

Dispositivos de aislamiento sísmico empleados en el viaducto de Alhama

Seismic isolation devices used in the Alhama viaduct

Jesús Samuel Soria Jiménez^a, Raimon Rucabado Jiménez^b

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Mk4. Gestor de Proyecto. ssoria@mekano4.com

^bIngeniero Civil. Mk4. Director de Proyectos Especiales. Mk4. rucabado@mekano4.com

RESUMEN

Este trabajo presenta los dispositivos que conforman el sistema de aislamiento sísmico del viaducto de Alhama. La combinación de apoyos esféricos sin coacciones al desplazamiento, de llaves de cortante, de amortiguadores viscoelásticos y de amortiguadores-resortes precargados viscoelásticos ha permitido configurar una solución en la que, superado un esfuerzo longitudinal sísmico definido por el proyectista, el tablero se desacopla de la infraestructura. En tal situación, los dispositivos dependientes de la velocidad permiten disipar la energía sísmica introducida en el sistema. Finalizado el evento sísmico, el sistema recentra el tablero a su posición inicial.

ABSTRACT

This paper presents the devices that form the seismic isolation of the Alhama viaduct. The combination of spherical bearings without displacement constraints, shear keys, viscoelastic dampers and fluid spring dampers has allowed the configuration of a solution in which, once a seismic longitudinal force defined by the designer has been exceeded, the deck is decoupled from the infrastructure. In such a situation, the velocity-dependent devices allow the dissipation of the seismic energy introduced into the system. Once the seismic event has ended, the system re-centres the deck to its initial position.

PALABRAS CLAVE: aislamiento sísmico, disipación de energía, amortiguador, resorte hidráulico.

KEYWORDS: seismic isolation, energy dissipation, damper, preload spring damper.

1. El viaducto de Alhama

El viaducto del Alhama se encuentra en la localidad homónima de Alhama de Murcia. Ha sido ejecutado por la UTE: Sangonera-Totana. Su proyecto y solución sísmica han sido concebidos y elaborados por CFC, S.L.

Se trata de un viaducto hiperestático de 1936 m de longitud, de 44 vanos de vigas prefabricadas tipo artesa. El tablero se completa con una losa de compresión y diafragmas sobre las pilas.

Cuenta con tres zonas claramente diferenciadas;

Zona Tipo de E-1 a P-7:

Distribución de vanos de 1 x 33 m + 6 x 45 m, para una longitud total de 303 m, sección tipo de 14 m de ancho (fig.1). Zona de línea de ferrocarril de doble vía.

Zona de estación de P-7 a P-20:

Distribución de vanos de 13 x 45 m, con una longitud total de 585 m Sección Ampliada de 27 m de ancho (fig.1) en la cual se dispone la nueva estación de Alhama. Zona con cuatro vías de ferrocarril y dos andenes en estación.

Zona tipo de P-20 a E-2:

Distribución de vanos de 22 x 45 m + 1 x 33 m + 1 x 25 m, con longitud total de 1 048 m.

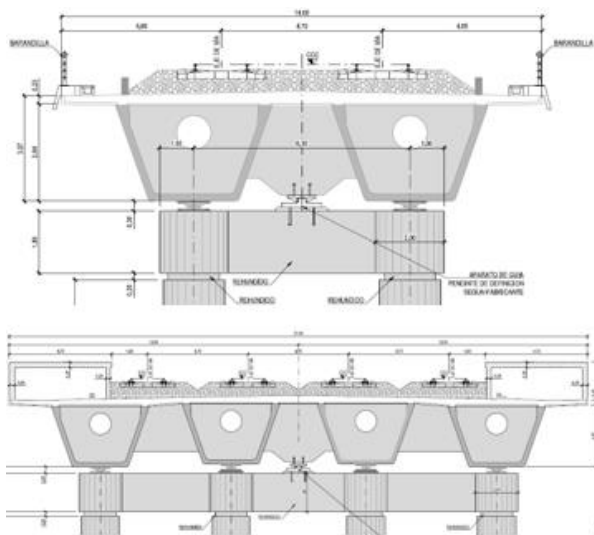


Figura 1. secciones tipo

Sección tipo de 14.00 m de ancho. Zona de línea de ferrocarril de doble vía.

La altura media de las pilas es inferior a 8 m. El punto fijo de este viaducto se materializa en conjunto de las pilas P-19 y P-20.

La normativa [1] estima la aceleración sísmica básica a_b en esta localidad en $0.11 a_b / g$.

2. Conceptos sísmicos

Los terremotos son eventos en los que la corteza terrestre libera súbitamente energía almacenada en un periodo de tiempo muy corto. Esta energía se propaga en forma de ondas que alcanzan a la estructura por las cimentaciones y se transfiere al tablero.

Las estrategias para proteger un viaducto de la acción del sismo tienen dos líneas de actuación, resistir por capacidad aumentando las resistencias últimas e incluso aceptando fenómenos de ductilidad; o entender el terremoto como un fenómeno de energía y trazar una estrategia para aislar la estructura de la entrada de energía y amortiguar los efectos de la energía entrante en el sistema [2].

