



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

28
99

TITULO
DIFERENTES TIPOS DE DURMIENTES EN UN
FERROCARRIL

TRABAJO ESCRITO
ELABORADO EN OPCION DE
TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

QUE PRESENTA:

HERRERA PELAEZ TEODULO SEBASTIAN

MEXICO, D. F.

1984





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

		Pág.
	INTRODUCCION.	1
CAPITULO I	DURMIENTES DE MADERAS CRUDAS.	3
	1.- GENERALIDADES.	3
	2.- CARACTERISTICAS.	5
CAPITULO II	DURMIENTES DE MADERAS CREOSOTADAS.	8
	1.- GENERALIDADES.	8
	2.- CARACTERISTICAS.	9
	3.- DISEÑO.	18
	3.1.- Consideraciones Generales.	18
	3.2.- Material.	29
	3.3.- Diseño Práctico.	33
	4.- PRESEVACION DE DURMIENTES.	37
	4.1.- Procedimientos de Impregnación.	42
	5.- PRODUCCION.	45
CAPITULO III	DURMIENTES DE CONCRETO.	49
	1.- GENERALIDADES.	49
	2.- CARACTERISTICAS.	51
	3.- CLASIFICACION.	54
	4.- DURMIENTES DE CONCRETO PREESFORZADO TIPO VIGA.	57
	4.1.- Durmientes de Concreto Pretensado.	59
	4.2.- Durmientes de Concreto Postensado.	67
	5.- DURMIENTES DE CONCRETO TIPO MEXICO.	85
	5.1.- Durmientes Preesforzados.	85
	5.2.- Durmientes de Armado Convencional.	87

		Pág.	
CAPITULO	IV	DURMIENTES DE ACERO.	
	1.-	GENERALIDADES.	103
	2.-	CARACTERISTICAS.	103
	3.-	CLASIFICACION.	105
			106
CAPITULO	V	LA VIA HOLANDESA.	
			111
		CONCLUSIONES.	114
		BIBLIOGRAFIA.	115

PROLOGO

Este trabajo pretende, entre sus objetivos principales, brindar una somera información de la utilización que han tenido los diferentes tipos de durmientes en las vías de ferrocarril. Asimismo, se señalan de una manera generalizada las ventajas y desventajas que estos elementos presentan, desde el punto de vista más que nada técnico.

De esta manera, al estudiar los diferentes capítulos que conforman este escrito se puede uno dar cuenta, sin llegar a un profundo análisis, de los significativos resultados que se obtienen en las operaciones de los vehículos ferroviarios mediante el uso de cada uno de los distintos tipos de durmientes desarrollados hasta nuestros días.

Por la gran importancia que reviste para México el empleo de una determinada clase de durmiente, se da una explicación más detallada de los tipos más utilizados o que empiezan a tener gran interés para nuestras vías férreas; y porque, además, son los de mayor demanda a nivel mundial.

Por lo tanto, no se trata de dar alternativas de solución al problema del durmiente, sin embargo, de la información recopilada y presentada a lo largo del desarrollo de este estudio, recabada de libros especializados en la materia, se puede deducir cuál de las clases de durmientes descritas conviene a un determinado tipo de vía. Ya que, como sucede en la realidad, el uso de tal o cual tipo de durmiente en un determinado lugar o país, depende tanto de la economía como de las condiciones técnicas que se necesitan satisfacer en las vías de ese lugar o país.

S I M B O L O G I A

- A.A.R. ASOCIACION AMERICANA DE FERROCARRILES.
A.R.E.A. ASOCIACION AMERICANA DE INGENIEROS FERROVIARIOS.
S.N.C.F. ORGANIZACION ADMINISTRATIVA DE FERROCARRILES
FRANCESES.

INTRODUCCION

Los grandes avances científicos y tecnológicos han evolucionado, a través del tiempo, la forma de vivir de los seres humanos que han estado al alcance de la civilización moderna. En los medios de transporte, esos adelantos han dado como resultado grandes e importantes innovaciones, logrando así, en forma vertiginosa, el perfeccionamiento de aquéllos.

El primer gran paso dado hacia la modernización de los medios de transporte, fue la invención del ferrocarril (1814), el cual, por su gran fuerza tractiva, permitiría al hombre mover masivamente cargas más pesadas y de gran volumen, en tiempos mucho más reducidos; todo esto en comparación con los medios de transporte hasta entonces utilizados, los que consistían de pequeños vehículos de tracción animal.

El advenimiento del ferrocarril trajo como consecuencia la necesidad de emplear elementos estructurales, sobre los que se distribuyeran las cargas generadas por el equipo ferroviario, y que fueran capaces de resistirlas. La solución a este problema fue la utilización de dos carriles (rieles) sobre los que se deslizaban los vehículos; estos elementos, a su vez, se apoyaban sobre otras estructuras colocadas transversalmente a ellos, capaces de resistir y transmitir al terreno de apoyo las presiones ejercidas por aquéllos al paso de los móviles, dichos elementos deberían mantener constante la separación de los rieles y el buen alineamiento de la vía. A estas piezas se les denominó "traviesas"; actualmente se les conoce como durmientes.

Al comienzo de los ferrocarriles, los durmientes estaban compuestos por dados de piedra debidamente enterrados en el suelo. Poco tiempo transcurrió para observar que este tipo de durmientes no resistía adecuadamente las cargas a las que estaban

rometidos, debido, principalmente, a que la sujeción del riel a éllos era difícil de lograrla.

Fue así como, con el afán de encontrar un elemento que sustituyera a los durmientes de piedra, pero con mejores resultados, se llegó al empleo de la madera (1830), mediante la exportación de grandes zonas forestales.

Sin embargo, por temor a que la producción de durmientes de madera fuera insuficiente, y por el deseo de conseguir un durmiente más durable y más resistente, en Alemania, en 1880, se prueban y se aceptan durmientes de acero, y más tarde, en 1920, en ese país y en Francia, se fabrican durmientes de concreto en sus diferentes tipos, para satisfacer sus grandes líneas férreas.

En la actualidad, los países altamente desarrollados han logrado colocar al sistema de transporte ferroviario en un sitio que le permite competir con los demás medios de transporte: aéreo, marítimo y por carretera. Y para lograr esto, tanto la infra como la superestructura de una vía de ferrocarril, deben permitir las altas velocidades y las pesadas cargas de los modernos trenes, y el buen funcionamiento de la misma.

Esto último se ha logrado obtener mediante el estudio minucioso de cada uno de los componentes de la vía. El caso que nos ocupa en este trabajo, es el de los durmientes en sus diferentes clases, los cuales son parte integrante de la superestructura de la vía.

CAPITULO I

DURMIENTES DE MADERAS CRUDAS

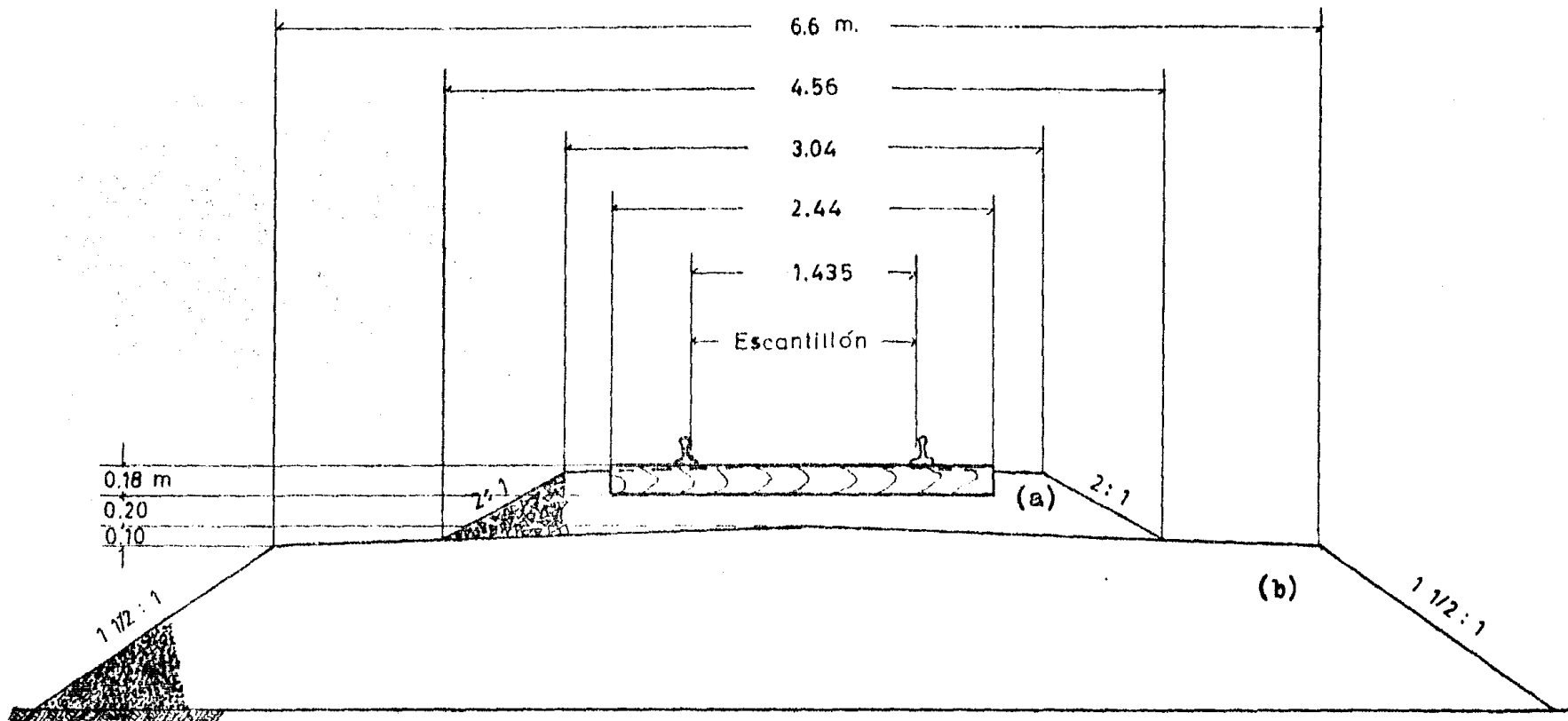
1.- GENERALIDADES.

Al transitar el equipo ferroviario sobre una vía, los elementos estructurales de la misma reciben las fuertes presiones producidas por aquéllos, y actuando conjuntamente deben ser capaces de resistirlas.

Para lograr un adecuado funcionamiento de los durmientes, y por lo tanto, de la vía, éstos deben apoyarse sobre un material resistente que les impida el deslizamiento tanto transversal como longitudinalmente a la vía, mediante la fricción desarrollada en el área de contacto entre aquéllos y éste. Existen especificaciones en cada país para seleccionar este tipo de material; en México se han adoptado las especificaciones de la A.R.E.A., las cuales indican que el balasto debe estar compuesto por piedra triturada en fragmentos angulares, que en cualquier posición pasen por una malla de 38 mm. (1 1/2") de abertura, y que se retengan en una de 19 mm. (3/4"). Fig. I-1.

Al transcurrir el tiempo, como consecuencia del paso de los vehículos sobre la vía, el balasto localizado debajo de los durmientes, en la parte donde se apoyan los rieles, se compacta, y entre ambos elementos se forma un pequeño espacio, ocasionando golpeteos del primero sobre el segundo, cada vez que un equipo pesado se mueve sobre la vía; este efecto provoca que el material de apoyo tienda a colocarse en el centro de la misma, originándose así un momento negativo en la parte central del durmiente, es decir, la superficie superior del elemento se tensa y la inferior se comprime.

Para absorber los esfuerzos producidos por este momento, y



(a) Balasto
 (b) Terraplén

Fig. I-1.

Corte de un Terraplén con Balasto de una Vía
 de Ferrocarril.

otras deformaciones difíciles de predecir, ocasionadas por las distintas sollicitaciones a las que está sometido el durmiente, la madera posee propiedades intrínsecas que la hacen ser un elemento apropiado para tales efectos.

Los durmientes de maderas crudas fueron los primeros elementos con resultados satisfactorios utilizados a la aparición del ferrocarril.

2. CARACTERISTICAS

Las maderas que reúnen las características necesarias para la manufactura de durmientes son de dos clases: maderas suaves o tipo pino y maderas de corrientes tropicales (duras y semiduras).

En la República Mexicana, los principales Estados que producen durmientes de maderas suaves son: Durango y Chihuahua, mientras que los durmientes de maderas duras y semiduras se producen en el Sureste (Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Veracruz y Oaxaca).

Los durmientes de maderas crudas deben ser obtenidas, necesariamente, de maderas duras, ya que esta característica permite a tales elementos ofrecer una mayor resistencia a los agentes del intemperismo.

Los árboles de madera dura tienen generalmente menos desarrollo, repercutiendo esto en una escasez de durmientes obtenidos de ellos; además, debido a su forma irregular, se dificulta en alto grado obtener piezas regulares de forma paralelepípeda y dimensiones uniformes, habiendo necesidad, en la mayoría de los casos, de labrarlos con hacha, dando como resultado piezas irregulares. No obstante, por su dureza y consistencia, los durmientes de maderas duras brindan una excelente resistencia

al deterioro mecánico, causado éste por el paso de los vehículos sobre la vía.

Este tipo de durmientes tuvo gran acogida y aceptación durante muchos años, ya que superaba ventajosamente las necesidades técnicas que el ferrocarril imponía en los tiempos en que aquél apareció, y también porque existían extensas zonas boscosas productoras de madera de buena calidad para la fabricación de tales piezas. Sin embargo, debido a que la madera es fácilmente atacada por agentes naturales cuando no se le protege con alguna sustancia que la preserve, los durmientes de madera cruda tienen una duración bastante corta, considerándose que su vida útil promedio oscila entre 3 y 6 años, aun cuando se trate de madera dura.

En consecuencia, actualmente estos durmientes encuentran muy escasa aplicación en casi todos los países que cuentan con una red férrea, pues una vía con durmientes de madera cruda presenta un costo por conservación demasiado elevado, por lo que su costo resulta antieconómico, en la mayoría de las veces.

Por otro lado, los grandes adelantos tecnológicos han logrado desarrollar modernas técnicas para preservar a la madera y así prolongar la vida de los durmientes, contribuyendo de esta manera al uso cada vez más limitado de dichos elementos.

En nuestro país, al iniciarse la construcción de la primera línea ferroviaria en 1850, la cual uniría la ciudad de México con el puerto de Veracruz, los durmientes empleados en ella fueron del tipo en cuestión. Para esa época, los países con grandes longitudes de vías férreas, como era el caso de los Estados Unidos y de muchos otros países europeos, ya tenían amplia experiencia, tanto en la fabricación y colocación de tales durmientes, como en los resultados de los mismos; de ahí que en México los primeros durmientes hayan sido de madera (no tratada).

La gran demanda alcanzada por esta clase de durmientes en nuestro país, se vio afectada significativamente cuando en 1928 el Gobierno Federal Mexicano, con el propósito de disminuir las erogaciones por concepto de dichos elementos, después de un pormenorizado estudio y tomando como guía la experiencia de los ferrocarriles norteamericanos, optó por someter a tales piezas a un proceso de preservación a base de creosota pura, primero, y de creosota y aceite impregnol, después, consiguiendo de este modo la prolongación de la vida útil de los durmientes.

Como consecuencia de esta política, los durmientes de madera cruda fueron desplazados paulatinamente por los de madera creosotada, limitándose su utilización a vías secundarias y cercanas a los bosques productores de estas maderas, para de esta manera minimizar su costo por concepto de transporte.

En México, algunas líneas ferroviarias, como es el caso de los Ferrocarriles Nacionales de México, han prohibido el uso de los durmientes de madera cruda, por las causas ya mencionadas, y también por el peligro que en determinado momento pueden representar, ya que la acción del intemperismo suele ser, en muchos de los casos, muy severa y muy rápida.

De todo lo anterior se desprende que los durmientes tratados en este capítulo, tienen muy poca importancia hoy en día, por lo que creemos suficiente la información hasta aquí proporcionada.

CAPITULO II

DURMIENTES DE MADERAS CREOSOTADAS

1. GENERALIDADES

Uno de los principales requisitos que un durmiente de cualquier tipo debe reunir, es su larga duración, y para que un durmiente de madera tenga una vida útil que satisfaga este requerimiento, es necesario impregnarle una sustancia que le asegure una buena defensa contra todo agente natural que pueda perjudicarlo; esto se ha logrado mediante la aplicación de la mezcla de creosota y aceite impregnol, comúnmente llamada "creosota".

Los resultados obtenidos con este preservativo fueron muy positivos, pues se observó que en los primeros cinco años de su empleo, el consumo de durmientes bajó de 358.1 piezas de madera cruda por kilómetro de vía, a 253.3 piezas; y después de este tiempo el promedio anual de reposición llegó a ser, para la misma longitud de vía, de 115.88 piezas.

Como consecuencia de dicho tratamiento, el promedio de vida útil de los durmientes de madera, en la actualidad, es de 20 años, aun cuando la duración de éstos varíe de región a región.

Este tipo de durmientes ha tenido y sigue teniendo gran demanda en la mayoría de los países que cuentan con redes férreas, y éstas están compuestas, en su mayor parte, por la vía clavada o "vía clásica"⁺ y que además, tales países poseen amplias zonas boscosas productoras de maderas para durmientes. Los paí

+ La vía clavada o "vía clásica" se caracteriza por ser completamente rígida, ya que para sujetar el riel al durmiente se usan clavos, y dicha sujeción es directa entre ambos elementos. Este tipo de vía requiere exclusivamente durmientes de madera.

nes que tienen o construyen este tipo de vía son, por lo general, los subdesarrollados o que están en vías de desarrollo ; pues los países altamente desarrollados, en donde el equipo rodante es cada vez más pesado y veloz, el tipo de vía predominante es la vía elástica o "vía moderna"⁺, en la cual es muy conveniente la utilización de durmientes de concreto o acero, por sus ventajas técnicas y de durabilidad, vistas en capítulos posteriores.

No obstante, existen lugares donde, aun cuando se trate de la vía elástica, los durmientes de madera tienen buena aplicación, sobre todo en la sierra. En el caso de los ferrocarriles mexicanos, como prueba de esto, se han construido grandes longitudes de este tipo de vía con durmientes de madera, brindando un servicio satisfactorio.

2. CARACTERISTICAS

La larga experiencia adquirida a través de muchos años, ha permitido a los ingenieros ferroviarios llegar a establecer, desde los puntos de vista técnico y económico, los principales requisitos que un durmiente, independientemente del material de que esté hecho, debe reunir; éstos se resumen de la siguiente manera:

+ La vía elástica o "vía moderna" se caracteriza por utilizar largos tramos de riel soldado, convenientemente fijados a los durmientes mediante un sistema adecuado de fijación elástica que evita el deslizamiento y flexión de los rieles y amortigua sus vibraciones al paso del equipo ferroviario.

En México, esta vía se comenzó a construir en el año de 1957.

- a) Vida útil alta, comparable a la del riel.
- b) Resistencia a los fuertes esfuerzos estáticos y dinámicos, producidos por el paso de los trenes.
- c) Proporcionar una debida sujeción al riel y, por consecuencia, mantener correcto el escantillón.
- d) Un costo anual lo más bajo posible.
- e) Poner suficiente elasticidad para garantizar un buen movimiento de los vehículos.
- f) Resistencia a los impactos por descarrilamiento de los trenes.

Los durmientes de madera creosotada cumplen estos requisitos con mayor o menor exactitud:

La vida útil de los durmientes de madera⁺ depende de factores tales como: clase de la madera, tipo del tratamiento utilizado, calidad del preservativo; además de otros factores, comunes a todos ellos, como son: calidad de la vía en sí, naturaleza del terreno, clase de balasto, dispositivos de sujeción, manera de efectuar la conservación, condiciones del tráfico (densidad y velocidad), cargas axiales y energía tractiva, y condiciones del tiempo y del clima.

La acción de estos últimos factores es más severa en los durmientes de madera, la que junto con la de los factores propios de éstos, producen, al cabo de cierto tiempo, deterioros y, en ocasiones, la destrucción de dichos elementos.

Tratando de agruparlos de una manera resumida, diremos que los deterioros pueden ser: por intemperismo, de orden biológico y mecánicos.

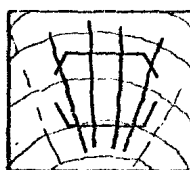
+ En lo sucesivo, para referirnos a los durmientes de madera creosotada, bastará con decir durmientes de madera; cuando se haga alusión a los de madera cruda, se hará la aclaración.

POR INTEMPERISMO. Los daños causados por el intemperismo consisten, básicamente, en rajaduras y agrietamiento de la madera; ocasionado por los períodos alternados de sequedad y humedad, y de calor y frío.

Cuando las dimensiones de estas rajaduras y grietas no lleguen a considerarse como peligrosas (Cuadro I), este daño puede aliviarse mediante la colocación de grapas metálicas antirrajantes en forma de "S" y flejes de acero, puestos alrededor de los extremos de los durmientes, por ser ahí donde se presentan, por lo general, estos inconvenientes. Fig. II-1. Estos durmientes pueden ser reutilizados en vías secundarias.



a) Flejes de
acero.



b) Grapas
metálicas.

Fig. II-1. Dispositivos antirrajantes.

DE ORDEN BIOLÓGICO. Los deterioros de este tipo son causados por el ataque de agentes orgánicos, como son los hongos y las bacterias, creados por la humedad que se conserva por algún tiempo en las rajaduras de la madera, causadas éstas por el intemperismo.

La manera más efectiva de evitar o eliminar los parásitos que dañan a la madera, es sometiendo a ésta a un tratamiento de impregnación de sustancias tóxicas que impidan el desarrollo de aquéllos.

Los efectos de las dos causas anteriores sobre la vida de los durmientes es muy variable. En nuestro territorio se consideran tres zonas que, por sus condiciones climatológicas y biológicas, nos determinan la duración del durmiente; la primera zona se localiza al Sur del país (entre los paralelos 14° y 19°), en la que existen grandes precipitaciones pluviales y altas temperaturas, lo que origina que la vida del durmiente esté comprendida entre 5 y 7 años; la segunda zona se ubica en la parte central de nuestro territorio (entre los paralelos 19° y 23°), con precipitaciones pluviales regulares y clima templado, a excepción de las costas, por lo que la duración de los durmientes varía de 12 a 15 años; y la tercera zona se localiza en la región Norte del país (entre los paralelos 23° y 32°), en la cual el clima es seco y frío, obteniéndose una duración de los durmientes que oscila entre 15 y 23 años.

Con base en lo anterior, la vida media de los durmientes se ha estimado, para México, en 20 años; duración que, como puede observarse, corresponde más bien a la última de las tres zonas mencionadas, esto es debido, principalmente, a que el desarrollo de las vías férreas se concentra en las dos últimas zonas.

MECANICOS. Los daños mecánicos que sufren los durmientes de madera, puede decirse que son exclusivos de la vía clavada, don de la penetración del riel o de la placa metálica que existe entre aquél y el durmiente, va destruyendo paulatinamente las fibras de la madera; esto provoca que la distribución de la carga no sea uniforme, y, por lo tanto, la madera se desgarré y las fibras de la misma se desgasten. Fig. II-2.

En la misma figura puede apreciarse la forma como se desgastan los durmientes a través del tiempo, debido al paso de los trenes; los durmientes mostrados corresponden a distintas durezas de madera.

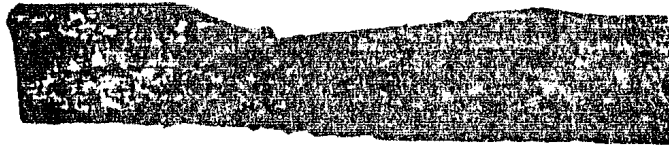
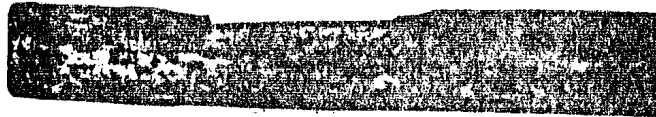
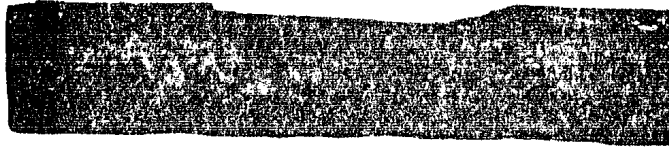


Fig. II-2. Partes extremas de durmientes de madera que muestran el desgaste mecánico causado por la penetración en ellos del riel, o de la placa metálica colocada entre ambos. La dureza de la madera se considera decreciente de arriba hacia abajo.

