

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIA E INGENIERÍA DEL**  
**TERRENO Y DE LOS MATERIALES**

**TESIS DOCTORAL**  
**COMPORTAMIENTO EN FATIGA DE POLIAMIDAS**  
**REFORZADAS CON FIBRA DE VIDRIO CORTA**

**Autor:**

**JOSÉ ANTONIO CASADO DEL PRADO**

**Directores:**

**D. FEDERICO GUTIÉRREZ-SOLANA SALCEDO**

**D. JUAN ANTONIO POLANCO MADRAZO**

**Tesis Doctoral presentada en la Universidad de Cantabria para la**  
**obtención del título de Doctor en Ciencias Físicas**

**Santander, abril 2001**

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1 INTRODUCCIÓN

La justificación de los trabajos desarrollados en esta Tesis Doctoral reposa en el uso de materiales aislantes en sujeciones de vía de ferrocarril.

#### 1.1 Las sujeciones de vía de ferrocarril

Las sujeciones actuales de vía de ferrocarril no sólo han de ser capaces de soportar los esfuerzos que se generan en la vía y que sobre ellas se transmiten, sino que, además, han de contribuir a dotar al sistema de circulación del aislamiento eléctrico necesario para poder garantizar un correcto funcionamiento del circuito de señalización existente en las líneas modernas.

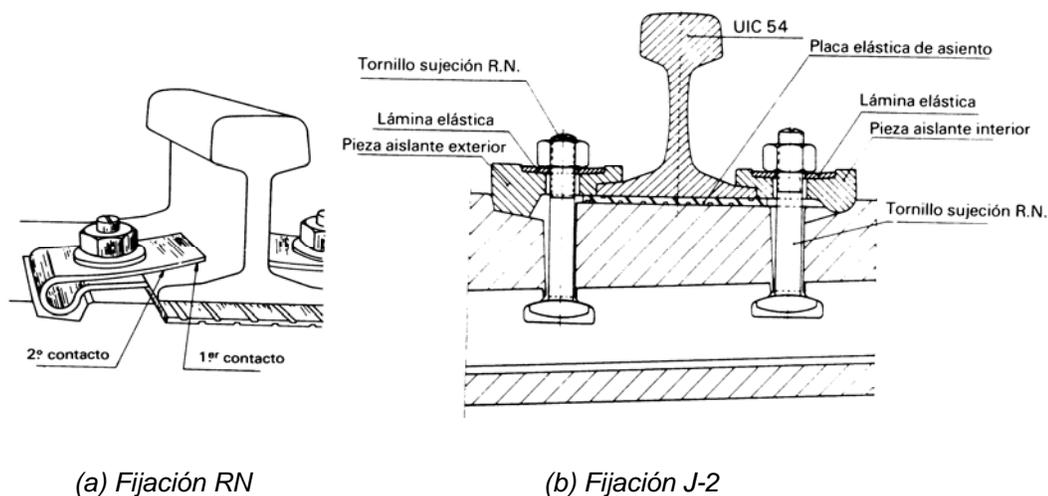
Las sujeciones que permiten una continuidad eléctrica entre los dos hilos de la vía férrea producen derivaciones que cortocircuitan eléctricamente ambos carriles, con el consecuente peligro originado al descompensarse el sistema de señalización que regula el tráfico por la vía. Existe una normativa de carácter internacional [1] que establece las condiciones de realización de un ensayo para verificar la resistencia

eléctrica del sistema de sujeción, consistente en someter a condiciones de lluvia extremas a una traviesa montada con todos sus elementos, incluidos dos pequeños cupones de carril.

Es competencia de cada administración o propiedad la especificación de los requerimientos de aislamiento eléctrico mínimos que debe de poseer el sistema de sujeción a evaluar, garantizando un comportamiento óptimo del circuito de señalización eléctrica en la vía.