Un sistema de aislamiento sísmico busca desacoplar la masa estructural del movimiento sísmico del terreno y debe ser capaz de asegurar al menos estas cuatro funciones fundamentales: transmitir las cargas verticales del tablero a la infraestructura, proporcionar la flexibilidad

suficiente lateral, disponer de capacidad de recentrado de la estructura una vez finalizado el evento sísmico y proporcionar mecanismos para la disipación de la energía que entra en sistema [3].

Así, el aspecto más importante del aislamiento sísmico es modificar el periodo natural de la estructura a zonas del espectro de respuesta con aceleraciones menores, siendo el periodo fundamental de la estructura función de la masa y de la rigidez de la misma.

$$T_n = 2 \pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

De entre los distintos métodos de análisis como son el desacoplamiento modal, la fuerza estática equivalente o la integración pasa a paso en el tiempo [4], el diseño de estructuras con dispositivos de aislamiento y disipación de energía exige el empleo de potentes herramientas de cálculo ya que el aislamiento crea sistemas fuertemente no lineales [5]. Se ha de realizar un análisis en el dominio del tiempo empleando los suficientes acelerogramas sintéticos a partir de los espectros sísmicos para caracterizar la acción sísmica [6].

Cuando se emplean amortiguadores es importante que el proyectista indique al suministrador de estos elementos la constante de amortiguación, la velocidad máxima, los desplazamientos en los que va a funcionar el dispositivo [2] y tener en cuenta las tolerancias de fabricación de estos dispositivos en la definición de la solución.

Gracias a las potentes herramientas de cálculo que permiten obtener la respuesta sísmica de una estructura mediante análisis dinámico no lineal, así como novedosos dispositivos antisísmicos se puede abordar el diseño de estructuras continuas de gran dimensión en zonas de gran sismicidad [7].

3. Los dispositivos

3.1 Apoyos esféricos libres

Los apoyos estructurales tipo esférico son apoyos mecánicos que trabajan a compresión diseñados según normativa [8]. La normativa sísmica [9] los califica dentro de la categoría aisladores como deslizadores de superficie plana.

Sus funciones son transferir las cargas gravitacionales del tablero a la infraestructura, permitir el desplazamiento relativo entre tablero e infraestructura y acomodar las rotaciones. Para su diseño se han de definir carga vertical máxima, valores de desplazamiento y rotación.

Están constituidos por 3 elementos (fig.2): una cazoleta cóncava (1), un casquete esférico (2) y una bandeja deslizante (3).



Figura 2. esquema funcionamiento apoyo esférico

Las superficies deslizantes de contacto entre los elementos (SD1) y (SD2) se realizan con los materiales prescritos que garantizan un coeficiente de rozamiento $\mu < 0.03$.

La capacidad de desplazamiento se logra mediante el desplazamiento diferencial entre el casquete esférico y la bandeja deslizante. Por ello, el esfuerzo horizontal máximo que transmite a la infraestructura está limitado por este coeficiente de rozamiento.

En esta obra se desechó la idea de emplear apoyos guiados según el eje longitudinal de la estructura y se optó por emplear apoyos libres, apoyos que no coaccionan el desplazamiento en cualquier dirección horizontal. Este hecho tuvo la ventaja de reducir la afección de los pernos con la viga prefabricada y sus cables de pretensado.

Para el viaducto de Alhama, se han suministrado un total de 118 unidades de apoyos esféricos libres, 4 por alineación en la zona estación y 2 por alineación en el resto del viaducto. Las cargas verticales de diseño de estos dispositivos están comprendidas entre los 7 864

kN de los apoyos de los estribos y los 25 832kN de los apoyos con mayor sollicitación. Para este rango de cargas, se han diseñado 7 familias.

No obstante, la longitud del viaducto y la posición relativa de los apoyos respecto al punto fijo provocan que la demanda de desplazamiento (fig.3) de diseño sea dispar entre alineaciones, desde los ± 100 mm en las alineaciones P19 y P20, a los ± 991 mm de los apoyos del estribo E2.

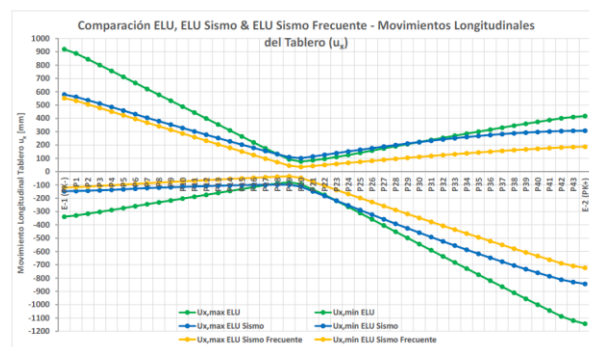


Figura 3. desplazamientos longitudinales de diseño

Finalmente se han diseñado 29 modelos de apoyos esféricos para este proyecto. En el aislamiento sísmico es vital la definición de entregas con holguras suficiente para evitar problemas de soporte [10].

