



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO COMPARATIVO PARA APLICAR DURMIENTE DE MADERA
O DURMIENTE DE CONCRETO EN LA CONSTRUCCIÓN
DE UNA VÍA SECUNDARIA DE FERROCARRIL.

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:
CARLOS JOSÉ ALONSO FLORES

DIRECTOR DE TESIS:
ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO



MÉXICO, D. F.

OCTUBRE DE 2007.

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres

Carlos Alonso Hernández (+)
Esperanza Flores Muñiz (+)
Con AMOR ETERNO.

A mi esposa **Maria Elena**
Por su gran amor y apoyo incondicional.

A mis hijos **Juan, Jorge y Carlos y Esposas.**
Con mucho cariño por su gran apoyo para este logro.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Facultad de Ingeniería.

Al Ing. Federico Alcaraz Lozano
Por aceptar dirigir esta tesis.

A los señores sinodales:

Ing. Carlos M. Chavarri Maldonado
M.I. Gustavo C. Argil Carriles
Ing. Ernesto R. Mendoza Sánchez
M.I. Octavio García Domínguez

MUCHAS GRACIAS

INDICE

| | PAGS. |
|---|-------|
| INTRODUCCION | 1 |
| CAPITULO I | |
| RED FERROVIARIA ACTUAL..... | 3 |
| CAPITULO II | |
| TIPO DE DURMIENTE UTILIZADO EN..... VIAS DE FERROCARRIL EN MEXICO. | 13 |
| CAPITULO III | |
| PROCESO Y ESPECIFICACIONES EN | 19 |
| LA FABRICACION DEL DURMIENTE. | |
| CAPITULO IV | |
| COMPARATIVO TECNICO Y ECONOMICO | 57 |
| ENTRE LOS DURMIENTES DE MADERA Y DE CONCRETO. | |
| CAPITULO V | |
| ESTUDIO DEL CASO: EN LA CONSTRUCCION | 66 |
| DE UN LADERO DE FERROCARRIL. | |
| CAPITULO VI | |
| CONCLUSIONES | 90 |
| BIBLIOGRAFIA | 92 |

INTRODUCCIÓN

El ferrocarril, sin duda es considerado una de las mayores hazañas de la Ingeniería del siglo XIX en México, construido para migrar, para viajar, para transportar productos y mercancías.

Antes del tren los productos eran transportados en carretas ó bestias de carga, a partir del tren, las necesidades se multiplican y obligan a plantear un nuevo tipo de servicio, para despachar y transportar toneladas de diversos productos.

Observamos que en México, uno de los orígenes esenciales del ferrocarril, se encuentra en el tendido de lo que comenzó como un pequeño camino de fierro desde Veracruz hasta tierra adentro y que con el tiempo se convertiría en el Ferrocarril Mexicano, el primer ferrocarril de relevancia que surco el país.

No es fortuito que el primer Ferrocarril Nacional se haya trazado desde Veracruz durante la mayor parte del siglo XIX, ya que era el principal Puerto de Intercambio Internacional con los países europeos.

Podemos decir, que con la concesión de los ferrocarriles, se trata de buscar y propiciar de manera equilibrada los beneficios del desarrollo, tomando en cuenta las prioridades como son: atención preferente a la conservación de la vía y estructuras, aumento de la disponibilidad de equipo, continuar la modernización de los procedimientos operativos, como también de proyectos que impulsen la necesidad del sector, como el tendido de nuevas vías, la renovación de la fuerza tractiva (máquinas) y equipo rodante.

Es por eso, que mediante el estudio comparativo que se desarrollará en los capítulos siguientes, pueda darse una visión a las Empresas que, en un futuro, deseen llevar acabo el movimiento de sus materias primas necesarias para la elaboración de sus productos por vía férrea, llevando acabo la construcción de un ladero ó espuela de ferrocarril.

CAPITULO I

RED FERROVIARIA ACTUAL EN MÉXICO

Como parte del plan nacional de desarrollo 1995-2000, en 1996 el Gobierno Mexicano inicio el Proceso de Licitación para concesionar las cuatro principales líneas troncales del sistema ferroviario nacional, así como algunas líneas cortas.

La primera línea en ser concesionada la ganó Transportación Ferroviaria Mexicana (TFM), una alianza estratégica integrada por Transportación Marítima Mexicana (TMM) y Kansas City Southern (KCS) para operar dicha concesión durante 50 años con opción a 50 años adicionales como prórroga, a partir del 24 de junio de 1997.

En esa fecha nació TFM, considerada como la mejor opción, por contar con la ruta más corta y directa para el transporte de mercancías entre México y los Estados Unidos.

De 1997 a la fecha, TFM a hecho inversiones fuertes para mejorar la infraestructura, renovar su equipo, fortalecer sus procesos operativos, implementar tecnología de punta y nuevos sistemas de seguridad, así como la rehabilitación y el mantenimiento de las vías existentes y renovación de la fuerza tractiva, entre las acciones más relevantes.

Con 4,242 kilómetros de vías TFM sirve a los principales centros industriales de: México, Querétaro, Oro, San Luis Potosí, S.L.P. Aguascalientes, Ags, Monterrey, Nvo León, Saltillo, Coah. Y Guadalajara, Jal. Entre otras y a los puertos: Veracruz, Ver. Lázaro Cárdenas, Mich. Y Tampico/ Altamira, Tamps.

TFM cuenta con las rutas más cortas para conectar con el Sistema Ferroviario de los Estados Unidos de Norteamérica, como son: México, D.F. – Nuevo Laredo, Tamps. Y México, D.F. –Matamoros, Tamps., siendo éstas las fronteras por donde cruza más del 60% del tráfico comercial entre ambos países.



MAPA DE RUTAS Y COBERTURA TFM

FERROCARRIL MEXICANO, S.A. DE C.V. (FERROMEX)

Esta Empresa formada por Capital Mayoritariamente Mexicano (Grupo México, S.A. de C.V.) y por Capital Privado Norteamericano (Union Pacific Railroad), es la Empresa ferroviaria más grande del país, fue fundada el 19 de febrero de 1998, con 8,500 kilómetros de vía.

Su misión: proporcionar un servicio de transporte ferroviario de clase mundial, con los más altos estándares de calidad, confiable, seguro, eficiente, competitivo y rentable, que satisfaga las necesidades de los clientes, personal, accionistas, proveedores y sociedad para contribuir al desarrollo del País.

A través de su red Ferromex pone en comunicación efectiva el triángulo de mayor potencial económico del País, conformado por las ciudades de Guadalajara, Jal. México D. F. Y Monterrey Nvo León.

El servicio Internacional cubre las 5 ciudades fronterizas en las que se llevan acabo la mayor parte de los cruces de productos que vienen o van a los Estados Unidos y Canadá

Desde los puertos mexicanos donde da servicio Ferromex, puede ofrecer un servicio transcontinental, los cuales representan, a su vez, la mejor puerta de entrada de mercancías provenientes de todo el mundo.



MAPA DE RUTAS Y COBERTURA
FERROMEX

FERROCARRIL DEL SURESTE, S. A. DE C.V. (FERROSUR)

Esta Empresa Privada, fue fundada el 18 de diciembre de 1998, con Capital netamente Mexicano por la Compañía Triturados Basálticos, S.A de C.V. (TRIBASA), la cual tuvo al Ferrocarril del Sureste en operación hasta julio del año 2000, cuando fue vendida al Grupo Carso, creándose así, lo que ahora se conoce como Ferrosur, S.A. de C.V.

En estos años de operación, la prioridad ha sido, la reducción de costos y aumentar la eficiencia, la filosofía empresarial está orientada al trabajo lo cual la ubica como la única de las tres Compañías Ferroviarias Troncales del País que no tiene conflictos en acuerdos de interconexión, derechos de paso o tráfico interlineales con los otros ferrocarriles, ni con ninguna autoridad.

Los retos impuestos en esta primera etapa se han alcanzado por encima de las expectativas, ahora los nuevos retos, están enfocados a mejorar al máximo en cuanto a la calidad en el servicio al cliente.

Ferrosur destinará sus principales inversiones en seguir manteniendo en buen estado sus vías. Y conectar a más industrias a su vía principal mediante la construcción de espuelas y laderos de ferrocarril.

Las fuertes inversiones hechas en la modernización de vías han hecho posible que el ferrocarril también se enrole dentro de los procesos justo a tiempo en que ya está imbuida la industria.

Cuenta actualmente con una longitud de 1,505 kilómetros de vía, dando servicio a los puertos de Veracruz, Ver. Y Coatzacoalcos, Ver.

TERMINAL FERROVIARIA VALLE DE MÉXICO, S.A. DE C.V. FERROVALLE

Fue fundada el 10 de febrero de 1997, con la finalidad de ser una Empresa de Interconexión con las compañías: Transportación Ferroviaria Mexicana (TFM), Ferrocarril Mexicano (FERROMEX) y Ferrocarril del Sureste (FERROSUR), para reordenar y distribuir la carga nacional e internacional que llega, se remite o intercambia dentro de su zona de influencia.

Cobertura: Cuenta con una longitud de 297kilómetros de vía, dando principalmente servicios a clientes de la industria como son: servicio en estaciones, tráfico local, recolección y entrega de fletes, terminal intermodal, interconexión de flete en transferencia hacia otros ferrocarriles, desarrollo de instalaciones de usos múltiples y trasvase de líquidos y sólidos.

Cuenta con otros servicios como:

Instituto de Capacitación Ferrocarrilera, Centro de Evaluación de la Calidad de la Industria Ferroviaria y Taller de Maquinaria de Vía.

FERROCARRILES CHIAPAS-MAYAB S.A. DE C.V. (FCCM)

Esta empresa fue adquirida el 30 de septiembre de 1999, por la Compañía Genesee and Wyoming Inc. Y desde entonces ha implementado nuevos y avanzados procedimientos administrativos, operativos y tecnológicos, esto producirá a largo plazo, un aumento de eficiencia y mejoras en los servicios que presta.

Es un ferrocarril regional ubicado entre los estados de Yucatán, Campeche, Chiapas, Tabasco, Veracruz y Oaxaca, con una red de 1,805 kilómetros de vía principal y ramas adyacentes, conectando importantes ciudades como son: Mérida, Yuc. Campeche, Camp. Y Coatzacoalcos, Ver. Esto por la Costa del Golfo de México, y con Ixtepec, Oax. Tapachula y Ciudad Hidalgo, Chiapas en la frontera con Guatemala a lo largo de la Costa del Océano Pacífico.

De los 1805 kilómetros de vía con que cuenta, FCCM opera 321 kilómetros de vía con derechos de paso entre Coatzacoalcos Ver. Y Salina Cruz, Oax. Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec (FIT). Permitiendo la conexión principal con Ferrosur en Coatzacoalcos y Medias Aguas, Ver.



MAPA DE RUTAS Y COBERTURA
CHIAPAS - MAYAB

Por todo lo anterior mencionado, podemos decir que, los ferrocarriles: TFM, FERROMEX, FERROSUR, TFVM y FCCM, se consideran como líneas troncales y los ferrocarriles Coahuila-Durango y Oaxaca y Sur, como Líneas cortas y las líneas que yo no están en operación, remanentes.

LÍNEAS TRONCALES

| | | |
|---------------------------------------|------------|------------|
| Ferrocarril del Noreste (TFM) | 4,242 kms | |
| Ferrocarril Pacífico Norte (FERROMEX) | 8,500 kms | |
| Ferrocarril del Sureste (FERROSUR) | 1,505 kms | |
| F:T Valle de México (TFVM) | 297 kms | |
| Ferrocarriles Chiapas-Mayab (FCCM) | 1,805 kms | |
| | 16,349 kms | 16,349 Kms |

LÍNEAS CORTAS

| | | |
|------------------|-----------|------------|
| Coahuila-Durango | 974 kms | |
| Oaxaca y Sur | 597 kms | |
| | 1,571 kms | 1,571 Kms |
| | | 17,920 Kms |

por lo tanto, se tiene que la Red Ferroviaria actual en México, está compuesta por 26,696 kms de longitud de vía, de los cuales 17,920 kms corresponden a Empresas concesionarias, lo que representa un 67.1% del total. El 32.9% restante forma parte de las Vías remanentes con 2,802 kms, secundarias con 4,419 kms y particulares con 1,555 kms.

CAPITULO II

TIPO DE DURMIENTE UTILIZADO EN VIAS DE FERROCARRIL EN MÉXICO

Durmiente, donde se apoya y será fijado el riel, es el medio generalmente usado por los ferrocarriles y las empresas particulares que utilizan este tipo de transporte, para el movimiento de mercancías ó carga en general.

La función del durmiente es mantener un escantillón constante, que es igual a 1,435 mm para vía estándar ó ancha, esto mismo, conservará una vía alineada y nivelada, transmitiendo las cargas generadas al balastro.

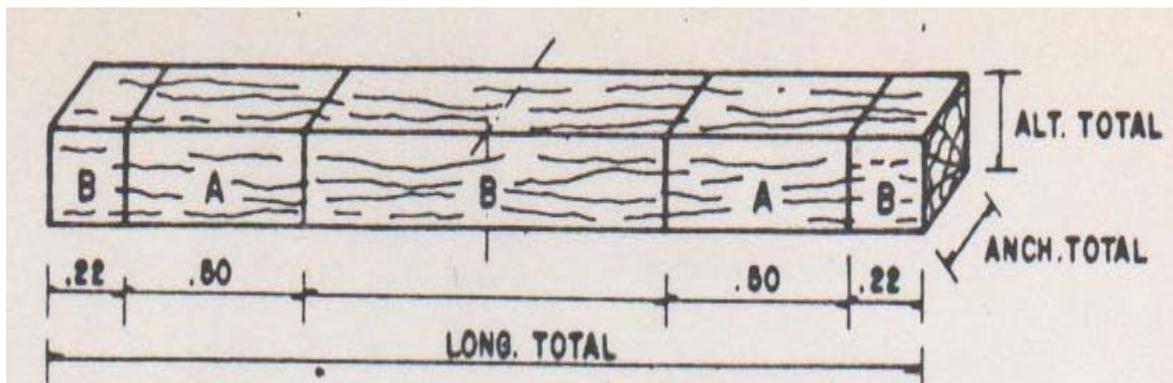
El durmiente y su condición, son factores importantes para la seguridad y capacidad de carga de la vía.

