

Madrid 14 de Marzo de 2007

Transiciones obra de paso - terraplén

Aproximación al estado del arte y experiencias españolas.

1. El fenómeno de las transiciones, su problemática y soluciones adoptadas	2
1.1. Descripción del fenómeno	2
1.2. Tipo de Soluciones	2
2. Diferentes aproximaciones a las transiciones estructura-terraplén	
2.1. Estudios en el ámbito de la transición como conjunto: Guías de diseño.....	5
2.2. Estudios en el ámbito de la Losa de Transición:	7
– Wong	
– La experiencia española	
– La Nota de Servicio (1992)	
– Trabajo de F. Muzás (2000)	
– Guía para la concepción de Puentes Integrales (2000)	
– Tesis de J. Pacheco (2006)	
3. Encuestas	12
3.1. Resultados y Comentarios	
4. Recomendaciones Finales y Estudios Complementarios	16

Madrid 14 de Marzo de 2007

1. El fenómeno de las transiciones y su problemática

1.1. Descripción del fenómeno

La problemática de las transiciones en las obras de paso, viene derivada principalmente de tres circunstancias que concurren en las mismas:

- Por una parte, los estribos de los puentes presentan una considerable rigidez, que es consecuencia tanto de su propia constitución como de su habitualmente sólido apoyo en terreno competente.
- Por otra, los terraplenes de acceso a dichas estructuras son elementos flexibles y deformables, en mayor o menor grado, según la naturaleza de sus materiales constituyentes y la compactación alcanzada en su construcción, pero en todo caso mucho menos rígidos que aquellos.
- Y finalmente, el terreno sobre el que se apoya el terraplén puede, a su vez, tener diversos grados de deformabilidad conforme a su naturaleza, grado de humedad, espesor, etc.

Como consecuencia de lo anterior, pueden producirse movimientos diferenciales entre el estribo y su relleno que, dependiendo de su cuantía, del tráfico soportado y de otros aspectos, puede desencadenar antes o después una serie de fenómenos indeseables entre los que podemos citar:

- Alteración del perfil longitudinal de la calzada con los consiguientes incomodidad y peligro para la rodadura.
- Disminución de la funcionalidad de las juntas de dilatación del tablero pudiendo llegar a la rotura de las mismas, lo que acrecienta el problema anterior
- Fisuración e incluso rotura de las losas de transición (donde existan) con repercusión en el firme situado sobre ellas y por tanto en la rodadura de los vehículos, pudiendo afectar a su seguridad y comodidad.

Por ello se hace necesario abordar el análisis de dicho fenómeno, planteando las posibles soluciones que respondan a los aspectos indicados y los corrijan en la medida de lo posible, primeramente a nivel de Proyecto y posteriormente ejecutándolas correctamente en obra de manera que no queden desvirtuadas e inutilizadas.

1.2. Tipos de Soluciones

Las soluciones generalmente empleadas son de tres tipos:

- Losas de Transición: más utilizada en carreteras

Madrid 14 de Marzo de 2007

- Cuñas de transición o Bloque Técnico: más utilizada en ferrocarriles
- Soluciones Mixtas

Debe decirse de antemano que todas ellas son y las consideramos aceptables, siempre que estén correctamente concebidas, diseñadas y construídas.

LA LOSA DE TRANSICIÓN

Consiste ésta en una losa de hormigón armado que arranca del estribo del puente, mediante apoyo simple, rótula o empotramiento y se extiende sobre el terraplén adyacente, apoyada usualmente en toda su anchura y en toda su longitud, la cual, en ocasiones, puede llegar incluso hasta diez metros o incluso más.

Este tipo de losas están concebidas para que el extremo opuesto al estribo, libremente apoyado en el terraplén, siga los asientos de éste, de modo que el borde vinculado al estribo experimenta, evidentemente, un giro o un momento flector de reacción según el enlace sea rótula o empotramiento.

Debe destacarse que mientras el enlace articulado en el estribo permite cinemáticamente el seguimiento de los asientos experimentados por el terraplén, en la solución empotrada este seguimiento está condicionado por la flexibilidad de la losa en ménsula, con lo cual podría producirse, de no estar los asientos suficientemente controlados, un cierto descalce en losas superficiales de efectos peligrosos para la circulación.

Esencialmente su diseño se basa en limitar el incremento de pendiente en el perfil de la carretera a causa del asiento experimentado en el terraplén, cuyo incremento, que depende del descenso máximo previsible del terraplén y de la losa de transición, se cuantifica en JADE 68, Leonhardt F. y en la Nota de Servicio.

CLASE DE CARRETERA	DIFERENCIA DE PENDIENTE (%)	RELACION LONGITUD/ASIENTO (MIN)	ASIENTO MAX (cm) PARA UNA LOSA DE 5 m
Autopistas y Autovías	0,3	300	1,5
Vías Rápidas	0,4	250	2,0
Convencionales con circulación rápida	0,5	200	2,5
Convencionales con circulación lenta	0,8	125	4,0

Sin embargo, sólo recientemente, como luego se expone, se han desarrollado teorías y modelos de cierta precisión sobre el comportamiento estructural de las losas de transición. Anteriormente, los cálculos justificativos, en los proyectos en que se incluían, eran en general muy simples, especialmente en lo que a condiciones de apoyo a corto y largo plazo se refiere, mientras que en

Madrid 14 de Marzo de 2007

los casos en que no se analizaban, las soluciones pasaban de unos proyectos a otros sin ulteriores análisis ni consideraciones específicas.

Por todo ello se han presentado no pocos problemas en el comportamiento de las losas bajo las cargas de tráfico, que en ocasiones han sido atribuidos, sin base suficiente, a la presunta invalidez del propio concepto de la solución y no a su inadecuado diseño o ejecución.