3.2 Llaves de cortante

Las llaves de cortante (fig.4) son dispositivos de conexión que no transmiten esfuerzos verticales y coaccionan el movimiento en una dirección según normativa [11], que la normativa sísmica [9] califica como dispositivos de conexión permanente.

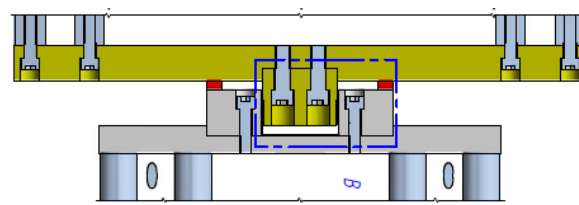


Figura 4. sección transversal de llave de cortante

Su función principal es coaccionar el movimiento transversal transmitiendo los esfuerzos horizontales entre las riostras de las pilas y los diafragmas en las vigas. Permiten los desplazamientos longitudinales del tablero y las

rotaciones. Para su diseño se ha de definir carga la horizontal máxima, los valores de desplazamiento y la rotación. Esta función pudiera haber sido realizada por apoyos esféricos guiados, pero dadas las cargas de diseño se optó por disociar en 2 dispositivos estas funciones de transmisión de esfuerzos.

Las llaves no modifican el periodo natural ni contribuyen a disipar energía del sistema.

Las altas cargas de las llaves de cortante exigen disponer refuerzos en los dinteles de hormigón para transmitir adecuadamente las cargas a las pilas y que estas las resistan por capacidad.

Para el viaducto de Alhama, se han instalado un total de 45 llaves de cortante, una por alineación. Pese a los valores de los esfuerzos, no se consideró adecuado disponer 2 unidades por alineación para evitar acodalamientos.

Las cargas horizontales de diseño de estos dispositivos están comprendidas entre los 2 576 kN y los 8 424kN para la zona no estación; y los 10 831kN y los 18 552 kN para la zona estación.

Se han creado 8 familias para la zona no estación y 4 para la zona estación. Al tener definidos los mismos desplazamientos de diseño que los apoyos esféricos de su alineación (fig3), finalmente se han diseñado 25 modelos diferentes para este proyecto.

3.3 Amortiguadores Viscoelásticos (FVD)

Los amortiguadores viscoelásticos son dispositivos formados por cilindros de acero donde el paso laminado de fluido de silicona a través del circuito hidráulico apropiado permite disipar energía, ofreciendo una fuerza de reacción en función de la velocidad diferencial de sus extremos. Su comportamiento es no lineal en función de la velocidad [9]. La reacción ha de ser la misma en ambos sentidos, tanto a tracción como a compresión y no debe experimentar cambios en función de su posición relativa dentro de su carrera mecánica.



Figura 5 FVD en banco de ensayos

Esta fuerza debe ser constante en el rango de temperaturas de trabajo (-10°C; 40°C).

Su función principal es disipar la energía introducida en el sistema transformando esta energía en calor.

Además, deben permitir los desplazamientos lentos que experimenta el tablero ($v < 0.1 \text{ mm/s}$), ya sean térmicos o de retracción y fluencia, con una fuerza de reacción inferior al 10% de su fuerza de diseño.

Para caracterizar estos dispositivos se emplea su ley constitutiva, que en este proyecto toma los siguientes valores.

$$F = C * v^\alpha \quad (1)$$

Donde:

F 1 075 kN es la fuerza máxima de respuesta del dispositivo.

C 1 219 kN/(m/s) $^\alpha$ es la constante de amortiguación del dispositivo.

v 0.35(m/s) es la máxima velocidad sísmica del dispositivo.

α 0.12 es un parámetro adimensional.

Esta ley constitutiva se valida por medio de ensayos ITT y FPC. Los Ensayos FPC se realizan en al menos una unidad de cada lote (fig.5). Se realizaron 4 baterías de ensayos FPC, ya que pese a tener idéntica ley constitutiva, presentaban diferentes carreras mecánicas: $\pm 285 \text{ mm}$, $\pm 330 \text{ mm}$, $\pm 375 \text{ mm}$ y $\pm 420 \text{ mm}$.

3.3.1. Ensayo de presión

Se verifica que no hay fugas a presiones del 125% de las de diseño, aplicando esta presión durante un periodo mayor a 2 minutos.

Se aplicaron presiones de hasta 542 bares. No se encontraron fugas, degradaciones o daños en el dispositivo.

3.3.2. Ensayo a baja velocidad

Este ensayo permite asegurar que la reacción que ejerce el amortiguador a velocidades bajas se encuentra por debajo de límite establecido del 10% de la fuerza de diseño.

Para ello, se aplica un ciclo de desplazamiento axial desde 0 al desplazamiento especificado y de nuevo a 0, realizando este ensayo con una velocidad inferior a 0,1 mm/s.

