



TRAVIESAS MONOBLOQUE PRETENSADAS, METODO DE LA LINEA LARGA CON ARMADURA PRETESA

José Luis Lleyda Dionis

Alvistranvi, S.A.

Orense, 10 - 1º

28020 MADRID

Tlf.: 91 555 05 37; Fax: 91 597 10 49

RESUMEN

La técnica de la fabricación de traviesas pretensas por el método de la línea o bancada larga tiene una tradición de más de tres décadas en los países nórdicos y anglosajones donde se ha conseguido una avalada experiencia de comportamiento real en vía, cuya tecnología se fue introduciendo, a partir de los años 80, en otros países que no la utilizaban, como es el caso de Australia, Suiza y Holanda; y a partir de 1.995 también en la red ferroviaria española, a través de RENFE, como explotadora final de las líneas férreas y el Ministerio de Fomento, como responsable de los nuevos proyectos ferroviarios.

Con el objetivo -además del de satisfacer plenamente a nuestros indicados clientes- de desarrollar un alto nivel de calidad de este tipo de traviesas, en colaboración con RENFE, se consiguió un tipo evolucionado de diseño español uniendo, a la experiencia del sistema fuera de España, una serie de mejoras en materiales y técnicas de fabricación, concurriendo en el diseño de las traviesas españolas pretensas, por adherencia dos importantes circunstancias: a) La adopción de una forma que aumenta la inercia en las secciones críticas con relación a las traviesas de hormigón tradicionales; y b) La decisiva importancia de la parte experimental, a través de un proceso constante de investigación y desarrollo durante tres años, en el que los ensayos estáticos, de fatiga y dinámicos, per-

mitieron ajustar la forma de la traviesa y el pretensado hasta cumplir con holgura muy importante los requisitos exigidos por RENFE, e incluso en la actualidad los de la normativa europea comunitaria.

Las traviesas fabricadas por este procedimiento pretensado por adherencia en línea larga, después de dos años instaladas en vías de la red ferroviaria nacional, podemos afirmar que presentan una serie de ventajas específicas, tales como: **asegurar** una mejor geometría final de la vía –fundamental para las altas velocidades- y una gran durabilidad debida a la protección de sus armaduras; **garantizar** un comportamiento homogéneo y vida útil similar en la vía debido a la fabricación simultánea de un gran número de traviesas; **resultar** más resistentes a esfuerzos laterales en vía; y **cumplir** con holgura muy importante cuantos ensayos estáticos, de fatiga y dinámicos se puedan previamente exigir.

1. LA LÍNEA LARGA.

Hasta hace pocos años el proceso de fabricación de traviesas pretensadas en España consistía fundamentalmente en la utilización de moldes individuales con la técnica de armaduras postesas alojadas en conductos que debían ser inyectados tras efectuar la tensión y quedar dichas armaduras ancladas por procedimientos mecánicos. También se han utilizado sistemas de armaduras pretesas, de tipo corto, con armaduras activas ancladas al hormigón no por adherencia sino por dispositivos mecánicos en los extremos.

El método de la línea larga cambia por completo la filosofía del proceso de fabricación y las características de las propias traviesas.

La instalación consta de una serie de moldes múltiples colocados unos a continuación de otros creando una línea o bancada de gran longitud (~ 100 m aproximadamente). En los extremos de esta bancada se disponen los elementos de tensión y anclaje transitorio de la armadura. (Foto 1).

La armadura activa es colocada a lo largo de la pista y tesada en los extremos previamente al hormigonado.

Cuando el hormigón alcanza la resistencia suficiente se procede a liberar los anclajes de la armadura, de forma lenta y gradual, introduciéndose de esta manera el esfuerzo del pretensado en las traviesas, en las que la armadura queda anclada por adherencia.



No existen vainas, ni conductos alrededor de la armadura, ni piezas especiales de anclaje, ni inyección de lechada. La armadura está formada por cordones tesos, rectos y perfectamente adheridos al hormigón.