Para que la destrucción de los durmientes de madera sea más difícil y, por lo tanto, su duración sea mayor, éstos deben tener las siguientes características:

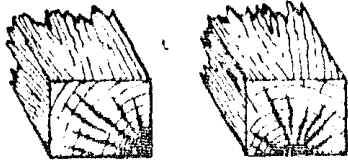
- Resistencia tanto al desgaste, producido por los rieles, la placa de asiento y el balasto, como a la penetración (tracción) de los clavos o tornillos de sujeción del riel.
- Estar libres de hendiduras, entalladuras, nudos, y cualquier otro defecto que pueda perjudicar su resistencia y durabilidad; con las limitaciones que se muestran en el Cuadro I.
- Impregnación e impregnante adecuados.

Por otra parte, puede decirse que los durmientes de madera ofrecen adecuada resistencia para absorber los efectos generados por el paso de los vehículos sobre la vía, puesto que las maderas destinadas a este fin presentan una resistencia satisfactoria a diferentes aplicaciones de carga, como se puede observar en la Tabla II-1.

Durante los primeros años de servicio, estos durmientes proporcionan una buena sujeción al riel, ya que, en promedio general, estas maderas presentan una resistencia a la tracción de los dispositivos de sujeción, de aproximadamente 5.6 Ton. Sin embargo, después de unos años de servicio, las vibraciones de alta frecuencia producidas por la velocidad y el peso de los trenes, hacen que los medios sujetadores abocarden a la madera alrededor de ellos, y, en consecuencia, se origina su aflojamiento, dando como resultado la alteración del escantillón de la vía.

La sujeción del riel al durmiente depende también del sistema empleado. Para este tipo de durmientes existen dos básicamente: el americano y el europeo; el primero utiliza clavos y el segundo usa tirafondos. Fig. II-3.

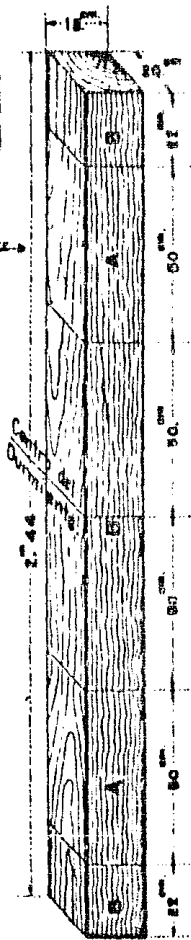
DURMIENTES CUARTEADOS.



Zona A sin tolerancias



- (1) FIBRA CON DISTORCION MENOR DE 1/16
- (2) FIBRA CON DISTORCION IGUAL A 1/16
- (3) FIBRA CON DISTORCION MAYOR DE 1/16



No aceptable.

Durmiente aceptable.
Nudo de Paloma.



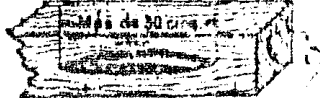
Durmiente no aceptable.
Nudo de Paloma.



Durmiente no aceptable.

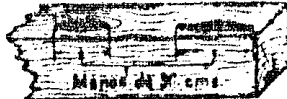


Durmiente no aceptable.
Grieta angular visible por la cara.



Menos de 7 cms.

Durmiente aceptable.
Grieta angular visible por la cara.



Durmiente no aceptable.

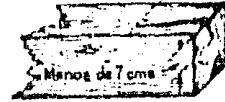


**CUADRO I
DEFECTOS EN DURMIENTES
DE MADERA**

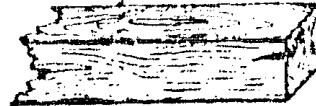
Durmiente no aceptable.
Menos de 7 cms.



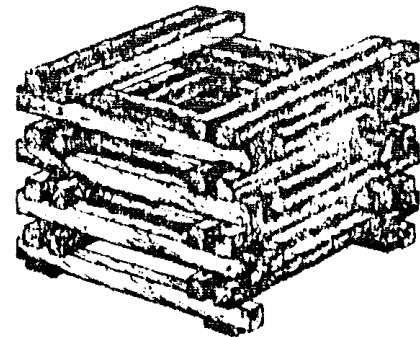
Durmiente aceptable.
Menos de 30 cms.



Rejedura mixta.



Distancia L-M igual o mayor a 5 cms. Durmiente aceptable.



Manera de formar las Tongas de Durmientes.

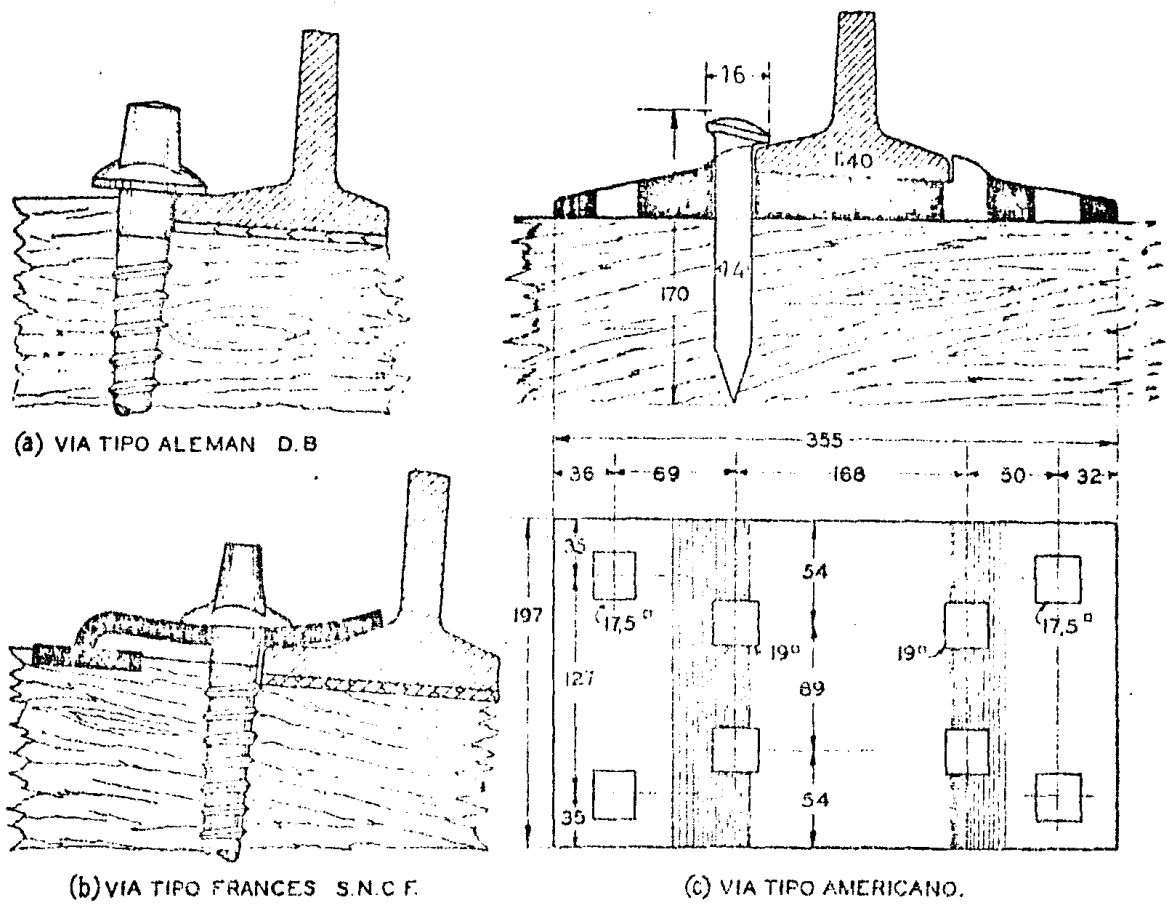


Fig. II-3. Principales sistemas de sujeción riel-durmiente en vías con durmientes de madera.

Según observaciones hechas en el campo, el sistema americano requiere, en el mismo período, dos clavos, por un reapeite del tirafondo en el sistema europeo. Es decir, los clavos se aflojan más fácilmente que los tirafondos, lo que determina que el sistema europeo sea más efectivo.

Con respecto al menor costo posible por concepto de conservación, dentro de todos los tipos de durmientes que existen en la actualidad (sin considerar los de maderas crudas), esta clase es la que más se aleja del cumplimiento de tal requisito. Pues debido a las características de la madera misma, se ha comprobado experimentalmente que la duración de los durmientes localizados en un mismo lugar, no es igual para todos ellos, lo que ocasiona una búsqueda demasiado lenta y minuciosa de los elementos en mal estado que se requieren cambiar, traduciendo esto en un alto costo.

Este costo suele tomar diferentes aspectos que dependen de la calidad de la vía. Así se tiene que en nuestro país, una vía de primera clase necesita que el 90% de los durmientes estén en estado de prestar buen servicio, lo cual se logra insertando entre 7 y 10% anual de durmientes nuevos; y para una vía secundaria se da una tolerancia de 10 a 30% en mal estado; lo que indica que el costo por conservación es diferente en ambos casos.

La resistencia, por otro lado, que los durmientes de madera exhiben, al impacto de las ruedas descarriladas, es bastante buena, siempre y cuando el descarrilamiento no tome características catastróficas. (En el lenguaje ferrocarrilero a este tipo de descarrilamiento suele llamársele "normal").

En lo que respecta a la elasticidad, la madera posee esta propiedad, y puede decirse que es esto lo que permite a los durmientes amortiguar con relativa facilidad el movimiento brusco que producen los trenes.

3. DISEÑO

3.1. Consideraciones Generales.

Al sostener y guiar vehículos, la estructura de una vía férrea debe soportar repetidas fuerzas laterales, verticales y longitudinales. Los durmientes, como elementos de la estructura de la vía, individualmente reciben cargas de los rieles y, a su vez, las transmiten al balasto y a la subrasante. En consecuencia, el diseño de un durmiente afecta y es afectado por las características de otros elementos de la estructura de la vía. El empleo de los diferentes tipos de durmientes involucra consideraciones diferentes en el diseño e instalación de sistemas de vías, según sea el tipo del durmiente. Cuando tales sistemas son diseñados apropiadamente, interrelacionados, instalados y conservados, los sistemas de durmientes pueden entonces proporcionar una vía de calidad superior.

El análisis de los requisitos para tales sistemas debe, necesariamente, implicar no sólo el durmiente, sino todos los componentes del sistema de vía, su interdependencia y las condiciones bajo las cuales deban ser aplicados.

En el presente trabajo, como ya se mencionó anteriormente, se trata el estudio correspondiente a los durmientes; particularmente, en este capítulo, los de madera. No obstante, estas consideraciones son extensivas a cualquier tipo de durmiente, ya que la función de éstos es la misma para todos, no importando de qué material estén formados. Así se tiene que para el diseño de un durmiente, se deben considerar todos aquellos factores y/o elementos que de alguna manera se interrelacionan durante su servicio. Los factores más sobresalientes son: las cargas verticales, las cargas laterales, las cargas longitudinales y el riel; los que a su vez se ven afectados por otros fac

tores no menos importantes, según se verá más adelante.

a) Cargas Verticales.

Estas cargas son transmitidas por las ruedas de los vehículos ferroviarios, ya sea que éstos estén en reposo o en movimiento, generándose así cargas estáticas y dinámicas. Las primeras son fáciles de determinar o predecir una vez conociendo el peso de los móviles; en cambio, las segundas son más difíciles de estimar, ya que en muchas ocasiones pueden llegar a ser casi el doble de las estáticas. Estas últimas cargas se producen por las causas siguientes:

- Por la variación del reparto de peso entre los ejes de los vagones del ferrocarril o de cualquier otro vehículo, debido principalmente a la desnivelación del riel o a los defectos de los muelles de suspensión.
- Por la sacudida que producen las irregularidades de la vía en la parte no suspendida de los vehículos.
- Por efecto de oscilación de la masa suspendida sobre los resortes de suspensión.
- Por defectos de las ruedas del material rodante.
- Por esfuerzos debidos a la inercia de las piezas ligadas a la locomotora.

La intensidad de estas cargas sobre los durmientes depende de otros factores, como son: espaciamiento de durmientes, dimensiones de los mismos, distribución de la carga, coeficiente de impacto, balasto y subrasante.

1.- Espaciamiento de los durmientes.

El espaciamiento de los durmientes afecta a los esfuerzos de compresión en el balasto y plataforma de la vía, a los esfuerzos de flexión generados en los propios durmientes y en el riel,

por lo tanto, dicho espaciamiento depende de los esfuerzos permitidos de los elementos mencionados. En un conjunto dado de durmientes sometidos a cargas, las consecuencias de aumentar la separación entre ellos son: mayores momentos de flexión en el riel y esfuerzos también mayores dentro de los durmientes. Para el caso de características constantes en durmientes, balasto y subrasante, un mayor espaciamiento entre durmientes origina una mayor depresión de la vía por unidad de carga sobre rueda, esto es, un más bajo módulo de vía. Por el contrario, si se reduce la separación, se reduce el esfuerzo unitario y aumenta el módulo de vía. (El módulo de vía representa la fuerza o carga sobre los rieles necesaria para producir un hundimiento de la vía, de un centímetro; tiene unidades de Kg./cm.²).

Además, debe tenerse en cuenta que la separación paño a paño de durmientes debe ser tal que permita el correcto calzado de los mismos; la separación mínima recomendable, y la más usual, es la de 30 cm.

2.- Dimensiones de los durmientes.

Las dimensiones de los durmientes han representado el caballo de batalla para los ingenieros ferroviarios, sobre todo el ancho del elemento, ya que la longitud está prácticamente determinada por el escantillón de la vía. Se ha podido constatar que el uso de durmientes más largos o más anchos que aumentan el área de apoyo entre éste y el balasto, proporciona muchos de los mismos efectos que disminuir el espaciamiento. Sin embargo, existen límites más allá de los cuales un incremento en el tamaño del durmiente es ineficaz en disminuir esfuerzos en la vía y aumentar el módulo de vía.

En lo referente a la concentración de carga entre durmiente y balasto, ésta disminuye con la distancia lateral al riel. La proporción de disminución de la carga es más alta para durmien

tes de materiales flexibles. Por lo tanto, existe un punto más allá del cual, alargar el diseño del durmiente, fallará en reducir significativamente la carga de apoyo unitaria. Hay, además, espacios libres de derecho de vía obligados y limitaciones de maquinaria que restringen la longitud del durmiente.

Por su parte, el ensanchamiento de los durmientes en su área de apoyo, produce efectos similares a los aumentos en la longitud del mismo, y si este ensanchamiento llega más allá del punto en que sea práctico compactar el balasto bajo el durmiente, es inefectivo.

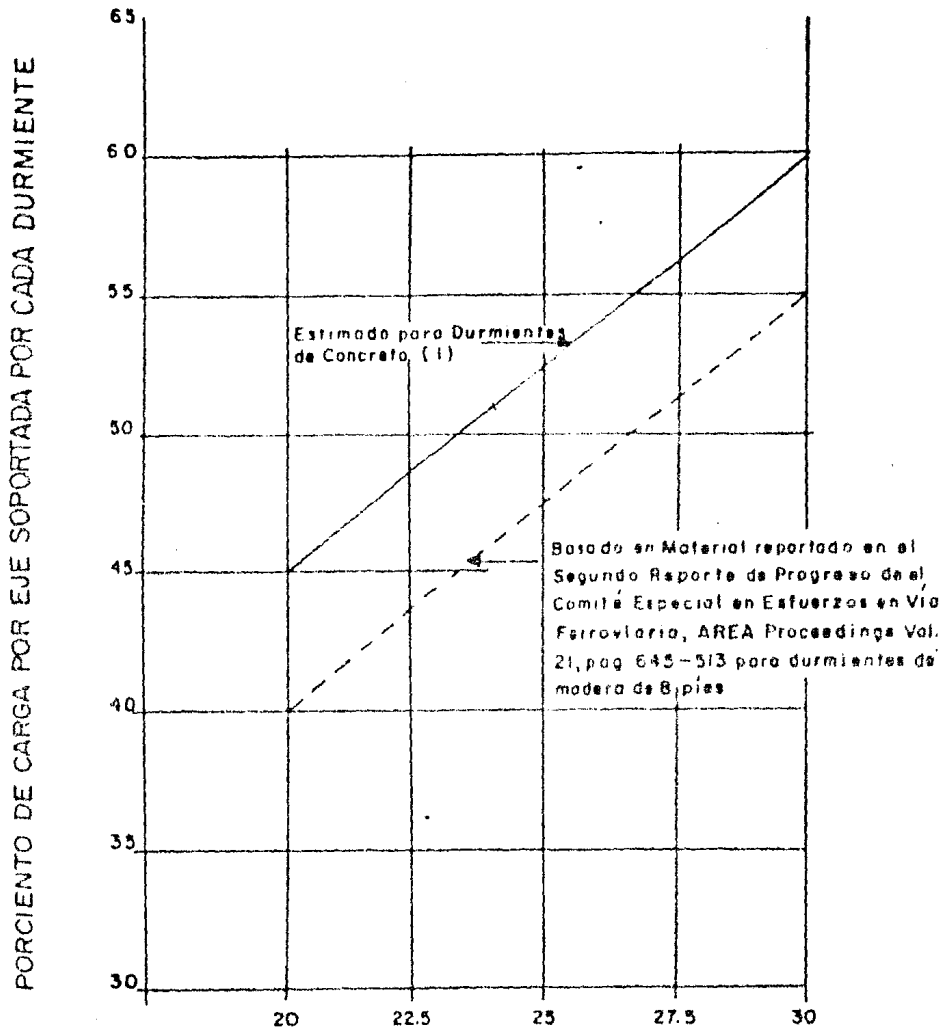
Las dimensiones a las que se ha llegado se mencionan más adelante.

3.- Distribución de la Carga.

De la discusión anterior y de los requisitos que a continuación se mencionan, se puede decir que las cargas aplicadas al riel serán distribuidas por éste a varios durmientes. Esta distribución ha sido confirmada con experimentos efectuados en el campo, mediante el empleo de aparatos electrónicos. Así también se ha observado que tal distribución depende del espaciamiento de los durmientes, de la reacción del balasto y subrasante, y de la rigidez del riel.

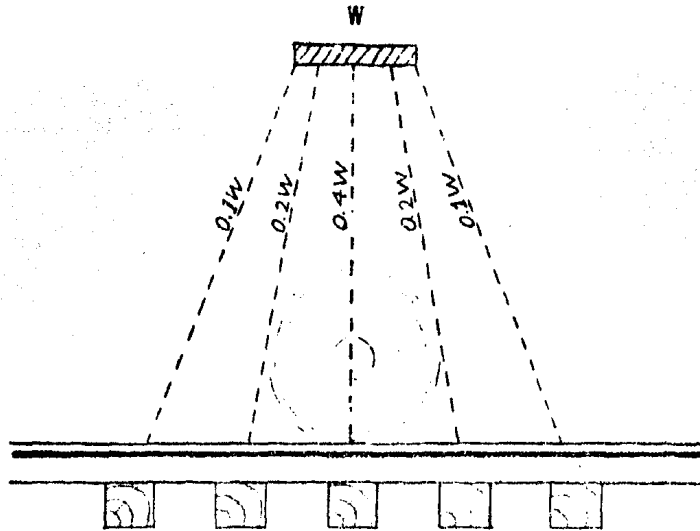
El porcentaje de carga soportada por un durmiente varía de lugar a lugar. Una estimación de la distribución de carga, realizada por la A.R.E.A., en durmientes de madera, está representada en la fig. II-4. En la representación se observa que un durmiente bajo la carga ejercida por una rueda sobre el riel, soporta el 40% de la misma. También se ha detectado, experimentalmente, que el primer durmiente a cada lado del anterior, soporta el 20% de dicha carga; y el segundo, también a cada lado, le corresponde el 10% de la carga en cuestión. Fig. II-5a. Más allá de estos durmientes, la curva de la elástica de los rieles

Fig. II-4. - Porcentaje aproximado de carga por eje soportada por durmiente individual.

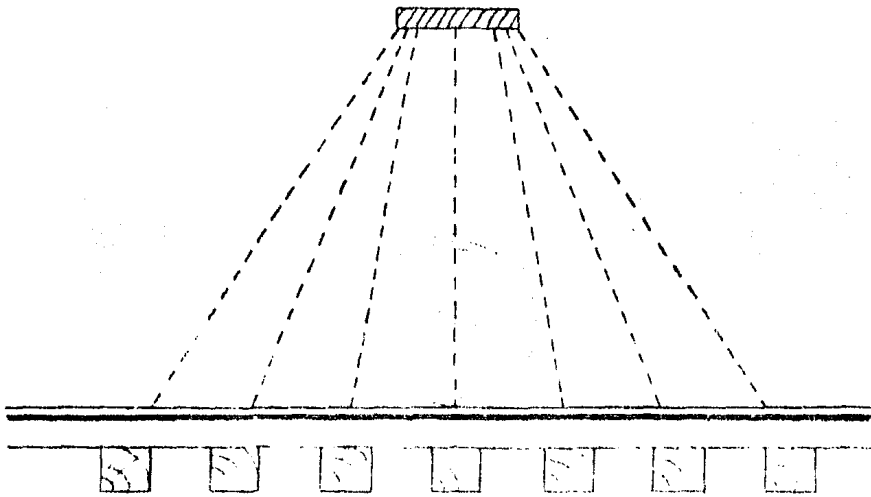


ESPACIAMIENTO DE DURMIENTES, CENTRO A CENTRO EN PULGADAS.

(1) Basado en un aumento de 10% debido a mayor masa y rigidez de durmientes de concreto.



a) Sin Placa de Hule entre el Riel y el Durmiente.



b) Con Placa de Hule entre el Riel y el Durmiente.

Fig. II-5. Distribución de la carga sobre Durmientes de madera.

suele formar una contraflecha.

Todo esto se cumple para un espaciamento entre durmientes, centro a centro, de 50 cm., y con balasto nuevo y bien compactado; utilizando placa metálica entre el riel y el durmiente. En recientes experimentos se ha observado que utilizando placa de hule, la carga de una rueda, es decir, de un eje, es resistida por siete durmientes. Fig. II-5b.

Por otra parte, aunque la rigidez del riel sí ejerce influencia en estos porcentajes, se ha calculado que su efecto es poco, comparado con el de otros factores. La fig. II-4 fue obtenida con factores de distribución en función del espaciamento de los durmientes, solamente. Se ha graficado tomando en cuenta que los valores escogidos compensen las variaciones resultantes de otras influencias.

4.- Factores de Impacto.

Con el fin de hacer intervenir el efecto dinámico, producido por las irregularidades de los rieles y de las ruedas de los vehículos, se considera, para el diseño de durmientes, un incremento en porcentaje sobre las cargas estáticas. Este incremento se obtiene por medio de la siguiente expresión, propuesta por el profesor Talbot, miembro de la A.R.E.A.:

$$\alpha = \frac{2}{300} (V-40), \text{ para } V > 40, \text{ (si } V=40, \alpha=0) \quad (\text{II-1})$$

donde V representa la velocidad de los trenes, en Km./hr.

5.- Balasto y Subrasante.

Además del tamaño y espaciamento de los durmientes, el espesor del balasto y módulo de la subrasante, son también significativos en la distribución de la carga vertical, y por ende,

en el diseño del durmiente.

Se ha visto que un creciente espesor de balasto tiende a distribuir las cargas de los durmientes individuales, sobre un área más amplia de la subrasante, reduciendo por esta razón, la carga unitaria de la misma y la consecuente depresión de la vía. También se considera que el efecto de un mayor espesor de balasto puede ser similar, dentro de ciertos límites, al de una reducción del espaciamiento entre durmientes.

Subrasantes más sólidas no requieren una presión tan baja de balasto, como las subrasantes más flexibles; en consecuencia, están en mejor condición de aguantar un mayor espaciamiento de los durmientes, menores espesores de balasto, durmientes más chicos, o las tres cosas, sin fallas o excesiva depresión de la vía.

b) Cargas Longitudinales.

Las cargas longitudinales, originadas por la combinación de esfuerzos térmicos en el riel y por el tráfico, son transferidas al durmiente por medio de las sujeciones del riel a éste, y finalmente frenadas por la acumulativa fricción interna del balasto.

De esto último se deduce que el área total de apoyo de los durmientes por unidad de longitud de la vía, la fricción entre dicha área y el balasto, y las propiedades físicas de éste, determinan, en gran medida, la resistencia de la vía a cualquier movimiento.

c) Cargas Transversales.

Estas cargas se producen tanto en las curvas como en las

rectas. Son generadas por los vehículos en movimiento y aplicadas por las llantas y cajas de éstas a los rieles.

En las curvas, estas cargas resultan ser de mayor magnitud, debido a la fuerza centrífuga del equipo rodante o al peralte de la vía. Los esfuerzos están dirigidos hacia el exterior de la curva, si hay exceso de velocidad, y hacia adentro, si no se alcanza la velocidad del peralte establecido.

En las rectas se generan esfuerzos por efecto del lazo de los carros del ferrocarril y por defectos del riel y de las ruedas de aquéllos. Por lo tanto, la magnitud de estas cargas depende no solamente de las dimensiones, configuración, peso y velocidad de los trenes, sino también de la geometría general de la vía, es decir, de si ésta es recta, curva, o qué tan pronunciada sea dicha curva; además de las irregularidades de la vía.