Existen 3 tipos diferentes de durmientes que fueron y son utilizados actualmente por los ferrocarriles y son:

- 2.1 Durmiente de Madera
- 2.2 Durmiente de Concreto
- 2.3 Durmiente de Acero

2.1 DURMIENTE DE MADERA.-

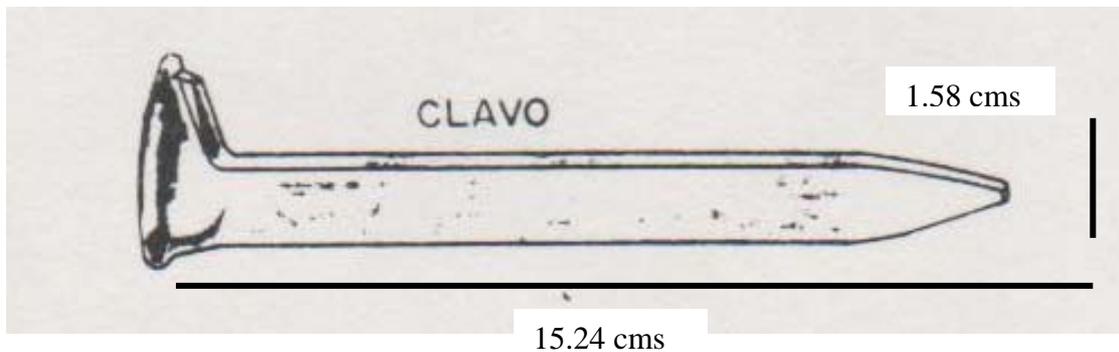
Este tipo de durmiente es el más utilizado tanto para empresas particulares como los ferrocarriles en vías secundarias, cuyas dimensiones reglamentarias (estándar) son de 7" x 8" x 8' es decir: 18 cm x 20 cm x 2.44 m.



Se considera utilizar madera suave (tipo pino) y dura (tipo encino), aserrada por sus cuatro caras con aristas perfectamente escuadrados, contando las cabezas en ángulo recto a la fibra de la madera, no tendrá inclinación mayor a 1:15 en el sentido longitudinal de la pieza.

En términos generales, la madera deberá ser compacta y, de ser posible, apreciar en la sección transversal del durmiente cuando menos 6 anillos de crecimiento anual por cada 3 cm de espacio por medición radial y considerándose un durmiente derecho, cuando sus caras laterales, sean paralelas y perpendiculares entre sí.

Se colocan 2,000 pzas de durmiente de madera por kilómetro, considerando una separación de centro a centro de durmiente de 50 cm, fijándose al riel, mediante un clavo de vía de 5/8" (1.58 cm) de diámetro por 6" (15.24 cm) de longitud.



La vida útil del durmiente de madera varía, pues factores como el clima, tráfico en la vía, peso del equipo rodante y tractivo y considerando que no hayan tenido un tratamiento de impregnación adecuado, es de 5 a 7 años como máximo.

2.2.- DURMIENTE DE CONCRETO

A fines del siglo XIX, se contempló la idea de fabricar durmientes de concreto para sustituir el durmiente de madera, pues se inicia el uso del concreto armado. Se tiene conocimiento, que en el periodo comprendido entre 1880 y 1914, se hicieron los primeros ensayos.

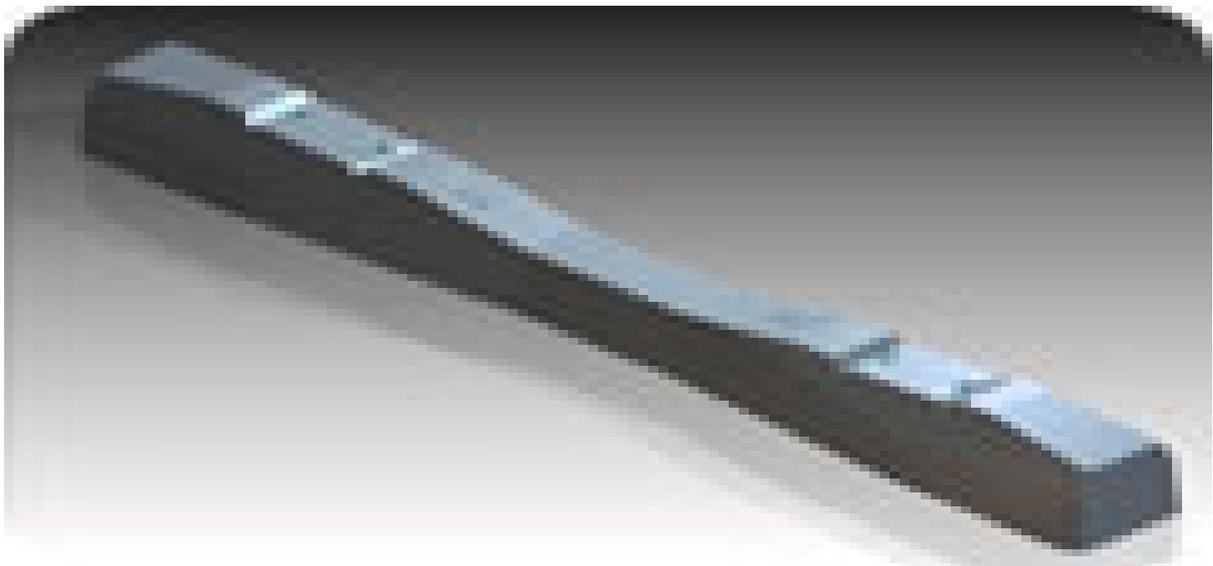
Hasta 1942, muy pocas pruebas se habían hecho con durmientes de concreto, las perspectivas, tanto en lo técnico como en lo económico, no eran muy satisfactorias puesto que se quebraban, además del problema de la sujeción del riel que todavía no se resolvía adecuadamente. Es por esto que, durante la Segunda Guerra Mundial, algunos países europeos, se vieron en la necesidad de contemplar, desde otro punto de vista, el durmiente de concreto, perfeccionando la tecnología de fabricación, surgiendo diversos sistemas y tipos que respondían satisfactoriamente a los esfuerzos a que estaban sometidos.

En México, en el año de 1950, surge la inquietud de utilizar el durmiente de concreto, con el fin de preservar la riqueza forestal, debido a la creciente demanda de durmientes para llevar a cabo la conservación o rehabilitación de las vías que estaban en servicio ó por la construcción de nuevas líneas.

Se utilizaron dos tipos de durmiente de concreto:

El Monolítico, como su nombre la indica, es de una sola pieza de forma parecida al durmiente de madera y el mixto, constituido por dos bloques de concreto conectados rígidamente por una solera o un ángulo de acero que aseguraba la correcta separación de los mismos, manteniendo el escantillón reglamentario (estándar) de la vía.

De éstos dos tipos de durmiente de concreto, el Monolítico es el más utilizado para ser colocado en las vías principales o troncales aplicando 1,666 piezas por kilómetro a una separación de centro a centro de durmiente de 60cm.



2.3.- DURMIENTE DE ACERO

Al inicio de la era de los ferrocarriles, se desarrollaron los durmientes de acero, estos eran de una sola pieza en forma de una artesa invertida, el cual descansa firmemente en el balastro y que en México se le conoció como "Conchas", presentan una cara superior dotada de los elementos para sentar los rieles, afirmar el escantillón y sujetar las cabezas de los pernos de fijación del patín.

Los bordes volteados hacia abajo presentan su inconfundible característica de anclaje que los hacía excelentes para vías sinuosas, como la concha era hueca, era necesario utilizar balastro adecuado y saber introducirlo y calzarlo correctamente bajo el durmiente. El peso era de 75kg. por pieza, similar al durmiente de madera pudiéndose manejar por el personal de vía con facilidad.

Características:

- .- Duración mínima de 60 años con fuerte tráfico.
- .- Daño mínimo por descarrilamiento con posibilidad de reparación mediante soldadura.
- .- Gran resistencia al desplazamiento lateral y al corrimiento longitudinal.
- .- Alineamiento y nivelación prolongado cuando el balastro era adecuado y estaba bien calzado.

Este tipo de durmiente, como es sabido, dejó de utilizarse en los ferrocarriles de México, hace muchos años, por obsoleto, pues cada vez era más la carga, más pesado el equipo rodante y la fuerza tractiva.

.- DURMIENTE MIXTO (BIBLOCK).

El más empleado fue el diseño francés llamado durmiente "RS" cuyas características eran: dos bloques de 22cm x 22cm x 30cm. por durmiente, ligados por una barra ligera de fierro (ángulo). Los apoyos para los rieles eran achaflanados y tenían una inclinación hacia el centro de la vía 1:20, el acero de refuerzo era muy simple y lo formaban 2 parrillas de 4 varillas cortas de 5/16" (0.8cm) de diámetro con 4 separadores de alambroón ligados por un zunchado helicoidal de 3/16" (0.48cm) de espesor, 15cm. de diámetro y 4cm. de paso.



El acero de refuerzo pesaba 6.4kg. en los 2 blocks que se debían separar mediante la barra de hierro estructural (ángulo) de 2m. de longitud y un peso de 9kg. para tráfico liviano y en regiones de baja oxidación. Para tráfico pesado, la barra de unión llegaba a pesar 15kg. y para prevenir la oxidación, se le aplicaba pintura ahulada.

El peso del durmiente era de 197kg.y con un volúmen de concreto para los 2 blocks de 0.076m³ y para el control de calidad se efectuaban pruebas de resistencia a la flexión aplicando cargas de 30ton.en cada block sin presentar grieta alguna, además de las pruebas de resistencia a la abrasión que, al tenderse en el balasto, sufriría desgaste al frotarse sus caras en el balasto a la hora del movimiento o paso de los trenes. El concreto de los durmientes mixtos "RS" resistía 400kg/cm² a los 28 días y solo 25kg/cm² a la tensión.

Este tipo de durmiente dejó de utilizarse (obsoleto) en los ferrocarriles mexicanos, al irse incrementando las cargas, tanto de las máquinas (fuerza tractiva) como por el equipo rodante y que anteriormente se utilizaba riel de 90lbs/yd. y actualmente de 115lbs/yd. Es decir, que con el durmiente de una sola pieza, monolítico, se obtiene mayor resistencia para resistir un posible descarrilamiento.

Como una nota anexa, relacionado con el tema, existe otro tipo de durmiente, por así llamarlo, denominada: "Vía Ahogada en Concreto con Riel Durmiente", que no es otra cosa, que utilizar como durmiente, riel chatarra (4^a clase) que puede ser de 85-90 lbs/yd. Cortado en tramos de 2.40m de longitud, al cual se suelda al patín una grapa o palometa para su fijación con el riel principal, colocándose a una separación de 80cm cada uno dando escantillón de 1,435mm reglamentario(estándar) para posteriormente alinear y nivelar la vía.

Después se procede a armar el emparrillado con varilla de 3/8" (0.95cm) de diámetro, separación de 20cm en ambas direcciones, que es colocado entre el riel durmiente, para después aplicar concreto $f'c = 250\text{kg/cm}^2$ de resistencia en un ancho de vía de 3.0m por un espesor de 40cm hasta el hongo del riel principal, dejando entre éste, por la parte interna, y el concreto, una separación de 2 1/2" (6.35cm) para la ceja de las ruedas del equipo rodante

Cabe señalar, que este tipo de durmiente es frecuentemente utilizado por empresas particulares en el interior de sus instalaciones, con velocidad restringida a la de un patio de maniobras, es decir de 10 a 15km/h.

CAPITULO III

PROCESO Y ESPECIFICACIONES EN LA FABRICACIÓN DEL DURMIENTE

3.1 DE MADERA.-

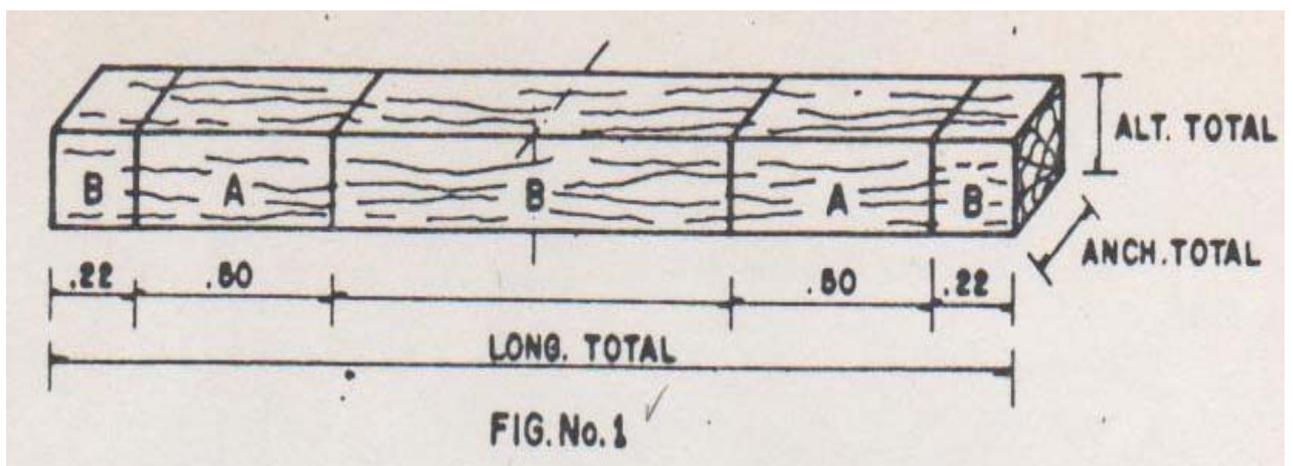
El proceso empieza cuando se recibe el durmiente cortado sin impregnar y son inspeccionados para verificar que estén derechos (se considera como un durmiente derecho cuando sus caras laterales sean paralelas y perpendiculares entre sí, teniendo las dimensiones requeridas), libres de defectos que puedan reducir su resistencia o durabilidad y que por ello sean rechazados.

