

Juntas de expansión modulares en estricta conformidad con las normativas armonizadas europeas

Modular expansion joints in full compliance with harmonized European specifications

Simon Hoffmann 1^a, Borja Bailles 2^b

^a PhD Civil Engineer. mageba Services & Technology A. Jefe de Tecnología del Grupo. shoffmann@mageba-group.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. mageba SA. Ingeniero Técnico Comercial. bbailles@mageba-group.com

RESUMEN

Las juntas modulares plantean desafíos particulares, ya que constituyen uno de los sistemas más complejos actualmente en uso dentro del ámbito de las infraestructuras civiles. Están sometidas a impactos dinámicos únicos, y tanto el coste de mantenimiento como la disponibilidad operativa de la infraestructura dependen directamente de la robustez y durabilidad de estos componentes clave.

Este artículo describe la relación entre los métodos de evaluación y el rendimiento práctico, en beneficio de los propietarios y gestores de infraestructuras. Se analizan los desafíos asociados a los métodos de evaluación establecidos y se presentan soluciones innovadoras para abordarlos. Asimismo, se introduce el primer sistema de junta modular totalmente conforme con el Documento de Evaluación Europeo (EAD) correspondiente y con marcado CE.

ABSTRACT

Modular joints bear special challenges as these represent one of the most complex systems applied in the wide field of civil infrastructure works. They face unique dynamic impact, while maintenance cost and availability of the infrastructure is directly affected by robustness and durability of these key components. The relation between assessment methods and practical performance to the benefit of the owner is outlined. Challenges of the specified assessment methods are presented and innovative solutions to cope these are demonstrated. A first system in full compliance to the relevant EAD and CE marking is introduced.

PALABRAS CLAVE: puente, producto de construcción, juntas, marcado CE, evaluación

KEYWORDS: bridge, construction products, joints, CE mark, assessment

1. Introducción

Ante la ausencia de una norma europea armonizada que regulara la fabricación de juntas de dilatación para puentes de carretera, en 2013 se publicó la directriz de Aprobación Técnica Europea ETAG 032 [1], desarrollada bajo la Directiva de Productos de Construcción 89/106/CEE (CPD). Esta guía, titulada “Juntas de dilatación para puentes de carretera”, fue

emitida por la Organización Europea de Aprobación Técnica (EOTA) como base para que los fabricantes pudieran obtener una Aprobación Técnica Europea (ETA) con validez en todo el Espacio Económico Europeo (EEE).

Sin embargo, en octubre de 2020, a pesar de que solo se habían emitido unos pocos tipos de juntas de expansión, la ETAG 032 fue

sustituida por una serie de Documentos de Evaluación Europeos (EAD), que ahora constituyen la base para la obtención de una Evaluación Técnica Europea (también denominada ETA, por sus siglas en inglés). Esta ETA, junto con el EAD en el que se fundamenta y una Declaración de Prestaciones (DoP) asociada, proporciona actualmente el marco para la certificación por parte de un Organismo Notificado, siendo aplicable en todo el EEE.

El sistema basado en los EAD se analiza en la Sección 2, mientras que las aplicaciones más recientes en el ámbito de las juntas modulares se presentan en la Sección 3. Los impactos y repercusiones de este desarrollo se abordan en la Sección 4.

2. El sistema basado en EAD

En octubre de 2020, los Documentos de Evaluación Europeos (EAD) fueron oficialmente citados en el Diario Oficial de la Unión Europea, sustituyendo en su totalidad todas las partes de la ETAG 032. Estos nuevos EAD están basados íntegramente en el Reglamento (UE) n.º 305/2011 [2] relativo a los productos de construcción (RPC), y constituyen el marco normativo armonizado actualmente vigente para la evaluación técnica de las distintas tipologías de juntas de dilatación para puentes de carretera.

Los EAD de juntas de dilatación para puentes de carretera publicados hasta la fecha son los siguientes:

- EAD 120093-00-0107: juntas de dilatación asfálticas flexible [3]
- EAD 120109-00-0107: Juntas de dilatación unicelulares [4]
- EAD 120110-00-0107: Juntas de dilatación de goma [5]
- EAD 120111-00-0107: Juntas de dilatación de peine voladizo [6]
- EAD 120112-00-0107: Juntas de dilatación de peine apoyado [7]

- EAD 120113-00-0107: Juntas de dilatación de tipo modular [8]



Figura 1. Una junta de dilatación Tensa-Modular vista desde abajo.

