

EFFECTO DEL ENVEJECIMIENTO DE PLACAS DE ASIENTO DE CARRIL INYECTADAS CON TPE EN LA ELASTICIDAD DE LA VÍA PARA ALTA VELOCIDAD

I. A. Carrascal, J. A. Casado, S. Diego, J. A. Polanco y F. Gutiérrez-Solana

Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y los Materiales.
E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria
Avda. Los Castros s/n, 39005-Santander, España.
isidro.carrascal@unican.es

RESUMEN

Las placas de asiento inyectadas con termoplástico elastómero (TPE), ubicadas entre los carriles de acero y las traviesas de hormigón, desempeñan una función esencial en el buen mantenimiento general de la vía férrea. Fundamentalmente proporcionan elasticidad a la vía y amortiguan las vibraciones que el carril transmite a la traviesa, por lo que evitan la fisuración del hormigón e impiden el desgaste del balasto. Las placas de asiento, además de sufrir el desgaste propio de las acciones mecánicas cíclicas a las que se encuentran sometidas por el paso de las ruedas de los trenes por la vía, padecen un deterioro ambiental, acentuado por su naturaleza polimérica, al encontrarse expuestas a los rayos de la luz ultravioleta, a las variaciones de humedad y temperatura y a ciclos de hielo-deshielo. Adicionalmente, este material presenta un daño físico asociado a su contacto con hidrocarburos, procedentes del material móvil, que impregnan la vía. En este trabajo se ha valorado, por medio de ensayos mecánicos de elasticidad, el grado de deterioro sufrido por placas de asiento sometidas en laboratorio a diferentes tratamientos de envejecimiento artificial independientes y se ha contrastado con el daño presentado por placas procedentes de vías de ferrocarril para trenes de alta velocidad tras una vida en servicio de 3 años, que fueron sometidas de forma natural y simultánea a todos los fenómenos mecánico-ambientales citados. Se ha comprobado que el efecto acumulativo de los tratamientos de envejecimiento artificial que incrementan la rigidez del sistema equivale al daño real determinado sobre las placas de vía, estimado en un 37%.

ABSTRACT

Seat plates injected with thermoplastic elastomer (TPE), located between the steel rails and concrete sleepers, play an essential role in overall good maintaining of the track. Basically they provide elasticity to the track and dampen the vibrations that the rail transmits to the sleeper, thus avoiding cracking of the concrete and preventing the erosion of the ballast. Seat plates, besides suffering from the wear of cyclical mechanical actions which are subject to the passage of the wheels of trains along the track, experiencing environmental degradation, emphasized by their polymeric nature, to be exposed to rays of ultraviolet light, variations in humidity and temperature and freeze-thaw cycles. Additionally, this material presents a physical injury associated with contact with hydrocarbons, from the rolling material, which impregnate the track. In this work we have evaluated through mechanical elasticity tests, the degree of damage suffered by seat plates in the laboratory under independent different artificial aging treatments and it has been contrasted with the damage presented by seat plates from railroad tracks to high-speed trains after a service life of 3 years, treated naturally and simultaneously to all mechanical and environmental phenomena mentioned. There is evidence that the cumulative effect of artificial aging treatments that increase the stiffness of the system amounts to determined real damage on the plates from the track, estimated at 37%.

PALABRAS CLAVE: Placa de asiento, Termoplástico elastómero, Deterioro ambiental, Deterioro mecánico.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

El sistema de sujeción aporta la necesaria elasticidad al conjunto de vía para limitar dentro de tolerancias, los movimientos longitudinales y laterales del carril, así como su giro, a causa de los esfuerzos transversales y verticales transmitidos por los vehículos y, asimismo, propiciar que la rodadura sea cómoda y confortable para el usuario. La fijación aporta un contacto permanente,

sin holguras, entre carril y traviesa, manteniendo el ancho vía y proporcionando aislamiento eléctrico adecuado entre hilos [1].