Las cargas en cuestión son distribuidas por el riel a los durmientes a través de los dispositivos de sujeción, los que junto con aquéllos deben mantener correcto el escañillón.

Para restringir el movimiento causado por las cargas transversales, los durmientes intervienen en forma sobresaliente, y la masa, el área de apoyo lateral (superficie de los extremos) y la fricción de éstos con el balasto, y las características de éste, son determinantes para tal efecto.

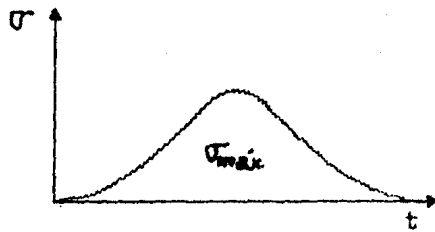
Por tanto, de lo mencionado anteriormente, se desprende que la estabilidad lateral de la vía puede ser incrementada disminuyendo la separación de los durmientes, y aumentando la masa y área de apoyo de los extremos de los mismos, y la resistencia de las sujeciones; esta última debe ser proporcional a los esfuerzos laterales que los durmientes individualmente restringen, siendo aquéllos determinados a su vez, por la rigidez lateral del riel y la separación de durmientes.

Para resistir tanto las cargas verticales como las horizon-

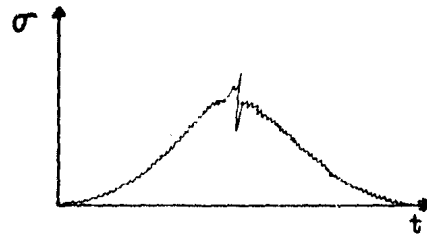
tales, los durmientes se rodean de balasto, compactándolo perfectamente en los extremos, y dándole poco apisonamiento en la parte central. (Para estos efectos puede considerarse, sin ~~erro~~rea considerables, dividido en 3 partes iguales.). En estas condiciones, según experiencias de la A.R.E.A., cada durmiente ofrece una resistencia a ser desplazado, que depende de la calidad del balasto. Así se tiene que un durmiente apoyado sobre piedra quebrada limpia (balasto excelente), resiste de 700 a 1000 Kg.; mientras que para balasto de menor calidad, la resistencia está comprendida entre 300 y 500 Kg., adoptándose la de 500 para un buen balasto; y para balasto arcilloso o de grava con lodo y con uno de los extremos del durmiente flojo, la resistencia de éste es de aproximadamente 200 Kg.

En las figs. II-6, II-7 y II-8 se representan algunos de los efectos producidos por las cargas anteriormente descritas.

Con respecto al riel, como factor a considerar en el diseño de durmientes, la interacción entre ambos elementos ha sido discutida en los párrafos anteriores, en lo referente, básicamente, a factores de distribución, espaciamiento de durmientes y cargas verticales y horizontales.



a) Esfuerzo esencialmente estático (Riel liso).



b) Esfuerzo dinámico producido por una rueda gastada.

Fig. II-6. Esfuerzos verticales producidos por los vehículos ferroviarios.

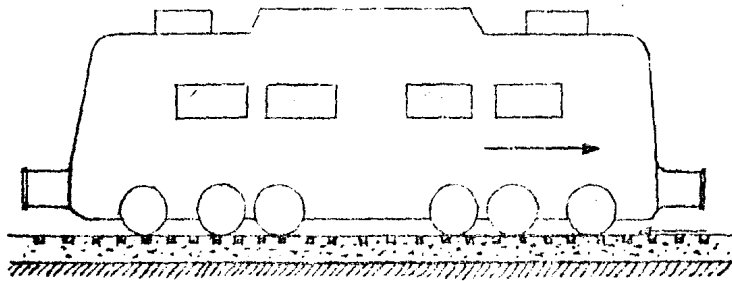


Fig. II-7. Esfuerzos longitudinales de frenado.

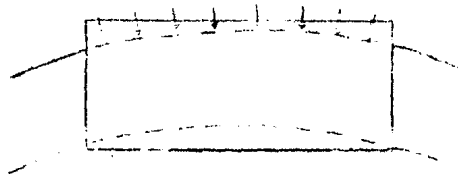


Fig. II-8. Esfuerzos transversales causados por la fuerza centrífuga.

3.2. Material.

La madera está compuesta, de acuerdo a su estructura, de dos partes fundamentales: duramen o corazón y albura o parte suave. El duramen o corazón lo forman las celdillas de apoyo, que son las que le dan resistencia al árbol; son celdillas muertas y perfectamente compactadas con resina. La albura o parte suave se compone de celdillas conductoras y alimenticias: las primeras transportan la savia a todo lo largo del árbol para alimentarlo; y las segundas son las que almacenan los alimentos y hacen las contracciones de los vasos, según la época del año.

Existe una recomendación europea, sobre todo alemana, de que las maderas coníferas (tipo pino) deben talararse en Invierno, porque sus vasos están cerrados y entonces hay menos peligro de infección de las partes orgánicas de la madera; y las tropicales, o árboles de hoja ancha (maderas duras y semiduras), deben cortarse en el Verano, por la misma razón que para las anteriores.

Los árboles de maderas suaves y semiduras se pueden aserrar con relativa facilidad, lo que permite obtener durmientes con aristas vivas y formando ángulos de 90° con el eje de la pieza, proporcionando así una mayor área de apoyo.

En el capítulo anterior quedó asentado que los durmientes de maderas crudas están compuestos de maderas duras, esto se debe a que, por un lado, ofrecen gran resistencia al ataque de los agentes naturales, y por otro lado, su gran dureza impide que al ser sometidos a algún tratamiento de impregnación, la mezcla preservativa penetre en la madera. De aquí que los durmientes creosotados deben ser de maderas blandas y semiduras.

Los durmientes de maderas duras y semiduras suelen colocarse preferentemente en las curvas fuertes de las vías, es decir, en curvas de más de 4° (radio menor de 286.54 m.), por ser ahí

donde se requiere mayor apriete a los clavos o tirafondos, para mantener correcta la reparación de los rieles. En muchos de los casos, para lograr esto, es preciso utilizar barras de acero como escantillón.

Los durmientes de maderas suaves se emplean generalmente en los tramos de tangente de la vía, o en curvas hasta de 4° (radio mayor o igual a 286.54 m.).

Las principales características que deben reunir las maderas para resistir los esfuerzos provocados por las distintas sollicitaciones a las que estará sometido el durmiente durante su servicio, son las siguientes:

- Deberán ser compactas, esto es, que no presenten una estructura esponjosa.
- Deberán tener por lo menos 6 anillos de crecimiento anual en alguna parte de su sección, en un espacio de 3 cm. medidos en dirección radial.
- Deberán obtenerse de árboles vivos y sanos.
- Su densidad estará comprendida entre 750 y 800 Kg./m³
- Proporcionar una adecuada absorción a las sustancias preservativas.
- Deberán poseer un coeficiente de contracción pequeña.

En la Tabla II-1 se presentan los esfuerzos permisibles, según diferentes condiciones de servicio, de algunas de las maderas más usadas en la manufactura de durmientes. La nomenclatura es la siguiente:

- c - esfuerzo unitario admisible en compresión paralela a las fibras.
- E - módulo de elasticidad.
- f - esfuerzo unitario admisible en la fibra extrema, en flexión.

g - esfuerzo admisible en compresión perpendicular a las fi
bras.

v - esfuerzo cortante admisible en dirección paralela a las
fibras.

Todas las expresiones anteriores tienen unidades de Kg./cm^2

T A B L A II-1

ESFUERZOS UNITARIOS DE TRABAJO RECOMENDADOS PARA LAS SIGUIENTES ESPECIES DE MADERA

Especie	Continuamente seca					Condiciones húmedas					Condiciones moderadas de putrefacción				
	f	v	c	q	E	f	v	c	q	E	f	v	c	q	E
Roble Rojo, Roble Blanco	110	10	77	39	116	110	10	77	25	105	98	10	63	25	105
Abeto Douglas	123	7	91	25	123	123	7	80	18	113	110	7	74	18	113
Pino Amarillo Suriano	100	7	77	25	123	100	7	70	17	113	92	7	63	17	113
Pino Ponderosa	90	9.5	74	25	123	90	9.5	70	18	113	70	9.5	60	18	113
Pino Amarillo hoja larga	100	6.7	84	29	123	100	6.7	74	19	113	92	6.7	67	19	113
Fresno Blanco	95	7	74	39	116	95	7	70	25	105	84	7	63	25	105
Haya; Abedul, Olmo, Arce Duro	91	7	74	39	116	91	7	67	25	105	84	7	60	25	105

3.3. Diseño Práctico.

La carga transmitida por los rieles es soportada por los durmientes y por el balasto. Cuando el segundo de estos elementos está nuevo y recién compactado, un durmiente bajo una carga representa una viga, con la reacción del apoyo concentrada en las partes extremas del mismo, por ser en estos tramos donde se calzan perfectamente; en forma idealizada, esta condición de apoyo se observa en la fig. II-9b.

Sin embargo, debido al acomodado y, a veces, a la trituración del balasto debajo de los rieles, causados aquéllos por las vibraciones de los carros del ferrocarril, la parte central del durmiente tiende a apoyarse sobre el balasto, y, consecuentemente, al paso de los trenes toda la traviesa soportará la reacción del apoyo, la cual es generalmente menor en el centro del durmiente; aunque en ocasiones la reacción en esta parte llega a ser tan grande que llega a causar la ruptura de la pieza. La forma asumida por un durmiente bajo estas circunstancias se muestra en la fig. II-9c, y la distribución de las presiones a lo largo del durmiente se indica en la fig. II-9d.

Como se observa en la figura anterior, la última forma de apoyo del durmiente produce flexión positiva bajo el asiento del riel, y flexión negativa en la parte central del elemento; esto de acuerdo a la convención de signos empleada en Resistencia de Materiales.

Aplicando los conceptos del comportamiento de una viga cargada linealmente (en este caso la carga será la reacción del terreno, supuesta repartida uniformemente) y apoyada en dos puntos (los rieles), se tiene que los momentos máximos en el centro (M_c) y en las reacciones (puntos de aplicación de la carga- M_r) del durmiente, valen:

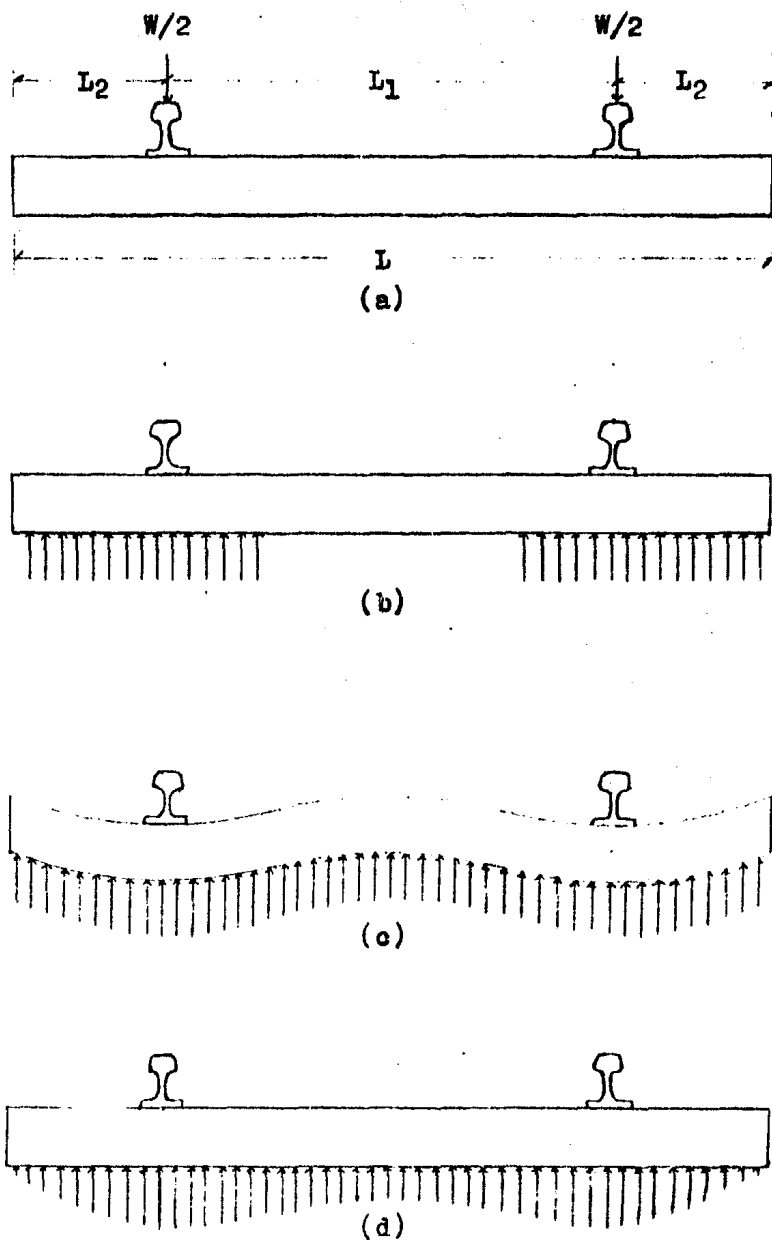


Fig. II. 9. Distribución de la presión del balasto bajo un durmiente.

$$M_c = \frac{W}{8} (L_1 - L_2), \text{ o } M_c = \frac{w(L_1^2 - 4L_2^2)}{8} \quad (?)$$

$$M_r = \frac{L_2^2}{2L} W, \text{ o } M_r = \frac{wL_2^2}{2} \quad (3)$$

donde W es la carga total vertical actuando sobre un durmiente, y w es la carga repartida linealmente a lo largo del mismo; los demás términos corresponden a los de la fig. II-9a.

Estas expresiones permiten hacer un análisis simple del comportamiento del durmiente bajo las cargas puntuales actuando hacia abajo, y, por lo tanto, la reacción del apoyo hacia arriba.

Otra condición de apoyo, que eventualmente se presenta en la realidad, es cuando después de transcurrir cierto tiempo, el material que forma el balasto comienza a perderse en las banquetas de la vía, es decir, el material pétreo que queda más allá de los extremos de los durmientes empieza a escasearse, fenómeno que origina que el apoyo bajo estos puntos sea insuficiente, provocando de esta manera un momento máximo en el punto medio de la viga, y grandes deformaciones que pueden llegar a ser permanentes. Cuando un durmiente falla, ésta suele ocurrir generalmente bajo esta forma de apoyo; y la forma que toma el durmiente antes de la ruptura se muestra en la figura II-10.

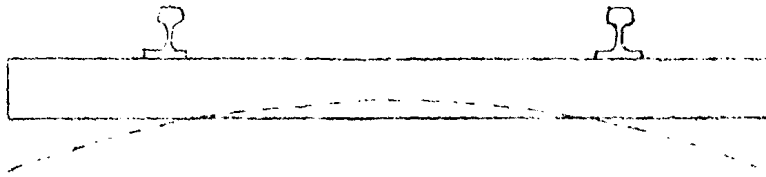


Fig. II-10. Forma que asume el durmiente debido al deficiente apoyo de los extremos del mismo.

Por ser tan crítica esta última forma de apoyo, siempre debe evitarse, manteniendo suficiente material de apoyo debajo de los extremos del durmiente, de tal manera que éste se flexione lo menos posible. Un durmiente de madera puede alcanzar deformaciones entre 0.35 y 0.50 de pulgada (0.9 y 1.27 cm. respectivamente), sin que éstas sean permanentes.

De todo esto, y de las condiciones generales de diseño vistas con anterioridad, se deduce que el diseño de un durmiente presenta características especiales, pues para tal efecto no se puede aplicar un simple cálculo racional, ya que existen muchos factores que afectan su comportamiento; como es el caso del momento flexionante, el cual depende del grado de compactación y de las características del balasto. Además, en el caso de la madera, la resistencia de ésta está sujeta a muchas variaciones, dependiendo éstas de la clase de la misma, del grado de deterioro que presenta al exponerse a la acción de la intemperie. Por lo tanto, el diseño de un durmiente de madera debe basarse, básicamente, en los resultados de la experiencia, guiado por unas cuantas pruebas empíricas, y limitarse a la aplicación de una o dos leyes que rijan el comportamiento de vigas flexionantes.

Basándose en lo anterior, la A.R.E.A. ha obtenido diferentes valores en las dimensiones de los durmientes, según el tipo de vía, siendo los más comunes (para vía normal, de 1.435 m. de escantillón), los siguientes: 0.18 m. de altura, 0.20 m. de ancho, y 2.44 m. de largo. Estas medidas son las adoptadas por muchos países, entre ellos México.

La misma asociación anterior recomienda como dimensiones máximas, para este tipo de durmientes (de madera), las siguientes: 0.19 m. de altura, 0.21 m. de ancho, y 2.50 m. de largo.

4. PRESERVACION DE DURMIENTES

Uno de los principales requisitos que deben reunir los durmientes, no importa de la clase que sean, es su larga duración. Los durmientes de madera, para prolongar su duración y justificar su uso, se someten a un proceso físico-químico para protegerlos contra el ataque de los agentes del intemperismo y de organismos biológicos que pueden perjudicarlo. El proceso físico-químico consiste en la impregnación de ciertas sustancias al durmiente, las cuales deben tener las siguientes características:

- Que tenga una gran penetración homogénea al interior del tejido celular de la madera.
- Debe resistir el deslave ocasionado por la lluvia.
- Debe ser permanente para sellar la membrana celular.
- Que no exude fácilmente bajo el calor del sol.
- Debe ser tóxico a los organismos destructores de la madera.
- Al contacto con el suelo debe intoxicarlo también.
- No debe ser perjudicial a la madera ni a los metales.

La necesidad de duración del preservativo es evidente, pues se busca que la madera tratada sirva de 40 a 50 años o más. Por lo tanto, ninguna sustancia que se evapore en unos cuantos años o que cambie químicamente en corto tiempo en compuestos inefectivos, es adecuado como protector de la madera.

Es de suma importancia que el preservativo sea barato y se pueda conseguir en suficiente cantidad para satisfacer las necesidades de la industria de preservación de maderas.

A la fecha y a través de muchos años, han sido propuestas un gran número de sustancias como preservativos de maderas. Estos incluyen prácticamente todos los productos químicos conocidos de costo moderado, así como productos de derivados industriales.

Resultado del estudio y experiencia, logrados a través de esos años, se ha logrado un considerable progreso al ser reconocidos los pocos productos químicos que son económicos y efectivos, y por tal motivo, aceptados por el uso comercial.

Los preservativos se pueden clasificar de acuerdo a sus características físicas o químicas; para el propósito de este estudio, los clasificaremos considerando a la segunda de estas propiedades: preservativos con contenido de agua y preservativos de aceite o de compuestos de aceite.

a) Preservativos con Contenido de Agua.

El agua, como solvente para preservativos de madera, tiene ciertas ventajas, como son: su bajo costo y facilidad de conseguirse, su facilidad también de penetración en la madera y la no existencia de riesgos contra el fuego. Sus principales desventajas son: que la madera impregnada con ésta, se hincha, requiere secamiento en la mayoría de los casos y se raja al secarse. Además, los preservativos con contenido de este líquido, no proporcionan protección contra el tiempo o el uso mecánico; por su solubilidad en el agua, la mayoría de estos preservativos están sujetos a desaparecer de la madera cuando están en contacto con tierra húmeda o agua. Sin embargo, cuando la madera no está expuesta a estos riesgos, estas sustancias preservativas permanecen en ella indefinidamente.

La madera tratada con preservativos de esta clase, es especialmente adecuada para usarse en edificios, por su limpieza, falta de olor, sin riesgo alto de incendio, bajo en peso y relativo bajo costo.

Los principales preservativos de maderas, con contenido de agua, son: sales arsénicas, ácido bórico, sales de cromo, cloruro de zinc, sulfato de cobre, cloruro de mercurio y fluoruro

de sodio (Tamalith). En México, y para nuestro caso, que es el tratamiento de maderas de durmientes, podemos decir que ninguno de los anteriores preservativos se ha usado.

b) Preservativos de Aceite o Compuestos de Aceite.

En esta clasificación se encuentran los preservativos con derivados de aceite de uso general, incluyendo las creosotas de alquitrán de hulla, las soluciones de creosota y petróleo; también se incluyen los derivados que se usan en mayor proporción, tales como los aceites de lignito-alquitrán y otros. En este grupo se incluyen, asimismo, los preservativos preparados disolviendo productos tóxicos en aceites solventes, como es el caso del pentaclorofenol.

La mayor parte de los preservativos de madera en uso actualmente, entran en esta clasificación.

La creosota de alquitrán de hulla ha sido considerada como el preservativo estándar, desde que John Bethel patentó el uso del aceite muerto de alquitrán para tratamiento de maderas (1938). Hasta la fecha, es la sustancia más efectiva para el uso general en la protección de la madera contra toda clase de organismos destructores de la misma, aunque para otros propósitos su supremacía ha sido compartida con algunos de los nuevos preservativos.

La creosota de alquitrán de hulla es definida por la American Wood Preserver's Association como: un destilado de alquitrán de hulla, producido por la carbonización a altas temperaturas de carbón bituminoso, consistente principalmente de hidrocarburos aromáticos líquidos y sólidos, conteniendo cantidades principalmente de ácidos de alquitranes y bases de alquitrán; es más pesado que el agua y tiene un alcance continuo de hervor de por lo menos 125°C, empezando cerca de 200°C.

Las ventajas que ofrece esta sustancia son esencialmente las que se requieren para la preservación de los durmientes de madera. Además, su costo es relativamente bajo y es de fácil aplicación.

Una de las desventajas que presenta esta sustancia, es que la madera recién impregnada puede incendiarse fácilmente y rápidamente consumirse; aunque después de algunos meses de ser tratada la madera, su facilidad para quemarse disminuye considerablemente. El uso de la madera creosotada es rechazado muchas veces por el olor desagradable del impregnante, sin embargo, para el uso que se da a los durmientes, no interesa mucho ese aspecto.

La creosota puede usarse sola o mezclada con alguna solución de petróleo. Esto último se hace con el objeto de reducir el costo del preservativo. En México, el petróleo refinado que se utiliza se llama impregmol, y es más barato que la creosota. Los porcentajes en la mezcla, más usuales, son: 40% de creosota y 60% de aceite impregmol.

Con el petróleo, la superficie del elemento queda más aceitosa que con la creosota pura, y de esta manera la madera está menos expuesta a los cambios de humedad, que favorecen el agrietamiento. Por otra parte, la toxicidad de la creosota se reduce con las soluciones de petróleo, de acuerdo a la proporción que se agregue.

En general, la mezcla de creosota-aceite impregmol es la que se emplea en nuestro país para la preservación de durmientes y postes para líneas de transmisión. Sin embargo, el pentaclorofenol, muy usado en los E. S. U. U., tiene cierta aplicación también en México. El inconveniente de este producto es que es más caro y hasta hace unos años no se elaboraba aquí.

Las proporciones de la mezcla, usando el pentaclorofenol, son: 50% de creosota, 45% de diesel y 5% de pentaclorofenol.

Para que se pueda inyectar a la madera el preservativo, ésta se debe dejar que pierda su humedad, ya que si las celdillas de la misma están saturadas de agua, no penetra el impregnante. Para que esto último no suceda, los durmientes se exponen al aire libre, a lo que se lo conoce como "sazonamiento por aire".

El grado de "sazonamiento" varía con el tiempo que se entongue el durmiente y con la estación del año; necesitándose de 3 a 9 meses. Empero, para abatir un poco este tiempo, suele tomarse como mínimo un período de 6 meses, con el cual se obtienen resultados bastante buenos, ya que, en promedio general, se considera que la madera posee un contenido de humedad del 30%, tomando como base el durmiente seco.

La impregnación sola de la sustancia a la madera no causa la muerte del hongo, sino únicamente la del gusano, termita, o limnoria (organismos destructores de la madera). Entonces, para que pueda perecer el hongo o bacteria, se debe esterilizar la madera a base de temperaturas altas.

Los hongos más resistentes a la temperatura mueren a los 67.8°C, mantenida durante 75 minutos. Cuando se registra esta temperatura en el centro del durmiente (esto se logra saber mediante el uso de un potenciómetro electrónico), se suspende la inyección y se continúa con el tratamiento.

La temperatura en el centro del durmiente depende del tipo de madera, del grado de humedad que contenga y de si se trata de madera joven o adulta, pero casi siempre oscila entre 25° y 30°C. Se ha demostrado que en maderas duras, como el encino, la temperatura en el centro del durmiente, para esterilizarlo, se alcanza a las dos horas y media de sostener la inyección de la mezcla, siendo necesario mantenerla, como ya dijimos, durante 75 minutos para obtener la esterilización completa. En maderas suaves es posible alcanzar tal temperatura en menos tiempo, reduciendo, en consecuencia, el tiempo total del tratamiento.

