



CAPÍTULO 5

DURMIENTES DE CONCRETO

Los durmientes son elementos que se utilizan en las líneas de ferrocarril. Se colocan sobre una capa de material granular llamado balastro y sirven de apoyo para los rieles de acero.

Su función principal consiste en transmitir al balastro las cargas producidas por el paso del ferrocarril.

Holcim Modular Solutions fabrica durmientes de un solo bloque de concreto pretensado. A pesar de que existen durmientes de dos bloques, estos son los más económicos y apropiados por el tipo de ferrocarril que se usa en Costa Rica. El durmiente de concreto presenta mayor durabilidad con respecto al de madera, lo cual disminuye los costos de mantenimiento y restauración de vías.

5.1 Normativa vigente

La Asociación Americana de Ingeniería y Mantenimiento Ferroviarios (AREMA, por sus siglas en inglés) ha hecho diversas publicaciones sobre las prácticas recomendadas para el diseño y construcción de estructuras relacionadas con la ingeniería ferroviaria. En particular, el capítulo 30 de su publicación Manual for Railway Engineering (2008) resume el tema de durmientes.

Además, en el diseño de durmientes pretensados se deben tomar en cuenta los lineamientos aplicables del Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-14.

5.2 Materiales

Para fabricar los durmientes de concreto pretensado se utiliza:

- Concreto f'_c : 600 kg/cm²
- Alambres de preesfuerzo libres de esfuerzos residuales de 7 mm de diámetro (ASTM A421)

5.3 Características de la sección

Propiedades bajo el riel

Área transversal:	329,7 cm ²
Inercia:	11 614 cm ⁴
Centroide:	9,49 cm

Propiedades en el centro

Área transversal:	248,0 cm ²
Inercia:	4302 cm ⁴
Centroide:	6,84 cm
Largo del durmiente:	2,0 m
Peso del durmiente:	140 kg

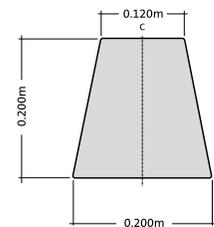


Figura 5.1 Sección de durmiente bajo el riel

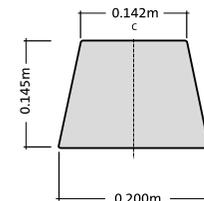


Figura 5.2 Sección durmiente al centro

5.4 Cargas de diseño

Las cargas a las que están sometidos los durmientes son el resultado de varios factores definidos en el sistema de ferrocarriles. A continuación, se enumera cada uno de ellos.

5.5 Espaciamiento entre durmientes

El espaciamiento entre los durmientes afecta los esfuerzos de flexión de los rieles, los esfuerzos de compresión sobre el balastro y los esfuerzos de flexión sobre los mismos durmientes.

Para el sistema nacional de ferrocarriles se ha utilizado una separación típica de 70 cm.

5.6 Factor de impacto

El factor de impacto incrementa en determinado porcentaje la carga estática vertical, con el fin de tomar en consideración el efecto dinámico del paso del ferrocarril y las irregularidades en las vías. Este factor puede rondar entre 150 % y 200 %, sin sobrepasar estos valores límite.

5.7 Distribución de la carga

Se ha confirmado, mediante pruebas de campo, que la carga que el ferrocarril ejerce sobre las vías se distribuye entre varios durmientes. La distribución de la carga depende del espaciamiento entre los durmientes, la reacción en el balastro y la subbase y la rigidez del riel.

El capítulo 30 del manual de la AREMA incluye una tabla que, de manera simplificada, muestra los valores de distribución de la carga en función únicamente del espaciamiento entre durmientes. Para la separación típica antes mencionada de 70 cm, el porcentaje de distribución es cercano al 56 %.

5.8 Carga del eje

Esta es la carga que transmite el ferrocarril a las vías y es especificada por el cliente, pues depende del tipo de máquina. La carga del eje se transmite a ambos rieles por igual, de modo que le llega la mitad a cada uno.