La placa elástica de asiento es uno de los constituyentes del sistema de sujeción y se encuentra situada bajo el carril sobre la traviesa (Ver Figura 1). Permite dotar a la vía de la elasticidad requerida, amortiguando los esfuerzos transmitidos por los vehículos y protegiendo

las traviesas, para evitar su fisuración e impidiendo el desgaste del balasto de los impactos del tráfico ferroviario. La placa debe garantizar una alta durabilidad [2] manteniendo sus características durante la vida útil de la vía, a pesar de las condiciones atmosféricas (rayos UVA y ozono), de la temperatura ambiente y de los aceites minerales del material rodante. Los materiales utilizados deben tener una buena resistencia al rozamiento y una adecuada rigidez para soportar el apriete estático de la sujeción y, los esfuerzos verticales, longitudinales y transversales que va a tener durante su servicio de acuerdo con variaciones atmosféricas de temperatura, esfuerzos de aceleración y frenado, rampas y pendientes.



Figura 1: Esquema de la sujeción de vía

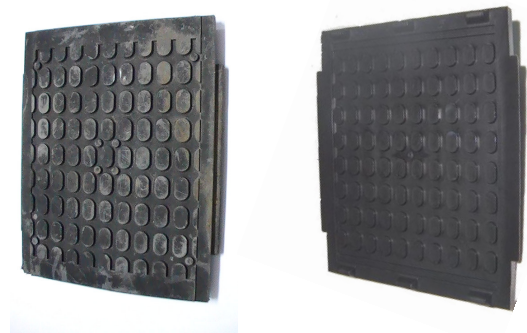
El objetivo de este trabajo es valorar, por medio de ensayos mecánicos establecidos en la E.T. 03.360.570.0. [3], el deterioro sufrido por placas sometidas en laboratorio a tratamientos de envejecimiento artificial independientes. Los resultados se han comparado con el daño de placas procedentes de vía para trenes de alta velocidad tras una vida en servicio de 1 y 3 años, que de forma natural fueron sometidas simultáneamente a todos los fenómenos mecánico-ambientales.

2. MATERIAL OBJETO DE ENSAYO

Las placas son conformadas por inyección con elastómeros termoplásticos (TPE). Estos materiales se basan en un sistema de fases separadas, en el que alternan una fase de cadenas elásticas, que le confieren las características de un caucho, con cadenas rígidas, formando fases diferentes. A temperatura ambiente presentan gran cohesión con entrecruzamientos físicos similares a los de la vulcanización [4]. El TPE es un polímero que combina las mejores características de los elastómeros con las de los termoplásticos técnicos. Destacan por presentar una tenacidad y resiliencia importantes; una elevada resistencia a la fluencia, al impacto y a fatiga; flexibilidad a bajas temperaturas y buena resistencia a disolventes y aceites [5].

Las placas empleadas en este trabajo son para carril UIC-64 (PAE-2) y tienen dos procedencias: de producción, inyectadas por la empresa Soluciones Mondragón en el año 2006, y de vía con un uso en servicio de 1 a 3 años (Ver Figura 2). Las dimensiones nominales de todas ellas son (180x148x7) mm³. Las placas de producción se inyectaron con 2 materiales diferentes: Hytrel®, marca registrada de la compañía Du

Pont y Arnitel®, marca registrada de la compañía DSM. Las placas de vía se habían inyectado con Arnitel® únicamente. Estos tipos de materiales, a parte del termoplástico elastómero como principal componente, poseen en su seno estabilizadores de calor, retardantes de llama y aditivos protectores de los UV, resistentes a la hidrólisis y al desgaste. Todos estos agentes mejoran las propiedades mecánicas, físicas y químicas del termoplástico elastómero.



Placa de vía Placa de fábrica
Figura 2: Placas de asiento

3. FUNDAMENTO Y METODO DE ENSAYO

3.1. Procesos de deterioro artificial

La integridad del polímero que constituye la placa de puede verse afectada por el deterioro mecánico y ambiental durante su vida útil. La degradación es un proceso que modifica la estructura del polímero haciéndolo perecedero. El deterioro mecánico se produce por los esfuerzos de cizalla originados en el proceso de inyección inicial y, tras su puesta en funcionamiento, por el rozamiento del carril y de la traviesa bajo cargas de fatiga originadas por el paso del tren. El deterioro ambiental se debe fundamentalmente a la acción de la luz, a las variaciones térmicas y a la humedad [7-11]. Las placas de fábrica se expusieron a los diferentes agentes durante el desarrollo del trabajo.