Para resolver estos condicionantes, las sujeciones de carril actuales, algunas de ellas en proceso de desarrollo y puesta a punto, incorporan, como innovación, elementos constituidos por materiales aislantes de carácter polimérico, ya sean solos o reforzados con fibras inorgánicas, las cuales actúan como grapas de fijación o topes de carril.

Un ejemplo de la evolución que acompaña a esta innovación lo constituye el paso del sistema RN a la sujeción J-2 desarrollado en España [2-8]. En la Figura 1.1 se presenta un esquema de ambas sujeciones, instaladas en traviesa bloque de hormigón del tipo RS. La modificación y mejora del aislamiento eléctrico se consigue utilizando piezas que funcionalmente actúan de grapa (J-2), inyectadas con un material polimérico, en lugar de las clásicas conformadas a partir de fleje metálico de acero (RN). El resto de los elementos de la sujeción (dos chapas metálicas planas, denominadas láminas elásticas, y dos tornillos con sus correspondientes tuercas y arandelas, anclados en la riostra de acero que une los dos bloques de hormigón de la traviesa) ayudan a realizar la sujeción mecánica de la vía. En ambos casos, bajo el raíl se ubica una placa de asiento de caucho cuya función principal es la de amortiguar y absorber las vibraciones producidas por el paso de los vehículos, además de contribuir como componente aislante.



**Figura 1.1.** Sujeciones para traviesa bloque de hormigón. (Extraído de [9])

Para hacer solidario el carril a la traviesa, se ha de transmitir a los tornillos el apriete preciso que permita garantizar una apropiada fuerza de apriete de la pieza aislante sobre el patín del carril, sin que se rebase el límite de comportamiento elástico de las láminas metálicas. El par de apriete aplicado es un parámetro de relevante importancia, ya que condiciona el comportamiento global de la sujeción ante los diferentes esfuerzos mecánicos que ha de soportar, ya sean éstos de naturaleza estática o dinámica [10].

Por lo tanto, además de la función aislante, la sujeción cumple una misión resistente de la sollicitación que provoca el paso de los trenes. En esta faceta resistente, la pieza aislante juega un papel fundamental como transmisora de esfuerzos.

La implantación de este tipo de piezas aislantes de sujeción conformadas con materiales poliméricos ha requerido la elaboración y definición de especificaciones técnicas [11-12] que contemplan el conjunto de normas y criterios para regular el procedimiento de su homologación, el control durante su proceso de fabricación y las condiciones para su recepción y suministro. El cumplimiento de estas

especificaciones garantiza la doble funcionalidad, aislante y mecánica, de las piezas de sujeción.

A la hora de evaluar el comportamiento real de estos elementos, las condiciones ambientales, como la humedad, la acción de los rayos ultravioleta o los cambios extremos de temperatura y la presencia de factores agresivos, como la impregnación de aceites, a los que se encuentran sometidas las piezas en servicio, aceleran el proceso de degradación de los materiales poliméricos de inyección de las mismas, repercutiendo en su capacidad resistente [13].

## **1.2 Esfuerzos dinámicos generados en la vía**

La respuesta resistente de las piezas aislantes de las sujeciones de vía de ferrocarril conformadas con materiales poliméricos, con o sin refuerzo inorgánico, se establece sobre los procesos mecánicos dinámicos de fatiga e impacto producidos por la acción de la circulación de los trenes, cuya intensidad se ve incrementada proporcionalmente por el peso de los vehículos, su velocidad y la frecuencia de su tránsito por la línea. Estas acciones dinámicas, continuadas en el tiempo, pueden originar el deterioro progresivo de las piezas y la consecuente pérdida de su capacidad de sujeción de la vía, lo que conlleva pérdida de seguridad para los trenes en circulación.