Los defectos que pueden dañar a la madera que servirá para fabricar un durmiente, tomando en cuenta que deben ser de madera compacta, ya sea de madera suave (tipo pino) o dura (tipo encino), son los siguientes:

AGUJEROS

Se rechazarán los durmientes que se encuentren en las condiciones siguientes:

Los que presentan en la Zona "A" agujeros de 1.5cm. de diámetro y más de 8cm. de profundidad. Los que presentan agujeros de 5cm. de diámetro o más de 8cm. de profundidad, cuando estén fuera de la zona "A" (Fig. N°1).



Los que presenten varios agujeros cercanos en grupos y su superficie equivalga a un agujero de los citados que debilite el durmiente en igual grado que aquellos, entendiéndose que un agujero esté próximo al otro, cuando la distancia del centro a centro de los agujeros sea menor a 2 diámetros del agujero mayor del grupo.

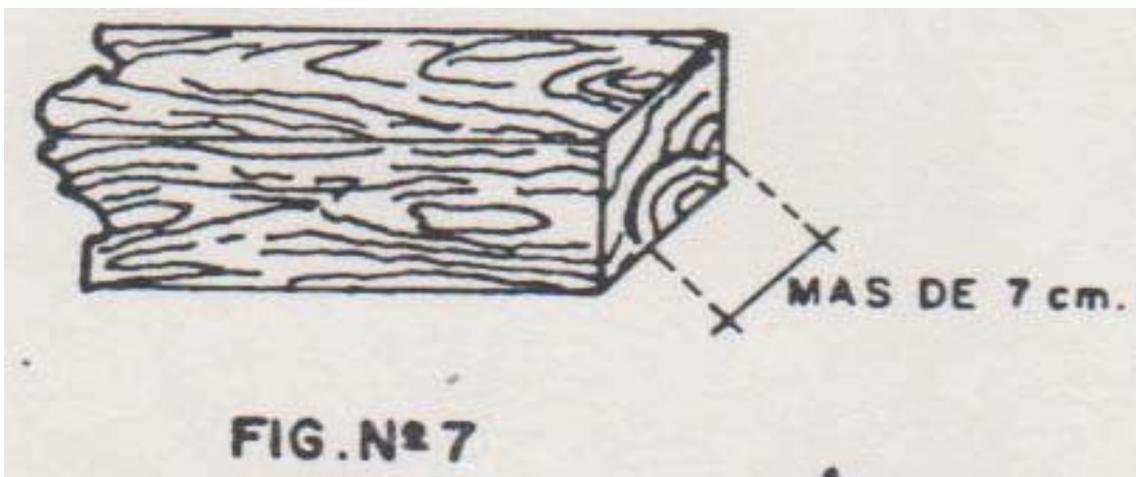
Los durmientes que tengan agujero longitudinal de 2cm. De diámetro por 20cm. de profundidad y que aparezcan con uno ó más agujeros obturados con tapón.

NUDOS.

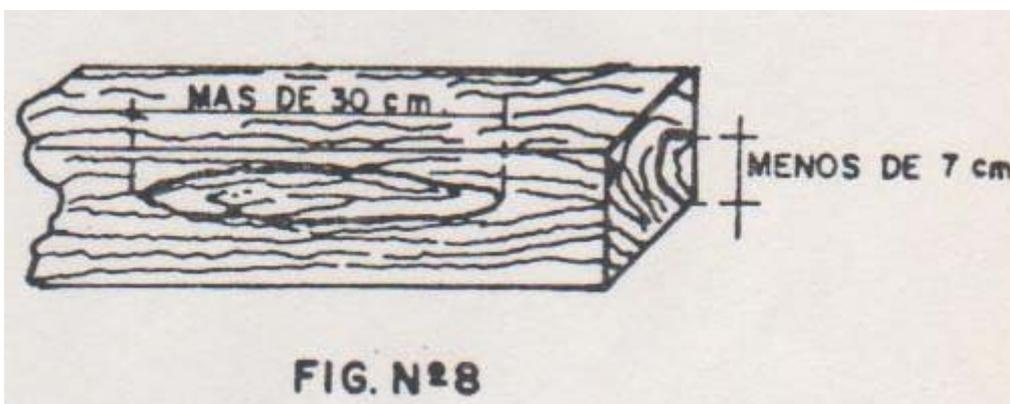
No se aceptarán los durmientes que presenten nudos grandes o numeroso en la Zona "A", son nudos grandes los que tengan más de 5cm. de diámetro y numerosos los que formando número su superficie equivalga a un nudo grande ni nudos de paloma.

GRIETAS ANULARES.

Son aquellas que se presentan siguiendo las capas concéntricas de crecimiento anual. No se tolerará ninguna grieta anular de más de 7cm. (Fig. N°7).

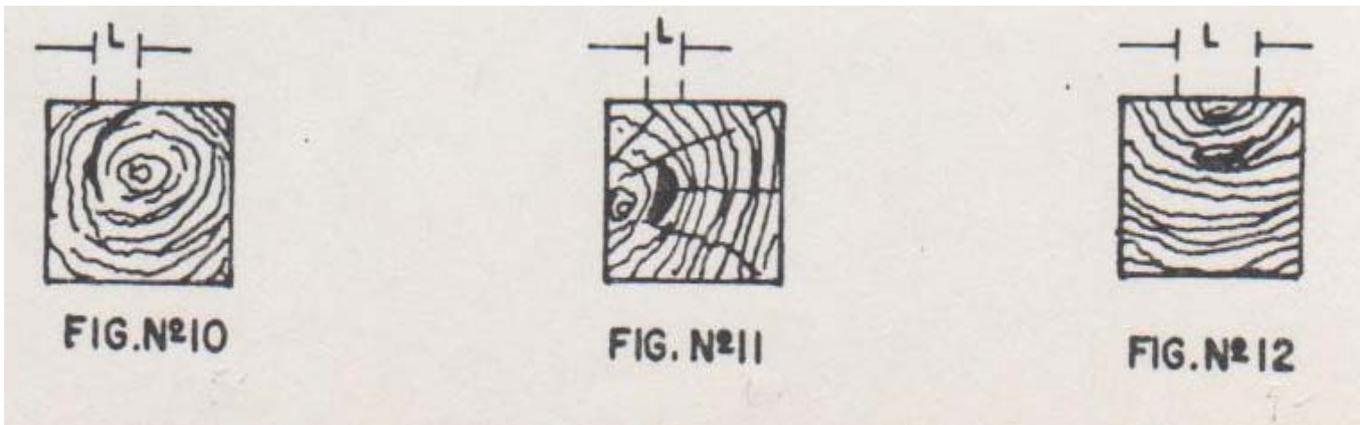


Aquellas grietas que aparezcan en las caras del durmiente (Fig. 8 y 9), pongan al descubierto la superficie cilíndrica o la arista correspondiente en más de 30cm.



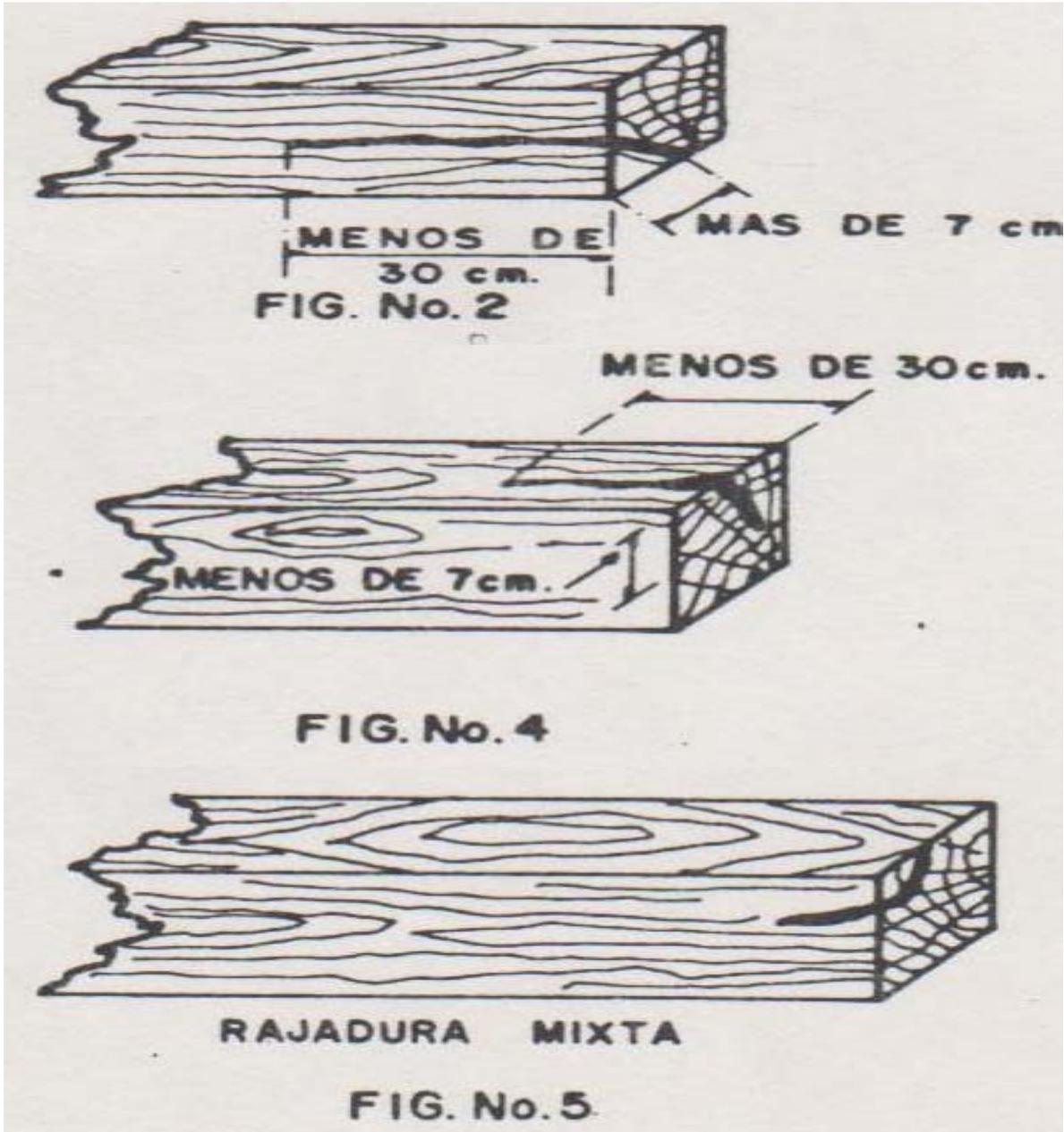


Las grietas anulares son medidas en los extremos de los durmientes entre dos líneas que abarcan la grieta y son paralelas a las aristas correspondientes a las caras (Fig. núms. 10,11 y 12).



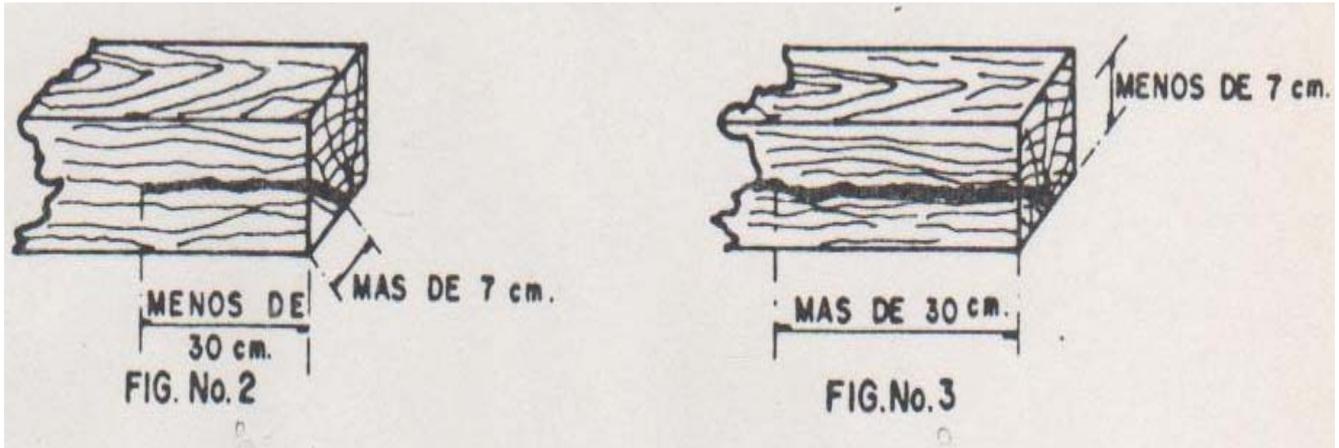
GRIETA RADIAL.

