafondo roscado en una espiga aislante protegida por medio de una envoltura metálica embutida en el hormigón.
 - Vástago roscado que se ancla a la traviesa de la misma forma que el tirafondo pero finaliza en una rosca y va provisto de tuerca hexagonal.
 - Tornillo de anclaje similar al de grapa empleado en la sujeción RN.
- ❑ Grapa elástica. Se trata de una lámina de acero especial y de forma trapecial, convexa hacia arriba y con el borde de su base menos curvado en la dirección del eje longitudinal del carril. Su doble curvatura le permite amortiguar los movimientos verticales y horizontales del carril, en colaboración con la pieza tope aislante, sobre la que ejerce presión mediante el anclaje de la sujeción y la arandela, y con la placa de asiento del carril.

- ❑ Tope aislante. Se trata de una pieza fundamental de la sujeción, es de poliamida y existe con diferentes formas y bajo diversos tipos dentro de ellas. Entre sus funciones se pueden citar:
 - Aísla el carril de la sujeción.
 - Permite el montaje de diversos perfiles de carril, en una misma traviesa.
 - Proporciona diferentes sobreamanchos en curvas de pequeño radio.
 - Hace posible el paso de una instalación en vía ancha (1.668 mm) a otra de ancho internacional (1.435 mm), o viceversa, utilizando el mismo perfil de carril e igual traviesa.

- ❑ Placa de asiento. Se coloca entre el carril y la traviesa y está formada por una plancha acanalada de material elastómero, cuya elasticidad debe quedar ajustada a las que poseen la grapa y el tope, de modo que las deformaciones del conjunto permitan mantener una presión del carril sobre la traviesa, que impida su desplazamiento. Existen diversos modelos de placas, con espesores de 4.5, 6.5 y 9.0 mm y provistos de diferentes acanaladuras para regular su elasticidad de conformidad con la carga por eje del material rodante, su velocidad de circulación, el perfil del carril, etc. El espesor de 9 mm es el que se emplea en las vías de alta velocidad para conseguir mejores características de amortiguación de las vibraciones que se producen por diversas causas a estas velocidades.

La disposición de los elementos de la sujeción evita el contacto del carril con la traviesa o con cualquier elemento metálico que toque con ella, produciendo su completo aislamiento eléctrico.

El apretado definitivo se puede realizar manualmente con ayuda de una llave hasta anular la distancia existente entre el borde de la lámina elástica y la superficie del tope, con alguna décima de milímetro de diferencia o, también, por medio de una atornilladora mecánica de par limitado, regulándolo entre 150-200 N·m.

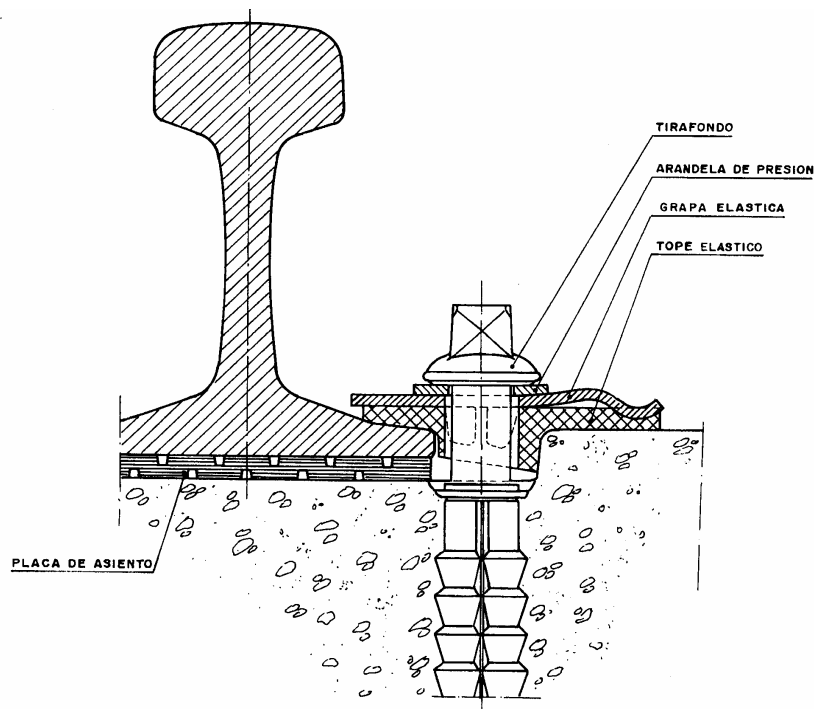


Figura 2.10. Sujeción NABLA para traviesa de hormigón [27]