4.1. Procedimientos de Impregnación.

La impregnación de los preservativos en maderas se hace siguiendo dos procedimientos: sin presión y a base de presión.

El primero suele tener muy poca aplicación, siendo nula para el caso de maderas utilizadas para durmientes. El segundo, por lo tanto, es el de mayor aplicación en todos los casos en que se requiere una buena protección de la madera que va a estar expuesta a la acción del intemperismo. En general, este último procedimiento tiene claras ventajas sobre el primero; sobresale el hecho de que en la mayoría de los casos se puede obtener una penetración más uniforme y más profunda, y una absorción mayor del preservativo, proporcionando así una protección más efectiva a la madera.

Los procedimientos a base de presión más usados y de mayor éxito, son aquellos en que el tratamiento se hace en cilindros metálicos de gran diámetro, llamados retortas. Estos procedimientos pueden dividirse a su vez en dos grupos principales: proceso de celdilla llena y proceso de celdilla vacía.

En el proceso de celdilla llena, el objetivo es retener lo más que se pueda del líquido que ha penetrado en la madera durante el período de presión, obteniendo de esta forma la concentración máxima de mezcla impregnante en el material tratado.

En el proceso de celdilla vacía, cierta cantidad del preservativo que ha penetrado en la madera bajo presión, se recobra subsecuentemente, para que las celdillas tiendan a cubrirse solamente, en lugar de llenarse con él; además, tal recobro evita que al sacar las piezas de la retorta se desperdicie material impregnante, y al mismo tiempo, esto permite una mejor manejabilidad de las mismas.

El proceso de celdilla llena es siempre ventajoso cuando se desea la mayor cantidad de solución preservativa que la madera

pueda retener. Los métodos de celdilla vacía, en cambio, tienen gran prioridad cuando se desea asegurar la penetración más profunda posible, con una retención final de líquido limitada.

En la preservación de durmientes de madera se usa el proceso de celdilla vacía, puesto que lo que se busca es una penetración mayor del impregnante, con una retención mínima del mismo.

Los procesos de celdilla llena se aplican a las maderas que están en contacto directo con el agua de mar, ya que en ésta existen los taladros marinos que son muy perjudiciales a la madera, por lo que entre mayor sea la cantidad de preservativo, el resultado será mejor.

Los procesos más utilizados en México son los siguientes:

Procesos de celdilla vacía: Lowry, Rueping y Bulton.

Procesos de celdilla llena: Bethel.

a) Procesos de Celdilla Vacía.

1.- Proceso Lowry. Este proceso fue patentado en 1906 por C. B. Lowry. Consiste de las siguientes fases:

Fase I. (Inyección del Impregnante). Una vez colocados los durmientes dentro de la retorta, y cerrada ésta herméticamente, se inyecta el preservativo, incrementando la temperatura cada vez más, hasta alcanzar un promedio de 82°C , sin ser mayor en ningún momento a 104°C (esta última está marcada para no producir ninguna grieta); la presión media será de 12.7 Kg./cm^2 , con una máxima de 14 Kg./cm^2 , para maderas duras. En maderas suaves la penetración es limitada por la retención deseada.

El tiempo que se requiere para lograr la presión específica, y el período por el que se debe sostener, varía de acuerdo con la clase de la madera y, sobre todo, por el contenido de

humedad de la misma. Así, para un contenido de humedad del 25% se necesitan dos horas por lo menos; y para una humedad del 30% se requieren de cuatro a cuatro y media horas.

Fase II. (Vacío Final). En esta etapa se hace un vacío final con el objeto de que sea extraído el excedente de la mezcla impregnante que haya quedado en la madera. La duración de esta fase es generalmente un poco mayor a los 30 minutos.

Después de esta fase, los durmientes son extraídos de la retorta y almacenados o llevados a su instalación.

Cabe mencionar que previamente al tratamiento, los durmientes son perforados para alojar a los dispositivos de sujeción, sin embargo, en ocasiones esto no sucede cuando se trata de maderas suaves; esto con el objeto de que el preservativo penetre en tales oquedades y proteja a la madera del agua que en ellas pueda introducirse durante el servicio de los durmientes.

2.- Proceso Rueping. Este proceso se diferencia del anterior únicamente por el hecho de que presenta una fase, antes que las de aquél, de presión de aire inicial, arriba de la atmosférica (5 a 5.6 Kg./cm²), por espacio de 20 a 30 minutos.

3.- Proceso Bulton. Este proceso es aplicable a tratamientos de maderas verdes. Además de las fases del primer proceso, registra otras, antes de aquéllas, las cuales consisten, primeramente, de la aplicación directa de vapor seco a los durmientes a una temperatura de 100°C; su duración depende del contenido de humedad de la madera. Después de ser suspendido el vapor se da un vacío inicial, similar al del proceso Rueping, con el fin de extraer la humedad; la duración de esta segunda fase por lo general es de hora y media. Subsecuentemente a esto, las fases siguientes son semejantes a las del proceso Lowry.

b) Procesos de Celdilla Llena.

1.- Proceso Bethel. El proceso Bethel es el único representativo de esta clasificación, usado en nuestro país. Es similar al proceso Lowry, con la diferencia de que al final no se aplica vacío.

Con respecto a los procesos de celdilla vacía, la proporción de la absorción global recobrada, después de que se afloja la presión del preservativo y la aplicación del vacío final, no es tan grande como cuando se ha ejercido una presión de aire preliminar (proceso Rueping), pero es definitivamente mayor que en el tratamiento de celdilla llena (proceso Bethel).

Sin embargo, la penetración obtenida con el proceso Lowry es mejor que la lograda con el proceso de celdilla llena, y la misma que se gana con el tratamiento Rueping cuando se usan presiones muy bajas de aire preliminar.

El proceso Lowry puede ser aplicado sin otros accesorios, mientras que el proceso Rueping generalmente requiere equipo adicional, tal como un compresor de aire y un cilindro extra o un tanque Rueping para el preservativo, o una bomba para empujar el aceite hacia el interior de la retorta contra la presión del aire. Por su simplicidad y reconocida eficiencia, el proceso Lowry se usa extensamente en México.

5. PRODUCCION

La producción de durmientes de madera en México reviste gran importancia y, asimismo, serios problemas, ya que las vías férreas que se extienden a todo lo largo y ancho del territorio nacional requieren, casi en su totalidad, durmientes de este tipo; lo que significa que la demanda anual de estos elementos

es bastante elevada, como se verá posteriormente.

Con la inauguración de la primera ruta ferroviaria en 1873, entre la ciudad de México y el puerto de Veracruz, se inicia la explotación irracional de zonas madereras para proveer de leña y durmientes a las locomotoras y a las vías, respectivamente, explotación que se incrementó al desarrollarse la red ferroviaria, hasta el momento en que el petróleo sustituye a la madera como combustible, quedando únicamente el renglón de los durmientes. El requerimiento de éstos se distribuye de la manera siguiente:

Por una parte, se necesitan durmientes para la conservación de las vías existentes, con un desarrollo total actual aproximado de 25 500 Km.⁺; y por otra parte, para la construcción y rehabilitación de las vías actualmente en proyecto o en ejecución.

Considerando que para la conservación de las vías existentes se necesita un promedio de 115 durmientes por kilómetro y por año, resulta que por este concepto se requiere un total de 2 932 500 durmientes anualmente. Por otro lado, basándonos en que el número de durmientes de este tipo por kilómetro es de 2 000, y de que el crecimiento estimado anualmente es de 0.3%, tenemos que el número de éstos, para la construcción de nuevas vías por año, es de 153 000 piezas. Y por último, para la reha

+ Esta cifra se estimó tomando en cuenta que el crecimiento anual de la red ferroviaria de 1945 a 1976 equivalió al 0.3%, partiendo de 1976, año en que la longitud de las vías era de 24 952 Km. Además, no se consideran vías con durmientes de otro tipo de material, puesto que la longitud de éstas es mínima con respecto a la de durmientes de madera.

bilitación (esto se da como producto de la modernización de las vías) se necesitan en promedio, aproximadamente 430 durmientes por kilómetro; estimándose que esto equivale al 15% de las vías existentes, lo cual arroja una cuota de 1 644 750 piezas al año.

De los datos anteriores, resulta que para el año actual la demanda total probable será de aproximadamente 4.7 millones de durmientes de madera.

Esta cifra no es imposible de obtenerse de las reservas forestales existentes en el país, pero resulta incontestable su producción, tomando en cuenta factores de tipo económico; además, la obtención de esta cantidad de elementos agravaría aún más la deforestación de las zonas productoras de madera.

Actualmente, el suministro de durmientes se complica cada vez más, ya que el Gobierno Federal ha tomado medidas tendientes a evitar la deforestación irracional en determinadas regiones del país, trayendo como consecuencia el alejamiento de las zonas de explotación, de tal suerte que de partirse la cantidad de durmientes requerida, ésta representaría grandes acarrees, tanto a las plantas de tratamiento como a los lugares de aplicación, incrementando el costo del durmiente.

Por otra parte, y en términos generales, se ha observado que el mercado de la madera ha experimentado cambios importantes, tanto en lo que se refiere a la explotación como a la aplicación industrial de la misma, resultado de los progresos técnicos actuales, mediante los cuales las trozas son aprovechadas casi en su totalidad, en perjuicio de los volúmenes destinados a la producción de durmientes, lo que se refleja en el aumento del precio del mismo.

De lo dicho anteriormente, se puede concluir que para obtener resultados satisfactorios en una vía con durmientes de madera creosotada, se deben reunir los siguientes requisitos:

- Que la explotación, en forma racional, garantice la demanda tanto para la industria como para los ferrocarriles.
- Que la madera sea de buena calidad.
- Que las causas de la destrucción prematura del durmiente sean controladas y reducidas si es posible.
- Que el durmiente sea económicamente amortizable en función de su vida útil.
- Que su valor sea sensiblemente igual al valor del volumen de madera equivalente para usos industriales.

Empero, a través de este capítulo hemos visto que muchas de estas condiciones no se cumplen adecuadamente por los durmientes en cuestión, por lo que actualmente se está recurriendo a la fabricación de durmientes de concreto, los que tienen como finalidad principal, cubrir en forma racional el déficit existente, factor principal que, como ya se indicó, provoca la conservación diferida de una vía férrea, en perjuicio de la economía de la empresa ferroviaria.

CAPITULO III

DURMIENTES DE CONCRETO

1. GENERALIDADES

La utilización del concreto en la fabricación de durmientes se ha debido a diversas razones, pudiéndose citar entre ellas principalmente el temor de que la producción de durmientes de madera fuera insuficiente, y el deseo de conseguir un durmiente más durable y más resistente que el de madera, que permitiera diseñar una "vía moderna" que superara ampliamente a la "vía clásica".

La experimentación y fabricación de durmientes de concreto se inició hacia el año de 1898 en diferentes países. Desde un principio se observó que el proyecto de un durmiente de concreto entrañaba grandes problemas, pues repetidas pruebas demostraron que las cargas dinámicas destruían rápidamente el concreto. Se hicieron infinidad de experimentos con diferentes tipos de durmiente de concreto reforzado; sin embargo, no fue sino hasta la aparición del concreto pretensado y del durmiente de concreto tipo mixto, que se tuvieron resultados positivos, tanto en el aspecto económico como en el de durabilidad.

La producción de este tipo de durmientes se incrementó en forma acelerada a finales de la Segunda Guerra Mundial, sobre todo en los países europeos, donde el mercado de la madera llegó a su nivel más bajo, pues los bosques quedaron destruidos a consecuencia de la guerra misma.

Hoy en día, la producción de durmientes de concreto se efectúa por diversas razones. En México, y en muchos países del mundo, la sustitución paulatina de los durmientes de madera por los de concreto se lleva a cabo tanto para ayudar a combatir

la deforestación del país, como por varias razones técnicas y económicas, las cuales han sido tomadas en cuenta por las grandes empresas ferroviarias de todo el mundo, al mostrar una evolución cada vez más pronunciada, tendiente al abandono gradual de los durmientes de madera. Entre las razones principales que pueden señalarse para justificar la utilización mencionada, encontramos las siguientes:

a) Existe la tendencia general de aumento de los costos de mano de obra con relación a los costos de las materias primas, por lo que es necesario tomar medidas encaminadas a reducir los primeros, dentro de los que tienen gran significación los referentes a mantenimiento y conservación de la vía.

b) La vida útil de los durmientes de madera es muy variable, por tanto, la reposición de los mismos se efectúa generalmente reemplazándolos uno por uno o por pequeños tramos, elevándose, en consecuencia, los gastos por mantenimiento, y por otro lado, la vía se desestabiliza.

c) Existe una tendencia general a mejorar la superestructura de la vía, haciéndola más estable, más silenciosa y capaz de permitir velocidades más altas de los trenes, para poner a los ferrocarriles a la altura de los demás sistemas de transporte.

Para lograr esto, puede decirse que en todos los países que cuentan con líneas férreas se está imponiendo gradualmente la construcción de la vía elástica, y para ello, es muy conveniente la sustitución de los durmientes de madera por otros de características diferentes, que poseen: mayor peso, mayor durabilidad y, de manera especial, mayor homogeneidad de su vida útil.

2. CARACTERISTICAS

Existen características que son propias de cada tipo de durmiente de concreto, sin embargo, independientemente de ello, las características que poseen los durmientes de concreto en general, son las de proporcionar una vía más estable, que no requiere más que una conservación mínima y que no exige más que renovaciones a largo plazo, ejecutadas sistemáticamente, evitando así el procedimiento altamente costoso que causaría la búsqueda de los durmientes que es necesario reponer.

Los durmientes de concreto han tomado gran interés en los últimos años, pues su empleo ha dado solución al problema del durmiente en muchos países, incluyendo el nuestro.

Para llegar a obtener las grandes ventajas técnicas que los durmientes de concreto presentan, el diseño de éstos se ha llevado a cabo basándose en los siguientes principios generales:

- Los durmientes deben tener la función principal de asegurar el movimiento de los vehículos sobre la vía.
- El durmiente debe tener resistencia suficiente para evitar fallas bajo cargas dinámicas.
- El escantillón de la vía debe ser mantenido con exactitud.
- El durmiente no sólo debe oponerse a cualquier desplazamiento de la vía, sino también debe permitir que ésta sea alineada.
- El durmiente debe tener suficiente longitud y anchura, de manera que se suministre una superficie de apoyo por unidad de vía, por lo menos igual a la que se obtiene con durmientes de madera; además, debe tener una forma que permita un rápido y efectivo calzado de balasto.
- Los durmientes deberán presentar una resistencia eléctrica suficientemente alta, para asegurar el correcto funcio

namiento de circuitos de señales y de control.

- Los durmientes deberán compararse favorablemente con los de madera en costos anuales por renovación y mantenimiento de vía.

El diseño de un durmiente de concreto no es un procedimiento sencillo. La aplicación de la carga al riel y la distribución de la misma de éste al durmiente y del durmiente al balasto, suele ser complicado, según vimos en el capítulo anterior.

Pensando en que el efecto de cedencia del balasto, bajo la carga, puede hacer que las condiciones de soporte del durmiente se alteren, el diseño de la mayoría de los durmientes de concreto consideran dos condiciones extremas de apoyo que pueden presentarse: el durmiente apoyado únicamente en los extremos; y con apoyo tanto en los extremos como en el centro, pero mayor en el centro. Además, como criterio general, en sus inicios se usó la resistencia de un durmiente de pino, para de allí partir.

Desde el punto de vista de movimiento, la condición de apoyo central es inconveniente, ya que se producen golpeteos desagradables y peligrosos; también resulta costoso diseñar un durmiente de concreto para una fuerza central que, según experimentos y mediciones en campo hechas por la A.A.R., es cuatro veces mayor que la que se requiere en el eje del riel. Por lo tanto, esta condición debe reducirse al máximo, si es que no se puede eliminar, mediante disposiciones adecuadas en la forma del durmiente o en la construcción del balasto.

Gracias a los adelantos técnicos obtenidos en las últimas décadas, cualquier problema técnico puede dársele varias soluciones, unas con mayores o mejores ventajas que otras, sin embargo, todas ellas pueden satisfacer las necesidades del problema. Así, el problema de los durmientes ha encontrado diferentes

soluciones debido a la gran variedad de diseños de los mismos, tanto de concreto como de acero, además de los de madera, encontrados por los países dedicados al estudio de ellos.

Los distintos tipos de durmientes de concreto, además de resolver el problema de la absorción de esfuerzos y deformaciones, producidos por las diferentes sollicitaciones que actúan sobre ellos y por las distintas formas de apoyo que puedan presentarse, brindan, dentro de sus ventajas, dos que son directas: el logro de la vía elástica y la utilización de la vía continua (riel soldado), obteniéndose altas velocidades de los trenes, mayor confort para los pasajeros, etc.

Otra ventaja que ofrece este tipo de durmientes, es el incremento en su peso, pues con esto aumenta su resistencia al desplazamiento.

Asimismo, permite un aprovechamiento mejor de los recursos forestales, una gran disminución de los costos de conservación, una mayor duración del riel, disminución en las posibilidades de descarrilamiento, un aumento estable en las velocidades de operación y una disminución de los costos de conservación del equipo ferroviario.

Estas ventajas son más amplias sobre los durmientes de madera que sobre los de acero; las de estos últimos se tratarán en el capítulo siguiente.

Las desventajas de los durmientes de concreto son: su peso, ya que para su manejo esto dificulta las maniobras; y su costo relativamente alto, ante los de madera.

En conclusión, los durmientes de concreto satisfacen ventajosamente los requisitos que se imponen a cualquier tipo de durmiente.

3. CLASIFICACION

Considerando que el concreto posee propiedades que lo hacen un material conveniente para la elaboración de durmientes, como son: resistente al fuego, casi inalterable bajo cualquier condición atmosférica, durable y capaz de tomar cualquier forma que quiera dársele, además, tomando en cuenta el hecho de que el concreto presenta una resistencia muy baja a la tensión, se han fabricado y ensayado distintos tipos de durmientes de concreto. Fig. III-1. Para su estudio los agruparemos de la siguiente manera: durmientes monolíticos tipo viga, durmientes de dos bloques, durmientes longitudinales tipo placa y durmientes tipo placa (transversales).

a) El durmiente monolítico tipo viga presenta tres variantes: 1) viga prismática continua en toda su longitud que necesita de un surco en el balasto, para no aumentar excesivamente la reacción del subsuelo y con ello el momento negativo. Esto no es fácil de lograr y se ha recurrido al artificio de hacer la viga en forma de puente, lo que da como resultado la variante 2). La variante 3) presenta una reducción en el centro del durmiente, en su espesor; se le llama durmiente elástico. Estos dos últimos tipos tienen el gran inconveniente de que obligan a llevar el refuerzo en una determinada posición central de la sección transversal, y con ello se aumenta la excentricidad del esfuerzo, y, por consiguiente, el reparto de los efectos del pretensado resulta defectuoso. Fig. III-1a.

b) Los durmientes de dos bloques de concreto armado, unidos éstos por un perfil de acero, tienen la ventaja de estar prácticamente libres de reacción del apoyo en la parte central, pero tienen el gran inconveniente de poseer una muy baja resistencia al choque de una rueda descarrilada. Fig. III-1b.

Como una variante de este tipo de durmientes, existe un durmiente articulado, fabricado en Bélgica, denominado Franki-Bagon, el cual está constituido por tres piezas: dos bloques de concreto simplemente armado, en los extremos, y una pieza de concreto simple, en el centro; 2) de la misma figura. Las tres piezas se unen por medio de una varilla a la cual se le aplica tensión en los extremos. Entre los bloques extremos y el central se colocan unos insertos elásticos que le dan flexibilidad al elemento. Experimentalmente se ha observado que su desventaja es la debilidad, debida a su misma estructuración.

c) Los durmientes longitudinales tipo placa, están compuestos, como su nombre lo indica, por una loseta rectangular colocada longitudinalmente a la vía. Estos durmientes presentan el inconveniente de requerir vigas transversales de contraventeo para mantener el escantillón, con la consiguiente dificultad que ocasiona un elemento más de sección. Además, los contraventeos tienen también el problema de ofrecer una resistencia casi nula a los impactos por descarrilamiento. Fig. III-1c.

d) Los durmientes transversales tipo placa son semejantes a los anteriores, con la diferencia de que las placas se colocan transversalmente a la vía. Desde el punto de vista económico, resultan casi inaceptables, ya que prácticamente se cubre toda la vía. Debido a su gran área de apoyo, poseen un gran rozamiento con éste, siendo necesario emplear una cama de arena, cosa que resulta muy costosa. Como ventaja, presentan una gran eficiencia ante los descarrilamientos, al encontrar la rueda descarrilada una superficie casi lisa que le permite seguir rodando sin producir efectos dinámicos excesivos. Fig. III-1d.

Por las grandes ventajas que han tenido en todo el mundo, tanto en el aspecto técnico como en el económico, los durmientes tipo viga y tipo mixto, en lo que sigue de este capítulo

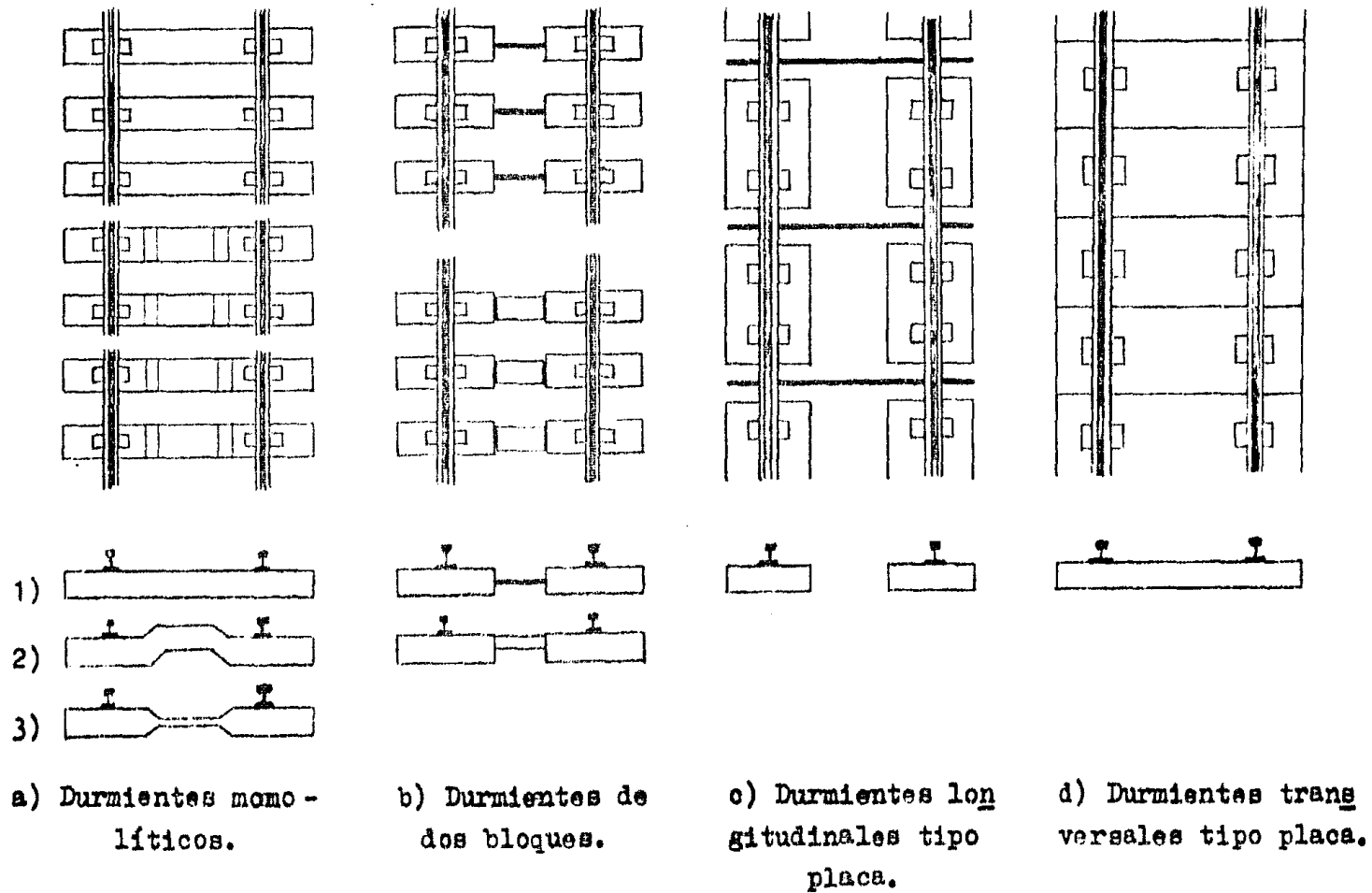


Fig. III-1. Distintas alternativas de durmientes de concreto.

hablaremos únicamente de los principales diseños pertenecientes a estos dos grupos. Los demás, por sus inconvenientes y desventajas, tanto técnicas como económicas, han caído en desuso. Sin embargo, grandes fueron las aportaciones que brindaron para llegar a encontrar mejores y mayores soluciones a este respecto.