La que se presenta transversal a los anillos de crecimiento anual. No se tolerará ninguna grieta radial que medida en los extremos del durmiente tenga una penetración promedio mayor de un tercio del ancho del durmiente, o sea 7cm. (Fig. N°2), ni la grieta que tenga más de 30 cm. a lo largo del durmiente aunque sean menos de 7cm. en la cabeza. Las grietas radiales se miden en los extremos de los durmientes (Fig. N°4) teniendo como valor promedio de la penetración perpendicular a las dos caras. La unión de una grieta radial con una anular (Fig N°5), motivará el rechazo inmediato del durmiente, esto se llama Grieta Mixta.

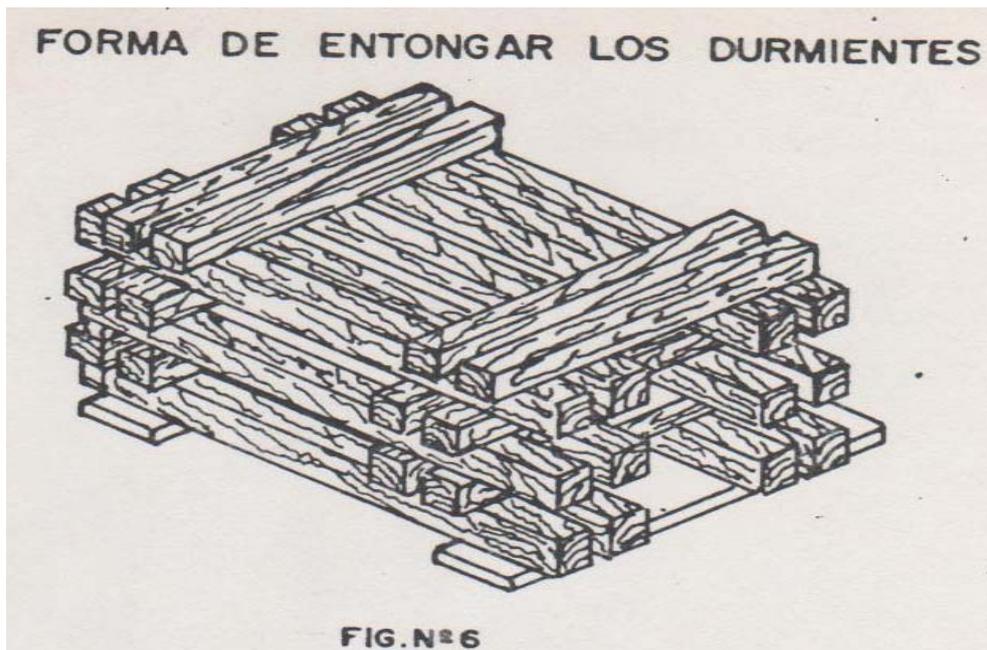


RAJADURA.

La rajadura es una separación de la madera que se extiende a lo largo del durmiente, son medidas en los extremos de los durmientes y tienen por valor la penetración paralela a las caras. (Fig. N° 2 y 3)

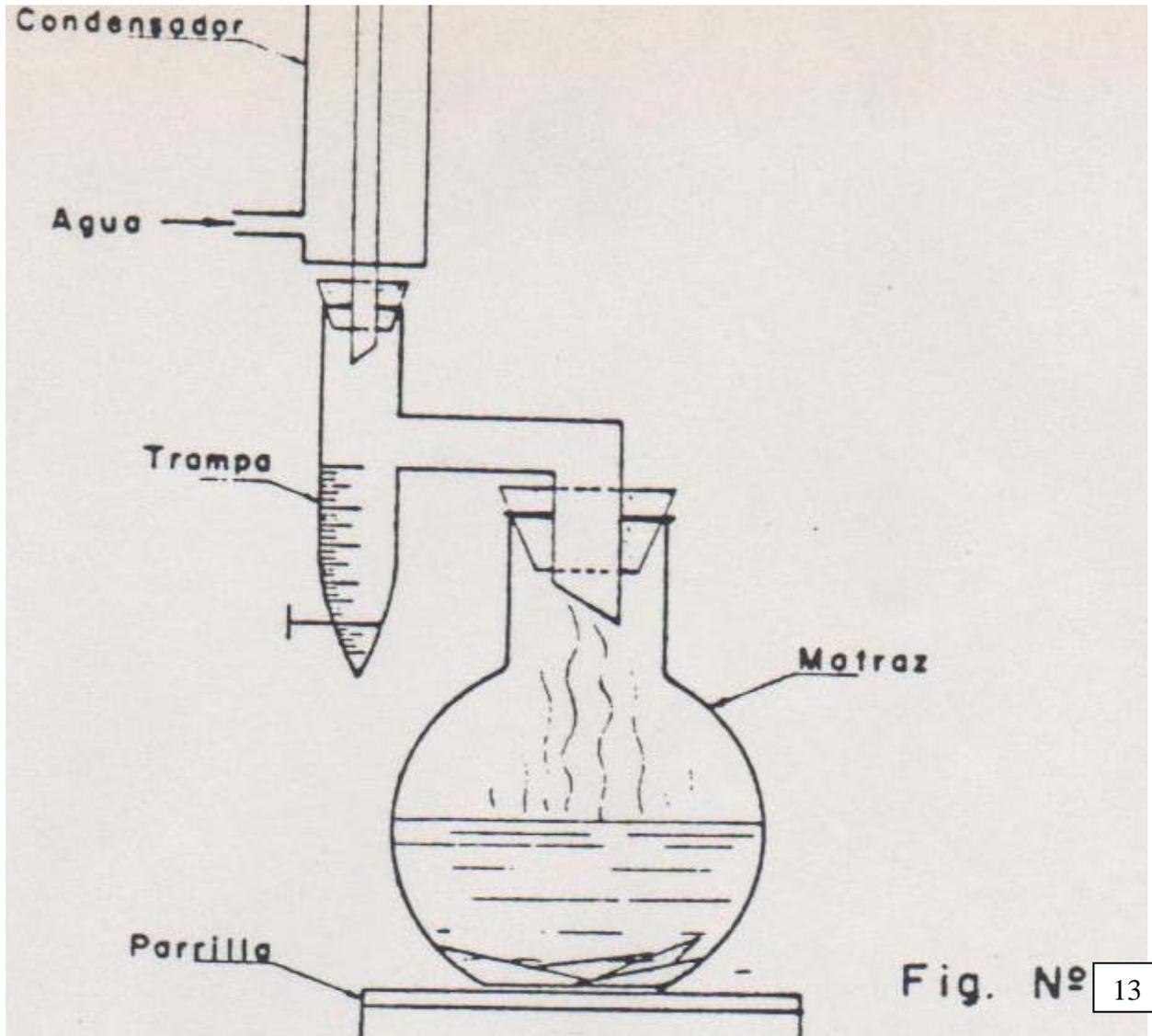


Una vez separada, seleccionada la madera aceptada para fabricar el durmiente, se procede a entongar dicha madera para que ésta pierda humedad y consiste en apilar perpendicularmente las piezas con espacio suficiente entre una y otra, para que circule o fluya el aire y así se sazone y seque uniformemente (Fig. 6) hasta alcanzar la humedad requerida, óptima, que es del 25% en madera suave (pino) y el 40% en madera dura (encino).



Para verificar el porcentaje de humedad, estando ya entongado el durmiente, se toman 8 ó 10 muestras de gusanillos con la broca Presler, se pesan y se colocan en un tubo de ensayo para evitar que la muestra pierda humedad al contacto del aire y ya en el laboratorio se procede como sigue:

En un matraz, se colocan las muestras de los durmientes y se añaden 150 c.c. de Xilol (deshidratante), se colocan una trampa y un condensador (Fig. 13) y por medio de un mechero o parrilla eléctrica se pone en ebullición el Xilol formando vapores del mismo producto y agua contenida en las muestras de madera, las cuales se condensan, depositándose el agua en la trampa y el Xilol regresa al matraz, suspendiéndose la operación cuando se vea que ya no existen burbujas de agua en las paredes del refrigerante.



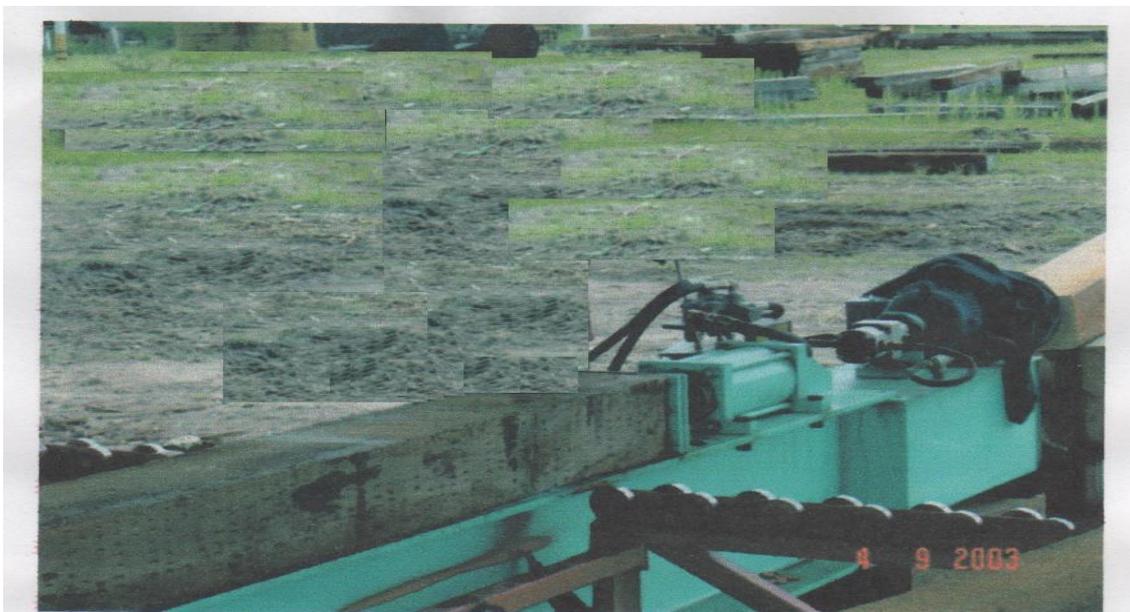
Posteriormente se extraen del matraz las muestras, las cuales se secan en horno procediéndose después a pesarlas, para determinar su porcentaje de humedad mediante la formula siguiente:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{PESO INICIAL DE LA MADERA} - \text{PESO FINAL DE LA MADERA}}{\text{PESO FINAL DE LA MADERA}} \times 100$$

La duración del secado no debe ser menor de 6 horas ni mayor de 15 horas. La duración del vacío será de 2 horas. Una vez terminado éste, se aplica vapor de agua para arrastrar cualquier vestigio de vapores orgánicos.

Una vez determinada la humedad requerida, se procede al proceso ó tratamiento de preservación del durmiente.

Para el durmiente duro (encino) el proceso de secado al aire libre provoca que la madera se agriete, generando que por este defecto sea rechazada, por lo que actualmente las plantas impregnadoras en el país (como las de Durango, Dgo. Y Parral, Chih.) diseñaron un método que consiste en incrustar una placa metálica en cada una de las caras laterales del durmiente (ver figuras) para con esto evitar que la madera que se va a utilizar como durmiente se agriete y cuando tenga la humedad requerida continúe su proceso de impregnación.



PROCESO DE PRESERVACIÓN (IMPREGNACIÓN).-

El objeto primordial del tratamiento de la madera es:

Preservarla contra el ataque de hongos e insectos y si la madera se encuentra ligeramente atacada, eliminar en forma efectiva la zona o zonas afectadas.

Este tratamiento de la madera será de acuerdo a la especificación o norma C-6 del año de 1999, publicado por la A.W.P.A. (American Wood Preservers Association) y de los Ferrocarriles Mexicanos.

En los Ferrocarriles Mexicanos, la madera más usada para fabricar el durmiente, es el pino (madera suave), para lo cual, la Norma C.6 recomienda que, como mínimo un durmiente de pino debe retener entre 10lbs/pie³ (160.33kg/m³) a 14 lbs/pie³ (224.46 kg/m³), considerando como optimo, 12 lbs/pie³ (192.39kg/m³) de impregnante preservante.

El impregnante preservante utilizado por los Ferrocarriles Mexicanos es la creosota (Alquitrán, Resina), mezclada con petrodiesel en una proporción del 50%-50% en volumen.

El tratamiento de preservación de la madera puede hacerse mediante dos métodos: sin presión y a presión.

Los métodos sin presión son: Con brocha, por aspersion por inmersión breve o prolongada ó por baño caliente y frío.

Los métodos a presión son: De celdilla vacía y celdilla llena. Los de celdilla vacía son: Rüiping (max) y Lowry (C.B.)

Los del celdilla llena es: El Bethell (John).

El método usado por los Ferrocarriles Mexicanos y las fábricas (plantas impregnadoras) para preservar el durmiente de madera, es el método de Lowry (C.B.), que fue patentado en el año de 1906.