Todos los valores obtenidos en los ensayos estuvieron por debajo de los 95 kN (fig.6), independientemente del desplazamiento del dispositivo.

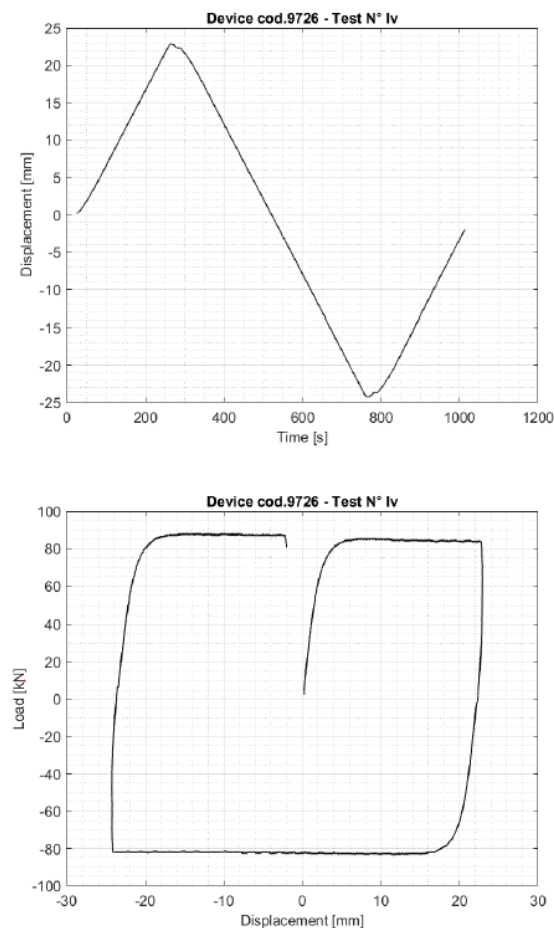


Figura 6. FPC-FVD ensayo baja velocidad

3.3.3. Ley constitutiva

En esta batería de ensayos se realizan 3 ciclos de ondas tipo senoidales a diferentes porcentajes (1%, 25%, 50%, 75% y 100%) de la velocidad

máxima sísmica con una amplitud igual al desplazamiento (d_{bd}) de diseño.

Tomando los valores máximos de fuerza para cada ciclo, se consigue graficar la ley constitutiva del dispositivo (fig7). Se considera válida siempre que se encuentre en valores de tolerancia de $\pm 15\%$. En la gráfica se observa como la reacción aumenta al incrementarse la velocidad de desplazamiento como se espera.

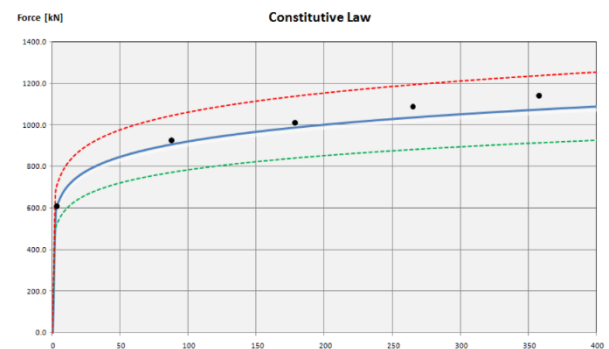


Figura 7. FPC-FVD ley constitutiva

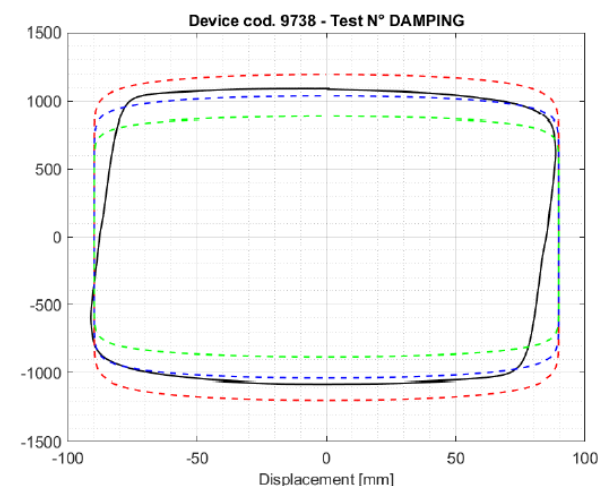


Figura 8. FPC-FVD eficiencia amortiguación

3.3.4. Ensayo de eficiencia amortiguadora

Este ensayo consta de 5 ciclos de ondas tipo senoidales al 75% de la velocidad máxima sísmica con una amplitud igual al desplazamiento (d_{bd}) de diseño.

El área encerrada (fig.8) se corresponde con la energía disipada en cada ciclo del amortiguador. Esta energía se corresponde con el trabajo realizado por el amortiguador. El valor real de la fuerza se aleja del teórico en los cambios de sentido de la fuerza actuante.