3.1.1.-Fatiga térmica

El envejecimiento térmico implica la rotura al azar de enlaces covalentes del polímero dando lugar a macro-radicales que, confieren un peso molecular bajo al polímero. La fatiga térmica se llevó a cabo exponiendo las placas a cambios cíclicos bruscos de temperatura (desde -10 hasta 100 °C) cada 48 horas durante 7 meses.

3.1.2.- Degradación por envejecimiento térmico

Los niveles de temperatura evaluados fueron -10 y 100 °C con periodos de exposición de 7 meses en cada caso.

3.1.3.- Fotodegradación

La energía de la luz en el intervalo UV y, en algunos casos, visible es suficiente para romper enlaces químicos en el polímero, disminuyendo el peso molecular y modificándose sus propiedades mecánicas.

La fotodegradación se realizó sometiendo a las placas de asiento a radiación UV de 313 nm de longitud de onda a 57 °C, durante un periodo de tiempo de 430 horas.

3.1.4.- Degradación oxidativa a la intemperie

El fenómeno de degradación oxidativa de polímeros es una reacción lenta de despolimerización iniciada por radicales.

Este ensayo se desarrolló situando las placas al aire libre registrando las condiciones atmosféricas durante los cinco meses de exposición [6].

3.1.5.- Absorción de agua

El agua actúa como un agente plastificante lubricando las cadenas en la región amorfa. Al aumentar la absorción se reduce la temperatura de transición vítrea, el esfuerzo a la cedencia y el módulo elástico. Además, el material cambia sus dimensiones nominales.

Para este ensayo se mantuvieron sumergidas las placas en un baño con agua a 60°C durante 5 meses.

3.1.6.- Degradación por hidrocarburos

Este tipo de degradación implica rotura de enlaces covalentes mediante hidrocarburos de cadena corta que penetran como solutos entre las macromoléculas del polímero.

Esta degradación se llevó a cabo introduciendo las placas en un recipiente con hidrocarburo marca ESSO, tipo NUTO 1746 ISO VG 46.

3.1.7.- Degradación por desgaste

Las placas de asiento durante su vida en servicio sufren, acciones erosivas debido a movimientos longitudinales y transversales del carril al paso de los trenes. Este roce provoca pérdida de material que puede traducirse en una importante variación de la rigidez.

Este deterioro se simuló rebajando el espesor de la placa de asiento, por la parte superior, en 0,5 mm mediante un mecanizado con una máquina fresadora.

3.1.8.- Degradación mecánica

La degradación mecánica engloba las reacciones que tienen lugar como consecuencia de la aplicación de una tensión. Éste estímulo mecánico normalmente está relacionado con las técnicas de procesamiento y con los esfuerzos sufridos a lo largo de su vida. Los esfuerzos aplicados sobre el material pueden desestabilizar los enlaces al alcanzar el valor de su resistencia a la rotura. La aplicación de tensiones dinámicas oscilantes o de fatiga es la agresión más habitual sufrida por las placas.

El ensayo consistió en aplicar cargas de compresión con una fuerza mínima de 20 kN y una máxima de 95 kN simulando paso de trenes, durante 200.000 ciclos a 5 Hz a temperatura ambiente. La disposición del ensayo se muestra en la Figura 3.

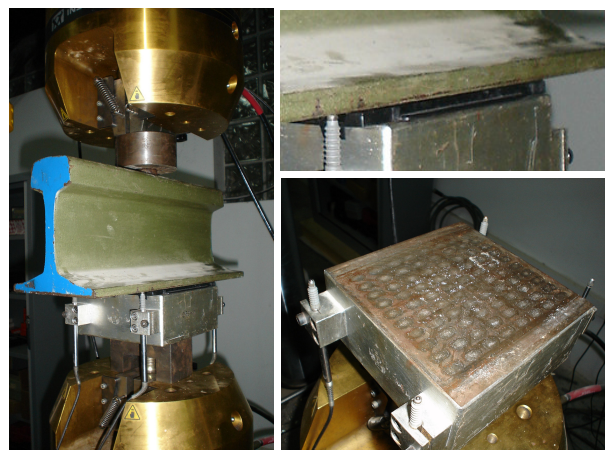


Figura 3: Ensayo de fatiga

3.2.- Evaluación de los procesos de deterioro

Las placas de asiento sometidas a los procesos de degradación artificial y las placas procedentes de vía se caracterizaron física y mecánicamente para evaluar el daño adquirido artificialmente y en servicio.