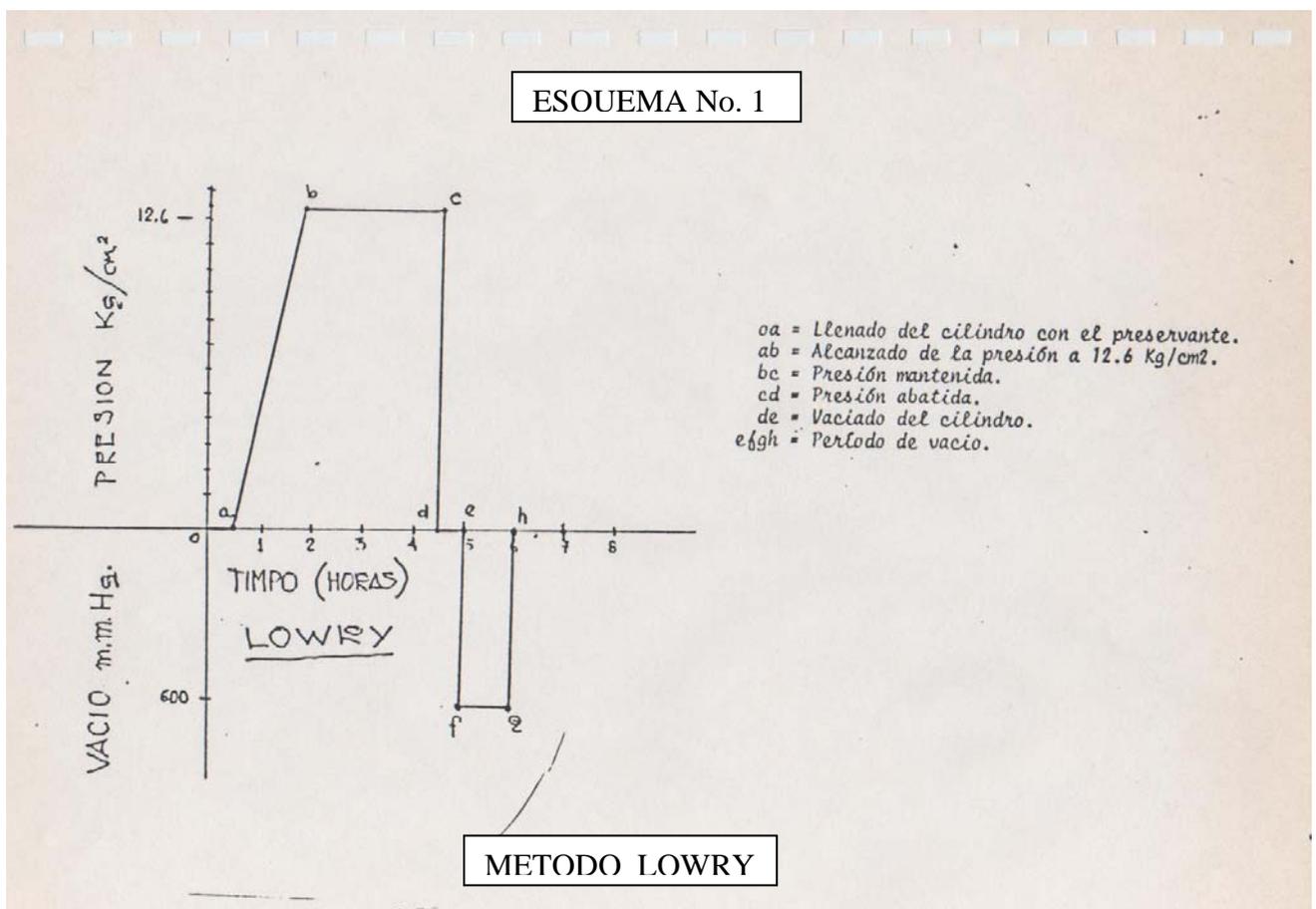
MÉTODO LOWRY.-

De celdilla vacía sin aire inicial, y tiene una duración de 7 h 30 min. (Esquema N°1) en la forma siguiente:

| | | |
|----|---|---------------|
| a) | Llenado del cilindro con el preservante (Creosota) | 0.30 h |
| b) | Aplicar presión para alcanzar 180 lbs/pulg ² (12.65 kg/cm ²) | 1.00 h |
| c) | Presión mantenida | 3.30 h |
| d) | Presión abatida | 0.30 h |
| e) | Vaciado del cilindro | 1.00 h |
| f) | Vacío final para extraerle a la mad. el impreg. sobrante | <u>1.00 h</u> |
| | | 7.30 h |

DESARROLLO DEL MÉTODO.-

- 1.- Una vez que la madera haya perdido el 75% de su humedad, ésta será acarreada e introducida al cilindro ó autoclave de tratamiento que se cerrará herméticamente.
- 2.- Se calentará la carga de preservante gradualmente de entre 80 a 105°C; se llenará con la solución de impregnante (mezcla) compuesta por cerosota 50% y de petrodiesel 50%.
- 3.- Se procederá a inyectar la mezcla lentamente hasta alcanzar la presión de 180 lbs/pulg², igual a 12.65 kg/cm² manteniéndose ésta hasta alcanzar una retención de 12 lbs/pie de madera (192.39 kg/m), sosteniéndose la temperatura de 80 a 105°C en el cilindro de tratamiento.
- 4.- Logrando lo anterior, se abatirá la presión gradualmente y se desalojará el impregnante, procediendo a efectuar un vacío de 600mm en la columna de mercurio con el objeto de extraerle a la madera, el preservante sobrante.
- 5.- Finalmente será abierto el cilindro ó autoclave y serán retirados al patio de almacenamiento los durmientes impregnados.



Estando ya el durmiente impregnado en el patio de almacenamiento, es necesario determinar la retención del impregnante en la madera, para esto con el taladro (broca) Presler se toman 20 muestras al azar de los durmientes y se analizan en el laboratorio, se mide cada muestra o gusanillo para determinar el porcentaje de penetración del impregnante en la albura (parte suave de la madera Fig.15) y la penetración deberá ser de por lo menos 6.5cm u 80% en la albura.

Una vez determinada la penetración del impregnante, se pesan las muestras y se meten en un extractor (secador) para ser lavados con Xilol (Deshidratante) con el fin de extraerle el impregnante, este proceso dura de 2 a 3 horas pasadas las cuales, se sacan y pesan nuevamente las muestras y por la diferencia de peso, se determina la retención del preservante en la madera y se expresa en kg/m³ ó lbs/pie³.

La fórmula para determinar la retención de impregnante en la madera es:
 Retención (grs/cm³) = $\frac{(w1-w2-w3)}{Vt} \times 100$

Donde:

W1= Peso de los gusanillos con creosota.

W2= Peso del agua existente en la muestra (en gramos).

W3= Peso de los gusanillos lavados y secos.

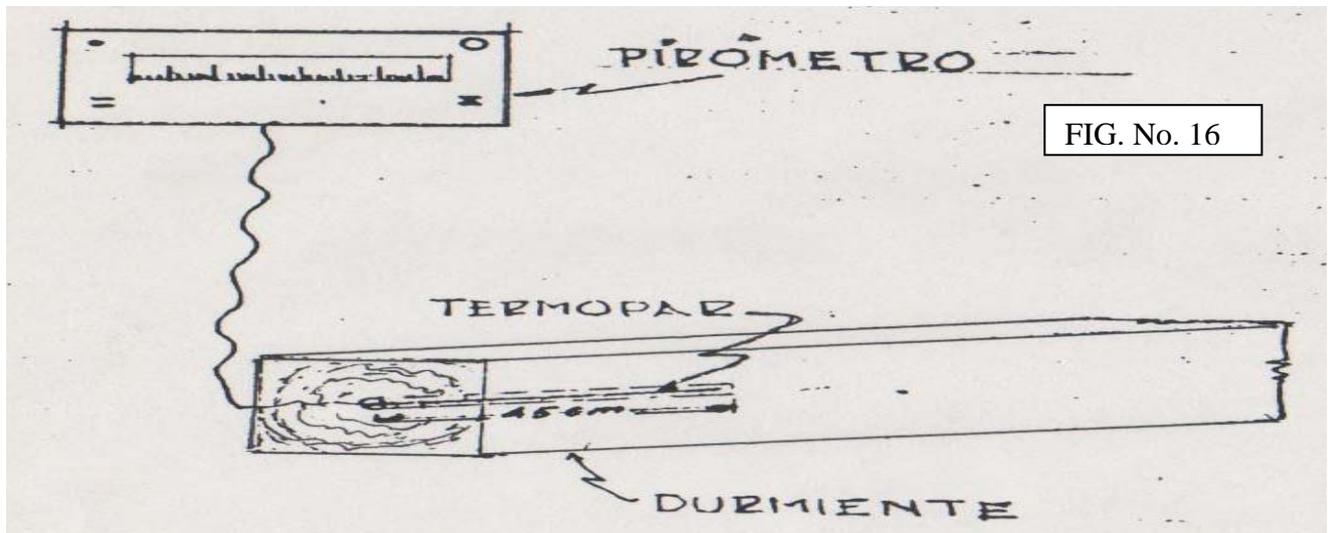
Vt= Volumen total de los gusanillos (en cm³).

Hay que tomar en cuenta que, debido a la estructura de la madera, muchas veces no se alcanza la penetración ó impregnación requerida de preservante, por lo cual, es indispensable "Esterilizar" la madera, y esto se logra por medio de un calentamiento adecuado por periodos de tiempo determinados como se desprende del cuadro siguiente:

| <u>Temp. °C</u> | <u>Tiempo</u> |
|-----------------|---------------|
| 65.5 | 75 min |
| 76.6 | 30 " |
| 82.1 | 20 " |
| 93.2 | 10 " |
| 100.0 | 5 2 |

Para controlar las temperaturas de "Esterilización", se emplean aparatos electrónicos, "Pirómetros", con los cuales y por medio de termopares, se introducen en el centro de la pieza por tratar (Fig. 16). Empleando el preservante bien caliente (80°C mínimo) y con una presión adecuada, (no menor de 10.5 kg/cm²), se va leyendo en el cuadrante del pirómetro, la

temperatura en el centro de la pieza y a partir de los 65.5°C, se cuenta el tiempo de "Esterilización", abatiendo la presión sin importar la retención lograda.



Con estas temperaturas y tiempos indicados de "Esterilización", de la madera, se ha comprobado que se elimina todo vestigio de vida orgánica (hongos) y con esto, se prolonga la vida útil del durmiente.

INSPECCIÓN FINAL.-

El inspector de la planta de impregnación (fabricante) y el inspector de los Ferrocarriles Mexicanos, conjuntamente tomarán de cada lote determinado, 20 muestras con broca Presler tomándola al centro del durmiente por la parte de la albura. Si el 90% de las muestras cumplen con la penetración total de la albura el lote será aceptado. Si la profundidad y retención de las piezas no cumpliera con esta disposición, el lote será rechazado. Cuando un lote es rechazado podrá ser nuevamente tratado por una sola vez y si en el segundo tratamiento no es aceptado, el lote se retirará de la planta de impregnación.

Se vigilará que las tongas de escurrimiento, del impregnante, de los durmientes después de su preservación sean protegidos con polines para evitar el contacto con la tierra y se contaminen.

Las cavidades que deja la broca Presler al ser tomada las muestras, serán taqueteados con taquetes creosotados para evitar que penetre la humedad.

3.2.- DE CONCRETO.-

El material tradicional para los durmientes en la mayoría de los países ha sido la madera, ésta cuando es de calidad y se trata química y mecánicamente bien, satisface en forma razonable los requisitos de un buen durmiente.

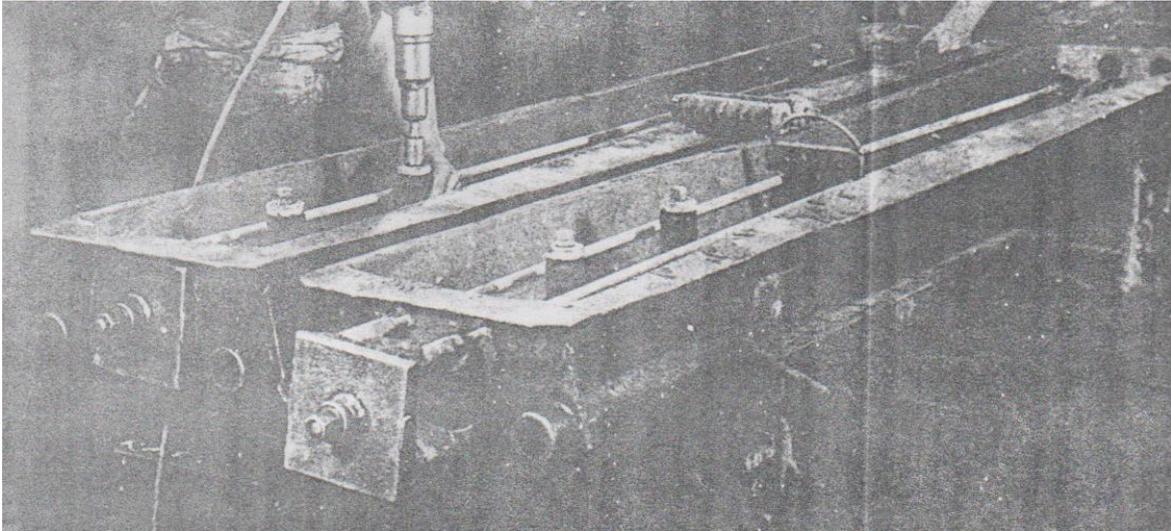
La desventaja de estos durmientes esta en la escasez del material para su elaboración, el ataque de organismos animales y vegetales a los que están expuestos y el deterioro por la intemperie puede ocasionar su destrucción a corto plazo.