Como consecuencia, muchos ingenieros llegaron a no confiar en las losas de transición, evitando en ocasiones disponerlas, si bien sin adoptar medidas sustitutivas, lo cual tampoco resolvía el problema sino que las más de las veces lo acentuaba.

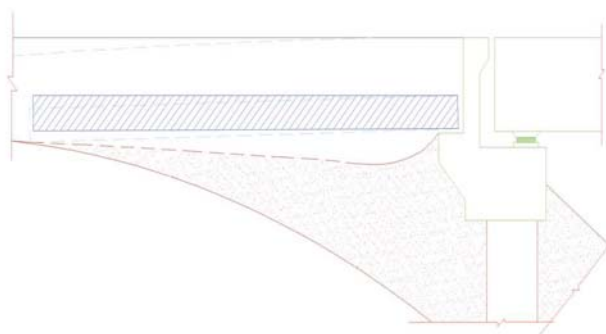


Fig. 2.2.1 Esquema de trabajo y posible emplazamiento de la losa (tomada de la ref. [4, 1992]).

LA CUÑA DE TRANSICIÓN

Una solución técnica alternativa a las losas de transición, es la *cuña* de transición también llamado bloque técnico, empleado principalmente en los trazados ferroviarios.

Consiste éste en disponer como trasdós del estribo, una sucesión de capas granulares de características y formas variables y rigidez creciente, tendentes a minimizar los movimientos relativos entre estribo y terraplén.

SOLUCIONES MIXTAS

Finalmente, pueden utilizarse soluciones mixtas consistentes en disponer como trasdós del estribo una sucesión de capas granulares, para finalmente completarlo disponiendo sobre ellas una losa de transición.

Este caso, especial pero no excepcional en nuestra opinión, puede ser de aplicación en casos especialmente comprometidos. Por ejemplo cuando en las proximidades del estribo coincida una variación brusca de las condiciones de apoyo del terraplén, por variación del substrato.

Madrid 14 de Marzo de 2007

En lo que sigue y debido al mayor número de datos disponibles, como se verá más adelante, nos centraremos en la losa de transición si bien, en ocasiones, podrá hacerse referencia también a las cuñas de transición.

2. Diferentes aproximaciones a las transiciones estructura-terraplén

En el apartado anterior hemos dejado establecida la problemática de las transiciones estribo-terraplén y las soluciones tipo existentes, destacando los inconvenientes que se pueden originar por fallos de concepción, diseño o ejecución de las mismas. Por eso ahora nos preguntamos acerca de cual debe ser la manera correcta de realizar dichas funciones.

No es fácil responder brevemente a esta pregunta dado que nos encontramos ante un tema abierto, tanto en sus posibles planteamientos como en las soluciones a adoptar, por lo que hemos optado por presentar aquí algunas de las soluciones que se han empleado en diversos países y épocas.

Siguiendo la clasificación efectuada en el apartado anterior, estructuraremos las soluciones según se centren prioritariamente en la transición como cuña o en la losa de transición propiamente dicha. Para una revisión más amplia de esta cuestión, remitimos a los lectores interesados a la tesis doctoral de J. Pacheco en su Cap. 2.

2.1. Estudios en el ámbito de la transición como conjunto: Guías de diseño

En este tipo de planteamiento se prioriza la base geotécnica del problema y posteriormente se consideran las características resistentes de la losa, cargas y modelos de cálculo.

Parece que las primeras soluciones empleadas provendrían de los EEUU (Jones, Deen y Bishop). Ellos, relacionaban la problemática de la zona de la transición con dos factores: **la consolidación del terraplén y del suelo base**. Son los años sesenta. El problema se aborda desde una óptica estadística inspeccionando un conjunto de estructuras lo más amplio posible, analizando su evolución e intentando establecer determinados parámetros que permitiesen ir identificando las variables que gobiernan el comportamiento.

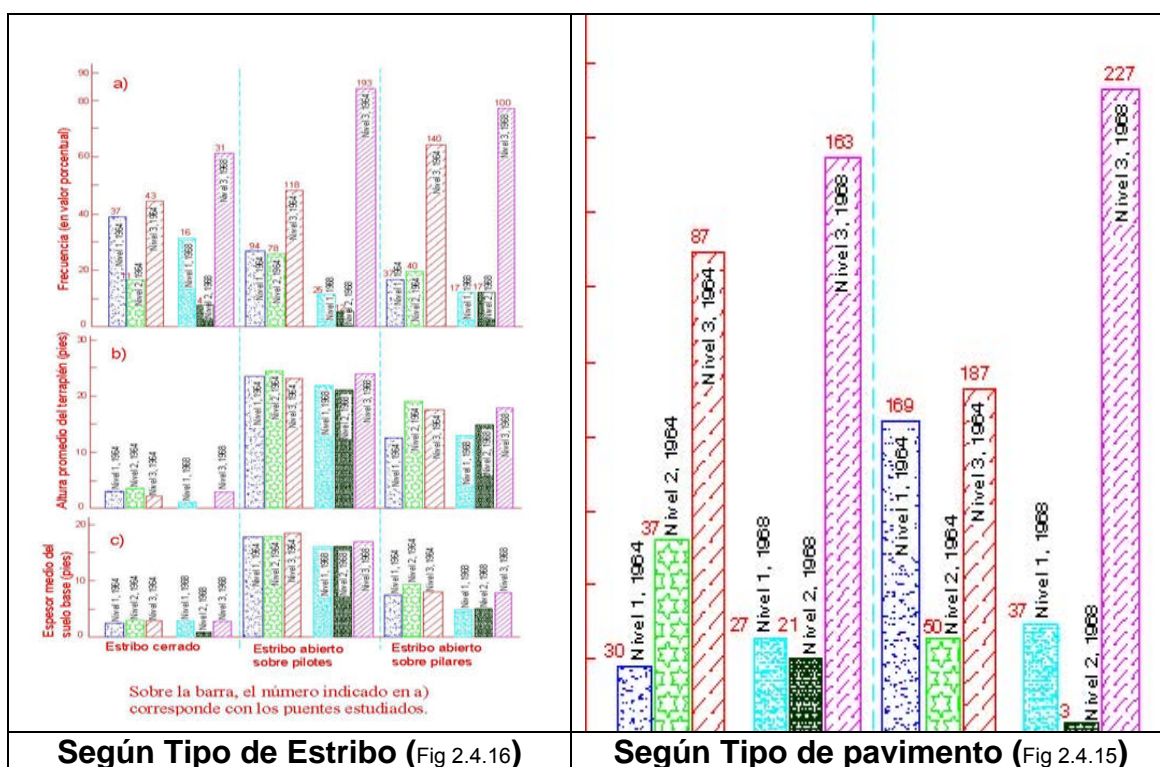
Posteriormente empiezan a hacer un amplio estudio basado en la inspección de numerosos puentes de la red de carreteras del estado de Kentucky, Estados Unidos. Los estribos de estos puentes estarían cimentados, bien directamente sobre un material muy competente (a menudo roca) ó de forma indirecta mediante pilotes hasta ella y la finalidad era la de establecer una escala de valores en cuanto a la *percepción* del problema por el usuario, estableciéndose tres niveles o grupos:

- El Nivel 1 correspondería con las transiciones que se encontrarían en buen estado
- el Nivel 2, una transición que aunque no requiriese mantenimiento sí llegaría a observarse cierta dislocación

Madrid 14 de Marzo de 2007

- el Nivel 3, aquella que implicaría un nivel de daños que haría necesario su reparación

Se relacionan los niveles de percepción con algunas variables objetivas, empleando elementos como: **tipo de pavimento** sobre el terraplén (bituminoso u hormigón hidráulico); **tipo de estribo** (cerrado, abierto sobre pilares, o sobre pilotes (fig. 2.6 o fig. 2.7); uso o nó de **materiales especiales** en la zona del trasdós (entre 6 y 18m); características del **suelo base** (fundamentalmente, si se trata de un suelo granular o arcilloso) ; **tipo de terraplén** (marcado por las características de su localización y en buena medida **su espesor** resultante: terraplenes localizados en valles, en zonas parte en corte y parte en relleno, sobre terreno plano y otros, en los que apenas ha habido necesidad de rellenar).



También han existido diversos trabajos de análisis del problema enfocados a la redacción de manuales o guías de diseño, entre los que se pueden citar los siguientes:

- TRB: guías de 1969 y de 1990 (Wahls). En ésta donde se insiste puntualmente en la necesidad de utilizar un material seleccionado en las proximidades del estribo para facilitar su estabilidad y compactación. Se describen procedimientos detallados para la compactación del terraplén (muy puesto a punto en la década de los 60s) y en general, de favorable opinión entre los ingenieros por los resultados demostrados con la normativa aplicable

Madrid 14 de Marzo de 2007

- Guía de Briaud (1997). Se fundamenta en un amplio trabajo de encuestas, donde se pide entre otras cosas priorizar una serie de factores respecto de problemática de la transición.

Nivel de importancia	Factor de referencia 1
1	Compresibilidad del material del relleno
2	<ul style="list-style-type: none"> • Asentamiento del suelo base del terraplén. • Deficiente práctica constructiva.
3	Deficiente drenaje.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida del material del relleno por problemas de erosión. • Inadecuado material de relleno

Y otros

- Finalmente citaremos el trabajo el Departamento de Transporte de Virginia que desarrolla un estudio muy similar. Centra su contenido en el análisis de las encuestas, distribuidas también por 48 estados de los USA. En éstas se pregunta acerca del uso o nó de *materiales específicos para la zona de aproximación* (detallándose en su caso características típicas del mismo), *especificaciones constructivas* atendiendo al espesor de capas y grado de compactación; ejercicio o nó de un *control específico* para la construcción de este tipo de obras, (aproximadamente el 50% tiene problemas para lograr un adecuada compactación en la zona próxima al estribo); *uso de materiales especiales* en atención al aligeramiento del terraplén ó su refuerzo y por último, *sistemas de drenaje* como elemento esencial en el control de la erosión.

2.2. Estudios en el ámbito de la losa de transición

Algunos de los trabajos citados antes tambien estudian la losa de transición si bien los que ahora se citan lo hacen más específicamente.

Hay muchos trabajos sobre este particular pero la forzosa brevedad de esta intervención nos impide hacer una revisión exhaustiva de los mismos, remitiendo al lector interesado a la bibliografía, especialmente a la que figura en la tesis de J. Pacheco (2006) que incluye además en su Capítulo 2, interesantes resúmenes de los mismos.

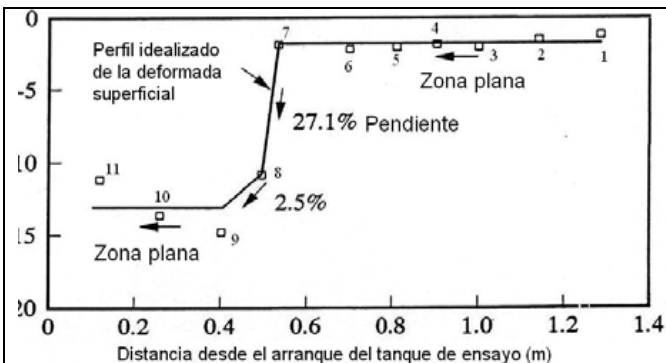
Trabajo de Wong

De entre todos los existentes, sí merece destacarse el trabajo de Wong (1994) que aborda uno de los aspectos conceptuales de la cuestión, cual es la *inclinación* de la losa de transición al objeto de procurar un cambio suave de rigidez y pendiente entre la zona del terraplén y el puente, que perdure en el tiempo.