A continuación, se presentan ejemplos de ensayos relacionados con la evaluación particularmente exigente de las juntas de dilatación modulares específicas.

2.1 Requisitos de prueba típicos

Conviene recordar que, tal como se muestra en la Figura 1, la junta de dilatación Tensa-Modular proporciona soporte a las vigas centrales —que conforman la superficie de rodadura— mediante barras de soporte que atraviesan el hueco del puente. Cada barra de soporte sostiene todas las vigas centrales a través de conexiones de estribo, las cuales integran un apoyo y un resorte deslizable.

En consecuencia, los ensayos a los que deben someterse las juntas modulares para la obtención de la Evaluación Técnica Europea (ETA) incluyen, entre otros, los siguientes tipos:

- Pruebas estáticas: Evaluación de la resistencia mecánica del producto, basada en ensayos de sus componentes.
- Pruebas dinámicas: Ensayos de fatiga y resistencia al desgaste por abrasión de los elementos deslizantes.
- Ensayos de fatiga: Comprobación de la durabilidad de los elementos antideslizantes.

- Evaluación dinámica y ensayos de campo: Análisis del comportamiento bajo condiciones reales de carga.
- Pruebas de fijación de elementos de sellado: Verificación de la estabilidad y eficacia del sistema de estanqueidad.
- Evaluación de la capacidad de movimiento: Determinación del rango efectivo de desplazamiento de la junta.

Estos ensayos se analizan con mayor detalle en las secciones siguientes.

2.1.1. Pruebas estáticas

Las pruebas estáticas relacionadas con la resistencia mecánica del producto, representadas mediante un método de ensayo para componentes, se centran especialmente en la fluencia y la relajación de los elementos utilizados en las juntas modulares. El pretensado del sistema de deslizamiento —que conecta las vigas centrales de la junta (que forman la superficie de rodadura) con las barras de soporte inferiores (que atraviesan el espacio de movimiento del puente y soportan las vigas centrales)— es un aspecto clave del rendimiento global de una junta de dilatación modular.

Todas las juntas de dilatación presentan cierto grado de elevación vertical en el punto donde la rueda pierde contacto con los elementos portantes (como las vigas centrales en una junta modular o los peines en una junta tipo peine). El EAD 120113-00-0107 [8], aplicable a juntas modulares, exige la identificación de esta elevación y de los factores dinámicos asociados, mediante una evaluación dinámica basada en ensayos de campo (véanse las Secciones 2.1.3 y 2.1.4).

En la mayoría de los demás tipos de juntas de expansión se permiten valores umbral superiores del 30 % para dichos factores; sin embargo, la cinemática particular de las juntas modulares impide establecer umbrales de este tipo. El impacto de la carga sobre los apoyos de deslizamiento (véase la Figura 4) se calcula como la carga de diseño multiplicada por los factores

dinámicos identificados, los cuales actúan sobre los sistemas de deslizamiento pretensados en las conexiones de estribo entre las vigas centrales y las barras de apoyo, así como sobre las conexiones pretensadas entre estas barras de soporte y las estructuras principales que las sostienen en cada extremo.

La elevación que actúa sobre los resortes deslizantes corresponde al impacto de carga multiplicado por el valor identificado de la oscilación ascendente. La fluencia que afecta a los apoyos y la relajación que incide sobre los resortes deslizantes reducen el pretensado efectivo de estas conexiones y pueden ocasionar la apertura y cierre de las interfaces de deslizamiento si no se consideran adecuadamente. La repetición de estas separaciones genera efectos de martilleo, lo cual conduce al deterioro del material deslizante y reduce significativamente su resistencia a la fatiga.