Como consecuencia de lo anterior, en los últimos años se ha tenido la necesidad de buscar otras opciones, encontrándose en los durmientes de Concreto Postensado, una respuesta a las necesidades del Sistema Ferroviario tanto para la construcción de nuevas vías como para la rehabilitación de las ya existentes y el uso extensivo de este tipo de durmiente en todo el mundo, indica que se ha situado como parte importante de la estructura de vía moderna.

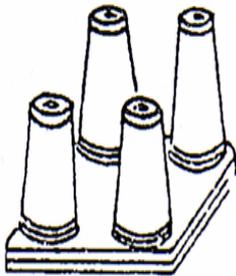
Para el soporte y guía del equipo rodante del ferrocarril, la estructura de la vía debe controlar conjuntamente las fuerzas laterales, verticales y longitudinales. Como elemento de estructura de la vía, los durmientes reciben las cargas de los rieles con los elementos de sujeción y, en su momento, las transmiten al balasto y a la subrasante. Consecuentemente, el diseño de un durmiente se ve afectado por las características de los otros componentes de la estructura de la vía.

El proceso para la fabricación del durmiente de Concreto Comprimido y Postensado, que es aplicable a las estructuras de concreto premezclado, consta de las siguientes etapas:

1.- ARMADO DEL MOLDE.- Al llevar a cabo el armado del molde son colocadas las matrices que son las que formaran los ductos para que posteriormente se aplique el postensado (ver figura) .



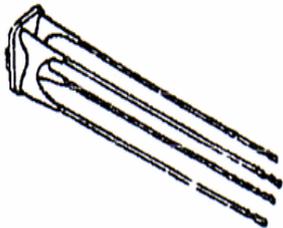
ACCESORIOS PARA ARMADO DE MOLDES.



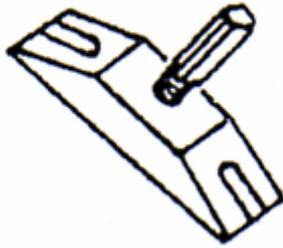
CUADRO DE CONOS.- Forman los ductos para las llaves tubulares (spans) de la maquina de tensado en el durmiente.



CUÑAS.- Forman los drenes en el durmiente.



MATRIZ.- Forman los ductos para introducir las orquillas.



TENSADO.- Para sujetar cuadro con conos y tensar las matrices.

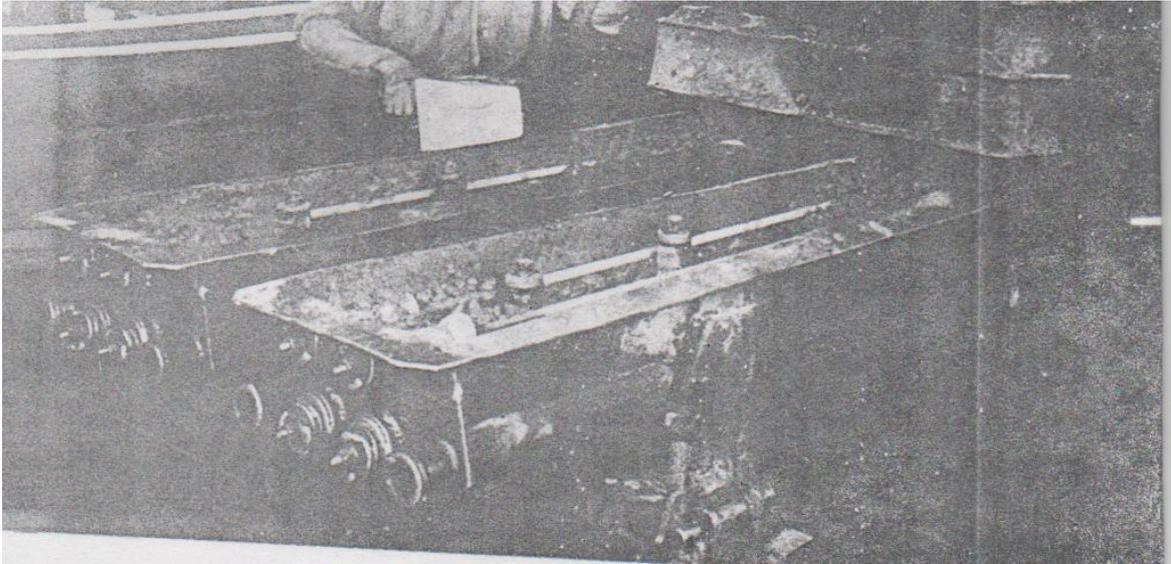
2.- VACIADO Y VIBRADO DEL CONCRETO.- Elaboración del concreto para el vaciado:

DOSIFICACION.- Los materiales e concentran en un lugar seguro (Silo llamado de estrella) en donde, mediante una bascula se pesan los agregados. Esto debe realizarse exactamente de acuerdo como se indica en la carátula de la bascula.

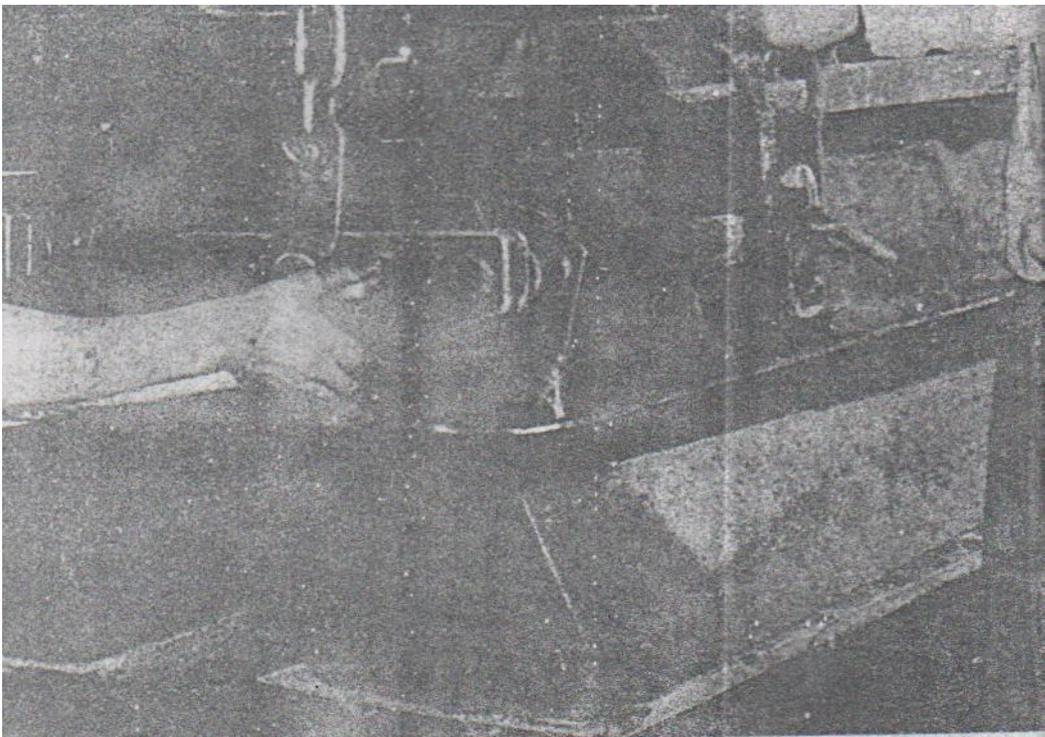
En caso de realizarse una mala pesada en lo agregados esta afectara la fabricación del durmiente como puede ser: una baja resistencia o una mala presentación del mismo.

REVOLTURA.- La revolvedora que se utiliza es del tipo horizontal con paletas giratoria. Estando los materiales dentro de la revolvedora, se mezclan por espacio de un minuto y medio, al cabo de ese tiempo se abre la compuerta y con la ayuda de una banda transportadora reversible, se manda el concreto a la línea de producción. La banda transportadora lleva al concreto a una tolva distribuidora, que se encuentra sobre la mesa vibradora.

Una vez llena la tolva distribuidora y que la banda transportadora deja de funcionar, se hace trabajar la mesa vibradora sobre la cual han quedado fijos por medio de gatos hidráulicos los moldes debidamente armados. Al empezar a vibrar la mesa, se pone en funcionamiento la tolva distribuidora, haciendo movimientos de ida y vuelta, a lo largo de los moldes, vaciando el concreto (ver figura).



3.- COMPRIMIDO DEL CONCRETO.- Ya que se han llenado los moldes con el concreto, se afina este y se hacen bajar la vigas de compresión, cada viga comprime al concreto de un molde ayudándose de dos vibradores cada una. Por la vibración de la mesa y la vigas de compresión el agua del concreto sube y las vigas quedan en posición horizontal, esto quiere decir que el concreto esta perfectamente vibrado, llenándose todos los huecos del molde, se suben las vigas de compresión, se aflojan los gatos de las mesas vibratoras y paran sus vibradores quedando el concreto comprimido (ver figura).



Los accesorios para el comprimido del concreto son: de conexión, apoyo, tensión, para el inyectado, y son los siguientes:

- 1.- Camisa.
- 2.- Campana de Anclaje.
- 3.- Campana de Tensado.
- 4.- Manguera de Ventilación.
- 5.- Grapa Jurid.

1).- Camisa.- La camisa para comprimir sirve de guía a las barras y queda holgada para facilitar su colocación en un tubo de metal con preparaciones en las puntas para las conexiones.

2).- Campana de Anclaje.- En uno de los extremos del elemento estructural se deberá colocar una campana de anclaje que sirve como ancla para la barra de compresión y consta de una tuerca hexagonal remachada o soldada a una placa de metal y deberá llevar un tubo de conexión para unir la camisa, y teniendo también la función de ducto para inyección de la lechada.

3.- Campana de Tensado.- Es el apoyo para aplicar la fuerza de tensión y necesita una placa de acero que sirve como apoyo, ya que de esta manera aumentamos el área de aplastamiento del concreto. Una vez tensada la barra, se aprieta una tuerca cónica de un extremo y hexagonal del otro.

4.- Mangueras de Ventilación.- Estos se utilizan como conductos para la inyección de la lechada y se colocan a separaciones adecuadas con la finalidad de que llegue el cemento a todo lo largo del elemento estructural y pueden estar localizados en los extremos o intermedios.

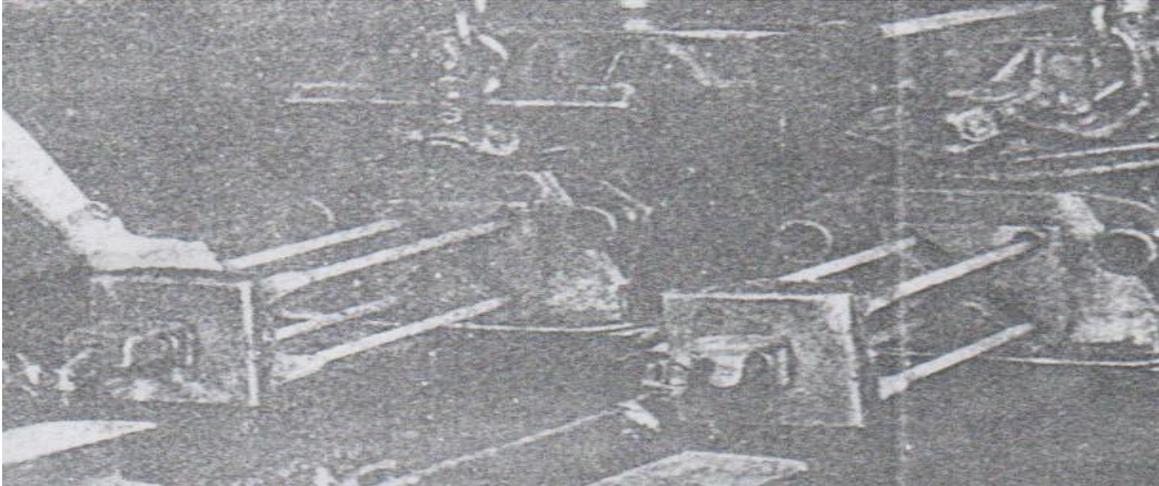
5.- Grapa Jurid.- Sirve para sellar los extremos de las mangueras y están colocadas alrededor de las camisas, se presionan como abrazaderas y con esto se evita que se derrame la lechada.

Los trabajos de compresión deberá ejecutarse por personal calificado bajo la supervisión de un Ingeniero Residente para garantizar la correcta construcción y a la vez, el buen funcionamiento en operación del elemento estructural.

El equipo para la compresión deberá ser calibrado y revisado antes de iniciar el tensado (contador, dinamómetro, manómetro y bomba para lechada), para no interrumpir el proceso de tensado en las barras de compresión.