4. DURMIENTES DE CONCRETO PREESFORZADO TIPO VIGA

El intento de aplicar el concreto reforzado a la fabricación de durmientes, data desde la aparición de aquél como material estructural, que se remota a finales del siglo XIX. Sin embargo, para lograr perfeccionar el diseño de durmientes de concreto preesforzado, fueron necesarios muchos años de experiencia e incontables fracasos.

Durante los años de experimentación, al fabricar un durmiente de concreto precomprimido que satisficiera los requisitos técnicos que el tráfico ferroviario impone, no fue particularmente difícil, sino que la mayor parte de las dificultades fueron debidas a la necesidad para llegar a obtener la forma adecuada y las dimensiones mínimas convenientes de los mismos, para hacerlos capaces de absorber los diversos esfuerzos a que van a estar sometidos; así también, a la necesidad de proveer medios adecuados de sujeción de los rieles a los durmientes, de tal forma de proporcionar absoluta seguridad y eficiencia.

La aplicación de los últimos adelantos de la moderna técnica del concreto preesforzado, permitió resolver la gran mayoría de las dificultades mencionadas; haciendo posible reducir convenientemente las dimensiones del durmiente y las cantidades

de acero de refuerzo necesarios, y dando como resultado un durmiente que reúne, en gran parte, las cualidades deseables para estos elementos estructurales de las vías férreas.

Precisamente porque el concreto es un material que puede dársele la forma que uno desee, se han desarrollado una gran variedad de tipos de durmientes de concreto en diversos países durante los últimos años. Es importante señalar que los primeros durmientes de concreto preesforzado se diseñaron para reemplazar a los de madera en el mismo espacio.

Desde el punto de vista del método constructivo, los durmientes de concreto preesforzado pueden ser de dos tipos: pretensados y postensados.

En los pretensados, el preesfuerzo se tensa sobre el molde, esperando a que el concreto endurezca en el mismo molde para transmitirle la tensión.

En los postensados, el preesfuerzo se coloca y se tensa una vez que ya ha endurecido el concreto fuera del molde.

Independientemente del proceso constructivo que se aplique, los durmientes de concreto monobloques deben reunir las siguientes características, (además de las generales que se mencionan para todos):

- Contar con suficiente masa.
- Estar armados en tal forma que soporten los esfuerzos que les impongan las condiciones normales de trabajo.
- Impedir la formación de fisuras y grietas que acorten la vida del acero de refuerzo por oxidación y corrosión del mismo.
- Presentar mayor adherencia entre el concreto y el acero de preesfuerzo.
- Estar fabricados con concretos que tengan una alta resistencia.

- Disponer de la mayor área posible de apoyo.

A continuación se da una clasificación y breve descripción de los durmientes que mayor trascendencia han tenido en su uso y, por consecuencia, han cumplido con las características mencionadas anteriormente.

4.1. Durmientes de Concreto Pretensado.

DURMIENTE AAR-TIPO E. Estos durmientes comenzaron a usarse y a probarse en 1957 por investigadores de la A.A.R. Se desarrollaron tres diseños llamados A, B y C, usando el criterio general de la resistencia de un durmiente de pino. Ya que, según experimentos, se requiere un momento de aproximadamente 4.6 Ton.-m. para romper un durmiente de madera de este tipo apoyado en el centro, y un momento debajo de los rieles de más o menos 1.2 Ton.-m. Es oportuno mencionar que estos criterios sirvieron de mucho para subsecuentes diseños, no solamente en los E.E. U.U., sino en muchos otros países que buscan llegar a determinar o a perfeccionar un diseño de durmiente determinado.

El durmiente del diseño A era en forma rectangular, y empleó los dos criterios anteriores. Los durmientes B y C usaron solamente el segundo criterio, ya que la condición de apoyo central es suavizada por la forma triangular de la sección media.

Varios durmientes de los tres diseños anteriores se sometieron a pruebas de laboratorio, resultando satisfactorios los ensayos bajo cargas tanto estáticas como dinámicas; encontrándose que la sección media de forma triangular resultaba ser bastante conveniente.

Con estos experimentos también se encontró que un durmiente de 30 cm. de ancho, podría espaciarse 76 cm. centro a centro,

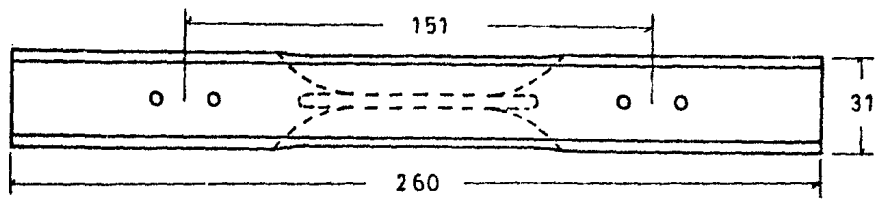
con sólo un aumento del 10% en los esfuerzos del riel y sin incremento de la presión en el balasto bajo el durmiente. Esto condujo a la fabricación de nuevos durmientes de concreto que se llamaron D y E, los cuales se comenzaron a usar a partir de 1959. Estos elementos tienen 30 cm. de ancho de base; se diseñaron para resistir un aumento considerable en el momento flexionante en el eje del riel.

Estos durmientes se sometieron también a las mismas pruebas que los anteriores, pero además fueron encaminados para determinar si el diseño de forma triangular empujaría lateralmente al balasto, de manera de evitar que se produjera una condición de apoyo central. Las pruebas indicaron que este diseño evita un apoyo central del durmiente, aunque el fondo de 30 cm. presente algún apoyo de este tipo. Además, estos ensayos permitieron que el durmiente tipo E se diseñara para un momento estático de agrietamiento de 1.7 Ton.-m. bajo el riel, y para resistir 2.3 Ton.-m. de momento flexionante para 2 000 000 de ciclos de carga.

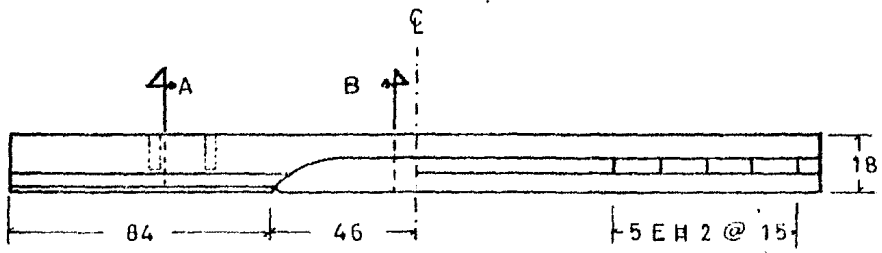
El durmiente tipo E es pretensado con 4 cables de 1.1 cm. de diámetro (7/16"). La fuerza inicial de pretensión es de 37 Ton., después de las pérdidas se estima que la fuerza es de 31.6 Ton. Sus características especiales son:

- Forma cóncava del fondo del durmiente bajo el riel, para ayudar a detener el balasto bajo el mismo.
- Sección del durmiente en forma triangular hacia el centro, para reducir el apoyo del durmiente sobre el balasto, evitando su apoyo central.
- El peso del durmiente es de más o menos 220 Kg., lo que brinda mayor estabilidad lateral al riel.

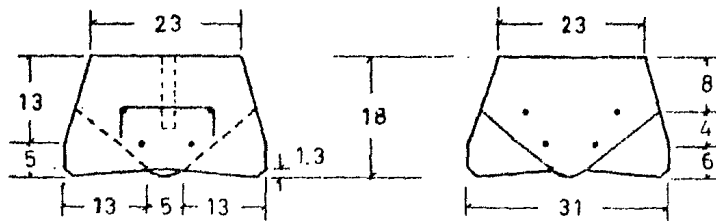
Las dimensiones completas se pueden observar en la fig. III-2.



PLANTA



ELEVACION



SECCION A

SECCION B

Acot. en cm.

Fig. III-2. DURMIENTE AAR-TIPO E.

DURMIENTE GERWICK. Este tipo de durmiente fue instalado por primera vez en el año de 1960, en San Francisco, Calif. Deben su nombre a su diseñador Ben C. Gerwick.

El diseño de este durmiente está considerado para un momento flexionante de 1.5 Ton.-m. y para un momento de agrietamiento de 2.2 Ton.-m., bajo el riel., asimismo, para un momento de flexión de 1.3 Ton.-m. en el centro de la pieza.

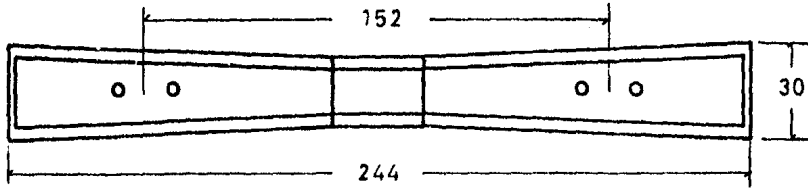
Este durmiente es pretensado con 8 cables de 0.95 cm. de diámetro (3/8"). La fuerza inicial de pretensado es de 50.8 Ton. con una fuerza final, después de las pérdidas, de 40.6 Ton. Los cables de acero de refuerzo transversal del No. 2, se colocan a 15 cm. aproximadamente, centro a centro, cerca de los extremos. El peso es de aproximadamente 250 Kg. Fig. III-3.

DURMIENTE DOW-MAC. Para este tipo de durmientes, el preesfuerzo se logra a través de 20 alambres de 0.5 cm. de diámetro los cuales soportan una fuerza final de 44 Ton. Están diseñados para soportar una carga por eje de 28.5 Ton., aproximadamente. Su peso es de cerca de 250 Kg. Fig. III-4.

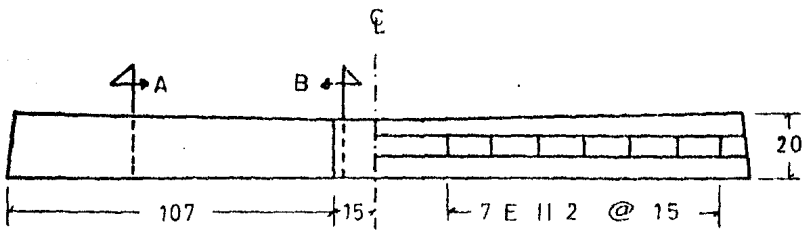
Al igual que la mayoría de los durmientes ingleses, este tiene el gran inconveniente de llevar mucho acero de refuerzo, lo que incrementa demasiado su costo.

DURMIENTES JNR-RTRI No. 3, TIPO 5. En el Japón, los durmientes de concreto se venían usando desde 1925, interrumpiéndose su uso por la Segunda Guerra Mundial.

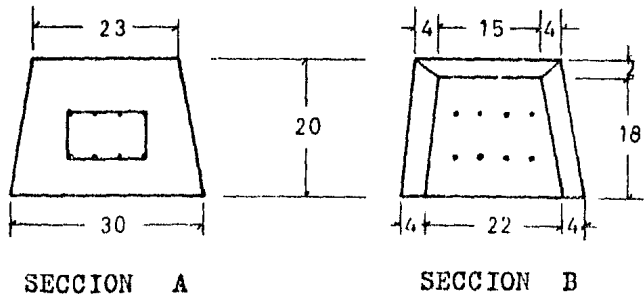
Se han venido ensayando, en este país, diferentes tipos de durmientes de concreto, hasta llegar al de concreto pretensado, ahora usado por los Ferrocarriles Nacionales del Japón (JNR), que son los del tipo 5, perfeccionados por el Railway Technical Research Institute (RTRI). Estos durmientes son delgados



PLANTA



ELEVACION

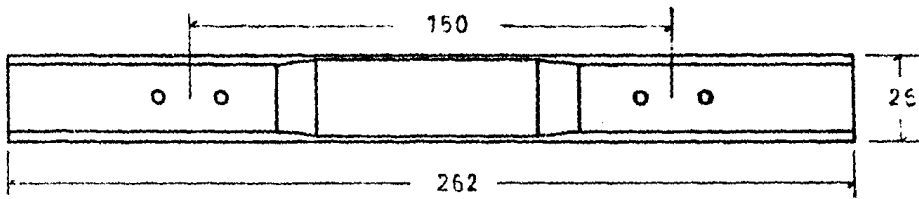


SECCION A

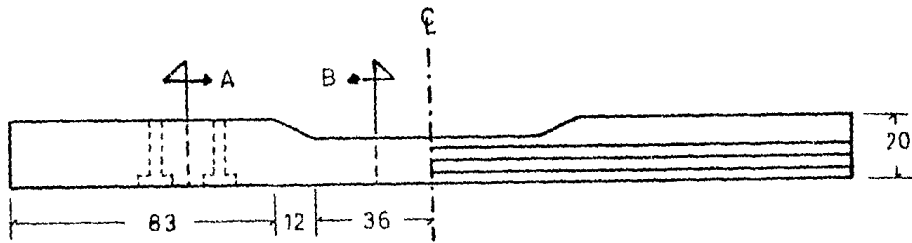
SECCION B

Acot. en cm.

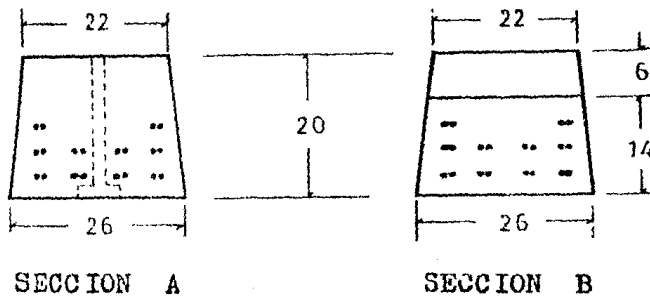
Fig. III3. DURMIENTE GERWICK.



PLANEA



ELEVACION

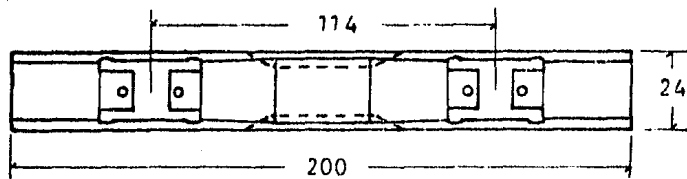


SECCION A

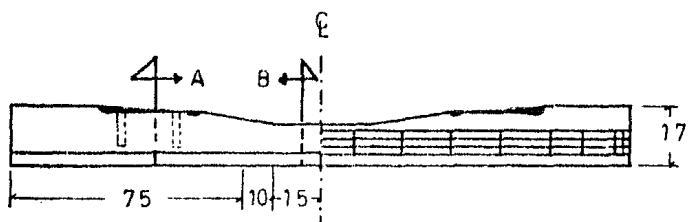
SECCION B

Acot. en cm.

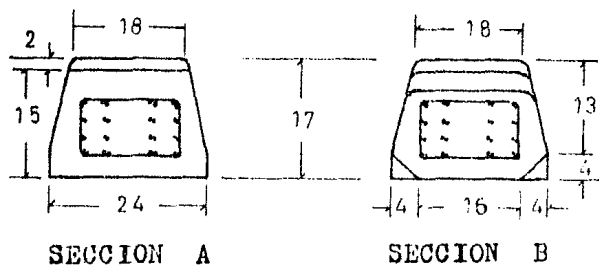
Fig. III-4. DURMIENTE DOW-MAC.



PLANTA



ELEVACION



SECCION A

SECCION B

Acot. en cm.

Fig. III-5. DURMIENTE JNR-RTRI NO. 3, TIPO 5.

en la sección intermedia, de forma trapezoidal y con fondo plano. Son pretensados con 16 cables de 2 alambres. Su peso es de aproximadamente 143 Kg. Más detalles de este elemento se muestran en la fig. III-5.

Cabe mencionarse que la mayoría de los distintos tipos de durmientes poseen una ligera inclinación en el área de contacto con el riel dirigida hacia el centro de la vía, con una relación de 40 : 1. Esto con el fin de ayudar a dichos elementos, y a los dispositivos de sujeción, a resistir mejor los fuertes esfuerzos transversales producidos por las cejas de las ruedas.

4.2. Durmientes de Concreto Postensado

Dentro de los durmientes de concreto que se fabrican mediante el procedimiento de postensado, y de todos los preesforzados, los durmientes alemanes B-58, fabricados por la potente DYWIDAG, destacan por su gran aceptación en casi todo el mundo. Por esto y por ser los que actualmente se emplean en nuestro país, dentro de los monolíticos, merecen una explicación más detallada.

a) Antecedentes.

Aunque ya desde 1920 Alemania fabricaba y ensayaba durmientes de concreto tipo viga, fue hasta después de la Segunda Guerra Mundial cuando inicia en grandes proporciones la producción y experimentación de los mismos, por las razones ya mencionadas en páginas anteriores.

El afán de perfeccionar este tipo de durmientes fue tan grande en aquel país, que tan solo de 1949 a 1953 se probaron cerca de 3 000 000 de piezas de varias formas y diseños. Todos estos elementos se sometieron a las más severas pruebas de resistencia, llegando, incluso, a observar su comportamiento bajo los descarrilamientos de los trenes. Estas pruebas permitieron a los ingenieros ferroviarios alemanes llegar a las siguientes conclusiones:

1.- Distintos tipos de durmientes que son equivalentes entre sí, en lo que se refiere a sus resistencias a los momentos flexionantes, varían gradualmente respecto a su comportamiento bajo efectos de impacto.

2.- Los durmientes que tienen una porción central demasiado delgada, están sujetos a daños severos.

3.- Los durmientes que tienen dos elementos de preesfuerzo en una posición, tienen menos resistencia que aquellos que tienen cuatro, colocados en las zonas cercanas a las esquinas de la sección transversal.

4.- Las barras gruesas con corrugaciones presentan una tendencia a que se desportillen las aristas; y los alambres delgados de alta resistencia y fuertemente adheridos al concreto, tienden a cortarlo y, por lo tanto, destruyen al durmiente.

5.- La máxima resistencia a los daños por descarrilamientos se obtiene si la fuerza de precompresión se ancla en ambos extremos del durmiente, y si la adherencia entre el acero y el concreto no es demasiado rígida.

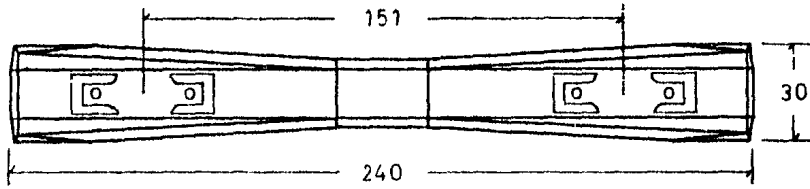
Tomando en cuenta estos resultados y, además, debido a que entre los años de 1954 y 1955 los ferrocarriles alemanes sufrieron una serie de descarrilamientos que dañaron seriamente las vías, las empresas ferroviarias de aquel país se vieron obligadas a mejorar sus durmientes en lo que toca a su mayor resistencia a los impactos por descarrilamientos. Fue así como, aprovechando la experiencia ganada con los anteriores diseños, se llegó a diseñar el durmiente B-58, precisamente en 1958.

b) Características.

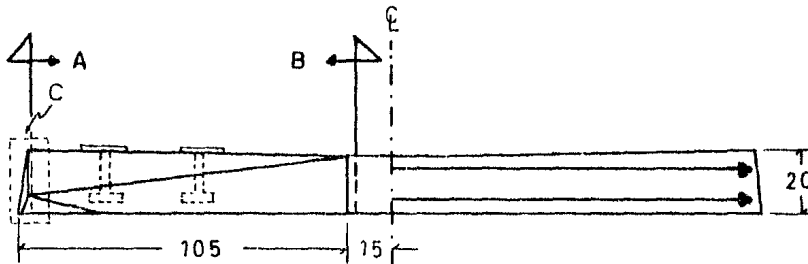
El diseño de los durmientes de concreto Dywidag B-58 es altamente perfeccionado, cumpliendo con las más rígidas especificaciones, entre las que destacan: una mayor capacidad de carga, mayor resistencia a los impactos causados por las ruedas de los vehículos descarrilados y una mayor resistencia al desplazamiento, tanto longitudinal como transversal.

Estos durmientes cumplen tales requisitos teniendo una posición central ligeramente reducida transversalmente, extremos

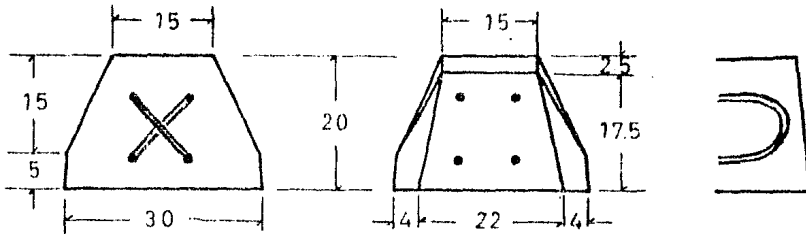
gradualmente divergentes, mayores áreas de apoyo, áreas extremas y laterales suficientemente grandes. Poseen cuatro elementos de preesfuerzo con adherencia del concreto, localizados cerca de las esquinas del mismo, compuestos por dos barras de acero liso de alta resistencia de 0.97 cm. de diámetro, las cuales forman dos horquillas cuyas partes curvas se cruzan perpendicularmente en uno de los extremos del durmiente, y cuyos cuatro extremos libres reciben los esfuerzos del postensado y los transmiten al concreto a través de cuatro cuerpos de anclaje (de forma de campana o disco), y de otras tantas tuercas especiales ranuradas. Su peso es de aproximadamente 240 Kg. Figura III-6.



PLANTA



ELEVACION



SECCION A

SECCION B

Detalle C

Acot. en cm.

Fig. III-6. DURMIENTE DYWIDAG B-58.

c) Diseño.

El durmiente está sometido, como ya vimos en el Capítulo II, a una serie de esfuerzos tanto verticales como horizontales. Y a estos efectos, el problema del durmiente de concreto es el mismo que el de cualquier otro tipo.

Para diseñar el durmiente B-58 se han considerado dos condiciones de apoyo que, según investigaciones realizadas por los alemanes, son las más desfavorables, y, por lo tanto, envuelven todas las demás condiciones de apoyo. En la fig. III-7, en la parte superior se observan estas dos formas de apoyo. En el caso "A" se muestra la forma de apoyo a lo largo del durmiente, de manera idealizada, correspondiente a la variación máxima tolerada en el propio lecho; el caso "B" representa la condición de apoyo en los extremos únicamente, correspondiente a las condiciones ideales de apoyo, semejantes a las mostradas en la fig. II-1.

De esta manera, los momentos flexionantes que bajo estas condiciones se presentan, abarcan también todas las demás condiciones de carga. Así se tiene que de acuerdo al caso "A", el esfuerzo máximo ocurre en la cara superior del durmiente, en su parte media; y según el caso "B", el esfuerzo máximo se produce en la cara inferior del mismo. De aquí que uno de los principales objetivos para llegar a obtener el diseño del durmiente Dywidag, consista en calcular los momentos flexionantes correspondientes a estas condiciones de apoyo. No obstante, en la mayoría de los casos basta con considerar el momento producido bajo la condición de apoyo del caso "A", ya que el problema de su absorción es determinante en tal diseño.