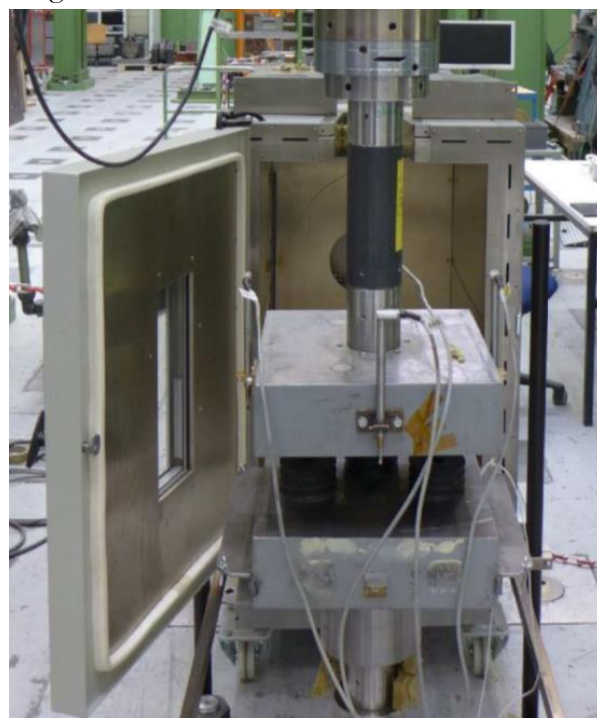


Figura 2. Ensayo de carga estática de componentes deslizantes a temperaturas extremas.

Los ensayos —que cubren condiciones de servicio, fatiga y carga última— se describen detalladamente en el Anexo C del EAD 120113-00-0107 [8], y requieren el uso de una cámara climática especial que permite realizar pruebas

bajo condiciones de temperatura extrema, como se muestra en la Figura 2.

2.1.2. Ensayos dinámicos de resistencia a la fatiga y al desgaste de componentes deslizantes

Los ensayos dinámicos relacionados con la resistencia a la fatiga y al desgaste se centran especialmente en los componentes deslizantes utilizados en las juntas modulares. Tanto el desgaste como las cargas de impacto afectan directamente la durabilidad de estos elementos, lo que exige un mantenimiento adecuado. Por ello, los apoyos y resortes deslizantes deben considerarse piezas reemplazables, conforme a lo establecido en la Tabla 2 del EAD 120113-00-0107 [8].



Figura 3. Dispositivo de ensayo de desgaste, con control activo de la temperatura.

A estos componentes se les asigna la categoría "B", lo que implica que deben alcanzar una vida útil prevista de al menos la mitad de la vida útil estimada del conjunto de la junta de dilatación. Dado que se recomienda una vida útil de 50 años para el sistema completo, los componentes deslizantes deben tener una vida útil mínima de 25 años. En este periodo, los grandes desplazamientos acumulados pueden generar un desgaste significativo de los materiales, mientras

que el elevado número de ciclos de carga puede incidir notablemente en su comportamiento a fatiga.

En el caso de la junta evaluada, se llevaron a cabo tanto ensayos de deslizamiento por desgaste como ensayos dinámicos de resistencia a la fatiga, en conformidad con lo dispuesto en el EAD. Los ensayos de deslizamiento de los apoyos y resortes deslizantes se ejecutaron conforme a lo descrito en el Anexo D del EAD, acumulando hasta 9 km de trayectoria de deslizamiento con una doble amplitud de hasta 1 m (véase Figura 3). Los resultados demostraron una fricción estable y reducida, sin evidencias de desgaste al finalizar los ensayos.

Posteriormente, se sometieron los apoyos deslizantes a ensayos de fatiga (véase Figura 4), utilizando los valores de carga determinados a partir de los resultados de la evaluación dinámica obtenida en los ensayos de campo (véanse Secciones 2.1.3 y 2.1.4). Este ensayo, con 5×10^6 ciclos (equivalente a una vida útil ilimitada a efectos de fatiga), mostró una variación de altura inferior al 2,4 %. En ambos ensayos fue necesario un control activo de la temperatura.



Figura 4. Instalación de ensayo de fatiga. Instalación de ensayo de fatiga con control térmico para evaluar la durabilidad de los componentes deslizantes.

2.1.3. Ensayos de fatiga de piezas antideslizantes

Este ensayo de resistencia a la fatiga se centra en componentes estructurales críticos difíciles de evaluar únicamente mediante cálculos, como los anclajes a estructuras de hormigón. Dado que estos elementos no suelen ser reemplazables sin demoler y reponer el hormigón, y considerando una vida útil prevista de 50 años, el ensayo debe demostrar una resistencia a la fatiga ilimitada, utilizando 5×10^6 ciclos.

La carga de fatiga debe definirse a partir de los resultados obtenidos en la evaluación dinámica correspondiente a los ensayos de campo (véanse las Secciones 2.1.3 y 2.1.4), asegurando que se refleje el comportamiento real del modelo específico de junta modular. Es fundamental prestar especial atención a la correcta simulación de la huella de rueda para la aplicación de la carga. Las Figuras 5 y 6 muestran ejemplos de este tipo de ensayos.



Figura 5. Ensayos de fatiga de detalles de anclaje.