4.5. SUJECIÓN PANDROL

Su inventor fue un ingeniero noruego, aunque la explotación comercial es inglesa. La característica fundamental de esta sujeción es que no incluyen elemento roscado de apriete alguno, lo que disminuye mucho los requerimientos de mantenimiento del sistema. Por este hecho, se ha llegado a decir que es una solución “fit and forget”, es decir instalar y olvidar, aunque esta consideración resulta un tanto exagerada.

La sujeción PANDROL puede ir montada sobre todo tipo de traviesas: madera, metálicas y de hormigón. La sujeción sobre madera sería de tipo indirecto, mientras que las otras dos, hormigón y metálica, lo serían de tipo directo. Actualmente, hay instalados unos 350 millones de este tipo de sujeciones, de los cuales dos tercios están sobre hormigón, prácticamente el tercio restante en madera y una minoría en traviesa metálica.

La sujeción PANDROL para traviesa de hormigón queda representada en la Figura 2.11, estando formada por los siguientes componentes [28]:

- ❑ Piezas de alojamiento de la grapa elástica embebidas en la traviesa en el proceso de su fabricación.
- ❑ Placa elástica de asiento del carril fabricada en polietileno que posee unos entrantes laterales para encajar en las cabezas de las piezas de alojamiento del clip para evitar un posible desplazamiento.
- ❑ Clip elástico que trabaja a flexión y torsión combinadas, fabricado de barra de acero de alta calidad, aleado al siliciomanganeso y tratado térmicamente.
- ❑ Pieza aislante fabricada en poliamida o en otro material plástico. Generalmente se emplea sin recubrimiento metálico pero, en las alineaciones curvas de pequeño radio, queda protegida por una lámina metálica.

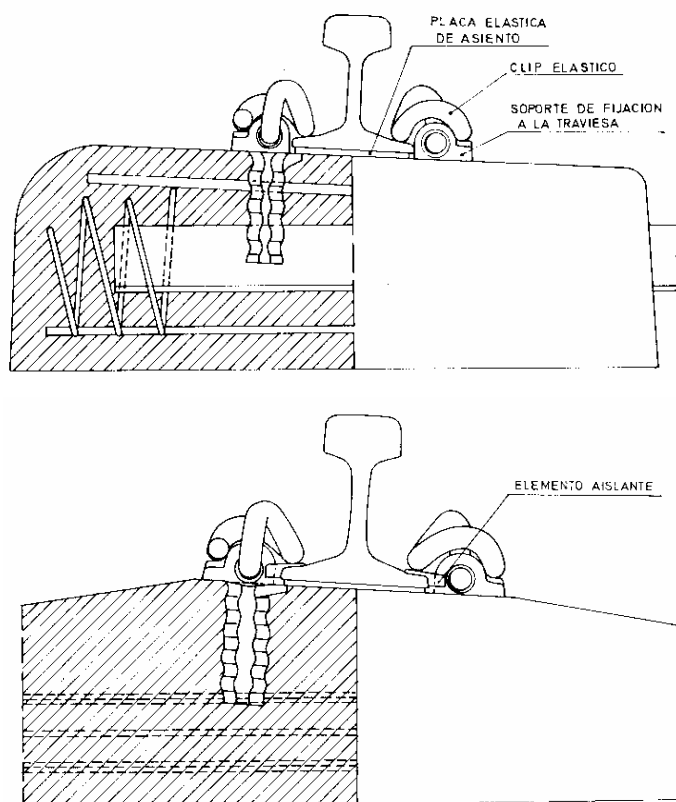


Figura 2.11. Sujeción Pandrol en hormigón [29]

La sujeción PANDROL para traviesa de madera se representa en la Figura 2.12, y está formada por los siguientes componentes:

- ❑ Placa metálica para asiento del carril de distintos modelos capaces de alojar dos, tres o cuatro grapas elásticas y fabricada en acero laminado, o de fundición moldeada. En su parte central posee un plano con inclinación 1/20 donde asienta el carril y en sus costados laterales lleva conformados los alojamientos para los clips elásticos.
- ❑ Clip elástico igual al empleado en la traviesa de hormigón.
- ❑ Anclaje de la placa metálica a la traviesa. Se pueden usar clavos elásticos o simples tirafondos. Según la línea y el lugar de utilización se emplean dos, tres y hasta cuatro clips o tirafondos por cabeza de traviesa.