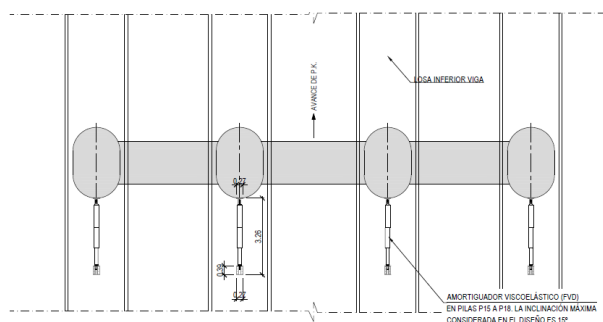


Figura 9. FVD disposición en planta tipo

Tabla 1. Energía disipada por ciclo en kJ

Carrera del	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
±285mm	353	357	359	363	366
±330mm	344	342	344	347	352
±375mm	330	332	335	338	341
±420mm	340	339	342	346	351

El valor teórico de disipación en cada ciclo es 360.75 kJ. El valor del ciclo con menor disipación de cada dispositivo fueron 353 kJ, 342kJ, 330 kJ y 339kJ. Estos valores son válidos al estar por encima del 85%del valor teórico de energía disipada en cada ciclo que marca la normativa [9]. Se observa que el ciclo 5 de todos los modelos es el que más energía disipa.

En el viaducto de Alhama se disponen 16 unidades de amortiguadores viscoelásticos, 4 por alineación (fig.9), en las siguientes posiciones de la zona estación P-15, P-16 y P-17 y P-18.

Se prestó especial atención en el diseño de las bridas de conexión con la estructura. La vinculación se ha realizado mediante barras de pretensado de rosca fina para garantizar la correcta transmisión de las cargas en el evento sísmico.

3.4 Amortiguadores - resortes precargados viscoelásticos (PSD)

Los amortiguadores-resortes precargados son dispositivos que externamente se asemejan a los amortiguadores viscoelásticos. No obstante, su funcionamiento difiere claramente. Se oponen al desplazamiento y se ha ejercer una fuerza superior a la fuerza de precarga para iniciar el movimiento. Estos dispositivos presentan una rigidez creciente a medida que el dispositivo se

aleja de su posición de equilibrio. Al igual que los amortiguadores viscoelásticos, el paso de la silicona a presión a través del circuito hidráulico permite disipar energía, ofreciendo una resistencia creciente en función velocidad diferencial de sus extremos. Su comportamiento es no lineal en función de la velocidad de acuerdo a la normativa [9]. Estos dispositivos trabajan indistintamente a tracción-compresión.

Sus funciones son varias: bloquear el movimiento hasta superar la fuerza de precarga, disipar energía durante el movimiento, restituir su posición original una vez el movimiento ha finalizado.

Para caracterizar estos dispositivos se emplea su ley constitutiva.

$$F = F_0 + k X + C * v^\alpha \quad (2)$$

Donde:

F 3 253 kN es la fuerza máxima de respuesta del dispositivo

F_0 2 050 kN es la fuerza de precarga del dispositivo

k 8 kN/mm es la rigidez del dispositivo

X [mm] es el desplazamiento

C 548 kN/(m/s) $^\alpha$ es la contante de amortiguación del dispositivo

v 0.35[m/s] es la máxima velocidad sísmica del dispositivo

α 0.12 es un parámetro adimensional

Esta ley se valida mediante ensayos ITT y FPC. Los Ensayos FPC se realizan en al menos una unidad de cada lote. En nuestro caso, se realizaron ensayos FPC en 2 dispositivos.

3.4.1. Ensayo de presión

Se verifica que no hay fugas a presiones del 125% de las de diseño aplicando esta presión durante 2 minutos.

Se aplicó una presión de hasta 2 232 bares. No se encontraron fugas, degradaciones o daños en el dispositivo.

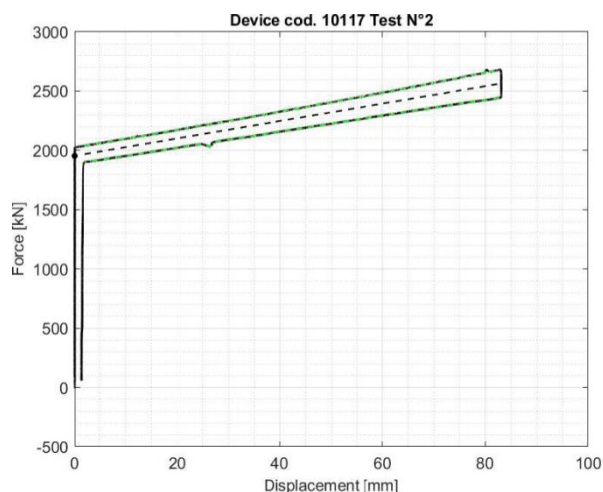


Figura 10. FPC-PSD ensayo baja velocidad

3.4.2. Ensayo a baja velocidad

Este ensayo permite asegurar que para iniciar el movimiento la fuerza ejercida sobre el dispositivo ha superado el umbral de la fuerza de precarga F_0 . Una vez superada esta carga, la fuerza crece linealmente con el desplazamiento, caracterizando la rigidez k del dispositivo (fig.10).