Madrid 14 de Marzo de 2007

Este trabajo aborda un estudio experimental, mediante un ensayo a escala en una suerte de pista de ensayo, para determinar la influencia de la inclinación de la losa dentro del cambio de rigidez de su zona. Se ensayan cuatro situaciones:

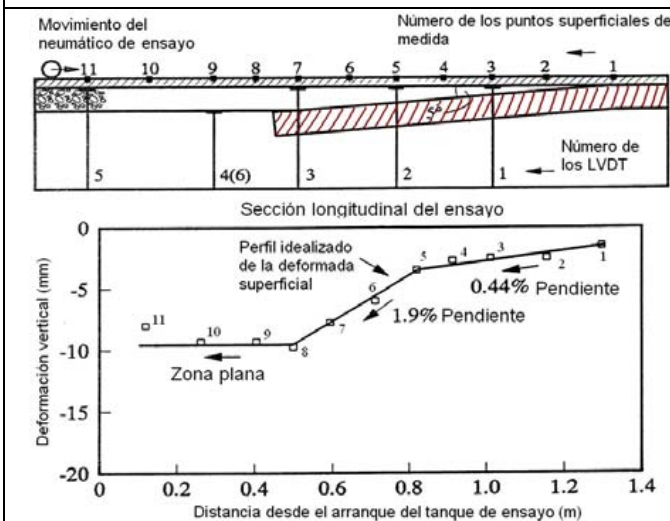
- Losa horizontal
- Losa a 5° con el pavimento
- Losa a 10°
- Sin losa (no representada)



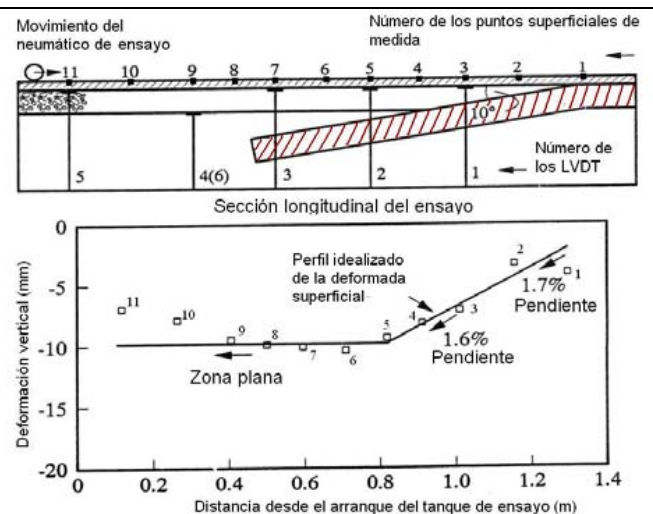
Losa Horizontal a ras. Perfil idealizado tras 600 ciclos



Losa Horizontal. Escalón en el borde de la LT



Losa a 5° con la horizontal. 600 ciclos



Losa a 10° con la horizontal. 600 ciclos

Podemos destacar las siguientes cuestiones:

- En los casos de Losa horizontal y a 5° las deformaciones máximas se producen en puntos anteriores al arranque de éstas, es decir fuera de ellas.
- En la LT a 10° la deformación máxima se produce en un punto en el interior de ésta pero con valor muy similar a la de 5°.
- En la losa a 5° el perfil de deformación es más suave que en las demás propiciando cambios de pendiente más suaves lo que redunda en un mayor confort de la rodadura de los vehículos.
- En el caso de ausencia de losa (no representado) se produce un fuerte salto junto al estribo como la lógica parece indicar.

Madrid 14 de Marzo de 2007

La experiencia española

Como documento central se dispone de la Nota de Servicio sobre Losas de transición en obras de paso (Ministerio de Fomento 1992). En él se plantea la construcción de las losas, como manera de evitar las “desnivelaciones ... entre el pavimento de la calzada situado sobre los terraplenes de acceso junto a los estribos y el colocado directamente sobre éstos”, dando tres razones para ello:

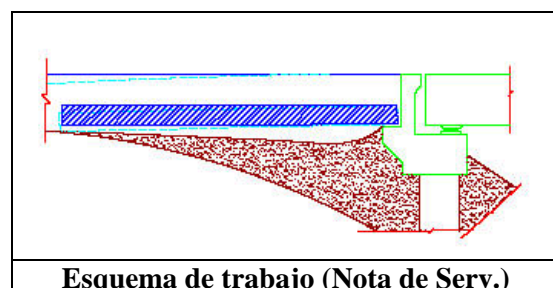
- Seguridad y Comodidad de los usuarios
- Disminuir los efectos dinámicos sobre el tablero
- Ahorro de tiempo y dinero en reparaciones y conservación.