3.2.1.- Verificación de la masa

Las placas de asiento deben presentar una tolerancia admisible del 1 % sobre el valor de masa estándar según la E.T. [4]. La variación de peso, expresión (1), se determina comparando las masas antes y después del proceso de deterioro.

$$\Delta W(\%) = \frac{m_{final} - m_{inicial}}{m_{inicial}} \cdot 100 \quad (1)$$

3.2.2.- Ensayo de rigidez estática

El estudio de la rigidez en el intervalo de 20 a 95 kN, expresión (2), permite conocer el comportamiento de las placas en condiciones normales de explotación en vía.

$$k = \frac{95 - 20}{d_{95} - d_{20}} \quad (\text{kN/mm}) \quad (2)$$

El ensayo se llevó a cabo aplicando 3 ciclos de fuerza de compresión entre 0,1 y 95 kN, con la misma disposición que el ensayo de fatiga. La medida de los desplazamientos relativos de la placa de asiento (d) con respecto al soporte se efectuó con 4 comparadores, colocados en cada uno de los extremos de la placa. La secuencia de esfuerzos se muestra en la Figura 4, donde se representan las velocidades de carga y de descarga utilizadas, así como los tiempos de espera considerados entre cada ciclo de carga. La E.T. [4] establece que la rigidización de la placa tras el proceso de deterioro no debe superar el 25 %.

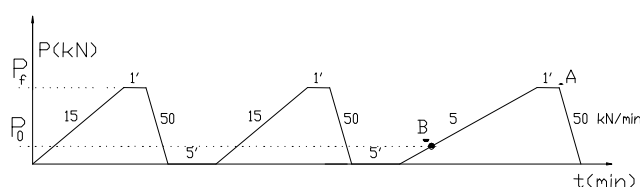


Figura 4: Velocidades de carga y descarga

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Verificación de masa

En las tablas 1 y 2 se muestra la ganancia o pérdida de peso de las placas de asiento después de ser sometidas a distintos tipos de deterioro artificial.

Tabla 1: Deterioro artificial en placas Arnitel®

Tipo de deterioro	Peso placa		Variación (%)
	Antes	Después	
Intemperie	165.74	168.33	1.56
Fatiga térmica	165.58	166.24	0.39
Fatiga mecánica	166.41	165.90	-0.08
Absorción de agua	165.53	170.62	3.07
Calentamiento a 100°C	165.70	164.65	-0.64
Refrigeración a -10°C	166.01	167.72	1.02
Sin deteriorar	166.04	165.90	-0.08

Tabla 2: Deterioro artificial en placas Hytrel®

Tipo de deterioro	Peso placa		Variación (%)
	Antes	Después	
Intemperie	164.04	165.53	0.90
Fatiga térmica	164.40	165.05	0.71
Fatiga mecánica	164.58	164.70	-0.07
Absorción de agua	164.62	167.59	1.80
Calentamiento a 100°C	164.43	163.88	-0.33
Refrigeración a -10°C	164.71	165.86	0.69
Sin deteriorar	164.81	164.70	-0.07

Se comprueba que Arnitel dispone mayor capacidad de absorción, superando en un 40%, aproximadamente, a Hytrel en las dos condiciones relacionadas directamente con el agua como son exposición a la intemperie e introducción en agua a 60°C.

4.2.- Ensayo de rigidez estática a 20/95 kN

4.2.1.- Placas de producción

En la Figura 5 se representa la evolución de la carga frente al desplazamiento del carril en el último ciclo para las placas originales de referencia. En las Figuras 6 a 9 se representa el último ciclo de carga para las placas deterioradas comparándolas con la original. Las Tablas 3 y 4 recogen los valores de rigidez, energía disipada (Ed) y almacenada (Ea) medidos en el último ciclo.