4.- DESMOLDEO Y EXTRACCION DE MATRICES.- Una vez terminado el vibrado y haber comprimido el concreto, los durmientes pasan a la siguiente etapa de fabricación que es el desmoldeo, ahí se le sacan a cada molde las cuatro cuñas

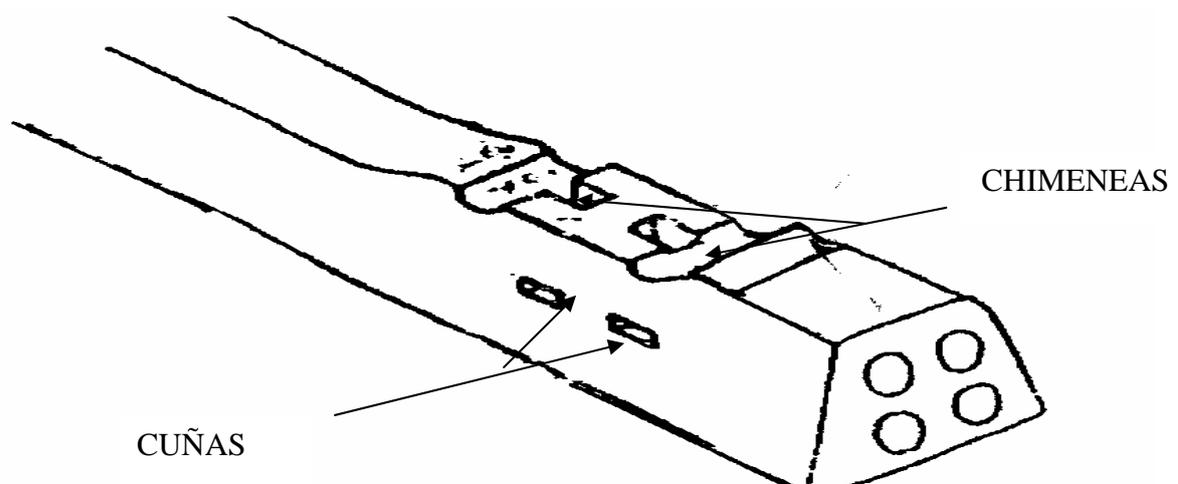
y los cuadros que moldean los ductos y por medio de una viga especial de giros automáticos se hacen girar, quedando los moldes boca abajo y en esa posición se les extraen las matrices por medio de un extractor de matrices, las cuales fueron colocadas en el molde para que estén sirvan de guía para colocar el acero de postensado. Posteriormente se levantan los moldes por medio de un polipasto quedando en ese momento los durmientes perfectamente desmoldeados (ver figura).



Utilizando el procedimiento de desmoldeo automático, la fabricación de los durmientes de concreto resulta muy práctica y sencilla.

Cabe mencionar que los moldes para la fabricación de los durmientes de concreto son, de una fabricación especial y las dimensiones de los mismos debe tener una aproximación al milímetro.

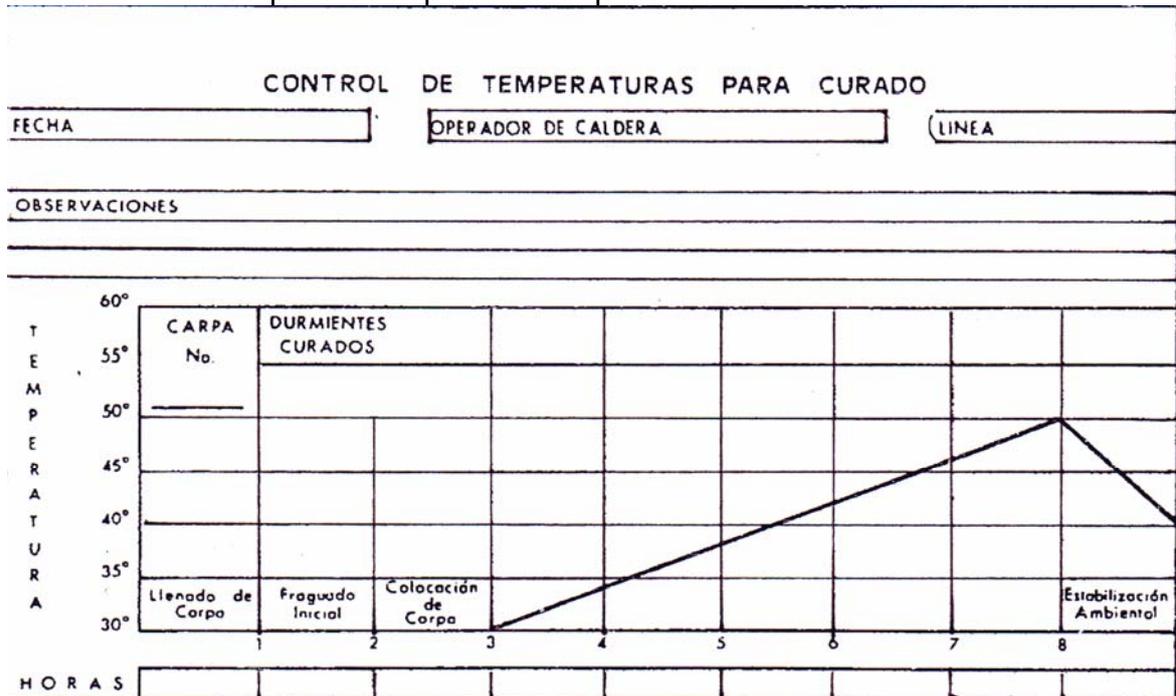
Las cuñas junto con las torres darán forma a las chimeneas y a los drenes de los durmientes (ver figura)



5.- CURADO DEL DURMIENTE.- El curado de los durmientes de concreto es a vapor. Las cámaras de vapor tienen capacidad para 40 durmientes cada una y se puede contar con 12 cámaras por línea de producción.

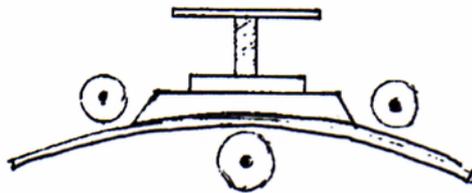
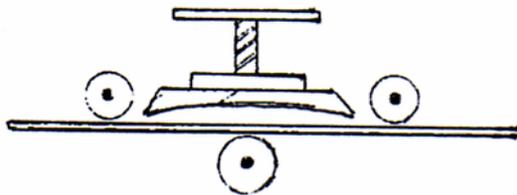
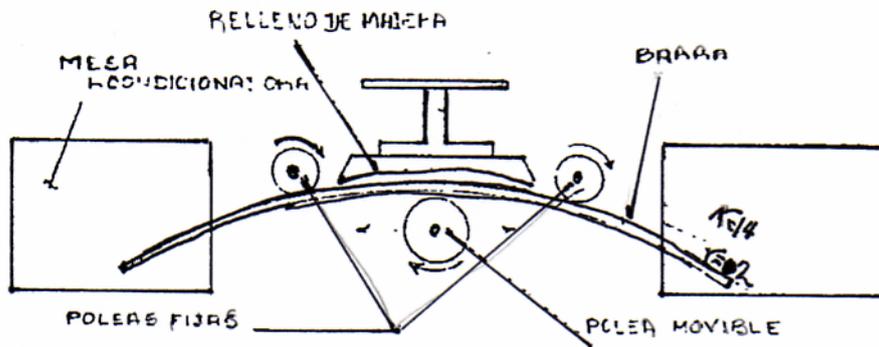
El curado de los durmientes empieza cuando éstos han sido colocados dentro de la cámara. El proceso de curado a vapor se desarrolla en un tiempo de 8 horas, incrementando la temperatura en 5° c. hasta alcanzar los 50° c. como temperatura máxima. Por lo tanto, el descenso de dicha temperatura debe ser igual que el incremento.

El control de las temperaturas del curado del durmiente se lleva a cabo a través de las válvulas de paso de vapor mismo que es alimentado desde la caldera.

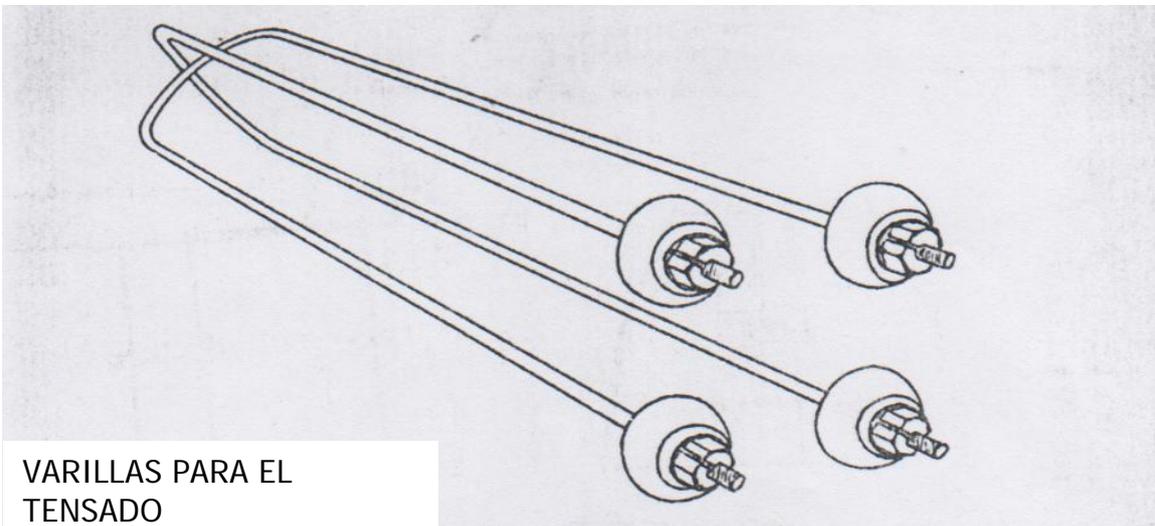


6.- COLOCACION DE LAS BARRAS (ORQUILLAS) PARA EL POSTENSADO.- Antes del tensado, los durmientes son trasladados a una zona de reposo, donde deberán de estar 48 horas como mínimo y durante este tiempo, se les aplica baños de agua para que adquieran mayor resistencia, posteriormente se procede a colocarle las varillas tensoras (orquillas), evitando golpes y deformaciones para no tener problemas al realizarse el proceso de tensado. El acero para postensado debe tener un limite de fluencia mínimo de 14000 Kg./cm² y una resistencia a la ruptura no menor de 16000 kg./cm² con un alargamiento permanente mínimo de 3.4% en una longitud de medición de 250 mm. (25.0 cm.).

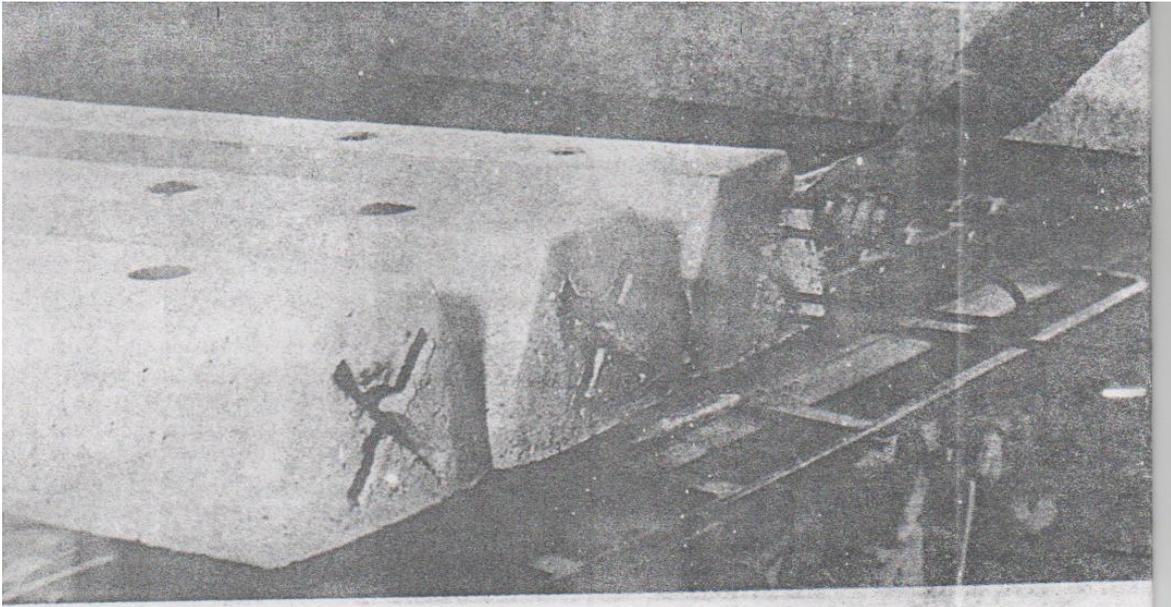
Las varillas para el tensado deben ser dobladas en frio por ningún motivo se deberán doblar las barras en caliente. El doblado en frió de las varillas de tensado deberá ser ejecutado con el procedimiento de paso a través de la maquina dobladora de polea o una maquina similar (ver figura).



DOBLADORA



El trabajo de doblaje es colocar en ambos lados de la maquina dobladora mesas acondicionadoras, en esta forma se puede preparar la barra en la mesa antes del doblaje. En la otra mesa están anotados los distintos radios de barra, de tal modo que la barra que esta saliendo doblada va colocandose sobre la curvatura que le corresponde, por medio de esto se tiene inmediatamente el control de la curvatura correcta de la barra (ver figura).