Si bien no califica la LT como obligatoria, las condiciones para prescindir de ella rara vez se darán en la práctica, por lo que casi se convierte en ello ($T \leq T_2$ y asiento < 20 mm en estribos flotantes y < 10 mm en los demás casos)

En cuanto a los tipos, hace una distinción según sea el pavimento de la calzada en los accesos a la obra de paso y respecto a la longitud es función del asiento diferencial previsto entre el estribo y el terraplén. Reproducimos la tabla del apartado 1

CLASE DE CARRETERA	DIFERENCIA DE PENDIENTE (%)	RELACION LONGITUD/ASIEN TO (MIN)	ASIEN TO MAX (cm) PARA UNA LOSA DE 5 m
Autopistas y Autovías	0,3	300	1,5
Vías Rápidas	0,4	250	2,0
Convencionales con circulación rápida	0,5	200	2,5
Convencionales con circulación lenta	0,8	125	4,0

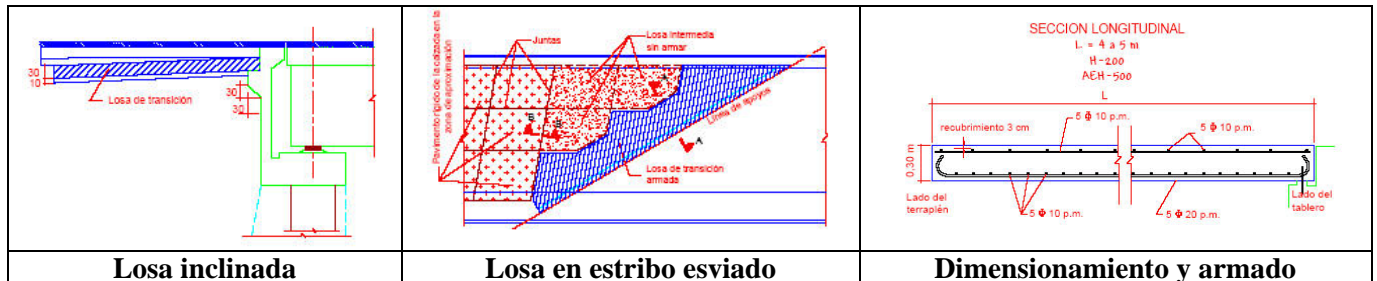
El esquema de trabajo de la losa puede apreciarse en la figura adjunta, en la que puede apreciarse que la losa salvaría, tras la deformación, el hueco formado por el asentamiento del terraplén estando apoyada en uno de sus extremos sobre éste y en el otro sobre el estribo.



Esquema de trabajo (Nota de Serv.)

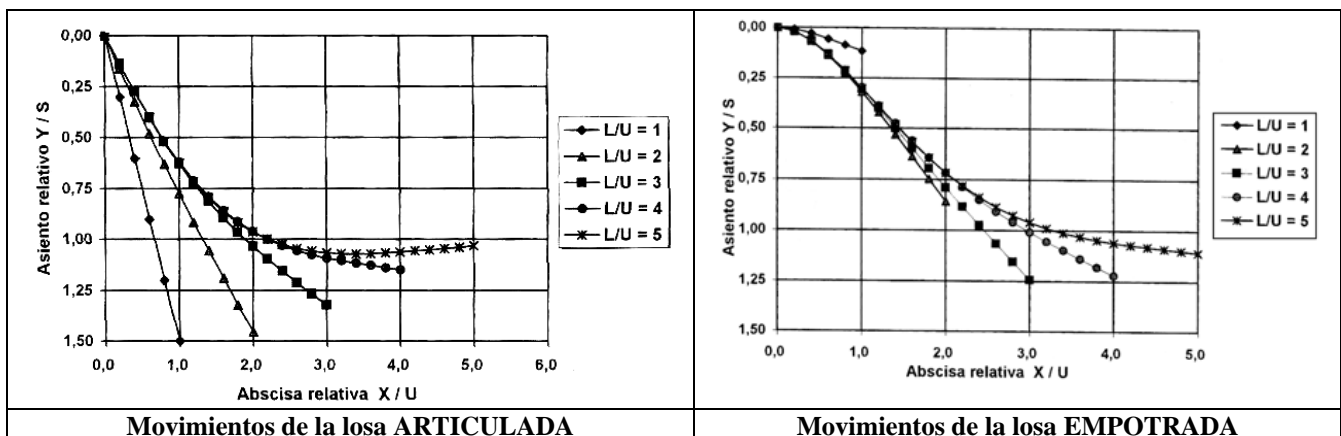
Madrid 14 de Marzo de 2007

Para el caso más frecuente de pavimento bituminoso, la losa será inclinada y estará situada a la profundidad de la explanada.
Se estudia también el caso de estribos esviados, así como el armado de la losa.



Trabajo de F. Muzás

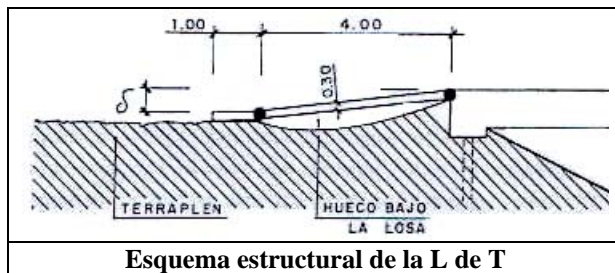
El análisis se efectúa utilizando un modelo matemático basado en la teoría de Winkler (módulo de balasto), con un coeficiente de balasto constante y la losa está modelizada por un elemento barra de un metro de ancho. La carga se considera uniformemente distribuida y no se tienen en cuenta los asientos de consolidación del terraplén ni del terreno natural de apoyo del mismo.



Guía para la concepción de Puentes Integrales

En ella hay dos aspectos que son radicalmente distintos con la posición de la Nota de Servicio. En primer lugar se propugna por una losa continua o empotrada en el tablero y en segundo lugar, el esviaje del estribo, en lugar de considerarse una ventaja para la comodidad de rodadura, debido a que las ruedas no atacan frontalmente el potencial salto existente en la zona de aproximación entre la calzada y la losa de transición, se considera un inconveniente debido al efecto basculante o fuerte giro transversal, que supone el brusco salto con una rueda en la parte inferior de la calzada y otra en la superior.