Se realiza un ciclo de desplazamiento axial desde la posición inicial hasta el desplazamiento especificado y de nuevo a la posición inicial aplicando una velocidad inferior a 0,1 mm/s.

Se observa que se alcanza el valor de precarga y que la rigidez del dispositivo crece linealmente según la pendiente definida.

3.4.3. Ley constitutiva

En esta batería de ensayos se realizan 3 ciclos de ondas tipo senoidales a diferentes porcentajes (1%, 25%, 50%, 75% y 100%) de la velocidad máxima sísmica con una amplitud igual al desplazamiento (d_{bd}) de diseño.

Tomando los valores de fuerza correspondiente a $d_{bd}/2$ para cada ciclo, se consigue graficar la ley constitutiva del dispositivo (fig.11). Dadas las ondas aplicadas, la velocidad es máxima en $d_{bd}=0$, y en $d_{bd}/2$ se ha reducido. Por ello los puntos graficados se desplazan hacia el eje. Se observa como la reacción aumenta al aumentar la velocidad de desplazamiento, tal y como se espera. Se considera válida siempre que se encuentre en valores de tolerancia de $\pm 15\%$.

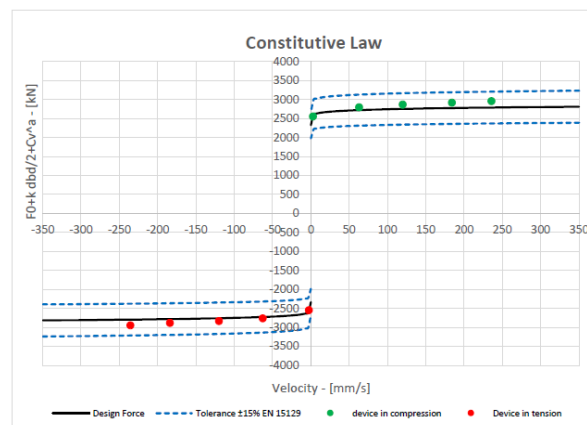


Figura 11. FPC-PSD ley constitutiva

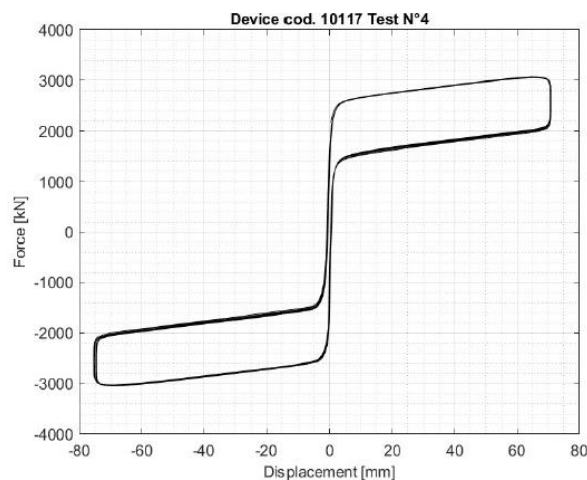


Figura 12. FPC-PSD eficiencia amortiguación

3.4.4. Ensayo de eficiencia amortiguadora

En este ensayo se realizan 5 ciclos de ondas tipo senoidales al 75% de la velocidad máxima sísmica con una amplitud igual al desplazamiento (d_{bd}) de diseño. El área interior de la gráfica se corresponde con la energía disipada en cada ciclo del amortiguador (fig.12). A diferencia del amortiguador viscoelástico, existe un salto-discontinuidad en $X=0$ que se corresponde con $2 F_0$. También se observa que la fuerza crece a medida que se aleja de la posición de equilibrio.

Tabla 2. Energía disipada por ciclo en kJ

Carrera del	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
$\pm 75\text{mm}$	162	159	158	156	156

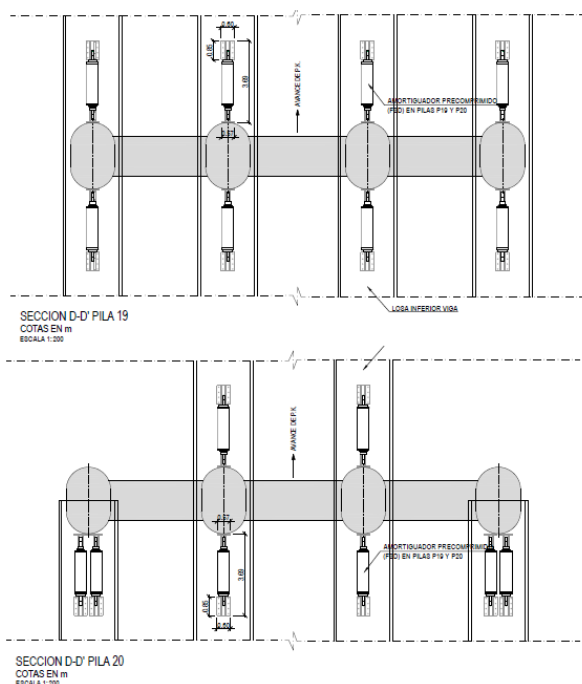


Figura 13. PSD disposición en planta

En el viaducto de Alhama se disponen 16 unidades de amortiguadores viscoelásticos PSD en las siguientes alineaciones de la zona estación P-19, y P-20, 8 por alineación (fig.13).