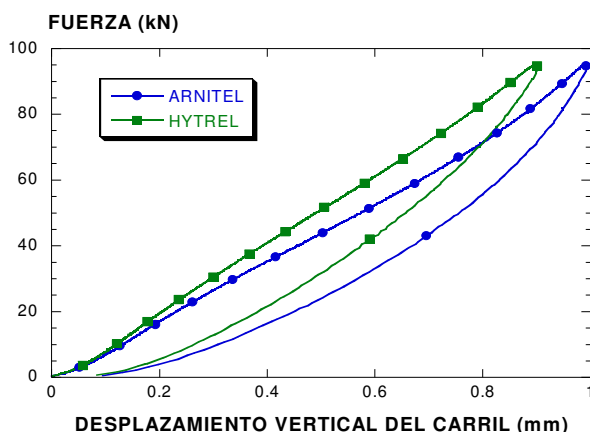


Figura 5: Evolución de las placas de referencia

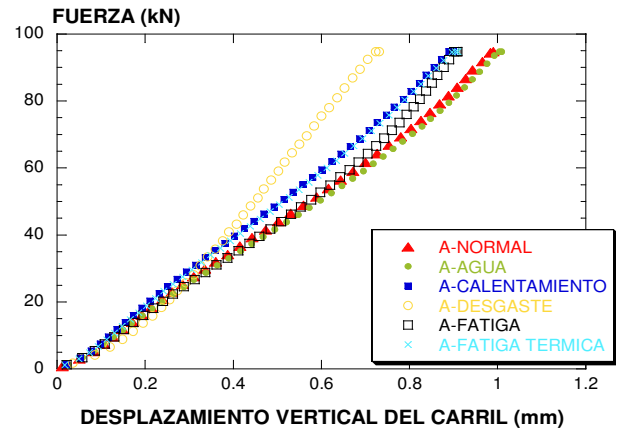


Figura 6: Evolución de las placas Arnitel® (I)

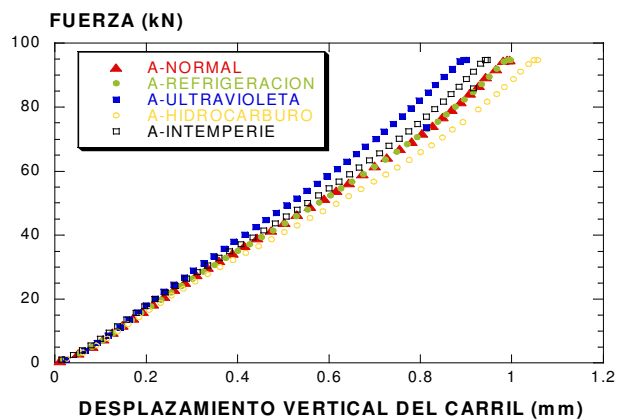


Figura 7: Evolución de las placas Arnitel® (II)

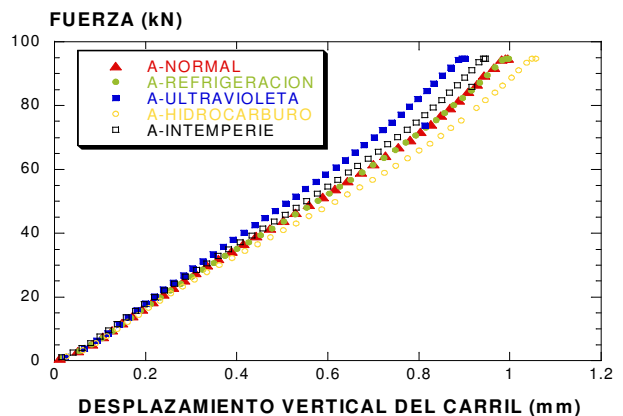


Figura 8: Evolución de las placas Hytrel® (I)

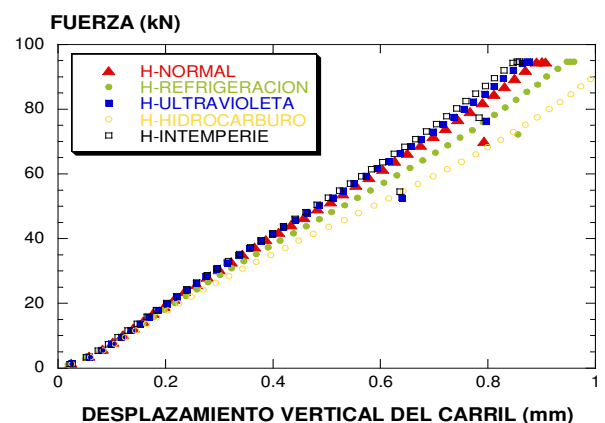


Figura 9: Evolución de las placas Hytrel® (II)