Madrid 14 de Marzo de 2007



Este enfoque se basa en una losa de 5 m. de longitud empotrada en el estribo y a poyada en el terraplén en la franja correspondiente al último metro, sin contacto en los 4 m anteriores. La losa de 30 cm de espesor se arma para aparición de rótulas plásticas en estribo y a 1 m de la franja supuesta apoyada, para peso propio, sobrecarga uniforme de $4,0 \text{ kN/M}^2$ y carro de 600 kN.

Debe indicarse que el comportamiento de la rótula en el extremo libre, sería mucho más dudoso frente a fatiga.

También se debe indicar que la configuración del contacto de la losa queda cuestionada en los resultados obtenidos por J. Pacheco. Igualmente la falta de consideración del posible descalce de la losa empotrada.

Tesis de J. Pacheco

Comienza exponiendo un esquema de cargas tronco-piramidal

Se basa en la teoría de Winkler con rigideces de los muelles constante y variable

Estudia la Losa rasante y la losa profunda

Se analiza un modelo de losa totalmente apoyada en el terreno y otro con hueco bajo la losa y tanto con un modelo plano como otro bidireccional.

Inicialmente se plantea un modelo discreto lineal y se analizan por iteraciones sucesivas:

- La influencia de la longitud de apoyo en el terreno (por formación de hueco bajo la losa)
- La resistencia del hormigón
- La profundidad de emplazamiento de la losa.

RESULTADOS INICIALES

- Insuficiencia del modelo viga
- Aparecen estados límites de fatiga en el acero o en el hormigón, en la losa superficial o profunda respectivamente, para anchos de apoyo inferiores a 1m y $f_{ck} \leq 20 \text{ MPa}$

Se analiza el comportamiento bajo los trenes de carga del Modelo 4 (ENV 1991-3, Cargas de tráfico en puentes), obteniéndose como "Tren pésimo" el nº 3 (vehículo articulado y eje tridem de remolque).

En el enfoque 2-D se realiza el análisis de la LT como placa

Madrid 14 de Marzo de 2007

De los cálculos se infiere que:

- Se confirma como pésimo el Tren 3 cuya representatividad se considera mayor que el 40% recogido en ENV-1991-3

En lo referente a los aspectos geotécnicos, se analiza la incidencia de los mecanismos de consolidación secundaria y de humectación en la determinación del asiento esperable, que alcanzaría los 3-4 cm para terraplenes de 7-14 m de altura en períodos de dos años y medio con un total de 10 días de infiltración por lluvia. La determinación de la zona de apoyo efectiva para un estado de cargas particular se efectúa con un método numérico por elementos finitos bidimensionales con tratamiento especial para la zona de contacto de la losa, considerada como un elemento lineal o viga y caracterización del suelo según el modelo de Mohr-Coulomb. La aplicación de este tipo de análisis para el conjunto de configuraciones de carga representativas de las condiciones reales de servicio, permite efectuar una estimación realista de la zona de contacto

3. Encuestas

Para poder contrastar los enfoques y consideraciones expuestos anteriormente con datos recientes de comportamientos reales de zonas de transición en puentes de carretera, se ha llevado a cabo una encuesta de ámbito español para la recogida sistemática de información sobre los elementos de transición empleados -losas o cuñas- y las prestaciones finales obtenidas en servicio por la zona de transición.

La encuesta se orienta a la obtención y registro de los datos característicos de estos elementos –esencialmente losas de transición, dada la escasez de cuñas registradas- así como de las incidencias ocurridas desde su entrada en servicio. Por tanto, permite recoger el seguimiento, o no, en los casos reales inventariados, de preceptos o enfoques estimados como válidos - aquí limitados, en principio, a las recomendaciones obtenidas en la Nota de Servicio de la Subdirección General de Construcción- y contrastarlo con los resultados prácticos registrados en la zona de transición durante su período de funcionamiento.

En esencia consta de los siguientes campos:

-Referencia.- Relativa a la ubicación, fecha de puesta en servicio, tráfico y órgano titular.

-Datos de proyecto.- Conteniendo información sobre el tipo de obra de paso, datos geométricos y características de los rellenos, para los casos de losas.

-Cuñas.- En este campo se presenta un croquis tipo con un conjunto de casillas correspondientes a la información sobre la geometría y características de los rellenos, para

Madrid 14 de Marzo de 2007

los casos de cuñas o sólidos de transición. Se trataba con ello de facilitar la aportación de datos en estos casos.

-Datos de construcción.- Se refieren al tipo del estribo, datos de los rellenos y características del hormigón y del acero, también para los casos de losas.

-Reparaciones efectuadas.- Contiene la información relacionada con las reparaciones efectuadas: fecha, dimensiones de la superficie afectada y tipo de operación realizada.

-Estado actual.- Organizado para contener la información necesaria sobre el estado actual de la transición, refiriéndose principalmente a la deformaciones y fisuras existentes en la superficie situada sobre la transición.

-Otros datos.- Con el fin de complementar los datos anteriores, siempre que sea posible, se posibilita adjuntar al impreso planos de secciones tipo, detalles, juntas, sistema de transición, así como fotografías, etc.