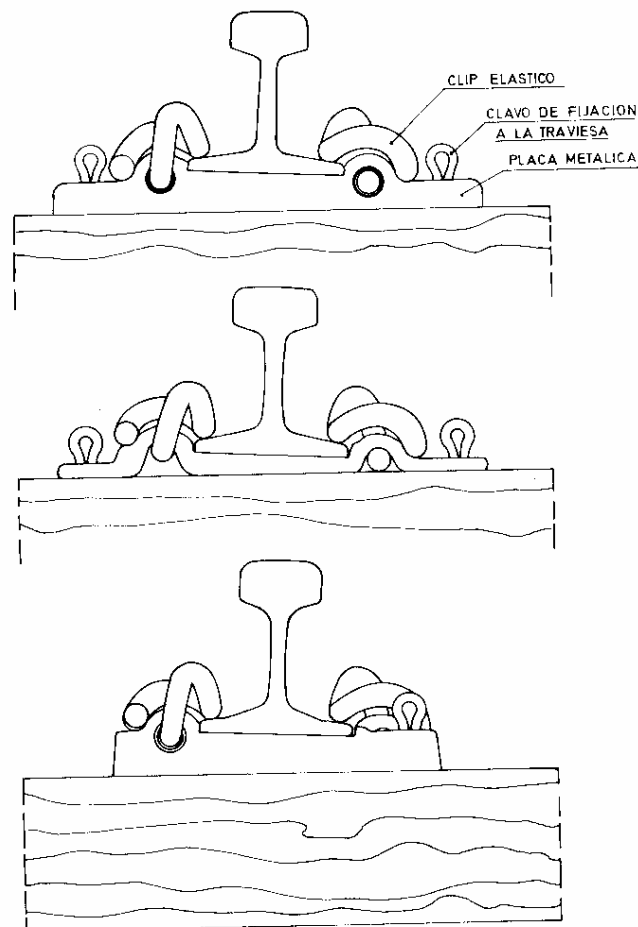


Figura 2.12. *Sujeción Pandrol en madera* [29]

La sujeción PANDROL para traviesa metálica se representa en la Figura 2.13. Se trata de la expresión más simplificada de este tipo de sujeción. Está compuesta, exclusivamente, por la grapa elástica que queda fijada a la traviesa en unos alojamientos realizados en ella durante su fabricación mediante corte y presión en el metal. En las traviesas ya colocadas en vía, que no disponen de estos alojamientos, se suelda una placa metálica para asiento del carril semejante a la utilizada en las traviesas de madera.