Para calcular los momentos susodichos, las especificaciones alemanas consideran los factores que afectan tanto la magnitud como la distribución de los mismos, como son: la carga que el riel transmite, la magnitud del durmiente, el ancho del mismo

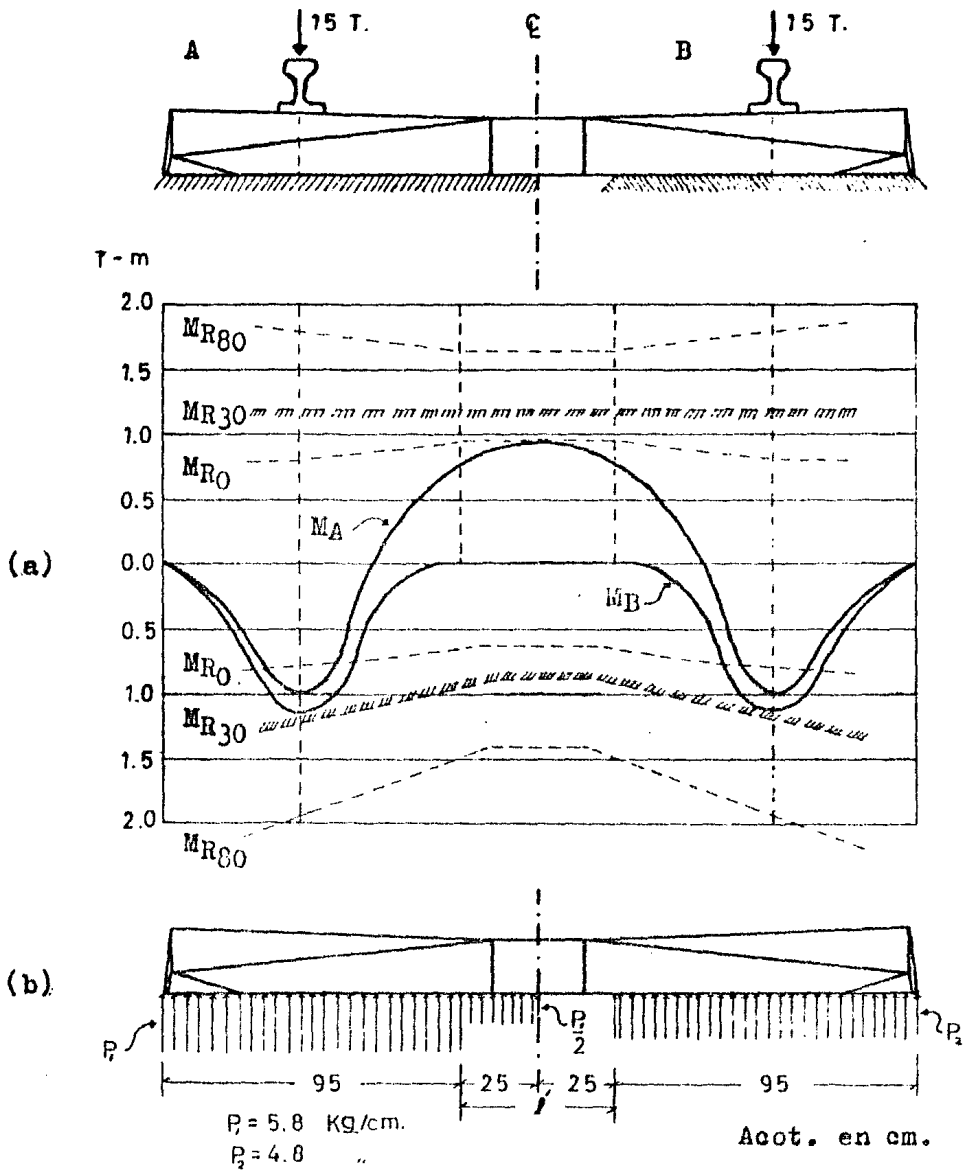


Fig. III-7. Comparación de momentos flexionantes actuantes (M_A y M_B) y momentos resistentes (M_R), en los durmientes Dywidag B-58 (a), y presiones ejercidas por los mismos (b).

cuando no es constante en toda su longitud, el claro central (I) en donde no existe pleno contacto con el balasto (caso "B", fig III-7), y la flexibilidad tanto del durmiente como del balasto.

Una vez obtenidos los momentos flexionantes de acuerdo a las distintas formas de carga de los durmientes, éstos se deben comparar con los resultados que se obtengan con la capacidad de carga de los mismos.

La capacidad de carga del durmiente Dywidag B-58 se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$M_R = S(\sigma_c + \sigma_{bz}) \quad (\text{III-1})$$

donde M_R es el momento resistente de aporte, definido como la máxima fluctuación en los momentos flexionantes que no producen grieta alguna; S es el módulo de sección del durmiente; σ_c representa el esfuerzo inicial en el concreto preesforzado; σ_{bz} representa la resistencia a la flexión del concreto.

En la fig. III-7 se presenta una comparación entre momentos actuantes (M_A y M_B) y momentos resistentes para durmientes Dywidag B-58. Para los momentos resistentes se consideran tres casos distintos: un valor "decisivo" M_{R30} (con $\sigma_{bz} = 30 \text{ Kg./cm}^2$) que es el que se considera cuando se le compara con las cargas usuales correspondientes en condiciones "standard"; un valor máximo M_{R80} (con $\sigma_{bz} = 80 \text{ Kg./cm}^2$), que se considera para cargas máximas que casi nunca o nunca se presentan; y un valor máximo de M_{R0} , que se considera en el caso de los durmientes agrietados, es decir, cuando $\sigma_{bz} = 0$.

Las resistencias que deben soportar estos durmientes son: una carga por riel de 15 Ton. y un momento flexionante de 1.2 Ton.-m., tanto en la sección central del durmiente (cara superior-negativo), como en el asiento del riel (cara inferior-positivo).

La fig. III-7 muestra también que las condiciones de carga planteadas anteriormente, las satisfacen con facilidad los durmientes Dywidag, y no sólo eso, sino que se observa que les queda una considerable reserva. También puede verse que esto se cumple para una longitud de apoyo en cada mitad del durmiente de 95 cm., a partir del extremo; y la presión en el centro, para el caso "A", debe ser solamente la mitad de la que ocurre en cada lado. Por lo tanto, el durmiente prácticamente puede apoyarse en toda su longitud, especialmente considerando que la resistencia del concreto a la tensión por flexión debe ser como mínimo de 65 Kg./cm.², a los 7 días de edad.

De acuerdo a lo anterior, la presión máxima transmitida por los durmientes al balasto, bajo la carga máxima de 15 Ton., es:

$$P_{\text{máx.}} = \frac{W}{A} = \frac{15\,000}{2594} = 5.8 \text{ Kg./cm.}^2$$

Sin embargo, la presión real es menor ya que la carga actuante es, según la fig. II-4, el 53% de la carga que transmite una rueda, para una separación usual de 65 cm. centro a centro de durmientes. De aquí que la presión media, considerando un factor de impacto de 1.7, correspondiente a una velocidad de 150 Km./hr. (según Talbot, ecuación II-1), vale:

$$P_{mod.} = \frac{0.53 W}{A} 1.7 = \frac{0.53(15\ 000)}{2594} 1.7 = 5.2 \text{ Kg./cm}^2$$

Como puede observarse, la presión para la que está diseñado el durmiente Dywidag B-58 supera a la presión media de servicio. Asimismo, dicha presión es menor a la recomendada por la A.A.R., que es de 4.6 Kg./cm² para durmientes de concreto. Además, las presiones antes obtenidas corresponden a separaciones de durmientes usuales en países europeos principalmente, sin embargo, en México la separación de durmientes, centro a centro, es de 60 cm., lo cual indica que la presión media es menor a la obtenida anteriormente, puesto que la distribución de la carga no es la misma, correspondiendo, para nuestro caso, según la fig. II-4, el 51% de la carga sobre el durmiente. Por lo tanto, la presión actuante, considerando el mismo coeficiente por impacto, será:

$$P_{act.} = \frac{0.51 W}{A} 1.7 = \frac{0.51(15\ 000)}{2594} 1.7 = 5 \text{ Kg./cm}^2$$

En conclusión, se puede decir que este tipo de durmientes cumple adecuadamente la presión para la que ha sido diseñado, ya que la presión máxima que puede resistir prácticamente nunca se presentará, esto es, muy difícilmente se da el caso de que un sólo durmiente soporte toda la carga que transmite un eje de una locomotora, la cual se le ha estimado un peso medio de 120 Ton., con 4 ejes; las locomotoras modernas rebasan en mucho a las anteriores, empero, el número de ejes es también mayor, por lo tanto, la carga por eje es menor.

Por otra parte, cuando se estudia un nuevo tipo de durmiente, generalmente existe la tendencia de darle una superficie de soporte reducida en el centro y concentrar la carga directa

mente bajo el riel. De este modo, el momento flector es menor y el durmiente resulta más ligero y de menor costo. Si el balasto está hecho de piedra basáltica triturada, puede resistir fácilmente las fuertes presiones, pero el problema está, entonces, en la transmisión de éstas del balasto al subsuelo. Si el subsuelo es apropiado (si está bien compactado y que no contenga material cohesivo, y que el nivel freático se localice por lo menos a un metro de profundidad de la superficie del terreno), aún en épocas de lluvias puede resistir tales presiones sin deformarse; pero si éste es malo (desde el punto de vista de la Mecánica de Suelos), puede reblandecerse en dichas épocas y afectar el acomodo del balasto y, por tanto, su resistencia.

Tomando en cuenta todo esto, el área de apoyo del durmiente está diseñada considerando un subsuelo de clase intermedia, por ser este tipo de subsuelo el más común en las vías férreas.

La experiencia de los ferrocarriles alemanes, lograda a través del empleo de muchos millones de durmientes de concreto .. preesforzado, a lo largo de muchos años, ha demostrado que la superficie de apoyo de los durmientes Dywidag B-58 es la más conveniente; siendo ésta mayor que la superior, las presiones que le transmiten los rieles las distribuye de la manera más eficaz. Se ha observado, además, que su forma trapezoidal produce un efecto muy favorable en relación con el momento negativo en el centro del durmiente.

d) Proceso de Fabricación.

Los durmientes de concreto Dywidag B-58 están fabricados bajo las más estrictas normas de control de calidad, tanto de los materiales como del procedimiento mismo de fabricación. Además, son sometidos, después de su elaboración, a una serie de pruebas de laboratorio, las cuales deben cumplirse rigurosamente, de lo contrario, la producción diaria de la cual fueron obtenidos los especímenes para ser ensayados, deberá ser rechazada. El procedimiento de fabricación comprende lo siguiente:

MATERIALES. Los elementos constitutivos de los durmientes deben cumplir con las siguientes características:

1.- La calidad del concreto debe corresponder a los siguientes requisitos:

- Relación agua-cemento (A/C) de 0.36.
- Revenimiento cero (0).
- Resistencia a la compresión, en cilindros de 15 cm. de diámetro por 30 cm. de altura, a los 28 días de edad con curado normal, de 520 Kg./cm².
- Resistencia a la compresión, también en cilindros, en el momento de aplicar la precompresión, de 390 Kg./cm².
- Resistencia a la flexotensión, en vigas de 10X15X60 cm. a los 7 días de edad, con curado normal, de 65 Kg./cm².

2.- El cemento utilizado para el concreto deberá corresponder a la clasificación Cemento Portland 375 ó 475, o sea, debe tener resistencias a la compresión en probetas de mortero con relación 1:3, curadas normalmente durante 28 días, de 375 y 475 Kg./cm², respectivamente. El cemento que cumple esta especificación es el tipo III.

3.- Los agregados deberán ser obtenidos por trituración y lavarse previamente a su uso en el concreto.

4.- El acero de preesfuerzo debe poseer las siguientes propiedades:

- Un límite elástico de 14 000 Kg./cm².
- Un límite de ruptura de 16 000 Kg./cm².
- Una elongación de ruptura de 6%.

5.- La resistencia a la compresión y a la flexión de la lechada de cemento empleada para la adherencia del refuerzo con el concreto, a los 7 días de edad, determinada de prismas de 4X4X16 cm., deberá ser de 400 y 65 Kg./cm²., respectivamente.

Todos estos valores deben cumplirse correctamente como mínimos.

FABRICACION. La secuencia del procedimiento de fabricación es el siguiente:

1.- Los agregados se almacenan en silos, separados de acuerdo a su tamaño (G: 1 1/2", 3/4", 5/16"; A: 3/16" - 0), después de haber sido lavados.

2.- El concreto es mezclado pesando los agregados y el cemento en básculas especiales y midiendo el agua perfectamente.

3.- La mezcladora descarga el concreto sobre una banda transportadora que lo lleva a un silo distribuidor, que a su vez alimenta simultáneamente dos moldes colocados sobre una mesa vibratoria.

4.- Los moldes son llenados por capas (3), y son vibrados simultáneamente por la mesa vibradora a 3 000 R. P. M., y por la tapa enrasadora con vibraciones menores.

5.- Una vez alcanzada por la vibración la compactación deseada, los durmientes se desmoldan inmediatamente por medio de

mecanismos especiales de los moldes.

6.- Los durmientes son acabados manualmente con cucharas de albañil, consistiendo esto únicamente en retirar el excedente de mortero.

7.- Los durmientes se colocan en pilas de 40 piezas (5 capas de 8), las que se cubren con tiendas especiales para curar los con vapor de agua a una temperatura comprendida entre 60° y 80° C y con una humedad del 100%, durante 8 hrs.

8.- Una vez endurecidos los durmientes suficientemente, se verifican las cavidades dentro de los mismos, y se desechan los que resultan defectuosos.

9.- Después de la etapa anterior, se insertan las horquillas de refuerzo en las cavidades especialmente preparadas, y se fijan las tuercas con una herramienta eléctrica.

10.- A continuación, en esta etapa, se aplica el preesfuerzo con un gato especial que tensa las cuatro varillas al mismo tiempo; la fuerza de precompresión es de 8 Ton. por cada extremo, es decir, 32 Ton. en total, quedando de 30 Ton. después de disiparse las pérdidas.

11.- Durante esta etapa se inyecta lechada de cemento simultáneamente en las cuatro cavidades que alojan a las barras de refuerzo, sellando al mismo tiempo las oquedades de los extremos de los durmientes.

12.- Esta etapa consiste de la aplicación de pintura asfáltica en ambas cabezas del durmiente, para evitar la oxidación del acero causada por el agua.

13.- Como etapa final tenemos la colocación en el durmiente de los elementos de sujeción del riel, y el transporte del mismo al patio de almacenamiento.

Durante la fabricación se verifican, por medio de calibradores y registradores automáticos especiales, las dimensiones exteriores del durmiente; así como los esfuerzos iniciales y finales aplicados a los elementos de refuerzo, para asegurar que la capacidad adecuada ha sido alcanzada.

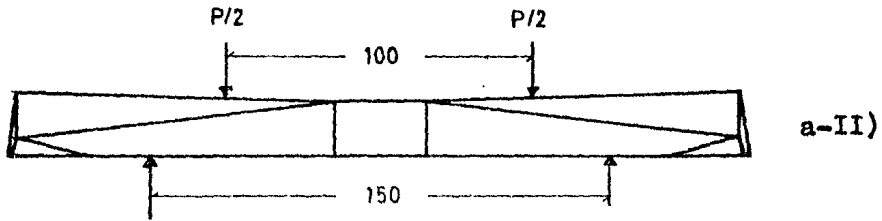
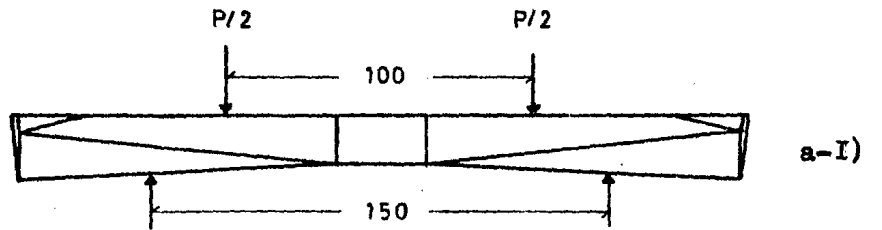
Con el procedimiento que acabamos de describir, el tiempo total empleado en la manufactura de un durmiente, es de una hora y media a dos horas, excluyendo, por supuesto, el tiempo de curado y de reposo.

Por otro lado, este procedimiento, de postensado, permite que con tan sólo seis moldes se obtenga una producción, por jornada de ocho horas, de 320 durmientes, lo cual produce un gran ahorro, tanto económico como en tiempo.

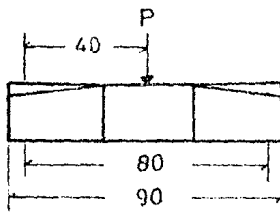
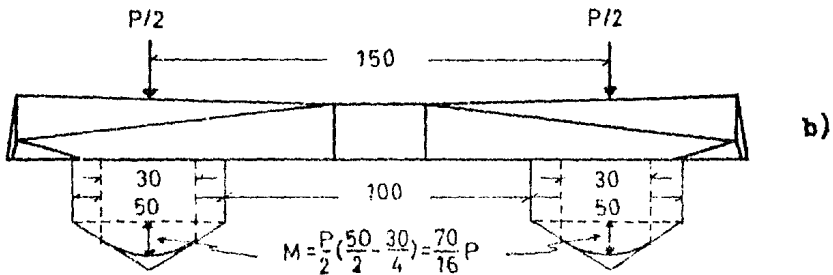
PRUEBAS SOBRE LOS DURMIENTES. Los durmientes de concreto Dywidag son sometidos a las siguientes pruebas sistemáticas de laboratorio, para verificar las resistencias permisibles de diseño:

1.- Prueba del durmiente bajo carga estática. El durmiente es apoyado en dos soportes separados 1.50 m., y sometido a una carga estática. El arreglo de la prueba para verificar el momento flexionante permisible en la cara superior y en la inferior, en la parte central del durmiente, y en el asiento del riel en la base del mismo, es mostrado en la fig. III-8.

Al probar el durmiente bajo carga estática, dicha carga es aumentada uniformemente a razón de una tonelada por minuto, hasta alcanzar un valor de un 70% del momento flexionante, el cual, de acuerdo con cálculos y bajo la suposición de que un esfuerzo de tensión por flexión de 70 Kg./cm.² es eficaz, una grieta por flexión debe ocurrir. Subsecuentemente, la carga es incre-



$$M = \frac{P}{2}(25)$$



Acot. en cm.

Fig. III-8. Pruebas para verificar los momentos de flexión permisibles en los durmientes de concreto B-58: a-I) y a-II) en la sección central del durmiente, en las caras superior e inferior, respectivamente; b) en el asiento del riel, cara inferior; y c) en la sección central únicamente.

mentada por etapas de 0.10 Ton.-m., manteniéndola por un período de 10 minutos para observar minuciosamente la formación de las grietas.

Durante esta prueba, se requiere que los siguientes valores sean al menos alcanzados:

Mr (Ton.-m.)			M 0.05		MB	
En el centro del durmiente		En el asiento del riel	En el centro del durmiente		En el asiento del riel	
Parte superior	Parte inferior		Parte superior		Parte inferior	
1.5	1.3	1.7	2.25	2.8	2.3	3.2

donde: Mr corresponde al momento en el cual la primera grieta por flexión ocurre en uno de los lados del durmiente, con una longitud de 15 mm.; M 0,05 corresponde al momento en el cual, siguiendo a la total supresión de la carga, una grieta permanente por flexión ocurre con un ancho de por lo menos 0.05 mm.; y MB es el momento en el cual, debido a la progresiva deflexión del elemento, un incremento más de carga ya no es posible.

2.- Prueba del durmiente bajo carga dinámica. Esta prueba consiste en someter a los durmientes a una carga vibratoria, a 2 000 000 de ciclos y con una frecuencia de 8 1/3 c.p.s. La carga de ensayo es de 14 Ton. (correspondiendo a un momento de 1.75 Ton.-m.). Las grietas resultantes no deben exceder un ancho de 0.05 mm., una vez que la carga ha sido totalmente suspendida.

3.- Prueba de Impacto. Esta prueba consiste de dos pruebas

prácticamente. Ambas pruebas se realizan dejando caer dos veces un mazo de 500 Kg. de peso, desde una altura de 75 cm. Fig. III-9.

En la prueba I, el mazo cae a una distancia de 50 cm. de la sección central del durmiente, sobre éste; y en la prueba II, la caída del mazo se hará a 15 cm. del extremo del mismo. Como resultado de estas pruebas, únicamente deben ser obtenidas pequeñas muescas con ligeras grietas.

Esta prueba es indicativa de los efectos producidos por el impacto de una rueda de un tren descarrilado.

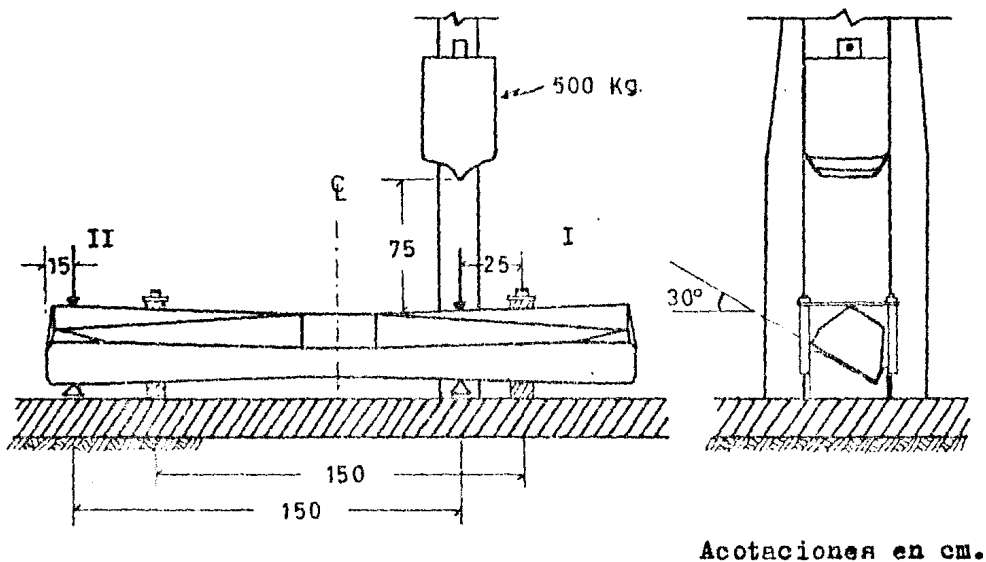


Fig. III-9.

Prueba de Impacto en durmientes de concreto
Dywidag B-58.

4.- Prueba de resistencia a la flexión. De la producción diaria se toma un durmiente para efectuar esta prueba. El durmiente se apoya como una viga, en dos soportes separados 1.50 m. y es sujeto a una carga hasta que una grieta ocurra en la cara superior de la parte central del elemento.

El arreglo para efectuar esta prueba es similar al de la prueba anterior, con la diferencia de que en esta la carga es estática y se aplica en el centro del claro de la pieza.

El durmiente B-58 debe estar exento de grietas para un valor de la carga igual a 4.80 Ton., correspondiendo a un momento de 1.60 Ton.-m.

5.- Prueba de desgaste en el área de apoyo del riel. Para determinar la resistencia del concreto a la abrasión, el durmiente es sometido a una carga de fatiga en su superficie de apoyo, en una máquina de pruebas vibratoria rotacional, llamada Vibrogir. Para esto, el durmiente es embebido hasta las dos terceras partes del peralte promedio en una cama de balasto de 45 cm. de espesor, compuesta de piedra triturada de 30 a 45 mm. de tamaño, la cual debe tener una densidad lo más alto posible. Después de 50 horas de operación de la máquina rotacional, la pérdida de peso debida al desgaste no debe exceder de un 2%, comparado con el peso original del durmiente.

Esta prueba representa los deterioros mecánicos que el durmiente sufre en las condiciones normales de servicio.

6.- Prueba de resistencia al aislamiento eléctrico. Estos durmientes deben tener una resistencia eléctrica constante de por lo menos 10 Kilo-Ohms, medida entre los tornillos o tuercas interiores de la fijación, y aproximadamente 6 horas después de terminado el curado. Los durmientes en cuestión reúnen, por lo general, tal resistencia.

5. DURMIENTES DE CONCRETO TIPO VIGA

En páginas anteriores vimos que uno de los efectos más desfavorables sobre los durmientes, es el causado por un momento negativo que se produce en el centro de los mismos, y que para resolver este problema, existen dos alternativas básicamente: una consiste en absorber tal momento y la otra en evitarlo.

Los durmientes tipo viga se inclinan por la primera de las dos alternativas, como ya se estudió, mientras que los durmientes tipo mixto se diseñan bajo la segunda de las mismas.

Dentro de la clasificación de los durmientes mixtos, actualmente se consideran dos clases: preesforzados y de armado convencional.

5.1. Durmientes Preesforzados.

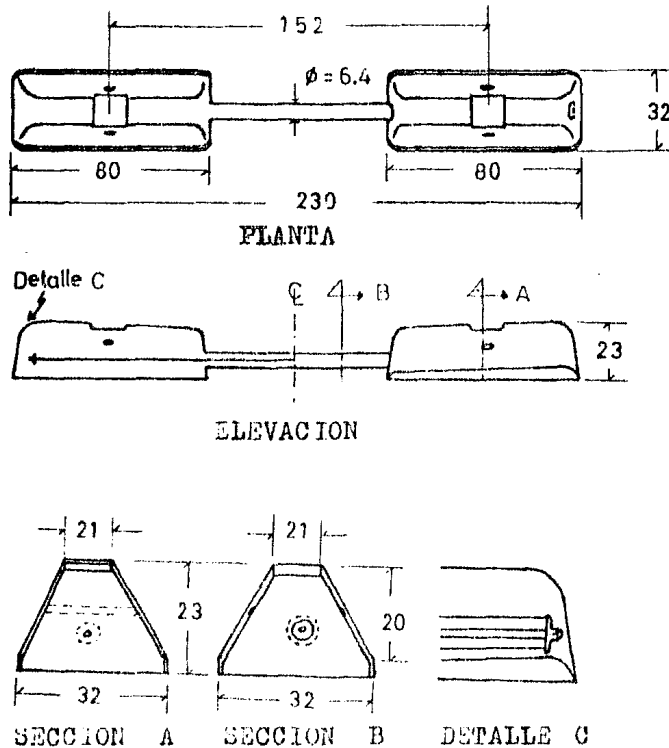
Los durmientes preesforzados encuentran su representación en el durmiente sueco "Fist-101", el cual consiste de dos bloques de concreto, unidos por un tubo de acero que aloja una varilla pretensada; fig. III-10.