REF ^a	PROVINCIA	CARRETERA	ÓRGANO GESTOR	AÑO PUESTA EN SERVICIO
1	Bizkaia	Enlace Derio	Dip. Foral Bizkaia	95
2	Bizkaia	BI-3715	“	93
3	Bizkaia	N-637	“	94
4	Bizkaia	N-637	“	95
5	Bizkaia		“	93
6	Bizkaia	Ac. Sestao Ramal 1 A	“	86
7	Bizkaia	Ac. Sestao Ramal 1 B	“	86
8	Bizkaia	-	“	87
9	Bizkaia	Enlace	“	96
10	Bizkaia	BI-631	“	93
11	Bizkaia	BI-631	“	93
12	Bizkaia	BI-2522	“	-
13	Albacete	A-30	Mº Fomento	01
14	Albacete	N-322	“	95
15	Albacete	N-344	“	98
16	Albacete	N-430	“	92
17	Albacete	N-301	“	87
18	Huesca	A-2	“	-
19	Huesca	N-330	“	94
20	Huesca	N-330	“	94
21	Huesca	N-240	“	91
22	Huesca	N-II	Mº Fomento	02
23	Huesca	N-II	“	02

Madrid 14 de Marzo de 2007

24	Huesca	N-II	“	02
25	Huesca	N-II	“	02
26	Huesca	N-II	“	02
27	Huesca	N-211	“	02
28	Gerona	AP-7	“	75
29	Gerona	AP-7	“	74
30	Barcelona	C-33	Acesa	69
31	Lérida	A-7	Acesa	-
32	Guipuzcoa	AP-8	Europistas	75
33	Orense	A-52	Mº Fomento	98
34	Orense	A-52	“	98
35	Orense	A-52	“	98
36	Orense	A-52	“	98
37	Orense	A-52	“	98
38	Orense	A-52	“	97

Consideraciones Generales acerca de las encuestas

Es evidente que el conjunto de los 38 casos obtenidos de la encuesta no es suficientemente numeroso para dar apoyo estadístico, por sí solo, a posibles relaciones causa efecto entre las características físico-geométricas de la losa de transición y del comportamiento de la zona de transición.

Debe señalarse también, como dificultad adicional para encontrar a partir de resultados empíricos relaciones como las indicadas, la existencia de casos con comportamiento de la zona de transición marcadamente diferenciados a pesar de la similitud entre dimensiones de la losa, alturas de terraplén y características de los materiales constitutivos y controles de ejecución. La posible y verosímil explicación por diferencias en la deformabilidad del terreno de apoyo del terraplén no puede sustanciarse por falta de datos, evidentemente fuera del ámbito planteable en encuestas como la emprendida.

Ejemplos de estos comportamientos dispares han sido señalados anteriormente por Laguros y otros [33,1990] ó Stark y otros [34,1995] y se encuentran en los propios resultados de las encuestas de Wahls, H.E [7,1990], Briaud, J.L. [17,1997], Hoppe, E.J. [14,1999] y las nuestras.

En cualquier caso, se analizan a continuación, someramente, las series en que se pueden agrupar las fichas correspondientes a casos sin o con problemas detectados.

Consideraciones en función de las incidencias registradas

Casos sin defectos en la zona de transición

Los casos en donde la encuesta señala ausencia de incidencias son los siguientes:

- ❖ Serie 1, que comprende las fichas 1 a 12, de 12 puentes de Bizkaia con gran diversidad en las longitudes de sus losas de transición, entre 2,50m y 9,0m. El buen comportamiento del caso más corto apunta a una variación máxima de la pendiente por asiento del terraplén del orden de 1/250,

Madrid 14 de Marzo de 2007

estimado como aceptable por la Nota de Servicio en su tabla 1, lo cual establece un límite máximo al asiento producido en el terraplén de 1cm. Este valor, para la altura del terraplén de 10m que indican los planos, es manifiestamente exiguo y sugiere que la excelente calidad en la constitución y ejecución del relleno han reducido fuertemente, si no eliminado, el asiento del terraplén, con lo que la losa no habría dejado de estar en contacto con el relleno en toda su superficie.

A su vez, el caso de la ficha 4, con losa de 9,0m, puede absorber por idéntico razonamiento un asiento máximo en el terraplén, sin que aparezcan desperfectos en la zona de transición, de 3,6cm, razonable para la altura del terraplén correspondiente de 23m. Sin embargo, la capacidad mecánica alcanzada con la sección proyectada de losa, según comprobación en el marco del trabajo en curso [36, 2002] subvencionado por el Ministerio de Fomento, es inferior a la necesaria de acuerdo con los enfoques descritos en el apartado correspondiente [2.4.2.1]. Por consiguiente, tampoco en este caso parecen haberse producido asentamientos apreciables del terraplén, puesto que el trabajo estructural subsiguiente de la losa, apoyada sólo parcialmente sobre el suelo en el extremo opuesto al estribo, exigiría una capacidad mecánica claramente superior a la disponible según proyecto.

En general, pues, la calidad en la constitución y ejecución del relleno en las zonas de transición de los puentes de esta serie parecen haber sido fundamentales en la ausencia de desperfectos, por la virtual eliminación de asientos y la consiguiente desaparición en el funcionamiento de las losas de los regímenes, estructuralmente más penalizantes, con contacto sólo parcial de aquellas con el relleno. Puede haber coadyuvado asimismo a la inexistencia de defectos la baja velocidad media de circulación en los puentes de las fichas 7, 9, 10 y 11.