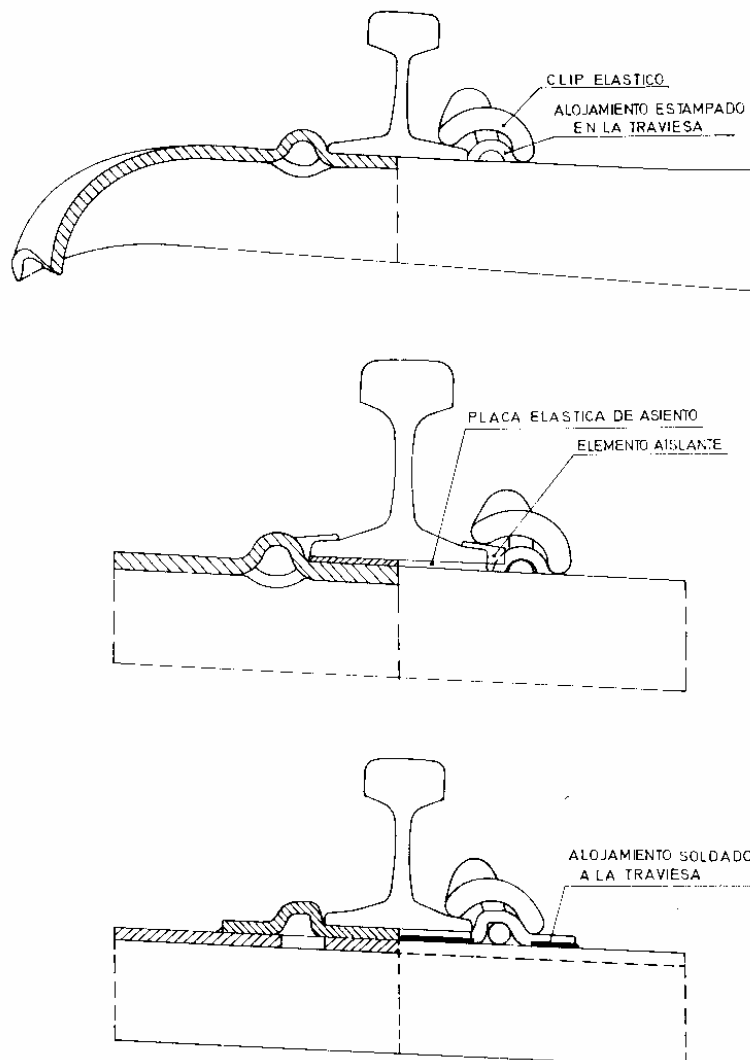


Figura 2.13. Sujeción Pandrol en acero [29]

La sujeción ofrece una resistencia adecuada al desplazamiento longitudinal del carril, ya que, por una parte, las grapas trabajan en sentido opuesto en ambos lados del patín por la forma en que están colocadas y, por otra, el apriete que proporciona cada una de ellas sobre dicho patín está comprendido entre la mitad y la tercera parte de la presión de contacto entre dicha grapa y su pieza de alojamiento, por lo que los esfuerzos longitudinales transmitidos por el carril no llegan a desplazar al clip de su posición correcta.

La principal ventaja de la sujeción consiste en la sencillez de su montaje y desmontaje. Como consecuencia, no se precisa personal especializado para estas operaciones, reduciendo el coste de la mano de obra empleado en esta tarea, así como en la de mantenimiento.

Para facilitar las operaciones de montaje y desmontaje de las grapas elásticas, la firma PANDROL dispone de dos herramientas específicas:

- ❑ El Panpuller es una herramienta manual consistente en un brazo metálico provisto de una uña móvil y otra fija. Para introducir el clip en su hueco de alojamiento, se enfrenta su terminación con él, se inserta la uña móvil en la onda del clip y se hace presión utilizando la herramienta como palanca y la cabeza de la pieza de alojamiento como punto de apoyo. Para extraerlo, se utiliza la uña fija y se hace palanca con la traviesa como punto de apoyo.
- ❑ El Pandriver es una máquina motorizada que puede montarse sobre la vía y desplazarse a lo largo de ella. Manejada por un solo operario puede retirar, simultáneamente, las cuatro grapas que lleva una traviesa, o colocarlas una vez que sus extremos han sido enfrentados con los huecos de alojamiento.

Finalmente, puede indicarse que, dada la robustez de la sujeción, su vida es prácticamente igual a la vida media del carril.

4.6. SUJECIÓN HM (SKL 1)

Se trata de una sujeción de origen alemán cuyo nombre responde a las iniciales del ingeniero autor del desarrollo, Herman Maier. De este sistema existen varias versiones distintas, de entre las que destacan una directa, la SKL 1, que se desarrolla en este apartado y la otra indirecta con placa nervada de acero, denominada SKL 12 [30].

En principio, la sujeción HM SKL 1 se fabrica para ser colocada en las traviesas monobloque DW de hormigón en sus dos variantes, para carril de 54 y 60 kg, aunque, también, puede ser utilizada con traviesas de madera y metálicas. La fijación a la traviesa, en el caso de que ésta sea de madera o de hormigón, se realiza por medio de un tirafondo, mientras que, si se trata de traviesa metálica, la fijación se lleva a cabo por una tuerca roscada a un espárrago fijo a la traviesa.