Estando las sujeciones, en general, y las piezas aislantes, en particular, sometidas a un continuo proceso de optimización, tanto en su diseño formal como en la selección de los materiales más adecuados a su doble funcionalidad, deben conocerse, con la mayor precisión posible, los procesos de impacto y fatiga a los que se encuentran solicitadas, así como su comportamiento ante los mismos. A estos objetivos, se dedican los trabajos desarrollados a lo largo de esta Tesis.

Las piezas poliméricas que aíslan eléctricamente los carriles tienen, como se ha destacado, la finalidad de sujetar la vía, manteniendo el ancho de la misma, y transmitir los esfuerzos generados por el paso del tren a las traviesas, siendo éstas las que, finalmente, los comunican al balasto, receptor y distribuidor último de las cargas. Estos esfuerzos originados no son de carácter estático, puesto que se producen en un brevísimo intervalo de tiempo, pudiendo asociarse a cargas de impacto. Mediciones realizadas en la vía sobre sujeciones de carril debidamente instrumentadas [14] ponen de manifiesto los esfuerzos dinámicos soportados por las piezas aislantes de la sujeción al paso de los vehículos por la línea.

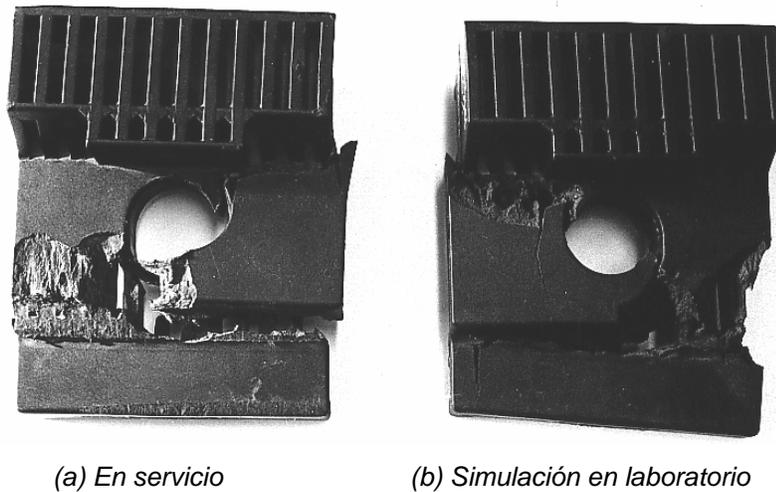
Las solicitaciones son transmitidas por el carril a las piezas aislantes exteriores de la sujeción. Esta situación produce un desplazamiento del carril con respecto de la traviesa, transversal al eje longitudinal de la vía. Estos movimientos suceden en los tramos rectos ocasionados por el efecto del “movimiento de lazo”, originado por los vagones debido a la existencia tanto de sobreamplios como de estrechamientos de la vía. En las curvas, estos desplazamientos transversales se generan por el efecto de la fuerza centrífuga consustancial a la circulación de los vehículos por trazados no rectilíneos.

Durante el desarrollo de la sujeción J-2, la puesta en servicio de los primeros prototipos en tramos experimentales de medias a altas prestaciones de funcionamiento, en cuanto a velocidad, puso en evidencia la existencia de roturas inesperadas. La tipología de las mismas no guardaba correlación con la obtenida tras el ensayo en laboratorio de las piezas aislantes frente a esfuerzos estáticos, lo que indicaba que la metodología utilizada (ya fuera el utillaje empleado, ya el tipo de esfuerzo aplicado) no permitía simular lo que realmente sucedía en la vía.

Un trabajo experimental exhaustivo para desarrollar un ensayo de caracterización de las piezas aislantes ante solicitaciones mecánicas aplicadas a alta velocidad, llevado a cabo con anterioridad a esta Tesis, y que resulta básico para la misma [15, 16], fue capaz de simular las roturas de los componentes aislantes de la sujeción de carril observadas en vía. Las condiciones de funcionamiento límites de

las piezas aislantes se establecieron aplicando sobre las mismas en el ensayo uno o varios ciclos repetitivos de ondas de carga de naturaleza cuadrada. Este tipo de onda, fue seleccionado por tratarse de la función de la máquina de ensayos que genera una rampa de carga a la mayor velocidad posible. De esta forma, se reproduce una acción o acciones violentas e instantáneas sobre la pieza aislante de la sujeción a evaluar.