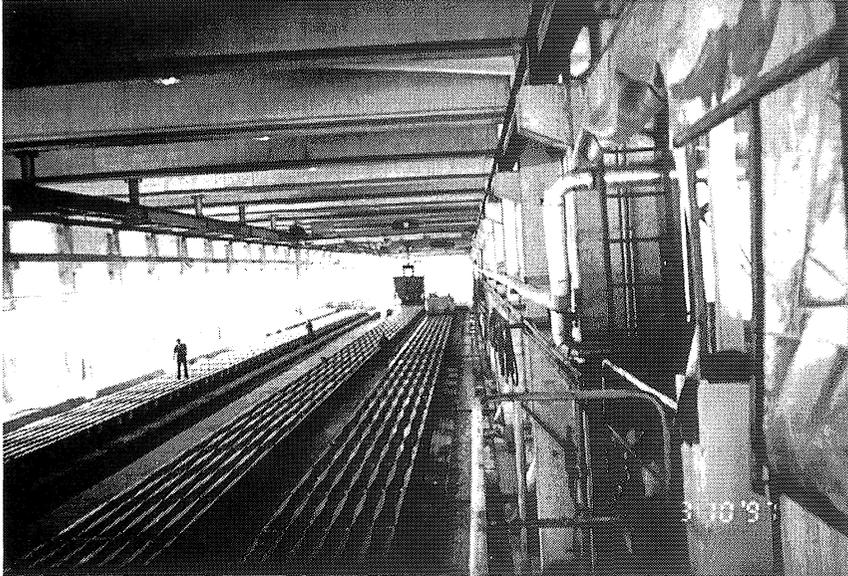


Foto 1: Fábrica de Selgua - Interior de la nave.

2. ANTECEDENTES EN EUROPA Y ACTUALIDAD EN ESPAÑA.

La técnica de la fabricación de traviesas pretensas por el método de la línea larga tiene una tradición de más de tres décadas en los países nórdicos y anglosajones (Suecia, E.E.U.U. e Inglaterra), donde se ha conseguido una avalada experiencia de comportamiento real en vía a largo plazo.

Los buenos resultados obtenidos impulsaron su expansión en los años 80 a otros países, como es el caso de Austria, Suiza y Holanda, y recientemente, desde 1.995, se utilizan con éxito en la red ferroviaria española, a través de RENFE, como explotadora final de las líneas férreas, y del Ministerio de Fomento, como responsable de la construcción de nuevas líneas y renovación de otras existentes.

Para la introducción de este tipo de traviesa en España ha sido necesario, no solamente exponer la experiencia de otros países, sino demostrar la bondad del producto mediante unos exhaustivos ensayos de homologación estáticos, dinámicos y de fatiga.

En el caso español se afrontó, además, el reto de ofrecer la traviesa polivalente (Foto 2), utilizada en las líneas de alta velocidad, y que requería un dimensionamiento ajustado con longitud de anclaje disponible muy reducida para el funcionamiento con ancho de vía RENFE.



Foto 2: Traviesa polivalente.

3. CALIDAD DE LOS MATERIALES.

La abundante información recogida en los ensayos efectuados en colaboración con RENFE dentro de un proceso constante de investigación y desarrollo a lo largo de 3 años, permitió optimizar la forma, dimensiones y disposición de armadura y adoptar los materiales adecuados para conseguir una traviesa que, dentro de un nivel de costo razonable, satisficiera plenamente al cliente cumpliendo con amplia holgura los requisitos exigidos por RENFE e, incluso en la actualidad, los de la normativa europea.