La sujeción está compuesta por los siguientes componentes, según puede verse en la Figura 2.14 [31]:

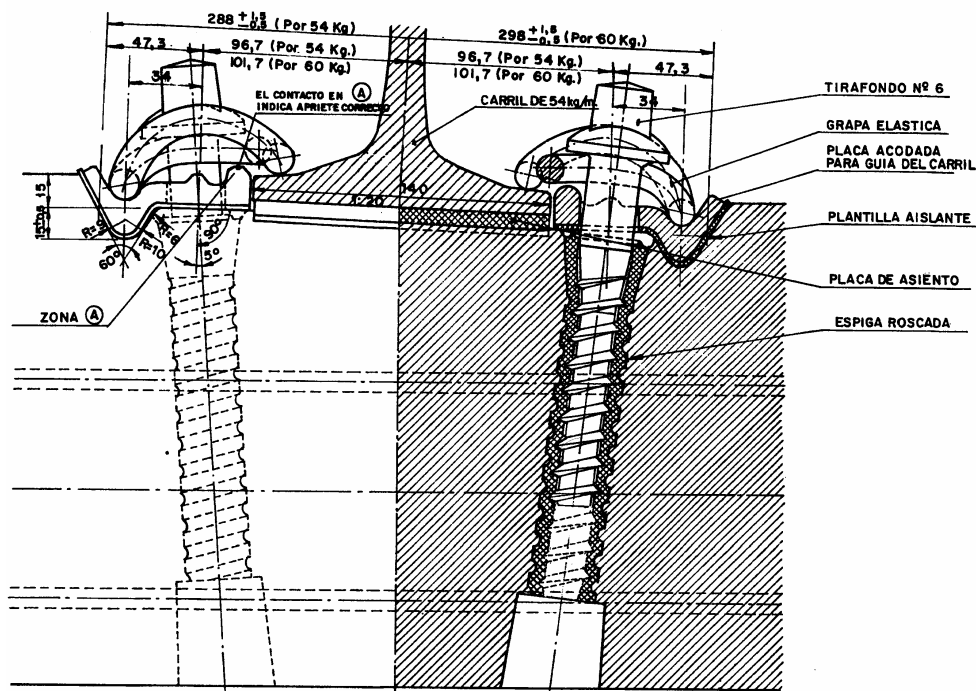


Figura 2.14. Sujeción HM (SKL 1) [31]

- ❑ Grapa o clip elástico. Se trata de una pieza de acero de sección circular y de geometría característica (forma de letra griega épsilon), cuya misión es oprimir el patín del carril contra la traviesa a través de la placa de asiento, trabajando en flexotorsión.
- ❑ Tirafondo de acero galvanizado y cromatado.
- ❑ Espiga roscada de alojamiento del tirafondo. Su forma es troncocónica y tiene una rosca exteriormente para mejorar la adherencia con el hormigón de las traviesas, donde se coloca en el proceso de fabricación de las mismas. Esta geometría permite, además, colocar un muelle metálico roscado exteriormente si se necesita una mayor adherencia con el hormigón. Va provisto, también, de un fileteado interior a fin de alojar el tirafondo. Está fabricada en un material plástico, siendo en la mayoría de los casos polietileno.
- ❑ Placa acodada para guía del carril. Es una placa metálica de forma especial con un codo en V en uno de sus extremos, que le permite ocupar un alojamiento en la traviesa con objeto de fijar su posición y, por tanto, la del carril. La sujeción monta dos placas, una a cada lado del carril que se interponen entre la traviesa y las grapas elásticas, quedando oprimidas por estas últimas. Las placas tienen un orificio por el que pasa el tirafondo de sujeción a la traviesa y varios resaltes, uno de los cuales sirve de tope al apretado, el cual se considerará correcto, en el momento que se establezca el contacto entre dicho nervio y la parte central del clip elástico (zona A en la Figura 2.14).
- ❑ Plantilla aislante. Se trata de una plancha de polietileno que se coloca entre la placa acodada y la traviesa para asegurar el aislamiento eléctrico entre los dos hilos.
- ❑ Placa de asiento del carril.

La sujeción se basa esencialmente en:

- ❑ La forma y características de la grapa elástica que oprime el patín del carril contra la traviesa a través de su placa de asiento.

- ❑ La forma de la placa acodada guía del carril sobre la que ejerce su presión la grapa elástica.
- ❑ El aislamiento y facilidades de apoyo que proporciona la placa de asiento del carril y la plantilla aislante de la placa acodada guía.
- ❑ La inserción del tirafondo de presión en la espiga roscada de material plástico.

Se utilizan estas sujeciones en número de dos por punto de sujeción y, si ésta es de hormigón, se emplean unas placas elásticas de asiento de material sintético, dotadas de unos rebordes laterales que las fijan sobre la traviesa para evitar su movimiento durante el montaje.