El aspecto que presentan las piezas inyectadas con poliamida reforzada con fibra de vidrio tras el ensayo es completamente similar al observado en las piezas rotas en la vía. En la Figura 1.2 (a) se observa el estado de una pieza colocada en la línea férrea, rota por el paso de los trenes, y en la Figura 1.2 (b) el de otra ensayada en el laboratorio.



**Figura 1.2.** Roturas de las piezas J-2 producidas por impacto. (Extraído de [16])

Asimismo, se pudo comprobar que la aplicación repetida de ciclos de carga de naturaleza senoidal, menos agresivos a priori, produjeron la misma tipología de rotura última en las piezas aislantes de sujeción [17].

En consecuencia, la correspondencia conseguida permite confirmar que son las sollicitaciones de tipo dinámico las que causan un mayor perjuicio a las piezas en servicio, por lo que éstas deben presentar un diseño, tanto en lo relativo a formas como al material con el que están inyectadas, que asegure su correcto comportamiento.

No se puede obviar el carácter consecutivo y más o menos repetitivo de los impactos surgidos del paso de cada tren, por lo que la sollicitación que actúa sobre las piezas aislantes debe considerarse ligada a procesos mecánicos dinámicos de fatiga. El material termoplástico, que conforma las piezas aislantes, se encuentra sometido a la acción de cargas fluctuantes, cuya repetición periódica provoca un calentamiento del mismo, variando así su flexibilidad y su respuesta mecánica. Los procesos dinámicos de fatiga reales se producen de acuerdo con un espectro aleatorio de ondas de cargas. Sin embargo, este tipo de esfuerzos se caracterizan experimentalmente empleando ondas de naturaleza senoidal o cuadrada, ejerciéndose sollicitaciones variables de forma continua sobre las piezas aislantes, en el primer caso, o bien generándose impactos repetitivos sobre las mismas, en el segundo. Estos últimos se antojan más acordes con la realidad constatada en la vía, como se ha justificado en el epígrafe anterior.

El comportamiento de las piezas aislantes de sujeción viene condicionado por las características del material polimérico con el que han sido inyectadas. En lo referente a los procesos de fatiga, los factores que influyen en dicho comportamiento son el tipo de onda, a través del que se ejercen los niveles de esfuerzos y/o deformaciones, y la frecuencia con que son aplicados. De igual forma, la temperatura ambiente y la que alcanza el propio material sometido a fatiga son variables de importante relevancia, debido al carácter termoplástico del mismo y a su efecto sobre su comportamiento viscoso de fluencia, acoplado con el ya considerado de fatiga. Por tanto, será el efecto de estos factores y variables lo que debe analizarse para entender mejor el comportamiento de estos materiales en

fatiga y así poder optimizar el proceso de selección de los mismos para las piezas de sujeción.

## **2 OBJETIVOS**

El elevado grado de responsabilidad en la seguridad del tráfico ferroviario exige el funcionamiento óptimo de las sujeciones que, junto a su definición como elementos aislantes, llevan aparejada una función de fijación de la vía, lo cual impone la necesidad de conocer los procesos de daño críticos que conducen a la rotura del material con que se conforman dichos elementos.

En el diagrama de la Figura 1.3 se presentan, de forma esquematizada, las líneas conceptuales en las que se sustenta el trabajo para la realización de esta Tesis. Estas líneas corresponden a las condiciones de validación del empleo de piezas poliméricas, no sólo como elementos aislantes de sujeciones de vía de ferrocarril sino, también, como elementos de alta responsabilidad mecánica.