- ❖ Serie 2, con las fichas 14 a 17. Las longitudes de las losas son de 3 y 4m, con alturas de estribo variando de 2,10 a 9,35m y sin que conste el armado de las losas. El mismo tipo de razonamiento descrito en la serie 1 asigna a la losa de 4,0m un asiento absorbible de 1,6cm, previsiblemente escaso para todos los casos salvo el de menor altura, lo cual apunta, también aquí, a la contribución determinante de la falta de asientos en el terraplén para el buen funcionamiento de la serie. Esta hipótesis queda reforzada en todos los casos de esta serie por la mayor conflictividad atribuible según lo expuesto en el apartado 2.4, a la disposición de la losa enrasada con el pavimento, sin que se hayan registrado daños en la zona de transición, contrariamente a lo que cabría esperar.
- ❖ Serie 3, con las fichas 23 y 27. Se tratan de dos puentes muy recientes (Junio 2002) y por tanto no se han considerado suficientemente significativos. Tampoco se especifica el armado de las losas.
- ❖ Serie 4, reducida al caso de la ficha 38. La losa tiene 5,00m de longitud, 0,40m de canto y armaduras desconocidas para alturas de terraplén en estribos de 6,10 y 12,80m respectivamente. No parece tan exclusivo aquí como en los

Madrid 14 de Marzo de 2007

otros casos el papel desempeñado por la pequeñez de los asientos de terraplén en el buen comportamiento de la zona de transición.

Casos con defectos en la zona de transición

Se presentan clasificados como sigue:

- ❖ Grupo 1, correspondiente a las fichas 19 a 22 y 24 a 26. Las cuatro primeras exhiben longitudes de losa de 4,38 a 5,00m y asientos de 5 y 8cm para alturas de terraplén en estribo comprendidas entre 5,92m y 13,15m. A su vez, las tres restantes presentan losas de 5,00 y 4,00m, con asientos de 1 a 2,5cm para alturas de terraplén de 4,50 a 11,70m. A la insuficiencia de longitud de las losas por la consideración geométrica contenida en la tabla 1 de la Nota de Servicio cabe añadir, como fuente complementaria de problemas en la transición, la escasez del tiempo transcurrido entre la realización del terraplén y la colocación del pavimento.

Debe destacarse asimismo que las transiciones se encuentran en diferentes posiciones del lecho de un río muy ancho, que presenta varios brazos y zonas secas, lo que probablemente provoca condiciones muy distintas del terreno sobre el que apoya el terreno.

- ❖ Grupo 2, que incluye los puentes de autopista consignados en las fichas 28,29 y 30 y reparados después de más de 20 años de servicio. Las relaciones de L y ΔH_T para la variación de pendiente adecuada a la categoría de la carretera dan asientos de terraplén ampliamente superados por la realidad en los casos de 29 y 30, sin que se haya especificado el asiento ocurrido en el caso 28.
- ❖ Grupo 3, formado por 5 viaductos abiertos al tráfico el año 98 de fichas 33 a 37, con estribos flotantes. Las losas, de 4 y 5,37m absorben, según lo expuesto a partir de la tabla 1 de la Nota de Servicio, asientos inferiores a los registrados salvo en el caso de la ficha 35.

4. Recomendaciones Finales y Estudios Complementarios

- Ciñéndonos a las losas de transición, cabe señalar en primer lugar la necesidad de considerarlas como elementos no secundarios del puente, cuyo proyecto y ejecución deben satisfacer las mismas exigencias de adecuada funcionalidad y duración de vida útil que la estructura básica.
- A la vista del estado actual de conocimientos, resulta fundamental profundizar y avanzar en los desarrollos teóricos, estructurales y geotécnicos, del funcionamiento de las losas de transición, para perfeccionar y desarrollar los modelos teóricos actuales ajustándolos con datos de encuestas y de ensayos de laboratorio.
- Por razones evidentes, conviene predecir y reducir al máximo la magnitud de los asientos esperables en la zona de transición, a los cuales debe de hacer frente la losa. Por consiguiente, conviene:

Madrid 14 de Marzo de 2007

- Extender los estudios geotécnicos habituales para estribos y pilas a la zona de transición y considerar asientos mínimos de terraplén del orden de 4cm, según avala la experiencia recogida. No deben desecharse a priori trabajos de consolidación del terreno de apoyo del terraplén.
 - Controlar adecuadamente la ejecución del terraplén de acceso y especialmente del relleno localizado del trasdós, sobre todo en lo que concierne al espesor de tongada. El fondo de trasdós debe estar durante todo el proceso libre de suciedad, aguas remansadas y materias de desecho procedentes, o no, de la propia obra.
 - Asegurar el correcto drenaje del trasdós e impedir la contaminación de los materiales de relleno en casos de elevación del nivel freático.
 - Favorecer la estabilización adicional de los terraplenes antes de la extensión del firme sometiéndolos a la máxima precarga disponible durante todo el tiempo que permita la organización general de la obra.
- En lo concerniente a los aspectos funcionales y estructurales de la losa de transición, es importante
- Diseñar las losas con la longitud necesaria, según corresponda a la determinación del asiento máximo previsible del terraplén y a la variación de pendiente admisible para la categoría de la vía y en general a todo lo que sea de aplicación de la Nota de Servicio.
 - Proyectar las losas con hormigón H-25 o superior y, para losas profundas, H-35 en atención a la mayor sensibilidad a la fatiga del acero o del hormigón que se presenta en uno u otro tipo, según el trabajo en curso .
 - Abordar el cálculo de la losa como estructura bidimensional a partir de estimaciones realistas de las condiciones de apoyo en el terreno.
 - Ejecutar y disponer las armaduras con completa observancia de las normas, evitando la soldadura de barras para eliminar los problemas de fatiga que pueden ocasionarse.

Finalmente, parece recomendable completar, en lo posible, los datos no conseguidos en la encuesta efectuada y extenderla a otros casos con $IMD_p > 2000$ y velocidad superior a 80km/h incluyendo quizás, en la información a recoger, el perfil longitudinal de la zona de transición, para situar en él los asientos producidos.