Tabla 3: Rigidez y energías de las placas Arnitel®

Tipo de deterioro	Arnitel®		
	Rigidez (kN/mm)	Energía disipada (J)	Energía almacenada (J)
Sin deteriorar	97.61	14.20	44.23
Desgaste	152.45	9.24	29.87
Fatiga	111.15	9.87	36.94
Agua	96.30	13.28	44.37
Calentamiento	107.82	11.75	40.15
Fatiga térmica	107.6	11.93	40.95
Hidrocarburo	91.56	15.80	46.66
Intemperie	102.54	11.26	41.80
Refrigeración	97.78	14.05	44.16
Rayos UV	109.52	10.97	39.95

Tabla 4: Rigidez y energías de las placas Hytrel®

Tipo de deterioro	Hytrel®		
	Rigidez (kN/mm)	Energía disipada (J)	Energía almacenada (J)
Sin deteriorar	106.65	12.62	41.92
Desgaste	164.39	7.32	27.51
Fatiga	114.40	9.28	37.33
Agua	99.17	12.56	43.89
Calentamiento	104.74	12.24	42.05
Fatiga térmica	110.42	10.22	39.94
Hidrocarburo	91.18	15.50	47.40
Intemperie	113.59	9.46	39.92
Refrigeración	100.59	13.16	43.88
Rayos UV	11.04	10.20	39.93

En las Figuras 10 - 12 se muestran las variaciones de rigidez, energías almacenada y disipada de cada placa deterioradas respecto a la original. Se comprueba que la rigidez y las energías son inversamente proporcionales. Se observa que el desgaste mecánico es el proceso de deterioro que más castiga el comportamiento de la placa, reflejado en un incremento de la rigidez superior al 50%. La fatiga mecánica es el segundo de los procesos más dañinos, pero se mantiene cerca del 10 % y por debajo de los límites establecidos en la normativa que es del 25%. El resto de procesos se mantienen por debajo del 10 % de incremento de rigidez. En los casos del hidrocarburo, la absorción de agua y refrigeración produce una flexibilización de la placa respecto a los valores iniciales. En cuanto al material se puede apreciar que Arnitel® muestra un mayor grado de deterioro en la mayoría de los casos ya que el porcentaje de rigidización es ligeramente superior.

Analizando la energía almacenada, se aprecia que son los deterioros mecánicos los que más se hacen notar, primero el desgaste (pérdida del 30 %) y a continuación la fatiga (pérdida del 15%). El resto de deterioros se sitúan por debajo del 10% de variación. Y al igual que ocurría con la rigidez, la absorción de agua, la refrigeración y el deterioro por hidrocarburos muestran una tendencia contraria al resto, provocando un aumento en las energías almacenadas. El parámetro de energía almacenada no muestra tan claramente, como la rigidez, cual de los dos materiales muestra un mayor deterioro, ya que los valores máximos de variación del deterioro se alternan entre uno y otro material indistintamente.