El desconocimiento del comportamiento de los polímeros técnicos, ante los procesos específicos hasta ahora significados, plantea la necesidad de proceder a su caracterización frente a los mismos, como paso previo para optimizar el diseño de piezas con ellos conformadas. De esta forma, la modelización del comportamiento de estos materiales sometidos a fenómenos de fatiga con impacto se justifica como el objetivo general de esta Tesis Doctoral, habiéndose remarcado en la zona sombreada de la Figura 1.3.

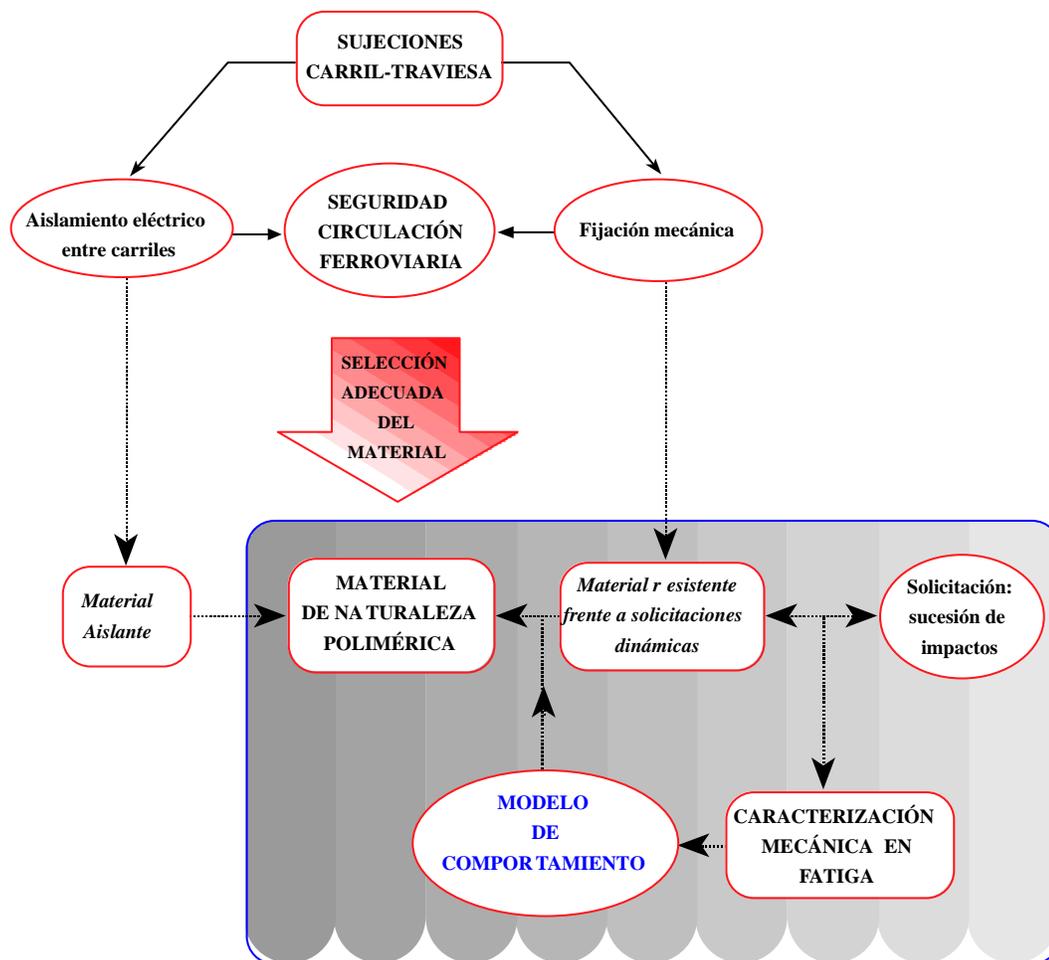


Figura 1.3. Líneas conceptuales que definen los objetivos de esta Tesis.