De esta forma, uniendo a la experiencia del sistema fuera de España, una serie de mejoras en materiales y técnicas de fabricación se consiguió un tipo evolucionado de diseño español basado fundamentalmente en:

- a) Adopción de una forma que aumenta la inercia en las secciones críticas con relación a las traviesas tradicionales, con una geometría adaptada a las necesidades mecánicas (esfuerzos) y funcionales (sujeciones y elementos para asegurar la geometría de la vía).
- b) Uso de hormigón de alta resistencia a corto y largo plazo: $> 50 \text{ M Pa}$ a 12 horas y $> 80 \text{ M Pa}$ a 28 días, en probeta cúbica, con cementos de bajo contenido en álcalis.



- c) Uso de cordones de acero de adherencia mejorada para conseguir una longitud de anclaje muy pequeña.
- d) Ciclos de curado térmico muy estudiados a baja temperatura ($< 50^\circ$), ejecutados con control automático, encaminados a la obtención de altas resistencias en plazos muy reducidos (< 12 horas).

4. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LAS TRAVIESAS PRETESAS.

4.1. DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE LOS TENDONES. INFLUENCIA EN LAS TENSIONES DE INTRODUCCIÓN DEL PRETENSADO

Es conocido que en las zonas de introducción del pretensado aparecen tensiones de tracción originadas por la incurvación de las isostáticas de compresión desde un conjunto de cargas localizadas concentradas en el extremo hasta una distribución plana de tensiones,

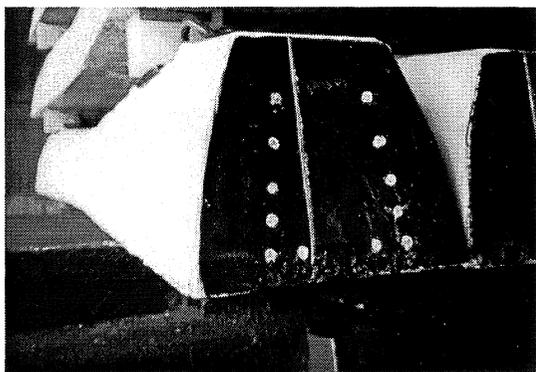


Foto 3: Extremo de una traviesa.

en una distancia que depende de la distribución de las cargas y de las dimensiones transversales de la pieza.

El control y limitación de estas tracciones es de importancia fundamental puesto que pueden ser origen de fisuras longitudinales que, evidentemente, afectarían negativamente al funcionamiento y durabilidad de la pieza.

En el caso de las traviesas con armaduras pretesas el problema se minimiza enormemente, gracias a dos circunstancias:

- a) Se diseña una distribución muy uniforme de un número alto de tendones de pequeña potencia cada uno (del orden de 10 unidades). (Foto 3).
- b) El anclaje no se materializa de forma concentrada en el extremo en una placa (anclaje de tipo mecánico) sino mediante una transmisión gradual a lo largo de la longitud de transferencia.

La distribución uniforme y la transmisión gradual del pretensado produce una incurvación muy ligera de las isostáticas y por lo tanto la cuantía de las tracciones se mantiene en valores limitados, muy lejos de la resistencia a tracción del hormigón, evitándose por completo el peligro de fisuración por este motivo.

En la figura 1 se expresa gráficamente el fenómeno comparando la diferencia entre el anclaje mecánico de pocas unidades y el anclaje por adherencia de tendones de pequeña potencia:

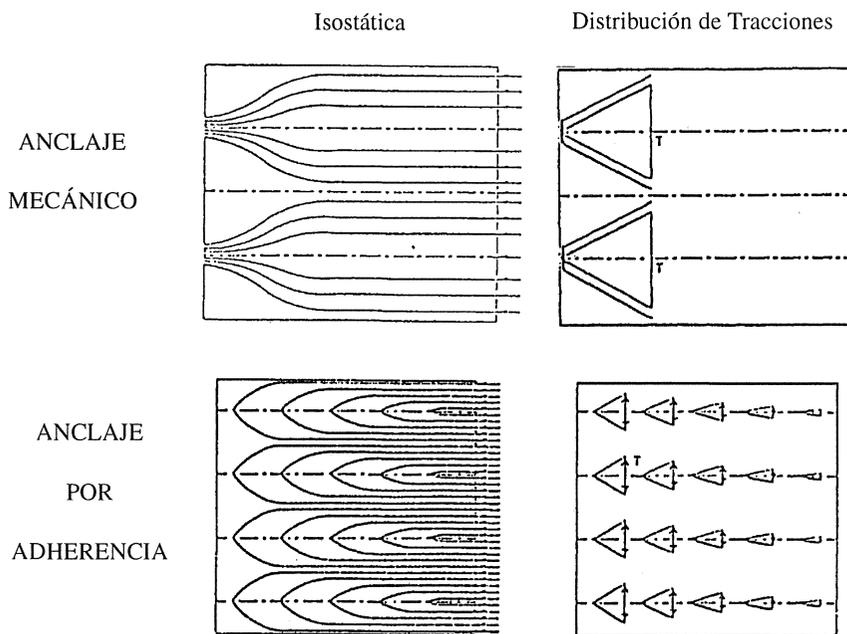


Figura 1

4.2. INCIDENCIA DE LA ADHERENCIA DE LA ARMADURA ACTIVA EN EL CONTROL DE LA FISURACIÓN BAJO CARGAS EXCEPCIONALES:

La alta adherencia de las armaduras pretesas, necesaria para la introducción del pretensado en una distancia corta y anclaje de la armadura activa, proporciona un efecto adicional importante en el control, tanto de la apertura de fisuras bajo cargas excepcionales como en el ancho de las fisuras remanentes.



Como en otras aplicaciones de las armaduras pretensas adherentes, éstas cumplen una doble función, como armadura activa que introduce el pretensado y como armadura pasiva adherente que colabora eficazmente incluso para momentos de fisuración. De hecho, en el caso de vigas pretensas de puente o edificación no se completa la armadura activa con armadura pasiva longitudinal como sucede en el caso de armaduras postesas, a efectos de controlar la separación y ancho de fisuras.



En el caso de traviesas esta cualidad general se manifiesta en una apertura controlada de la fisura cuando actúan cargas mayores que las correspondientes al momento de fisuración, debido a la adherencia que ancla la armadura para absorber los incrementos de tracción de la armadura en el interior de la fisura con relación a la armadura del interior del hormigón no fisurado. La longitud en que este anclaje se realiza es menor cuanto mayor es la adherencia, y por lo tanto es menor la apertura de la fisura bajo carga y la deformabilidad de la traviesa.

De forma esquemática

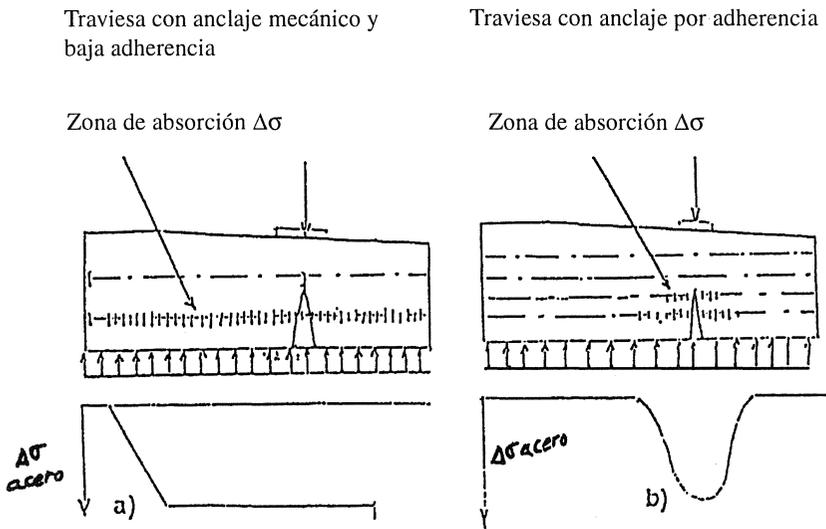


Figura 2

La traviesa a) para niveles altos de carga se asimila a dos bielas con un tirante anclado mecánicamente (parecido a lo que sería un pretensado exterior no adherente), lo que constituye un mecanismo claramente más deformable que el mecanismo b) correspondiente a las armaduras pretensas.