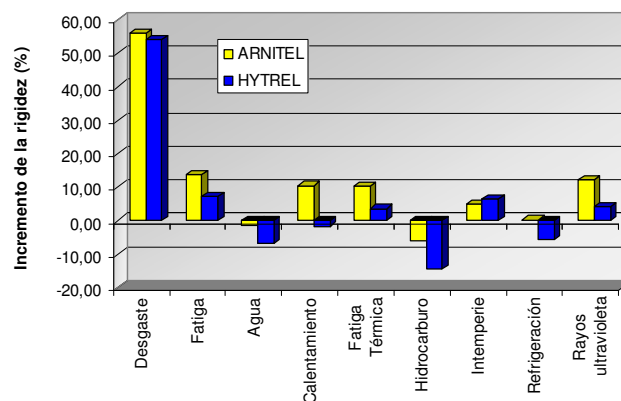


Figura 10: Variación de la rigideces

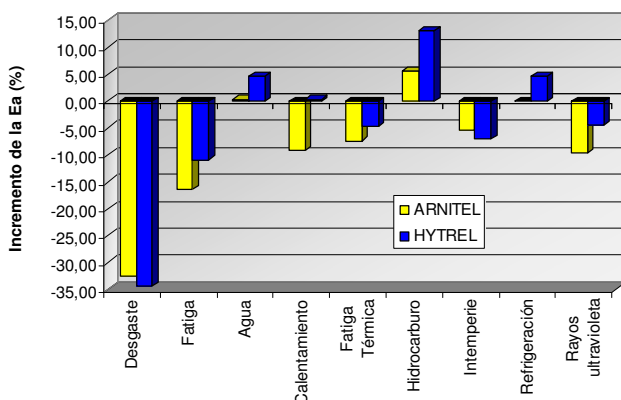


Figura 11: Variación de la energía almacenadas (Ea)

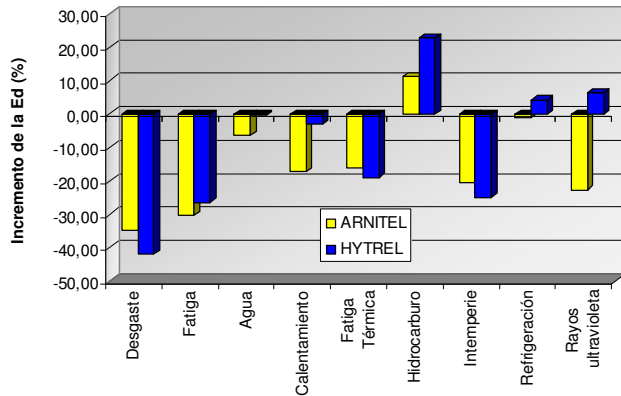


Figura 12: Variación de la energía disipadas (Ed)

La energía disipa vuelve a reflejar la mayor pérdida de propiedades sufrida por las placas en los tratamientos mecánicos, alcanzando el 40 % para el desgaste y el 30% para la fatiga. No es tan clara la diferencia con el resto de procesos, ya que el tratamiento en intemperie también se sitúa cerca del 30 %. La energía disipada, al igual que la almacenada, no muestra claramente cuál de los dos materiales se comporta mejor frente al deterioro. E_d aumenta en el caso del envejecimiento por hidrocarburos, alcanzando valores entre el 10 y 20 %, pero no aparece el fenómeno de forma tan clara con la absorción de agua.

4.2.2.- Placas de vía

Se determinó la rigidez de las placas de vía, inyectadas con Arnitel®. En la Figura 13 se representan las curvas de las placas junto con una placa referencia de fábrica.

En la Tabla 5, se recogen los valores de rigidez y energías calculados a partir de las gráficas dibujadas [12].

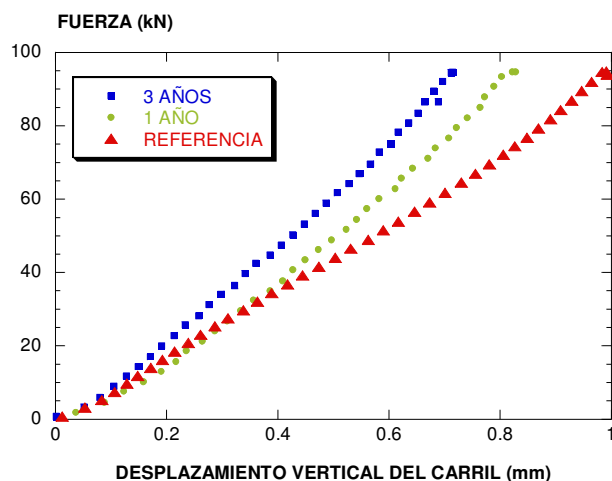


Figura 13: Evolución de la rigidez en placas de vía

Se observa un claro aumento de rigidez en función del tiempo de servicio en vía. Asimismo, si se representan todas las rigideces calculadas, Figura 14, se analiza que el proceso de degradación de desgaste es el más agresivo, seguido por las placas con un ciclo de vida en vía.