Este durmiente es el resultado de la combinación de las experiencias francesa y alemana, en los tipos mixtos y monolíticos, respectivamente; ya que tanto Francia como Alemania ocupan un lugar muy destacado en el diseño de tales durmientes.

Se comenzó a usar a partir de 1951 en Suecia, diseñándose para satisfacer las necesidades impuestas a la vía, las cuales son particularmente críticas por las condiciones tan severas del clima y por la inestabilidad del subsuelo durante cierto tiempo del año. Permite construir la vía elástica y, por lo tanto, proporciona resultados muy aceptados en ese país.

El diseño se basa en una carga por eje de 20 Ton., aproximadamente; siendo la carga vertical 1.2 veces la carga estática. Los esfuerzos máximos en el concreto bajo cualquier condición son de 119.5 Kg./cm² en compresión y de 28 Kg./cm² en tensión.

El preesfuerzo se aplica pretensando la varilla que pasa por el tubo de acero que une a ambos bloques de concreto, anclándola en los extremos exteriores mediante tuercas y arandelas, revistiéndola con asfalto para evitar la corrosión; la precompresión se ejerce desde un extremo del durmiente.



Acot. en cm.

Fig. III-10. Durmiente "Fist-101".

5.2. Durmientes de Armado Convencional.

Dentro de esta clasificación, los durmientes "R.S" ocupan un lugar muy destacado por su gran aceptación en casi todos los países, incluyendo el nuestro.

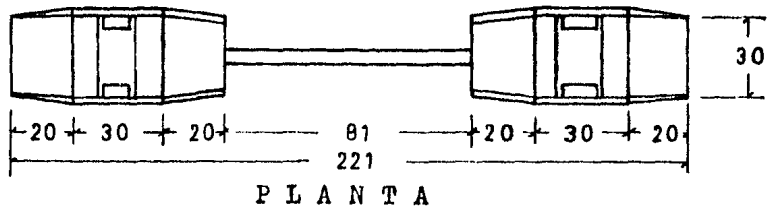
a) Antecedentes.

Desde 1900 los franceses han venido experimentando durmientes de concreto. Las primeras unidades, tanto de los durmientes mixtos como de los monolíticos, con resultados satisfactorios, fueron las diseñadas por el ingeniero Edmond Vagneux en 1914, de los ferrocarriles franceses. Estos durmientes consisten de dos bloques de concreto, sobre los que descansan los rieles, unidos por una barra de acero; fig. III-11.

La forma de la sección de dicha barra era, inicialmente, de forma rectangular, según se puede apreciar en la figura anterior; posteriormente tomó la forma de una "I", con el patín inferior ligeramente mayor que el superior; finalmente, esta sección fue de la forma de una "Y" invertida; fig. III-12a

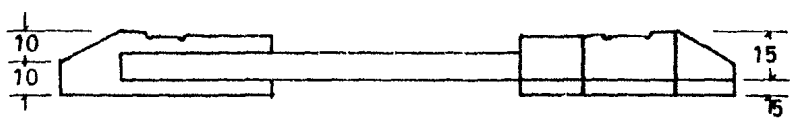
El durmiente tipo Vagneux presentaba un grave inconveniente, consistente en la no perfecta unión entre los dispositivos de sujeción del riel, con la barra de acero. Sin embargo, una prueba de los buenos resultados que con este durmiente se obtuvieron, es la gran cantidad de piezas de este tipo existente en las vías francesas, soportando fuertes cargas producidas por los modernos trenes, sin que registren daños graves en su estructura. Este durmiente fue la base para la construcción de la vía elástica, hoy adoptada por todos o casi todos los países que cuentan con líneas ferroviarias.

Basándose en los resultados y experiencias obtenidos con los durmientes anteriores, y estudiados y superados los inconvenientes que aquéllos presentaban, el ingeniero, también fran

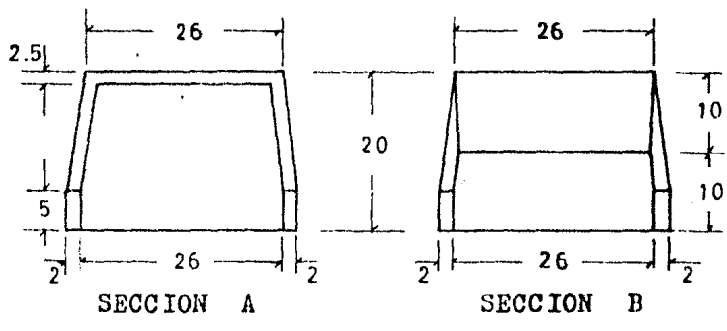


P L A N T A

€



E L E V A C I O N



SECCION A

SECCION B

Acot. en cm.

Fig. III-11. Durmiente tipo Vagneux.

cés, Roger Sonnevile, diseñó un durmiente con amplias ventajas técnicas y económicas que lo colocan entre los de mayor demanda a nivel mundial, siendo, dentro de los de tipo mixto, el más utilizado.

Al durmiente "R.S.", nombre que recibió en honor a su diseñador, se le incorporó la fijación doblemente elástica, dispuesta en el eje del durmiente. Esta fijación está compuesta por una grapa elástica que aprieta al riel mediante un tornillo o perno especial que queda anclado en el tirante metálico; y por una placa de hule, colocada entre el durmiente y el riel. Los dos elementos actúan simultáneamente, amortiguando perfectamente las vibraciones causadas por el paso de los trenes. Estas sujeciones se aprecian en la parte superior del Plano No. 2.

Cabe mencionar que fue en estos durmientes en donde se emplearon por primera vez las sujeciones susodichas.

b) Características.

Al igual que los durmientes tipo Vagneux, los durmientes "R.S." están formados por dos bloques de concreto unidos por un travesaño metálico. Los bloques están armados por dos parrillas de alambroón, una superior y otra inferior, con el fin de que puedan resistir flexión en ambos sentidos. La parrilla inferior contiene más acero, ya que, de acuerdo a lo explicado en los capítulos precedentes, el momento positivo es mayor que el momento negativo bajo el riel. Además de este armado, los bloques tienen un refuerzo en espiral, que les proporciona resistencia a los esfuerzos cortantes; colocado entre ambas parrillas, y soldado a la superior.

Las parrillas superior e inferior están formadas por 4 y 6 barras longitudinales, de 60 y 66 cm. de largo, respectivamente; y por 4 barras transversales de 17.5 y 24 cm. de longitud, también respectivamente. Las barras longitudinales son de 7.94 mm.

de diámetro (5/16"), y las transversales de 6.35 mm. de diámetro (1/4").

Las características del refuerzo antes mencionadas, son para una vía normal de escantillón de 1.435 m., y un riel de 50 Kg./m. (100 lb/yd), la cual se usa en México. Sin embargo, para otro tipo de vía (de mayor escantillón), suele utilizarse alambroón de diámetros, además de los descritos anteriormente, de 3/16" y 3/8" (4.76 y 9.53 mm. respectivamente)

La barra central suele ser de diferentes secciones, siendo las más usadas en los durmientes "R.S.", las de forma de "Y" o "T" invertidas, aunque la primera se utilice también en los durmientes Vagneux; fig. III-12b y c, respectivamente.

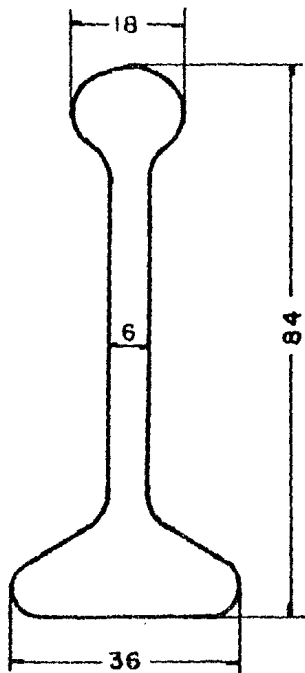
Una variante de la sección de la barra separadora, es la mostrada en la fig. III-12d, la cual se emplea en durmientes mixtos llamados "S.L.", que se diferencian de los "R.S." precisamente por la forma de la sección de dicha barra.

Los durmientes "S.L." han sido probados en nuestro país, con resultados satisfactorios, pero sin llegar a superar a los obtenidos con los "R.S.", aun cuando la patente de fabricación es la misma.

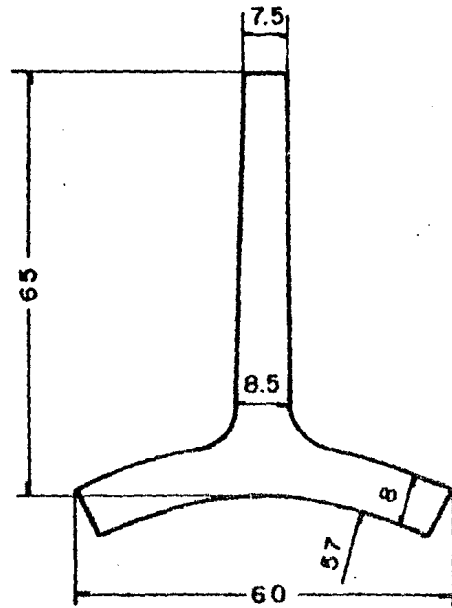
Una de las grandes ventajas que presentan los durmientes de concreto tipo mixto, es que la barra separadora puede ser de diferentes formas, además de que el acero empleado puede ser obtenido de la relaminación de rieles viejos, lo que abate considerablemente su costo de producción. Por otro lado, la resistencia al desplazamiento es mayor que la que ofrecen los de madera o los de concreto monobloques (1.5 a 2 veces mayor).

La función de la barra central es proporcionar un sólido anclaje a los pernos de sujeción del riel y mantener el escantillón de la vía. La forma de "Y" o "T" invertidas se hace con el fin de evitar que el agua se acumule, y ayudar al durmiente a resistir los esfuerzos a que está sometido, porque aunque el

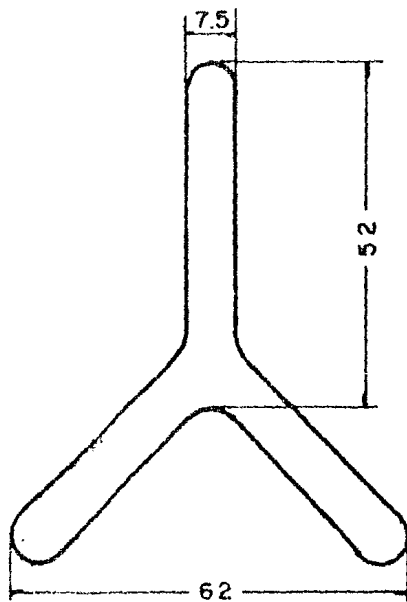
TIPOS DE BARRAS SEPARADORAS PARA DURMIENTES MIXTOS



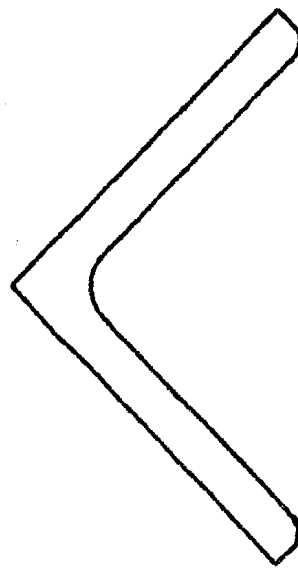
Para durmientes Vagneux



Para durmientes RS



Para durmientes RS y Vagneux.



Para durmientes SL.

durmiente "R.S." no está diseñado para soportar movimientos de flexión, si debe satisfacer dos pruebas de flexión para una carga por eje especificada, propuesta por la S. N. C. F.

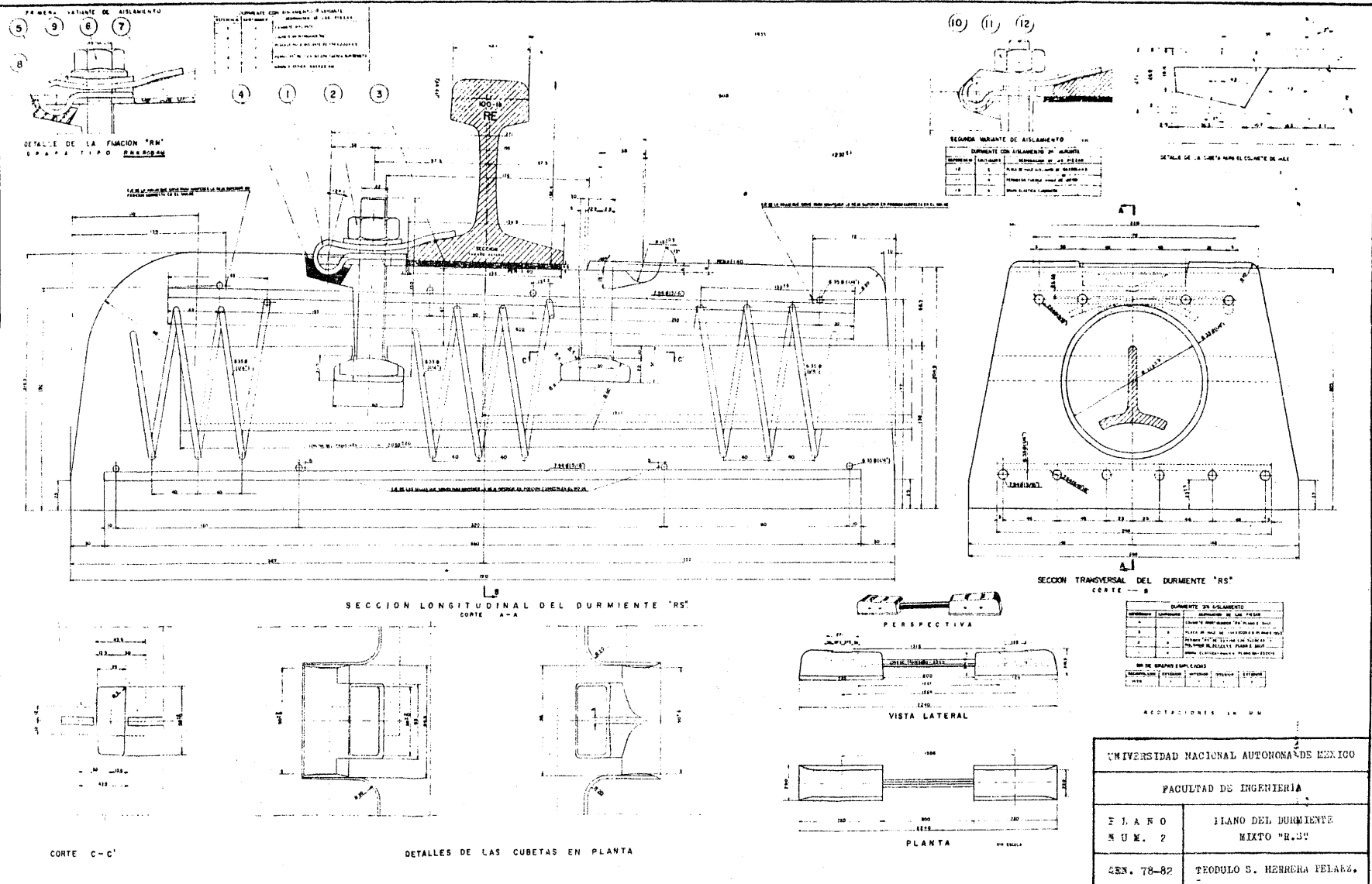
La capacidad de resistencia de esta barra metálica es 3 veces mayor que la requerida, según los cálculos.

Las características físicas, tanto de la barra como del refuerzo, formado por las parrillas y el zuncho de alambón, se muestran en el Plano No. 1. Asimismo, de manera detallada, el conjunto de elementos que conforman un durmiente "R.S." se aprecia en el Plano No. 2.

La forma de los durmientes mixtos permite que la concentración de esfuerzos ocurra sobre los bloques de concreto, bajo los rieles.

De acuerdo a lo señalado en capítulos anteriores, una de las formas extremas de apoyo de los durmientes, es cuando existe contacto pleno entre éstos y el balasto, únicamente en los extremos de los mismos (condiciones ideales de apoyo). Analizando cuidadosamente el comportamiento los durmientes bajo esta condición de apoyo, los franceses han desarrollado la técnica de diseñar los durmientes para resistir los esfuerzos producidos, según tal forma de apoyo. Por lo tanto, los durmientes mixtos están diseñados para soportar, básicamente, esfuerzos de compresión y flexiones positivas ocurridas debajo de los rieles. Estas flexiones son menores, como ya sabemos, que las que se producen en el centro del durmiente cuando éste es de forma monolítica, cuando se considera que el mismo se apoya en toda su extensión.

El momento negativo que se genera en la parte central de los durmientes "R.S." es prácticamente despreciable, comparado con el que se presenta en los extremos de los mismos. No obstante, el tirante metálico se diseña de tal manera de poder resistir flexiones negativas que pudieran ocurrir al paso de los



NUMERADO CON ELEMENTOS A ISOLAR

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

SEGUNDA VARIANTE DE AISLAMIENTO

DURMIENTE CON AISLAMIENTO "A" Y "B"

INDICACION	DESCRIPCION DE LA CUBETA
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	

DURMIENTE EN AISLAMIENTO

INDICACION	DESCRIPCION DE LA CUBETA
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	

NO SE MUESTRAN EN ESTE DISEÑO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

F. I. A. N. O.	PLANO DEL DURMIENTE
NUM. 2	MIXTO "R.S.U"
SEN. 78-82	TEODULO S. HERRERA FELAZZ.

vehículos .

La técnica para diseñar durmientes de concreto tipo mixto, en la cual Francia encabeza su desarrollo, presenta ciertas ventajas, como son las de aprovechar las propiedades de los materiales componentes de dichos elementos, es decir, hacer que el concreto soporte, más que nada, los altos esfuerzos de compresión y, en pequeña proporción, flexión; y el acero, barra central, trabaje esencialmente a la flexo-tensión; por ser estos materiales apropiados para resistir compresiones y tensiones, respectivamente.

Existe, además, otra ventaja en lo que se refiere a la fabricación de estos durmientes, con respecto a los preesforzados monolíticos, y consiste en que los primeros, particularmente los "R.S", precisan de equipo y herramienta que en un momento dado pueden ser cambiados de lugar, con relativa facilidad, lo que permite que las plantas productoras se localicen generalmente cerca del lugar donde se van a colocar los durmientes, repercutiendo esto en forma favorable en el costo del transporte de los mismos, ya que éste disminuye considerablemente. No así sucede con los durmientes monobloques, como es el caso de los Dywidag, por ejemplo, en los que las instalaciones utilizadas para su elaboración tienen un carácter más definitivo, lo que ocasiona que dichas instalaciones se localicen, por lo general, distantes del lugar donde se van a emplear los durmientes; consecuentemente, el costo por transportación resulta bastante elevado. Esto, sin embargo, es válido para nuestro país y para los que el número de fábricas de estos durmientes es mínima o muy reducida, y no para los países en donde el número de éstas es mucho mayor, como es el caso de Alemania, en donde la producción de durmientes monolíticos está perfectamente distribuida en todo el país, siendo, por lo tanto, menor el costo por concepto de traslado.

Los durmientes mixtos de concreto y acero, por otro lado, presentan desventajas en relación a los monolíticos tipo viga, las cuales, las más importantes, se describen a continuación:

1.- La barra de acero intermedia del durmiente mixto queda expuesta a la acción del intemperismo, por lo que en determinadas regiones de severas condiciones de exposición a los agentes atmosféricos, puede sufrir una elevada oxidación, reduciendo su vida útil, considerada de 50 años en promedio.

Este inconveniente puede subsanarse mediante la aplicación de pintura anticorrosiva al tirante metálico; pero esto mismo ocasiona un incremento en el costo por conservación de la vía, lo cual sigue siendo desfavorable.

2.- El durmiente tipo mixto requiere en total 21 Kg. de acero, contra peso menos de 6 Kg. que emplea el monolítico B-58.

3.- El costo del travesaño está más sujeto a fluctuaciones que el costo del concreto, por lo que en el durmiente mixto hay mayor riesgo de elevación de sus precios.

4.- El durmiente mixto tiene menor peso que el durmiente monobloque, lo cual es también desventajoso desde el punto de vista de la consolidación y estabilidad de la vía. La ventaja que pudiera representar el menor peso en las operaciones de carga y colocación del durmiente en su sitio, se anula con el empleo de equipo mecanizado para la construcción de la superestructura de la vía; equipo que es prácticamente obligatorio en la moderna técnica de construcción de vías férreas. El peso de estos durmientes es de aproximadamente 197 Kg.

5.- Los rieles soldados en tramos de gran longitud, necesitan de una alta rigidez de la vía para soportar los esfuerzos resultantes. La barra metálica que une los bloques de concreto, no imparte al durmiente la suficiente rigidez que se requiere para asegurar una rigidez efectiva de toda la vía.

6.- En caso de descarrilamientos, y particularmente si varias ruedas de los vehículos pasan sobre la barra de acero, es muy probable que ésta se inutilice casi por completo y se pierda el escantillón de la vía; y en estas condiciones es prácticamente imposible ajustarlo a su valor original.

En México, la reparación de estos durmientes es de 60 cm. , centro a centro.

Empero, a pesar de las desventajas, la utilización de los durmientes "R.S" es bastante generalizada en la actualidad, lo cual confirma sus cualidades intrínsecas y su durabilidad en servicio, demostradas por diferentes estudios. Este hecho también demuestra que la utilización de tal o cual tipo de durmiente en un determinado país, está en función de la economía y de las necesidades técnicas ferroviarias que ese país posee.

c) Proceso de Fabricación.

El durmiente "R.S" es fabricado en moldes vibratorios, de desmoldeo inmediato por medio de rotación. Su proceso comprende lo siguiente:

MATERIALES. Los elementos componentes de los durmientes tipo mixto son: barras de acero para unir los dos bloques de concreto, alambroón para las armaduras secundarias de dichos bloques, cemento y agregados (grava y arena). Estos elementos deben apegarse a lo siguiente:

1.- Barra principal de acero. Las características físicas de esta barra se muestran en el Plano No. 1. El acero debe presentar un límite de fluencia mínimo de 3 600 Kg/cm²; no debe presentar ningún defecto de laminación; las partes que se ahogarán en el concreto deberán ser limpiadas con algún cepillo metálico o con otro dispositivo, con el fin de eliminar las incrustaciones y la herrumbre que evitan la adherencia.

2.- Barras de alambrión. El acero de estas barras secundarias debe tener las características siguientes:

- Un límite elástico mínimo de 2 400 Kg./cm².
- Un límite de ruptura mínimo de 3 800 Kg./cm².
- Una elongación máxima de ruptura de 20%.

Las armaduras formadas con estas varillas, son manufacturadas en escantillonos que permiten obtener las formas y dimensiones exactas. La manufactura es ejecutada en frío; los zunchos son soldados a la parrilla superior para evitar todo desplazamiento durante el vaciado del concreto.

3.- Cemento. El cemento será del tipo "Portland", correspondiente a las normas 250 y 315, es decir, deberán presentar una resistencia mínima a la compresión, a los 7 y 28 días, de 250 y 315 Kg./cm². Y de 20 y 25 Kg./cm² a la tensión, a las mismas edades; obtenidas de probetas de mortero de 5x5x5 cm., con arena graduada (arena de Ottawa). La dosificación en la mezcla será de por lo menos 350 Kg./m³.

4.- Agregados. Los agregados provendrán de yacimientos lo más cercanos posible a la fábrica y deben ser materiales duros. La granulometría deberá comprender un mínimo del 30% (en peso de los agregados) de grava gruesa, dosificada entre 20 y 40 mm. de tamaño. Estos materiales serán lavados perfectamente; su granulometría deberá estar de acuerdo con las normas especialmente estudiadas para los durmientes "R.S".

La resistencia del concreto así obtenida, a los 28 días de edad, de cubos de 20x20x20 cm., curados normalmente, será de 400 Kg./cm² a la compresión; y la resistencia a la tensión por flexo-tensión, en las mismas condiciones de curado y de tiempo, será de 52 Kg./cm², obtenida de vigas de 9.1x7.1x28.4 cm. Para lograr esto, la relación agua-cemento (A/C) no deberá ser mayor de 0.38.

FABRICACION. El procedimiento de fabricación de los durmientes mixtos "R.S." es el siguiente:

1.- Los agregados estarán separados perfectamente; debiendo lavarse y saturarse previamente a su uso y escurridos por lo menos 10 minutos antes de su empleo.

2.- Una vez pesados y mezclados los componentes del concreto, la duración mínima del mezclado a partir del momento en que están juntos, será de 2 a 3 minutos. No se permitirá que la mezcla se haga a mano.

3.- Durante esta etapa se ponen dentro de los moldes la barra de unión, las parrillas y el armado helicoidal, colocando una clavija que permite dejar las distintas cavidades que presenta el durmiente ya terminado.