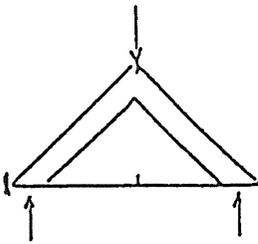


Figura 3

mecanismo de
bielas

Alcanzada esta situación el deterioro producido en la adherencia permanece, con lo que afecta desde la descompresión en subsiguientes ciclos de carga.

El mayor giro y deformación bajo carga, así como la mayor longitud de tendón sometido a altas tensiones afectan a la fisura remanente tras la descarga, comportamiento en que la traviesa pretensa adherente presenta ventajas claras.

Diagramas momento curvatura para traviesa con armadura adherente y poco adherente.

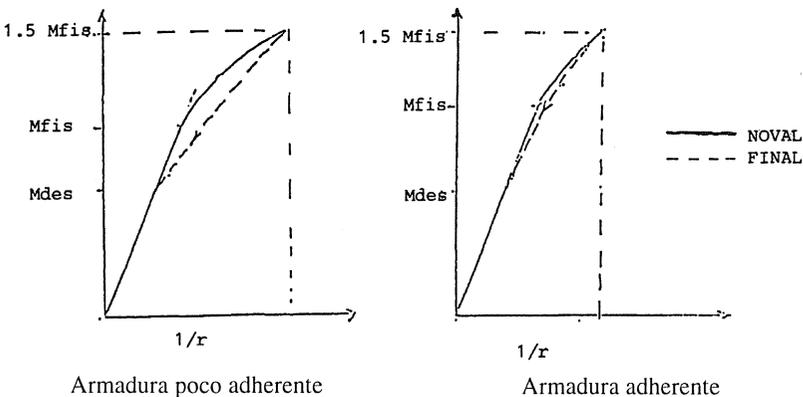


Figura 4

Esta curvatura mayor que implica una mayor deformabilidad supone también un mayor daño en el hormigón de la traviesa.

De hecho el comportamiento de la traviesa pretensa adherente es muy reversible, con cierre total de las fisuras hasta momentos muy altos comparados con el de servicio.

5.- DURABILIDAD.

La durabilidad ha sido el principal punto de atención en los últimos años por parte de las administraciones ferroviarias con relación a las características a exigir en las traviesas.



Las traviesas con armadura pretesa presenta, en general, un comportamiento magnífico a largo plazo basado en los siguientes aspectos:

- a) Excelente respuesta con fisuración muy limitada frente a cargas o situaciones excepcionales, tal como hemos expuesto en el punto anterior.
- b) Las bajas tracciones en la zona de introducción del pretensado suponen una barrera para la aparición y propagación de fisuras longitudinales, incluso a la altura de los taladros de fijación.
- c) Ausencia de reacción árido-álcali gracias a la utilización de cementos de bajo contenido en álcalis.
- d) Armaduras protegidas por hormigón comprimido de alta resistencia, no existiendo taladros ni conductos alrededor de la armadura, inyectados de lechada de cemento con la consiguiente problemática, de todos conocida.
- e) El curado y tratamiento térmico se realiza cuando la traviesa se encuentra dentro del molde que posee una inercia térmica importante. De esta forma no se producen variaciones rápidas de temperatura en la superficie del hormigón ni en las fases de calentamiento ni en las de enfriamiento que pudiesen ocasionar microfisuración, sobre todo en las zonas de sujeción del carril.