2.1.4. Evaluación dinámica y ensayos de campo

La evaluación dinámica y los ensayos de campo, según lo establecido en el EAD, implican el paso controlado de vehículos sobre cada tipo y sistema de junta, abarcando un rango definido de condiciones de comportamiento. Factores como el impacto dinámico vertical, el repunte, la transferencia de carga de horizontal a vertical y los coeficientes de respuesta horizontal influyen de manera significativa en las cargas que deben considerarse tanto para los cálculos de fatiga como para su aplicación en los ensayos físicos.



Figura 6. Ensayo de fatiga de un empalme soldado *in situ* para evaluar la Categoría de Detalle.

A excepción del EAD 120113-00-0107 [8] para juntas modulares, todos los demás EAD aplicables a juntas de expansión [2 a 7] proporcionan valores predeterminados que pueden utilizarse en lugar de datos obtenidos mediante ensayos de paso de vehículos. No obstante, los resultados de la evaluación dinámica y los ensayos de campo pueden aplicarse de forma similar en la mayoría de los tipos de juntas.

Para todos estos ensayos, es esencial cumplir rigurosamente con los requisitos del EAD correspondiente, como los detallados en el Anexo E del EAD 120113-00-0107 [8]. En particular, las influencias dinámicas requieren especial atención, por ejemplo, en lo que respecta a la uniformidad y calidad de la superficie del pavimento en al menos 30 m antes y después de la junta instalada. La verificación de este criterio exige una preparación precisa del pavimento, así como experiencia y equipos especializados en topografía de superficie y procesamiento de datos.

Se requiere un nivel similar de cuidado y experiencia para las mediciones dinámicas realizadas con camiones a distintas velocidades, así como durante aceleraciones y frenadas

completas. Estas mediciones de campo —que emplean galgas extensométricas, acelerómetros y sensores láser—, junto con el análisis estadístico de los datos, exigen una especialización que solo unos pocos expertos poseen, especialmente en lo relativo a la evaluación dinámica de juntas de expansión.



Figura 7. Evaluación dinámica de la junta modular: ensayo complejo que exige experiencia en medición y análisis de datos.

Los ensayos del modelo de junta modular en cuestión, así como de otros tipos de juntas —incluidas las unicelulares (sello único) y las de peine en voladizo—, se extendieron durante varias semanas e involucraron al fabricante y diversos socios (véase Figura 7).

2.1.5. Ensayos de la fijación de los elementos de sellado

Los ensayos de fijación de los elementos de sellado se aplican principalmente a los perfiles de goma utilizados en juntas unicelulares y modulares. Estos ensayos están especificados en el Anexo D del EAD 120109-00-0107 [4] para juntas unicelulares y en el Anexo F del EAD 120113-00-0107 [8] para juntas modulares. Evalúan la fijación correcta, la resistencia mecánica, la estanqueidad y la facilidad de limpieza.

Los ciclos de movimiento especificados para distintas combinaciones de desplazamientos longitudinales, transversales y verticales deben realizarse con un control continuo de la fijación del sistema de sellado. En algunos casos, los

perfiles de goma se rellenan con arena para simular la acumulación de residuos, o con agua para verificar la estanqueidad tras los ciclos. Los ensayos se aplicaron tanto a componentes nuevos como a envejecidos artificialmente, incluyendo detalles de conexión con membranas impermeabilizantes (véase Figura 8).



Figura 8. Ensayos de estanqueidad del diseño modular con ciclos repetidos de apertura y cierre.

2.1.6. Evaluación de la capacidad de movimiento

La evaluación de la capacidad de movimiento es obligatoria para todos los tipos de juntas de expansión en puentes de carretera y está especificada en el Anexo D.3 del EAD 120109-00-0107 [4], con referencias en los demás EAD. El ensayo debe cubrir la totalidad del rango de movimientos previstos mediante múltiples ciclos, incluyendo desplazamientos longitudinales, transversales, verticales y las rotaciones asociadas.



Figura 9. Ensayos de movimiento a escala real de una junta modular de 18 brechas, con combinaciones de desplazamientos longitudinales, transversales y verticales.

En juntas con grandes capacidades de movimiento, este ensayo resulta especialmente exigente y requiere equipos altamente

especializados. Para el modelo específico de junta modular evaluado, se desarrolló un sistema de ensayo capaz de probar una junta de 18 brechas —con y sin superficie reductora de ruido—, con desplazamientos de hasta 1800 mm longitudinales, 900 mm transversales y 90 mm verticales (véase Figura 9).