4. El funcionamiento del conjunto de dispositivos como sistema de aislamiento sísmico

El conjunto de dispositivos que conforma el hardware antisísmico del Viaducto de Alhama permite las siguientes funciones de este sistema de aislamiento sísmico.

4.1 Transmitir las cargas verticales

Los apoyos estructurales tipo esférico cumplen con esta función. Actualmente, son los apoyos del mercado que cuentan con mayor capacidad portante por unidad de área. Dada la concentración de cargas que generan en cabeza de pila, es preciso definir claramente la presión admisible por la infraestructura y la superestructura.

Estos apoyos, a diferencia de los aisladores elastómeros, no acomodan los desplazamientos por distorsión interna, ni actúan como muelles cuando ocurre dicha

distorsión. Por ello, no ven afectada su área efectiva ni su capacidad portante por los desplazamientos relativos de la estructura.

Las llaves de cortante, por concepto, no están ideadas para transmitir esfuerzos verticales.

4.2 Permitir los desplazamientos longitudinales

La tecnología deslizante de la superficie PTFE-acero inoxidable pulido espejo de los apoyos esféricos [12] permite independizar los desplazamientos del tablero del movimiento de las pilas. La oposición que ofrecen al movimiento es la fuerza de fricción que se genera en esta interfase. Por ello, es necesario establecer en los viaductos un punto fijo que vincule el tablero y la infraestructura, a partir del cual se den los desplazamientos térmicos, de retracción y de fluencia.

El diseño de las bandejas deslizantes según los desplazamientos de diseño permite garantizar las entregas en todos los estados de diseño considerados.

Las llaves de cortante guían el desplazamiento en este sentido y los FVD permiten el movimiento a bajas velocidades ofreciendo una baja resistencia.

El coeficiente de rozamiento de los apoyos y la rigidez del PSD definen la rigidez longitudinal global del sistema de aislamiento.

4.3 Resistir los esfuerzos horizontales transversales por capacidad

Las llaves de cortante son los dispositivos del sistema encargados de transmitir los esfuerzos generados por el sismo horizontal transversal entre la riostra de las pilas y el diafragma de las vigas. De esta manera, coaccionan el desplazamiento transversal impidiendo el movimiento en dicho eje.

Estos dispositivos, gracias a su mayor tolerancia de fabricación al realizarse en taller y a su mayor facilidad de instalación y replanteo en obra, presentan menor riesgo de acodamiento, además de una mayor accesibilidad y facilidad de inspección respecto a soluciones de topes

sísmicos de neoprenos-teflón sobre recrecidos de hormigón.

Dada la magnitud de los esfuerzos horizontales de este proyecto, se planteó la idea de emplear dos guías para las alineaciones con mayor carga de diseño situadas en la zona estación. Finalmente, se descartó la idea para evitar fenómenos de acodamiento.

4.4 Conformar el punto fijo del tablero

El viaducto se proyecta considerando dos comportamientos estructurales diferenciados, uno para estados ELS/ELU otro para estado ELU-sismo.

Para estados ELS/ELU las alineaciones P-19 y P-20 son las alineaciones fijas que resisten todas las fuerzas horizontales provenientes del rozamiento generado por los apoyos por las deformaciones de origen térmico y reológico, las acciones del viento longitudinal y las excepcionalmente altas fuerzas de arranque y frenado de los viaductos ferroviarios.

Cuando la fuerza ejercida en los PSD en estados ELU-Sismo supera una fuerza, la coacción longitudinal de las alineaciones P-19 y P-20 se libera, permitiendo independizar el desplazamiento del tablero del desplazamiento de la infraestructura y activar los ciclos de disipación de energía de los FVD y los PSD.

La F_0 de los PSD es la fuerza umbral de precarga que establece el cambio entre los dos comportamientos estructurales citados

Tabla 3. Fuerza umbral liberación del punto fijo

Alineación	Unidades PSD	Precarga [kN]
P19	8	2 050
P20	8	2 050
Punto Fijo		32 800

Al no ser un fusible mecánico, no es necesario realizar acciones de reparación una vez finalizado el evento sísmico.

4.5 Disipar energía introducida en el sistema y limitar los esfuerzos longitudinales

El diseño de los dinteles, fustes y cimentaciones, se ha realizado considerando un modelo en el que todas las pilas de la zona estación son fijas, empleando 48 transmisores de impacto, conexiones temporales rígidas cuyo valor de bloqueo medio es de 2 000 kN/ud.