Con todo ello, podemos garantizar una menor apertura de fisuras, prácticamente nulo riesgo de corrosión y menor deformación de la traviesa frente a mayores cargas, cumpliéndose con holgura muy importante los requisitos exigidos en la fase experimental de ensayos estáticos, de fatiga y dinámicos.

6. UNIFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL.

La puesta en tensión en bancada larga supone un doble control, fuerza del gato de tesado y alargamiento que permite un importante grado de precisión.

En particular el control de alargamiento es muy fiable al tratarse de alargamientos del orden de 60 cm. Por otra parte la tensión dentro de las traviesas de una misma línea es prácticamente constante.

Esta uniformidad que afecta a la tensión, posición de la armadura y condiciones de hormigonado, se extiende también a las condiciones de curado al realizarse éste con una instalación fija y distribución uniforme.



El control de los elementos hidráulicos de la puesta en tensión y alargamiento afectan a un número muy importante de traviesas, por lo que el número muy reducido de operaciones de tesado puede ser objeto de una gran atención. Es evidente que cada vez que se realiza el ensayo de una traviesa estamos de hecho ensayando todas las traviesas de la misma línea que se tesaron simultáneamente y se curaron en las mismas condiciones (siempre que el control del hormigón sea normal, lo cual está cubierto con los ensayos de dosificaciones y resistencias rutinarias y el control de temperaturas de curado automatizado a lo largo de la bancada). Por otra parte, al existir un elevado número de tendones (del orden de 10) diferencias individuales de tensión en torno al 5% son inoperantes en el comportamiento real. (Foto 4).

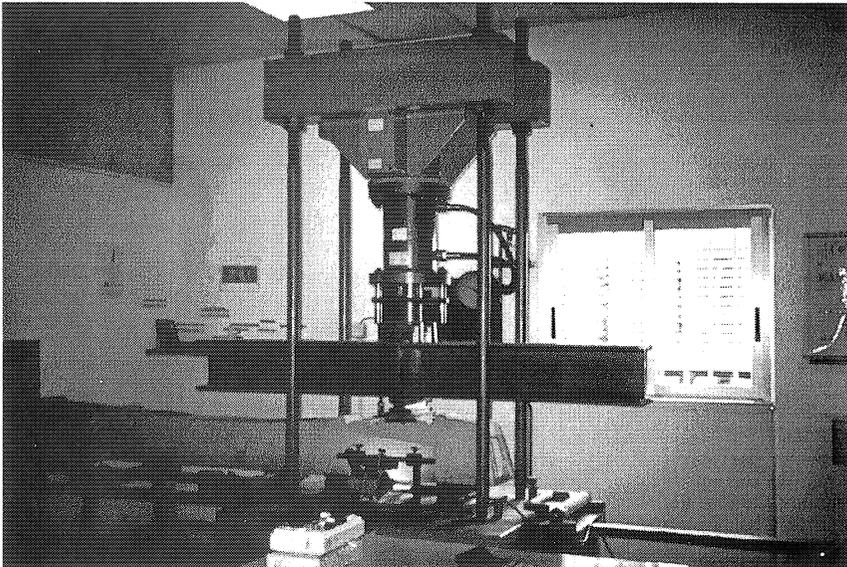


Foto4: Ensayo a flexión de una traviesa.

7.- ASPECTOS GEOMÉTRICOS.

El hormigón de la traviesa fragua en el molde donde sufre el proceso de curado hasta alcanzar resistencias del hormigón muy importantes (superiores a 45 Mpa en probeta cúbica).

Este proceso garantiza la geometría final de la traviesa con tal de que el molde tenga la geometría correcta ya que ambas coinciden en el momento del desmoldeado, puesto que no se desmoldea la traviesa a edades muy tempranas, lo que podría suponer riesgo de



deformaciones y alteraciones geométricas importantes con un hormigón todavía deformable. (Foto 5).