Tabla 5: Rigidez y energías de las placas de vía

Tipo de deterioro	Placas de vía (ARNITEL®)		
	Rigidez (kN/mm)	Energía disipada (J)	Energía almacenada (J)
Sin deteriorar	97.61	14.20	44.23
1 año en vía	129.67	6.66	128.63
3 años en vía	137.90	5.54	49.96

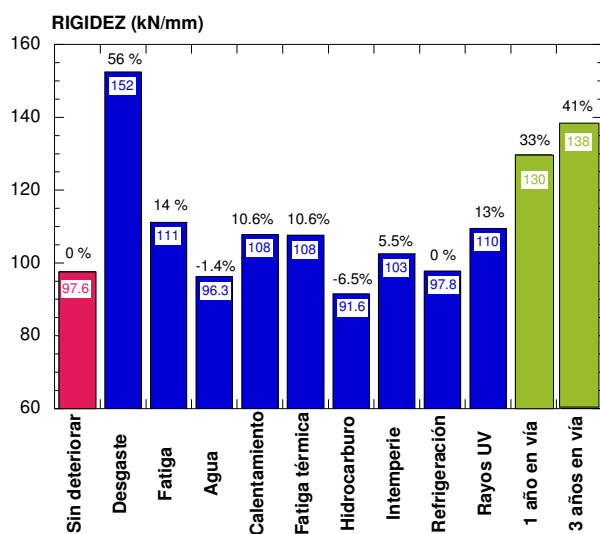


Figura 14: Comparativa de las rigideces

Si se integran todos los daños artificiales llevados a cabo, exceptuando el proceso de desgaste por haber desbastado demasiada superficie en comparación con los desgastes reales, el porcentaje total de los daños causados suma el 46%, que se aproxima al alcanzado por las placas de asiento de vía, un 41 %.

5. CONCLUSIONES

1. El desgaste mecánico artificial es el proceso más dañino, generando sobre la placa un incremento de rigidez superior al 50%.
2. Las placas elásticas con una vida en servicio en vía de 1 y 3 años experimentan una rigidización del 33 y del 41 %, respectivamente.
3. La fatiga mecánica genera el proceso de daño más acusado para la placa, pero la variación de rigidez del 10%, se sitúa dentro de los límites permitidos.
4. El resto de los procesos de deterioro mantienen el incremento de rigidez por debajo del 10%
5. Sólo en los casos de inmersión en hidrocarburos y en agua se produce una flexibilización de la placa.
6. Arnitel® muestra tras su envejecimiento, mayor rigidización, por lo que su capacidad de amortiguamiento y de absorción de energía mecánica es inferior a la Hytrel®, parámetros físico-mecánicos esenciales para el control de la elasticidad de la vía de ferrocarril para AVE.

REFERENCIAS

- [1] Gilaberte M. *El uso de los materiales en la superestructura de vía de ferrocarril para AVE*. INECO-TIFSA. Cursos de Laredo, UC. 2007.
- [2] Carrascal, Casado, Polanco y Gutiérrez-Solana, *Comportamiento dinámico de placas de asiento de sujeción*. Mecánica Fractura. Vol 22, pp 372-377.2005
- [3] E.T. 03.360.570.0, *Placas elásticas de asiento para sujeción VM*. Mantenimiento de infraestructura, líneas convencionales. ADIF. 1ª edición. Diciembre de 2005.
- [4] Holden, G., *Thermoplastic Elastomers*. A series of mini-tutorials of H. Understanding Books.Munich 2000.
- [5] Holden, G. *Thermoplastic elastomers*. Ed. Hanser.
- [6] Resumen mensual de estaciones principales. Instituto Nacional de Meteorología.
- [7] William D. Callister. *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Vol. II. Editorial Reverté.
- [8] Enrique Otero Huerta. *Corrosión y degradación de materiales*. Editorial Síntesis.
- [9] Richard A. Flinn, Paul K. Trojan. *Materiales de ingeniería y sus aplicaciones*. Editorial Mc Graw Hill.
- [10] Javier Areizaga, M. Milagros Cortázar, José M. Elorza, Juan J. Iuin. *Polímeros*. Editorial Síntesis.
- [11] I. Carrascal. *Optimización y análisis de comportamiento de sistemas de sujeción para vías de ferrocarril de AVE*. Tesis Doctoral. UC. 2006.
- [12] Casado, Carrascal y Polanco. *Ensayos relativos a la Especificación Técnica RENFE E.T. 03.360.570.0; Placa elástica de asiento para sujeción VM*. LADICIM.