5.9 Guía de diseño

5.9.1 Revisión de la presión máxima sobre el balastro

Si bien la presión ejercida por el durmiente sobre el balastro no es uniforme, se puede calcular rápidamente un valor promedio. Para balastros de alta calidad y resistentes a la abrasión, la presión no debe exceder las 60 ton/m². Para dicho cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

Donde:

$$\sigma_b = \frac{P_{\text{eje}} \cdot (1 + FI) \cdot FD}{A_d}$$

σ_b : presión promedio en el balastro

P_{eje} : carga en el eje

FI: factor de Impacto

FD: factor de distribución

A_d : área de contacto entre el durmiente y el balastro

5.9.2 Carga transmitida por cada riel

La carga transmitida a cada durmiente en el punto de apoyo del riel se calcula mediante la siguiente fórmula:

Donde:

$$P_{\text{riel}} = \frac{P_{\text{eje}}}{2} \cdot (1 + FI) \cdot FD$$

P_{riel} : carga puntual en el apoyo de cada riel en el durmiente

P_{eje} : carga en el eje

FI: factor de impacto

FD: factor de distribución

5.9.3 Límites de esfuerzos en el durmiente

Como consideración de diseño, los durmientes deben cumplir con todo lo indicado en el ACI 318S-14. Se recomienda además que la mayor precompresión después de todas las pérdidas en cualquier punto de la sección transversal no exceda los 17,2 MPa (1754,4 kg/cm²) (AREMA, 2008). Más allá de esto, debe haber un esfuerzo mínimo de precompresión en cualquier sección transversal vertical a lo largo del sentadero del riel de 3,5 MPa (35,7 kg/cm²) después de todas las pérdidas y sin carga externa aplicada.

5.10 Pruebas de laboratorio

Existe una serie de pruebas que se le pueden realizar a los durmientes para verificar su capacidad estructural. A continuación, se nombran algunas de ellas. Para una explicación más detallada, se recomienda revisar el capítulo 30 del manual de AREMA.

- Prueba de carga vertical en el apoyo del riel
- Prueba de momento negativo en el centro del durmiente
- Prueba de momento positivo en el centro del durmiente
- Prueba de carga repetida en el apoyo del riel
- Prueba de longitud de desarrollo, anclaje de alambres y carga última

5.11 Sistema de fijación entre el durmiente y el riel

La fijación entre el durmiente y los rieles del ferrocarril se realiza mediante clips metálicos que se aseguran por medio de un elemento de hierro fundido denominado shoulder, embebido en el elemento. Además, se utiliza una almohadilla como amortiguador entre el riel y el durmiente, llamada rail pad. Dicha almohadilla puede estar compuesta de HDPE, EVA o neopreno, según las cargas a las que esté sometido el durmiente. Así mismo, lleva unos aisladores laterales que sujetan el riel y lo aíslan eléctricamente.



Figura 5.3 Detalle de fijación mediante clips metálicos

5.12 Especificaciones actuales del Incofer

La superficie inferior de la traviesa deberá tener un acabado brusco a plancha. La superficie que sea acabado de molde debe estar libre de hormigueros y vacíos.

Todas las aristas superiores tendrán un ochavo de 5 a 10 mm o un redondeado de 5 mm de radio (tablas 5.1, 5.2 y 5.3).



Figura 5.4 Durmientes prefabricados en la planta de producción de Holcim Modular Solutions

Tabla 5.1 Características generales de la vía férrea	
Ancho de vía	1066.8 mm
Ancho de vía en inicio de curva (42 ¼")	1073.15 mm
Ancho de vía en curva (42 ½")	1079.5 mm
Radio típico de las curvas	100 m
Radio mínimo de las curvas	80 m

Traviesas de concreto para ser utilizadas bajo rieles de 85 libras/yardas (A.S.C.E)

Tabla 5.2 Condiciones de operación	
Operación típica ferroviaria	Industrial (Carga) Urbano (pasajeros)
Velocidad máxima	80 km/h
Carga de diseño por eje (sin factor)	160 kN
Carga Máxima por eje	180 kN
Fuerza aplicada en la base del riel por la sujeción e-clip	900 kgf (nominal toe load)
Fuerza total perpendicular al asiento del riel, ejercida por el conjunto de sujeción elástica, aplicada en el pie del riel	11 kN (clamping forcé) Norma EN 13146-7:2012
Resistencia a la deformación por fluencia	7 kN (creep resistance) Norma EN 13146-1:2012
Resistencia eléctrica	5kΩ Norma EN 13146-5:2012

Tabla 5.3 Características de las traviesas de concreto pretensadas	
Separación entre las traviesas	700 mm
Carga de diseño por eje	160 kN
Distribución de la carga por eje a cada traviesa	0.56
Factor de impacto	1.5
Alambres de refuerzo, conforme a la norma	ASTM A421
Volumen estimado de concreto	59 L
Peso estimado de la traviesa	140 kg (± 58 kg)
Largo de la traviesa	2000 mm ± 3 mm
Ancho máximo	200 mm ± 3 mm
Altura máxima	208 mm ± 3 mm
Tolerancia dimensionales adicionales	Conforme PCI MNL 135
Refuerzo, conforme a la norma de diseño	AREMA Cap. 30