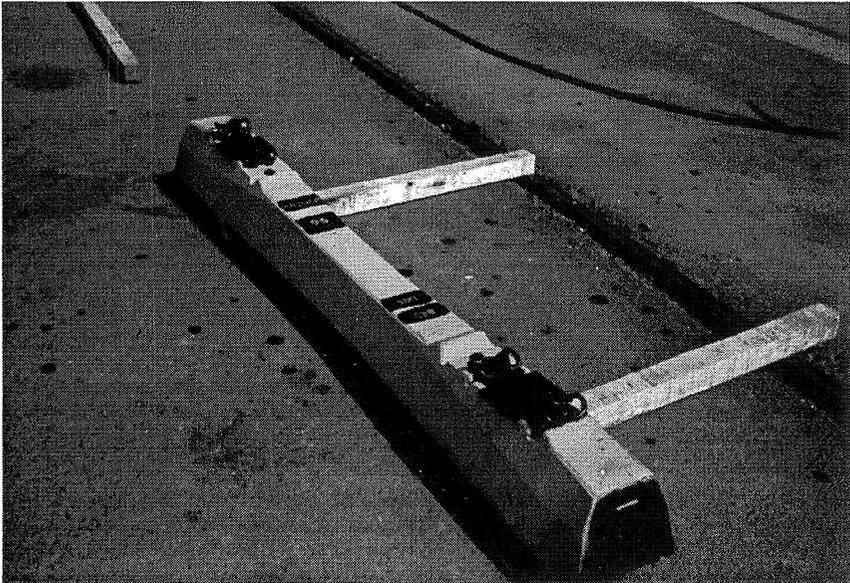


Foto 5: Geometría final de la traviesa.

Las medidas reales, tanto en fábrica como en vía sobre traviesas terminadas, confirman la exactitud geométrica con tolerancias muy inferiores a las permitidas en la normativa vigente.

Existe una contrapartida económica que es el mayor número de moldes y la robustez necesaria de los mismos y sus estructuras de soporte necesarios en los procedimientos de línea larga.

Esto supone una mayor inversión y una mayor rigidez del sistema a la hora de establecer modificaciones pero desde un punto de vista económico queda compensada por la simplicidad y menor coste de mano de obra en el proceso productivo.

El problema del acodamiento con el molde, debido al acortamiento de la traviesa en el momento de la transferencia del pretensado está resuelto por uno de los siguientes sistemas:

- a) Sistemas en que el pretensado se transfiere con la traviesa en el molde, mediante un diseño de la forma general, así como redondeado de esquinas y

salientes que limita el acodamiento. Con sistemas automáticos de extracción de la traviesa del molde se consigue una extracción suave y la ausencia de daño y fisuras por este fenómeno.

- b) Sistemas en los que los moldes descienden con relación a la traviesa de forma que el desmoldeo se produce con la traviesa no tesada y el acortamiento de la misma al destesar no está coaccionado, gracias a lo cual no se produce ningún daño mecánico (microfisuración) ni geométrico a la traviesa.

Una de las consecuencias fundamentales del procedimiento es la precisión y regularidad en la zona de sujeción del carril a la traviesa que es determinante en la geometría final de la vía. Este aspecto es de gran importancia en la alta velocidad, y especialmente útil en el caso de traviesas polivalentes en las que el carril apoyará a lo largo del tiempo en dos posiciones diferentes.

8. CONCLUSIÓN.

Las traviesas fabricadas en línea larga con armadura pretesa aprovechan una serie de mejoras en materiales y técnicas de fabricación consiguiéndose un producto de excepcionales características funcionales y resistentes, con durabilidad garantizada, solucionando plenamente un problema planteado en los últimos años en la estructura de vía en varios países, entre los que se encontraba España, en un momento crucial a causa de la necesidad de construcción de las nuevas líneas de alta velocidad, con exigencias extraordinarias en cuanto a geometría de vía y durabilidad.