Pese a que estos amortiguadores FVD se encuentran cercanos al punto fijo, sí pueden desarrollar desplazamientos relativos y con ello se den los procesos de disipación de energía dependientes de la velocidad.

Tanto el FVD como el PSD disipan la energía sísmica en forma de calor según las leyes constitutivas anteriormente citadas en los puntos 3.3 y 3.4.

Al permitir el movimiento del tablero y la disipación de energía, si se introducen los parámetros de los amortiguadores en el análisis de integración en el tiempo, los cortantes en las pilas donde se disponen los dispositivos de amortiguación se consiguen reducir aproximadamente un 50% respecto a los valores del cálculo modal espectral empleado para el diseño de las cimentaciones, dinteles, fustes.

De esta manera se asegura que la fuerza longitudinal transmitida a la infraestructura por los FVD es inferior a los valores establecidos por el proyectista. También se establece la ley constitutiva de los PSD de tal manera que la carga máxima solicitante en dichas alineaciones nunca excede los valores deseados.

Se ha de tener en cuenta en el cálculo la aportación a la disipación de energía debida al rozamiento de los apoyos esféricos libres [13] comprobándose tanto el límite superior esperable como el límite inferior.

4.6 Recentrar la estructura tras el evento sísmico

Se entiende por recentrado a la capacidad del sistema de aislamiento de resituar el tablero a su

posición previa al evento sísmico. Los FVD, al ser dispositivos dependientes de la velocidad, finalizado el evento sísmico, dejan de ejercer fuerza sobre la estructura. Los PSD, al estar precargados, buscan volver a su posición de equilibrio ejerciendo una fuerza superior a su precarga sobre el tablero a tal fin.

Este dispositivo permite controlar la posición final del tablero tras el evento sísmico cumpliendo con esta exigencia para sistemas de aislamiento establecida en la normativa [14].

5. Conclusión

En este artículo se explica y describe el funcionamiento de los dispositivos que finalmente conforman el sistema de aislamiento sísmico del Viaducto de Alhama.

Esta combinación de dispositivos permite generar una solución; que asegura la transmisión de cargas verticales; que permite los movimientos longitudinales; que resiste por capacidad los esfuerzos transversales; que conforma el punto fijo fusible del tablero, que disipa la energía sísmica que entra en el sistema; que limita los esfuerzos longitudinales generados en las pilas en el evento sísmico; que recentra el tablero tras el evento sísmico; que limita la afección a otros elementos prefabricados a del viaducto. En conclusión, se han satisfecho las necesidades del proyecto, formalizando un sistema de aislamiento sísmico fiable e ingenioso.

Agradecimientos

A Enrique, Pedro y Albert.

Referencias

[1] Norma de construcción sismorresistente: puentes (NCSP-07), Ministerio de Fomento, 2008

[2] Monografía M-35. Proyecto de estructuras de hormigón en zona sísmica, ACHE, 2020

[3] R.Medeot, Aislamiento y amortiguación en el

diseño sísmico, Hormigón y Acero. 56 nº238 (2005), 45–59.

- [4] Guía para el proyecto sísmico de puentes de carretera, Ministerio de Fomento, 2019
- [5] J.Forment, J.M Canet y A.C. Aparicio, Utilización de amortiguadores y conectores sísmicos en puentes, 2000, Hormigón y Acero. 51 nº217 (2000), 81–100.
- [6] J.Romo, Tendencias en la normativa sismorresistente Principios estructurales del proyecto de puentes en zonas sísmicas, Hormigón y Acero. 56 nº238 (2005) 93–103.
- [7] J.A. Llombart, J. Revoltós y J. Cascales, Obras en Chipre. Viaducto Limassol, Viaducto Petra Tou Romiou, Hormigón y Acero. 56 nº238 (2005) 105–115.
- [8] UNE-EN-1337-7 :2004 Apoyos estructurales parte 7 : apoyos PTFE cilíndricos y esféricos, AENOR, 2004
- [9] EN-15129 Anti-Seismic devices, European committee for standardization, Brussels, 2009
- [10] H.Corres y M.F. Defant, Principios estructurales del proyecto de puentes en zonas sísmicas, Hormigón y Acero. 56 nº238 (2005) 75–92.
- [11] UNE-EN-1337-8 : 2009 Apoyos estructurales parte 8 : apoyos guía y apoyos de bloqueo, AENOR, 2009
- [12] UNE-EN-1337-2 : 2006 Apoyos estructurales parte 2 : elementos de deslizamiento, AENOR, 2006
- [13] J. Cascales Fernandez, Ricardo Rico Rubio y Sergio Couto Wörner, Criterios de diseño sísmico en viaductos de alta velocidad en la zona de Levante , Hormigón y Acero. 67 nº281 (2017) 69–79
- [14] UNE-EN-1998-2-2012. Eurocódigo 8: proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 2: Puentes, AENOR, 2012