3. ETAs basados en EAD

En septiembre de 2021 se emitió la ETA-21/0738 [9], la primera Evaluación Técnica Europea (ETA) basada en los nuevos EAD para juntas unicelulares (también conocidas como de sello único) sin elementos de reducción de ruido. Le siguió en mayo de 2022 la ETA-22/0218 [10], la primera ETA para juntas de nariz con elementos de reducción de ruido (frecuentemente denominadas placas sinusoidales).

Las evaluaciones más complejas se han realizado recientemente, culminando con la emisión de las primeras ETA para juntas modulares de puentes de carretera: la ETA-24/0357 [11], concedida en junio de 2024 para las juntas tipo LR de mageba TENSA®MODULAR, y la ETA-24/1091 [12], emitida en diciembre de 2024 para las juntas tipo LR-LS de mageba TENSA®MODULAR, que incluyen elementos de reducción de ruido. Ambos modelos cubren configuraciones de hasta 18 huecos, con capacidad de movimiento longitudinal de hasta 1800 mm.

Los nuevos EAD resuelven la falta de claridad que en su momento dificultó la correcta aplicación de la ETAG 032, ofreciendo una especificación más completa y detallada para la evaluación técnica de juntas de expansión. Esta mayor claridad aporta una guía más sólida a los fabricantes y proporciona certeza en un proceso que sigue siendo técnico y exigente. Se espera que este avance conduzca a procesos de aprobación ETA más rápidos y eficientes, facilitando la concesión de nuevas ETA para distintos tipos de juntas, y permitiendo así que el sistema de especificación armonizado europeo

cumpla plenamente su propósito en el ámbito de las juntas de dilatación para puentes.

El nuevo nivel de evaluación técnica supera de forma significativa cualquier otra especificación nacional común en Europa o a nivel internacional, especialmente por los exigentes ensayos de laboratorio y campo que se requieren. Por ejemplo, el ensayo de rodadura con camiones sobre probetas especialmente preparadas, junto con la evaluación estadística de los datos medidos durante la prueba, constituye una base sólida para la evaluación del comportamiento dinámico y el diseño a fatiga de las juntas evaluadas.

3.1 Aprobaciones nacionales

Las ETA mencionadas anteriormente, junto con la documentación técnica asociada, han servido como base para la obtención de diversas aprobaciones nacionales. En 2021, las autoridades checas otorgaron aprobaciones para juntas de un solo sello, tanto con [13] como sin [14] placas sinusoidales, de acuerdo con la norma nacional para juntas de dilatación en puentes de carretera [15], la cual remite a las especificaciones europeas.

En noviembre de 2024 se concedió la aprobación correspondiente para juntas modulares sin placas sinusoidales de reducción de ruido [16], y se prevé que la aprobación para las juntas modulares con placas sinusoidales sea emitida en enero de 2025.

En los Países Bajos, las evaluaciones conforme al documento técnico RTD1007 [17], que remite al EAD 120111-00-0107 [6], sirvieron como base para la aprobación de juntas de tipo peine con capacidad de movimiento longitudinal de 325 mm.

Por su parte, las autoridades alemanas concedieron en noviembre de 2024 la primera aprobación general para juntas unicelulares sin placas sinusoidales [18], basada en la versión más reciente de la directriz alemana TL/TP FÜ [19], la cual se remite al EAD correspondiente. Se espera que este avance acelere las aprobaciones

pendientes en Alemania para juntas unicelulares con placas sinusoidales de reducción de ruido, así como para juntas modulares con y sin dichos elementos.

5.4 Conclusiones

Los Documentos de Evaluación Europeos (EAD), que sustituyen a la ETAG 032, ofrecen una base significativamente mejorada para la evaluación de juntas de dilatación, especialmente en lo que respecta a la claridad de los requisitos y la conformidad con el Reglamento de Productos de Construcción (RPC).

El diseño y evaluación de juntas conforme a los EAD da lugar a soluciones mucho más robustas y duraderas que las obtenidas bajo otras normativas comúnmente utilizadas. Este enfoque exige una serie de ensayos rigurosos, tanto de laboratorio como de campo, que permiten evaluar de manera integral el rendimiento, incluida la durabilidad. Sin embargo, el proceso de evaluación es complejo y supone un verdadero desafío para los laboratorios de ensayo, organismos de evaluación técnica, verificadores y organismos notificados, exigiendo el más alto nivel de especialización disponible.