4.- Los moldes se colocarán sobre la mesa vibratoria, efectuándose simultáneamente el colado y el vibrado del durmiente a razón de 3 000 vibraciones por minuto. La vibración se suspenderá hasta que aflore ligeramente lechada en la superficie del elemento (entre 1 y 2 minutos).

5.- Terminado el paso anterior, se coloca el molde sobre una plataforma de ferrocarril, efectuando el desmoldeo simultáneamente de ambos bloques. Después de esto se aplica inmediatamente aceite a los moldes por medio de un pulverizador.

6.- El acabado de los durmientes se hace a mano para suprimir las rebabas de mortero y retocar superficialmente los parámetros, utilizando para ello pequeños planos.

7.- Los orificios de entrada se verifican por medio de calibre, debiendo quedar perfectamente exactos y limpios. Esta verificación se hace dentro de la hora siguiente al vaciado del durmiente.

8.- La permanencia de los durmientes removidos de sus moldes

en tiempo normal (temperatura ambiente entre 15 y 20 C), será de 15 ha. aproximadamente, para después introducirlos en un cuarto de curado durante 10 ha., a una temperatura de 65 C y una humedad del 100%.

9.- Finalmente, en esta etapa las plataformas de ferrocarril con los durmientes son sacados del cuarto de curado y llevados a la zona de almacenamiento.

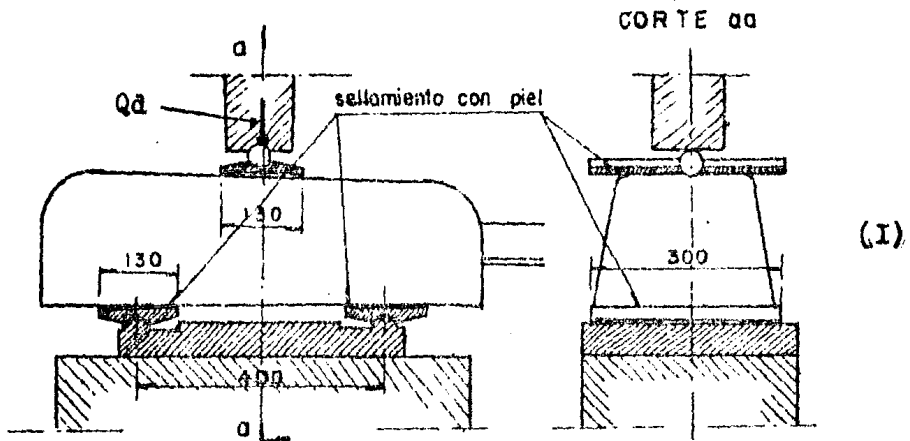
PRUEBAS SOBRE LOS DURMIENTES. Los durmientes previamente es cogidos para hacerles las pruebas de laboratorio, son sometidos, después de 28 días de edad, a la acción de una prensa que debe tener una capacidad de 100 Ton.

Cada uno de estos durmientes se probará en posición normal y en posición invertida, según se ilustra en la fig. III-13.

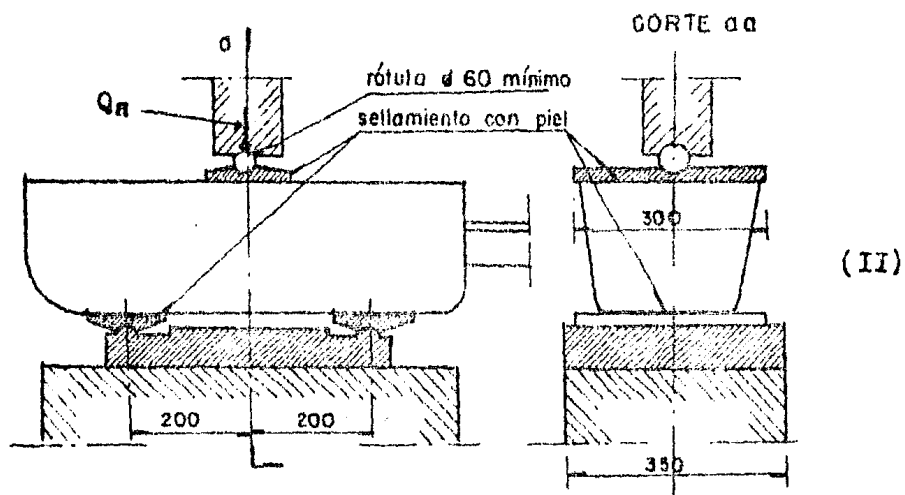
La carga que debe soportar en su posición normal, Q_n , y en posición invertida, Q_i , serán definidas según el modelo del dur miente. Para un durmiente de vía normal (escantillón de 1.435 m.), las cargas serán de 30 y 25 Ton., respectivamente. Las cargas se aplicarán progresivamente hasta dichos valores, sin haber fisuración.

Una vez aplicada la carga total, ésta es conservada durante todo el tiempo que se realizará el examen completo de la cabeza del durmiente durante un mínimo de 5 minutos. Las fisuras que pudieran aparecer eventualmente durante el sostenimiento de la carga, serán encuadradas un centímetro a uno y otro lado, señalándose con pintura de color; después la carga será suprimida. Una vez que la carga llega a cero (0), ninguna fiura de berá ser visible con lupa.

Si estas dos condiciones de no fisuración antes de la carga máxima y de no visibilidad de fisuras después de la misma, no son cubiertas, la prueba no será satisfactoria y los elementos serán rechazados, así como el lote de donde fueron extraídos.



(I)



(II)

Fig. III-13.

Pruebas sobre los durmientes "R.S"

(I) Posición Normal.

(II) Posición Invertida.

Cuando lo solicite el personal indicado, estos durmientes serán sometidos a una prueba de resistencia al desgaste, mediante el Vibrogir. La pérdida de peso después de 250 hs. de Vibrogir no deberá ser superior al 3% del peso original del elemento, si no fuere así, por aprobación de la S.N.C.F. se cambiará de bancos de material pétreo.

Así también, los durmientes "R.S." son sometidos a los efectos de un tren descarrilado golpeándolos a ellos y a las fijaciones de los rieles, mediante el equipo de St. Owen de París.

Las resistencias para las que están diseñados estos durmientes son: una carga por riel de 15 Ton., sin el coeficiente por impacto, y, como ya dijimos anteriormente, un momento flexionante preestablecido por la S.N.C.F.

CAPITULO IV

DURMIENTES DE ACERO

1. GENERALIDADES.

La aparición de los durmientes de acero se debió, al igual que con los durmientes de concreto, a la búsqueda intensa de un elemento que pudiera sustituir a la madera en la elaboración de durmientes, con mejores ventajas técnicas.

Estos durmientes hicieron su aparición en la segunda mitad del siglo XIX en Europa, antes que los de concreto; esto se debió a que el uso de este material era aún bastante limitado, pues la técnica del preesfuerzo se desarrolló hasta a fines de ese siglo. Por lo tanto, el empleo de este durmiente durante esta época fue bastante amplio, pues se consideraba que era el durmiente que más resistía las condiciones severas del clima. Sin embargo, en la actualidad está muy restringido su empleo, circunscribiéndose a lugares que presentan condiciones muy especiales; como por ejemplo, topografía muy accidentada, que presenta determinadas dificultades para mantener correcto el escantillón de la vía, como es el caso de curvas de radios pequeños; o climas cálidos, donde encuentran el territorio ideal, ya que la oxidación salobre los hace inconvenientes para lugares húmedos (principalmente en lugares costeros y en túneles). Por esta última condición, estos elementos han tenido buena aceptación en la red de los ferrocarriles africanos.

Se ha podido demostrar, desgraciadamente, que los durmientes metálicos no resisten adecuadamente el tráfico intenso y los esfuerzos dinámicos que éste origina, por lo que se limitan también a ser utilizados en vías con cargas relativamente bajas. Además, las sujeciones rígidas del riel sobre los dur-

mientes, vistas en el Capítulo II, son totalmente incompatibles con las altas velocidades de los modernos trenes, ya que dan un rodamiento duro y sonoro, y el menor defecto de alineamiento da lugar a violentas reacciones de los vehículos; esto como consecuencia de la falta de elasticidad transversal de tales sujeciones. Por lo tanto, el sistema de sujeción apropiado es más difícil de lograrlo en este tipo de durmientes que en otros.

Los durmientes metálicos desarrollados hasta la fecha tienen una forma poco favorable para el tendido de largos tramos de riel soldado, ya que al ser éstos solicitados por los esfuerzos de "caminamiento", producidos éstos por las variaciones de temperatura y por efecto mismo de su forma, se presentan componentes verticales de levantamiento que perjudican notablemente la estabilidad de la vía. Debido a su poco peso, este efecto es difícil de evitar, pues dichos elementos tienen un peso que oscila entre 50 y 80 Kg., para vía normal, semejante a los de madera; este inconveniente también influye considerablemente en la estabilidad de la vía, la cual es menor que en vías con durmientes de concreto.

Otra desventaja que presentan estos elementos, es que difícilmente se logra el aislamiento eléctrico entre los dos rieles, requisito señalado entre los más importantes para durmientes de vías principales; razón por la cual también se limitan a ser utilizados en vías de menor importancia.

Los durmientes de acero, también denominados "conchas", poseen una cara superior dotada de los elementos para sujetar los rieles, afirmar el escantillón y sujetar las cabezas de los pernos de fijación del patín del riel. Son construídos principalmente por lámina de acero de grano fino, compactado y homogéneo. Su laminado en perfil tiene la forma de una "U" invertida y con poca altura para facilitar su calzado y nivelación.

La "concha" es hueca y precisa de una cantidad de balasto adecuada, y mayor que la requerida en otras vías con otros tipos de durmientes, puesto que se debe lograr el relleno del durmiente y un colchón con más espesor para evitar que por un exceso de rigidez tengamos esfuerzos que puedan romper el durmiente al paso de las cargas. Así también, debido a la forma del elemento, se necesita herramienta mecanizada especial para introducir y compactar el balasto bajo el durmiente. Sus longitudes varían de 2.40 a 2.70 m.

2. CARACTERISTICAS

Como en los casos anteriores, las características que los durmientes de acero poseen se deben principalmente al material constitutivo y, en parte, a la forma de los mismos. Las más significativas se señalan a continuación:

Los bordes volteados hacia abajo presentan su inconfundible característica de anclaje, que los hace excelentes para vías sinuosas, con las restricciones de éstas antes mencionadas.

Su bajo peso permite que sea maniobrado por un solo hombre con relativa facilidad.

Su duración promedio es de 60 años en lugares áridos; vida útil homogénea, requiriendo el económico método de reemplazo total, en lugar de parcial, favoreciendo así a los egresos por concepto de conservación.

Se calcula que tienen una vida mínima de 30 años, correspondiente a condiciones desfavorables de clima.

Los daños sufridos por descarrilamiento de los trenes suelen ser pequeños, y existe la posibilidad de reparación mediante soldadura; lo cual no es posible en las demás clases de durmientes.

Gran resistencia al desplazamiento lateral y longitudinal, reduciendo, en consecuencia, el número de anclas utilizadas para evitar el corrimiento longitudinal de los rieles.

El lapso comprendido entre dos períodos de mantenimiento es generalmente prolongado, particularmente en lo que se refiere a línea y niveles, cuando el material que forma el balasto es el adecuado.

El valor de recobro es muy elevado, pudiéndose vender como chatarra a un precio de salvamento aproximadamente de un 50% del costo inicial. O si se desea, pueden ser utilizados en vías con menor tráfico de carga pesada, siempre y cuando el desgaste no sea excesivo, o el defecto por el que se retiran de su lugar original no sea peligroso.

Debido al alto costo del acero, el valor inicial de estos elementos es bastante elevado, por lo general mayor al de otros tipos de durmientes.

3. CLASIFICACION

La poca utilización de los durmientes metálicos en las vías férreas en todo el mundo, origina que los conocimientos sobre los mismos sea también escasa. Sin embargo, tratando de dar una resumida descripción e ilustración de las secciones de estos elementos, con mayor aceptación o que mayores aportaciones han brindado para el mejoramiento de los mismos, o el diseño de otros nuevos, a continuación se describen algunas de esas secciones.

El primer durmiente metálico fue usado en Portugal en 1860, el cual tenía la forma de una "U" invertida; con el perfil en forma de los usados actualmente en los ferrocarriles prusianos, fig. IV-1.



Fig. IV-1.

Años más tarde, en 1864, se comenzaron a usar los durmientes tipo VAUTERIN, diseñados en Francia. Sin embargo, los resultados obtenidos con estos elementos no fueron los deseados, ya que presentaban poca resistencia a los esfuerzos longitudinales de la vía, y la dificultad para la sujeción del riel era sumamente grande, debido fundamentalmente a la poca área de apoyo entre el asiento del riel y el durmiente. Fig. IV-2.

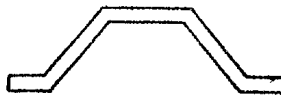
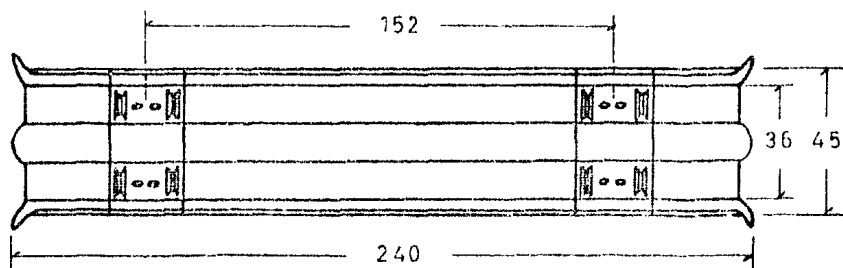


Fig. IV-2.

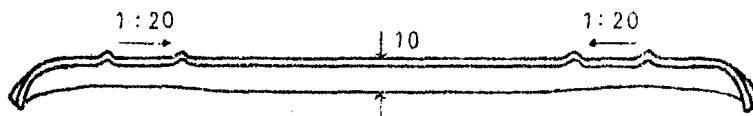
Basándose en los resultados logrados con los anteriores diseños, y en experimentos efectuados por ellos mismos, en 1880 en Prusia los alemanes diseñaron y elaboraron un durmiente metálico con ventajas claras sobre los existentes antes de su aparición, y por lo tanto, con amplia aceptación. Fig. IV-3.

Este durmiente proporcionaba una mayor superficie de apoyo

sobre el balasto, y entre él y el riel. Sus extremos tienen la forma de azada (en forma de pala) para lograr una cierta penetración en el balasto, impidiendo de esta manera corrimientos transversales; sus caras laterales son casi vertivales con el fin de facilitar la colocación de anclas para evitar el deslizamiento relativo del riel. Su peso es de 80 Kg., lo que indica que sigue teniendo la desventaja de ser ligero.



P L A N T A



E L E V A C I O N

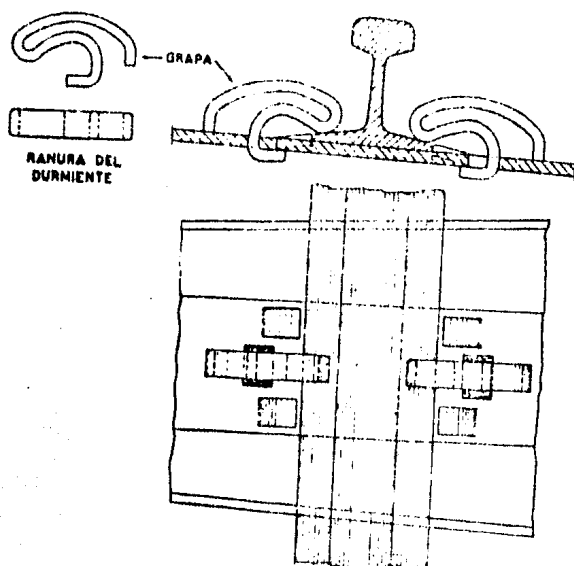
Acot. en cm.

Fig. IV-3. Durmiente metálico de gran aceptación en la actualidad.

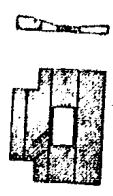
Este último diseño es el que mayores y mejores resultados ha brindado, dentro de los durmientes de acero. En México se colocaron algunas piezas de estos elementos en pequeños tramos de vía, con fines más que nada experimentales, en los Estados de Veracruz y Yucatán, obteniéndose resultados muy favorables. Sin embargo, su uso en nuestro país actualmente es nulo, debido, principalmente, a que su costo de producción sería demasiado elevado, además de que, como ya se mencionó, presenta otras desventajas que lo hacen inaceptable.

En lo que respecta a la sujeción del riel al durmiente, puede decirse que en un caso especial en el que no se pueden utilizar clavos ni tirafondos, y la sujeción debe tener alguna forma de grapa. En la fig. IV-4 se ilustra una de las sujeciones que mejores resultados ha proporcionado, la cual fue diseñada en Inglaterra.

Este moderno tipo de sujeción para "conchas de acero", llamado Wisclip, consiste en una solera de acero al milido manganeso, doblada como se aprecia en la figura. El riel es mantenido en escantillón por cejas del durmiente y en caso de curvas se amplía el escantillón por medio de unas placas especiales, fig. IV-4b.



b) SUJECION ELASTICA WISCLIP. A DURMIENTES DE ACERO.



b) SUJECION ELASTICA WISCLIP. CON PLACA PARA AMPLIACION DE ESCANTILLON.

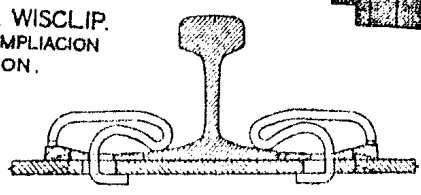


Fig. IV-4. Principal dispositivo de sujeción en durmientes de acero.

CAPITULO V

LA VIA HOLANDESA

En Holanda se ha desarrollado una vía con características muy propias, al emplear los durmientes en zig-zag. Este tipo de durmiente es una variante de los durmientes mixtos de concreto y acero, ya que están formados también de dos bloques de concreto y un tubo central metálico. Fig. V-I.

Los bloques de concreto contienen un refuerzo muy simple, constituido por una parrilla superior y otro entramado de alambón punteado con soldadura. El concreto que estos bloques utilizan es de una resistencia a la compresión de 360 Kg./cm², obtenida de acuerdo a las normas aplicadas en México; la grava debe ser dura, preferentemente de río, con dimensiones entre 3 y 15 mm.; la arena deberá estar limpia de impurezas, y compuesta por material grueso y fino, en proporciones adecuadas.

Cada bloque de concreto se liga a los dos opuestos mediante tubos de acero galvanizado de 3 mm. de grueso, de sección aplastada, de manera de darles un mayor peralte para resistir mejor las flexiones. De esta manera, los bloques y tubos forman una armadura horizontal bastante rígida, que obliga a la vía a permanecer indeformable.

Los tubos son de 1.15 m. de longitud y 5.5 cm. de peralte, con un peso de 3 Kg. Cerca de los extremos de éstos se colocan unas pijas, las cuales penetran en agujeros precolados en las ranuras de los bloques, de modo de poder presentar la celosía en su correcta posición, antes del fraguado del tubo mediante cemento o un pegamento especial llamado Edilón.

La celosía se forma con ángulos de 33° en los vértices de dos tubos.

Similarmente a lo que se hace en los demás tipos de durmien

tes de concreto, se requiere que desde el colado de los bloques se dejen huecos donde se introducirán dos escuadras para poder insertar el muelle elástico que fijará el riel con el durmiente. Al igual que en el sistema francés, estos durmientes tienen el mismo principio de sujeción: placa de hule bajo el patín del riel, y sujeción de muelle elástico, propiamente dicho.

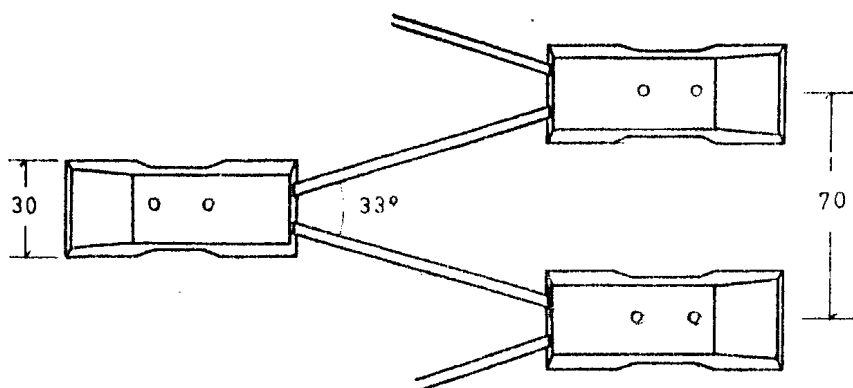
Los durmientes zig-zag se colocan cada 70 cm. de centro a centro. Cabe agregar que la forma especial de la celosía presenta una excelente resistencia al pandeo o chicoteo lateral de la vía; característica que se logra con mayor dificultad en vías con durmientes de otro tipo.

Como en la mayoría de los casos, estos elementos presentan desventajas, las cuales pueden resumirse de la siguiente manera: calzado lento, respecto a las vías convencionales; no admiten grados de curvatura ni pendientes fuertes; presentan un alto costo de reposición de los tubos en caso de descarrilamiento.

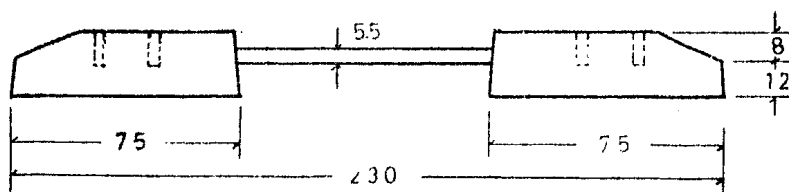
El uso de los durmientes holandeses no está muy generalizado en la actualidad, sin embargo, los resultados de estudios y experimentos efectuados en el campo, realizados en Holanda, demuestran que la utilización de tales piezas en las vías férreas es muy apropiada, ya que, por un lado, este país carece del suficiente material pétreo para fabricar el balasto, razón por la cual tiene que importarlo de otros países (en su mayoría de Inglaterra); y por otro lado, las características imperantes del terreno para la cimentación de la vía son muy desfavorables. Por lo tanto, la armadura de tubos que forman los durmientes compensa, en cierta medida, la mala cimentación de la vía y el escaso balasto de la misma, ya que, como quedó explicado anteriormente, los durmientes forman una estructura suamente rígida, ayudando esto al buen funcionamiento de la vía en su conjunto.

En consecuencia, de esto último podemos concluir que la Vía

Holandesa, desde el punto de vista técnico, presenta ciertas ventajas en suelos malos (desde el punto de vista de la Mecánica de Suelos) y de escaso material gravoso; aspectos que pueden considerarse determinantes en la construcción de dicha vía.



PIANTA



ELEVACION

Aoot. en cm.

Fig. V-1. Vía Holandesa con durmientes en zig-zag.

CONCLUSIONES.

Después de estudiar los diferentes tipos de durmientes para ferrocarril, podemos decir que los diseños y elaboración de los mismos se han dado como resultado de las necesidades tanto técnicas como económicas que las vías férreas han impuesto, las cuales cada día son más complejas: las primeras, por el equipo ferroviario cada vez más sofisticado y veloz, lo cual demanda elementos estructurales más resistentes y más durables; y las segundas, por la escasez de las materias primas, como es el caso de la madera, y, por lo tanto, encarecimiento de las mismas, y por el elevado costo de la mano de obra.

Observamos, además, que los adelantos tecnológicos han permitido también el desarrollo, cada vez más perfeccionado, de los distintos diseños de durmientes, proporcionando así resultados muy satisfactorios en las operaciones de los trenes.

Por otra parte, el empleo de los durmientes obedece a varias causas, como pueden ser: técnicas, económicas, políticas, etc. Esto lo vemos en los durmientes de concreto "R.S." y Dywidag B-58, mixtos y monolíticos, respectivamente, los cuales tienen similar demanda en nuestro país, y podemos hacer extensivo esto a la mayor parte de los países que poseen el sistema de transporte ferroviario, aun cuando cada uno de estos elementos tenga sus propias ventajas y desventajas.

Por lo tanto, es difícil señalar cuál de las clases de durmientes descritos es la más efectiva, sin embargo, podemos concluir que de los grupos estudiados en este trabajo, el correspondiente al de los durmientes de concreto es el de mayor proyección a nivel mundial.

B I B L I O G R A F I A .

- XI CONGRESO PANAMERICANO DE FERROCARRILES.
- DURMIENTES DE CONCRETO DYWIDAG.
Ferrocarriles Nacionales de México.
- DURMIENTES DE CONCRETO "R.S."
Ferrocarriles Nacionales de México.
- FERROCARRILES.
Francisco M. Tognio.
- NORMAS PARA LA CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE VIA
ELASTICA.
Ferrocarriles Nacionales de México.
- RAILROAD ENGINEERING.
William W. Hay.
- Revista: FERROCARRILES MEXICANOS. Noviembre de 1979.