Por ello, la competencia de todas las partes involucradas debe ser plenamente validada desde el inicio, para evitar la aparición de ETAs de calidad inferior, como ocurrió durante la vigencia de la ETAG 032. Incluso cuando las funciones de evaluación técnica y certificación son asumidas por entidades altamente competentes, sigue siendo esencial una colaboración estrecha con el fabricante, así como con expertos en ensayos, mediciones y análisis de datos.

Dado que los EAD no cubren aspectos clave como la instalación, el desgaste por uso ni el mantenimiento —todos ellos críticos para el rendimiento a largo plazo—, estos deben abordarse mediante regulaciones y especificaciones complementarias.

Este nuevo marco normativo representa un avance importante en la evaluación del rendimiento de las juntas de expansión, proporcionando productos más fiables y duraderos. Normas más estrictas suponen un beneficio directo para la sociedad, al reducir los costes de mantenimiento, las intervenciones en obra y las interrupciones del tráfico, generando impactos positivos tanto económicos como medioambientales.

Por último, para los fabricantes que apuestan por la calidad y la durabilidad, este sistema de evaluación representa una oportunidad valiosa para diferenciarse en el mercado, y para demostrar de forma objetiva la excelencia técnica de sus productos.

Referencias

- [1] EOTA. ETAG 032 Expansion Joints for Road Bridges. Part 1 General; Part 2 Buried Expansion Joints; Part 3 Flexible plug Expansion Joints; Part 4 Nosing Expansion Joints; Part 5 Mat Expansion Joints; Part 6 Cantilever Expansion Joints; Part 7 Supported Expansion Joints; Part 8 Modular Expansion Joints. 2013.
- [2] Construction Product Regulation, Regulation (EU) No 305/2011 of March 2011.
- [3] EOTA. EAD 120093-00-0107 Flexible asphaltic plug expansion joints for road bridges. 2019.
- [4] EOTA. EAD 120109-00-0107 Nosing expansion joints for road bridges. 2019.
- [5] EOTA. EAD 120110-00-0107 Mat expansion joints for road bridges. 2019.
- [6] EOTA. EAD 120111-00-0107 Cantilever expansion joints for road bridges. 2019.
- [7] EOTA. EAD 120112-00-0107 Supported expansion joints for road bridges. 2019.
- [8] EAD 120113-00-0107 Modular expansion joints for road bridges. 2019.
- [9] EOTA/OIB. European Technical

- Assessment ETA-21/0738 – mageba Tensa®Grip Type RS HP nosing expansion joint for road bridges, granted 16.09.2021.
- [10] EOTA/OIB. European Technical Assessment ETA-22/0218 – mageba Tensa®GRIP Type RS-LS nosing expansion joint for road bridges, granted 04.05.2022.
- [11] EOTA/OIB. European Technical Assessment ETA-24/0357 – mageba Tensa®MODULAR Type LR modular expansion joint for road bridges, granted 20.06.2024.
- [12] EOTA/OIB. European Technical Assessment ETA-24/0357 – mageba Tensa®MODULAR Type LR-LS modular expansion joint for road bridges, granted 18.12.2024.
- [13] TZUS, Prague. Product certificate No. 204/C5a/2021/090-05110 for nosing joints mageba Tensa®GRIP Type RS-LS, granted 07.05.2021.
- [14] TZUS, Prague. Product certificate No. 204/C5a/2021/090-050783 for nosing joints mageba Tensa®GRIP Type RS HP, granted 07.05.2021.
- [15] TZUS, Prague. Product certificate No. 204/C5a/2024/090-064252 for modular joints mageba Tensa®MODULAR Type LR HP, granted 22.11.2024.
- [16] Ministerstvo Dopravy. TP 86 (Czech standard for road bridge expansion joints). Prague. 2009.
- [17] Rijkswaterstaat, Utrecht. RTD 1007 (Dutch standard for road bridge expansion joints. Netherlands.
- [18] Federal Ministry for Digital and Transport, Berlin. Genehmigung zur Anwendung im Regelfall für Fahrbahnübergänge Tensa®GRIP, Typ RS HP, granted 14.11.2024.
- [19] Bundesanstalt für Strassenwesen. TL/TP FÜ (Technische Lieferbedingungen und Technische Prüfvorschriften für Fahrbahnübergänge aus Stahl und aus Elastomer von Strassen- und Wegbrücken) (German standard for road bridge expansion joints). Germany. 2022.