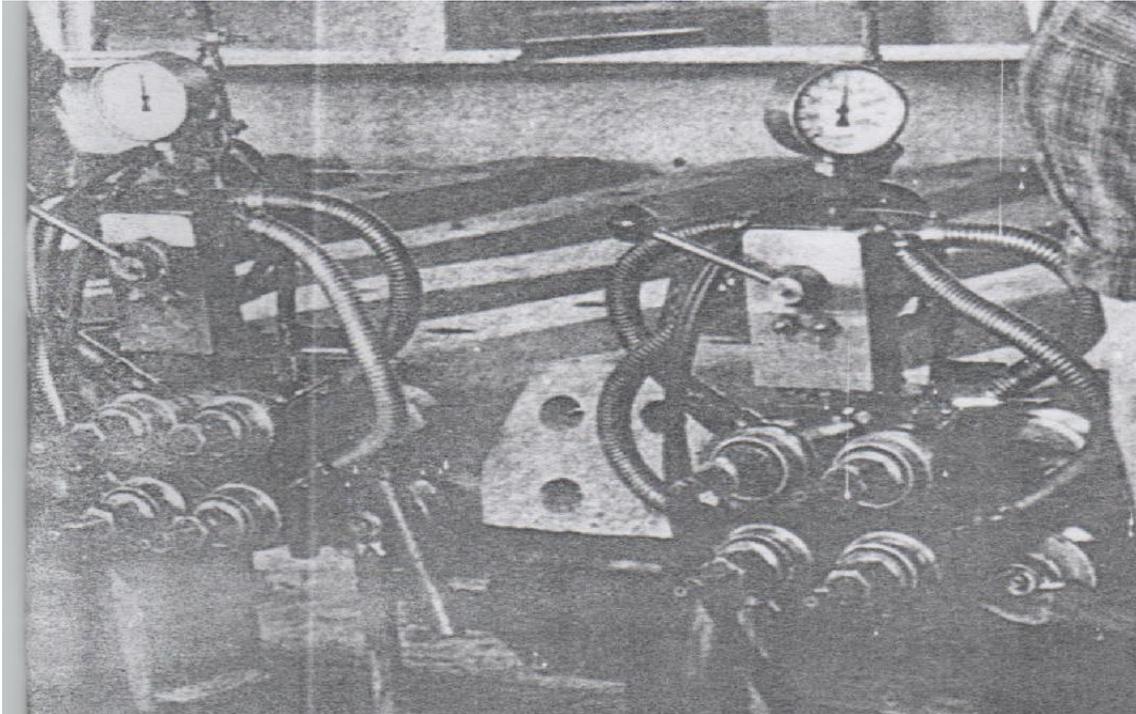


7.- APLICACIÓN DEL POSTENSADO.- Son diseñadas de manera que la bomba hidráulica solamente está en servicio durante el tiempo real del proceso de tensado.

El tensado se debe llevar a cabo en dos partes:

Primera.- Después de haber aplicado la fuerza media debe descargarse la presión, cambiar un engranaje y proseguir atornillando los husillos (tornillos) tensores hasta que éstos hayan tocado la tuerca, entonces de la caja de engranaje, se cambia uno a llave tubular, siendo posible ahora hacer el tensado hasta obtener el valor final.

Segunda.- Enseguida se cambia engranaje y se realiza manualmente el apriete uniforme de las tuercas a través de los trinquetes, y los husillos tensores son desatornillados de las orquillas ya tensadas.



Es necesario revisar el buen estado de los husillos tensores, las roscas interiores deben estar en buenas condiciones, que la presión en el manómetro se mantenga constante y que no existan fugas de aceite en las válvulas hidráulicas, gatos hidráulicos y mangueras.

8.- INYECCION DE LECHADA Y SELLADO DE CARAS LATERALES DEL DURMIENTE.- Una vez tensado el durmiente procede a inyectarse.

La lechada de inyección utilizada en el durmiente de concreto postensado debe tener una fluidez adecuada para evitar la formación de burbujas y una resistencia mínima a la compresión de 250kg. /cm² a los 28 días en cilindros de 5x10cm., y a la tensión por flexión de 65kg. /cm² a los 7 días en prismas de 4x4x16cm.

La mezcla se realiza en el siguiente orden: agua, aditivo y cemento. El mezclado debe durar 3 minutos y luego se vacía en el recipiente de bombeo. Se hace funcionar la bomba la cual inyecta la lechada a los ductos tensores en forma comprimida por medio de una manguera en el lado cruz del durmiente. Esto es con el objeto de proteger el acero de un posible contacto con el agua, es decir, para evitar una posible oxidación o corrosión.

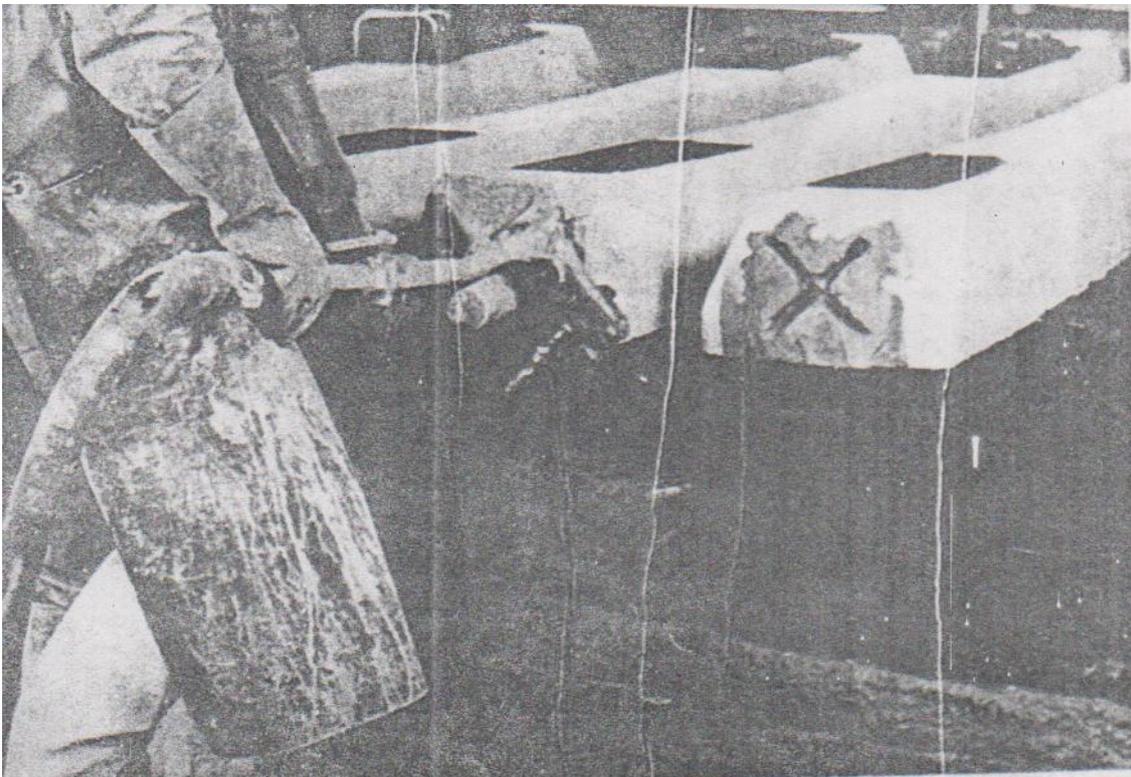
La relación agua-cemento es igual a 0.5 para la lechada de inyección, es decir, en la práctica se preparan en 20 litros de agua 40 kilogramos de cemento.

El mortero para sellar las zonas de anclaje del preesfuerzo, debe tener una resistencia mínima a la compresión de 250kg./cm² a los 28 días de acuerdo a la prueba de cubo de 5x5x5cm.

El sellado en las terminales del durmiente se debe tener precaución, ya que no se deben dejar huecos, mediante esto se puede garantizar una protección duradera contra la penetración de la humedad.

En la composición del mortero de sellado se utiliza en la práctica, 100kilogramos de arena, 36kilogramos de cemento y 16litros de agua.

Al aplicar el material de sellado en las terminales del durmiente, se debe lograr que en los espacios que hay entre la tuerca y la pared del agujero de tensado, queden totalmente sellados. Para ello, en un durmiente se aplican un aproximadamente 2.4kilogramos de mortero, y la herramienta usada es un retacador neumático y deberán revisarse continuamente las puntas que no estén muy gastadas, para obtener un eficiente retacado (ver figura).



Luego de haber sido retacado el durmiente, se le sellan las caras con una pasta, es decir, lechada pero más espesa que la que se aplicó en la inyección, y es con el fin de impermeabilizar dichas caras frontales para evitar que la humedad penetre por algún poro del retacado.

Inmediatamente después, para reducir la evaporación del agua y de evitar una posible penetración de la humedad, deberá aplicarse betún frío en las caras frontales del durmiente, mejorando la calidad del mortero de sellado.

Finalmente, al durmiente se le revisaran las chimeneas de fijación del riel con un perno adecuado, deberá girar un ángulo de 90°, es decir, estar limpias dichas chimeneas para evitar problemas al llevar a cabo el anclaje.

Y el durmiente como producto terminado, debe estar limpio de tierra, lechada, cemento, grasa, etc. en todas sus caras exteriores.

9.- PRUEBAS DE ACEPTACION PARA EL DURMIENTE.

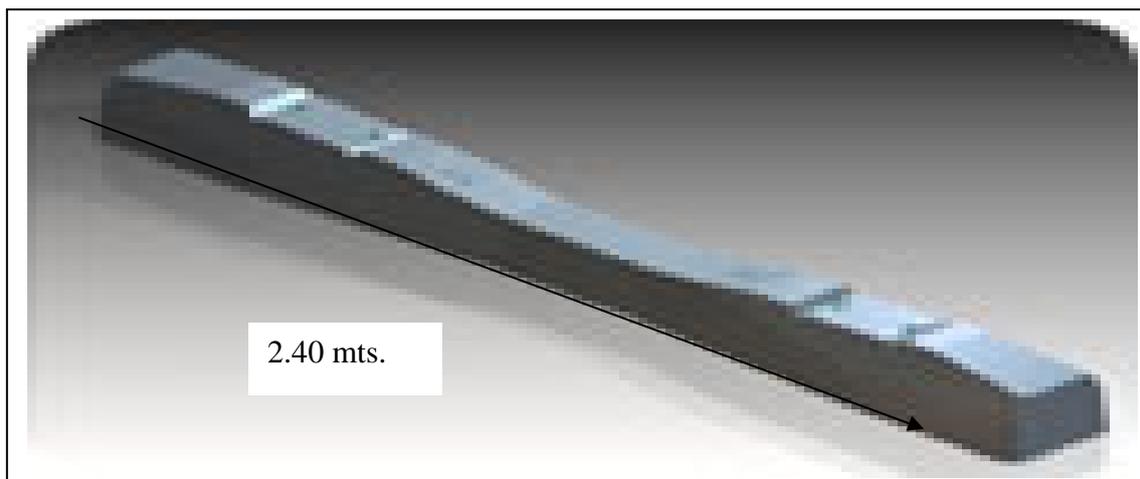
DURMIENTE DE CONCRETO POSTENSADO.-

Es el durmiente de concreto comprimido que emplea acero para comprimir el concreto después del fraguado.

Los durmientes deben ser diseñados para usarse en vías armadas con riel de 100 lbs./yd. a 136 lbs./yd., escantillón de 1435mm. (1.435m.) y separación de 600 mm. (60cm.) entre centros de durmientes.

Puede utilizarse todo tipo de fijación si cumple con la adecuada sujeción del riel al durmiente y que mantenga el escantillón de vía. Para el tipo de fijación con base en grapa elástica reforzada tipo "RN" se debe usar perno de anclaje "SL" de 22mm (2.2cm.) con cabeza tipo "T" y con tuerca hexagonal y roldana plana, cojinete semicilíndrico amortiguador y placa de neopreno tipo chevron de 4.5mm. De espesor bajo el patín del riel. Las chimeneas para alojar los pernos de fijación deben contar con ductos para drenar el agua o tierra que penetre a través de ellas.

La longitud de los durmientes debe ser de 2400mm (2.40m). El ancho de la cara inferior del durmiente puede ser constante o variable a lo largo de la pieza, con un máximo de 330mm. (33 cm.) y un mínimo de 220mm. (22 cm.), pero la superficie de apoyo en el balasto bajo cada riel, no debe ser menor de 2440 cm².



El ancho de la cara superior del durmiente no debe ser mayor de 330mm. (33cm.) ni menor de 150mm. (15cm.) en ninguna sección. El ancho de la superficie de apoyo del patín del riel no debe ser menor de 200mm. (20 cm.).

El peralte máximo en el asiento del riel no debe exceder de 250mm. (25cm.) y el mínimo no será inferior a 150mm. (15 cm.) en cualquier sección del durmiente.

La profundidad del anclaje de los pernos debe estar comprendida entre 115 – 135mm. (11.5 – 13.5cm.), medidos a partir de la cara de apoyo del patín del riel hasta la parte inferior de la solera de anclaje donde apoya la cabeza del perno, para el caso de fijación "RN".

La superficie de apoyo del patín del riel debe tener una inclinación 1:40 hacia el centro del durmiente.

El peso del durmiente debe ser de: 300kg.

El durmiente debe diseñarse de manera que soporte sin presentar una fisura los siguientes momentos flexionantes, expresados en el sistema métrico decimal para el caso de ancho constante en la superficie de apoyo.

Momento Positivo en la Sección del Apoyo del Riel = 253.5 t – cm.

Momento Negativo en la Sección del Apoyo del Riel = 135.5 t – cm.

Momento Positivo en la Sección del Centro del Riel = 103.7 t – cm.

Momento Negativo en la Sección del Centro del Riel = 253.5 t – cm.

Para el caso de durmiente con ancho variable en la superficie de apoyo con reducción hacia el centro, se aplicará una disminución del 10% al valor del momento negativo del durmiente en la sección del centro y aumentará el 10% al valor del momento positivo en el apoyo del riel, es decir:

Momento Negativo en la Sección del Centro del Riel – 10% = 228.15 t – cm.

Momento Positivo en la Sección del Apoyo del Riel + 10% = 278.85 t – cm.

MATERIALES. –

CEMENTO.- Debe ser de una marca de prestigio reconocido y debe cumplir con la especificación C – 150 de la A.S.T.M. para bajo contenido de álcalis. No debe exceder de 0.60% de contenido de álcalis totales expresados como Na₂O.

AGREGADO FINO (arena). – Debe ser natural o producto de trituración, el tamaño de los granos varía de 1 a 7mm. Y estar exento de arcillas, limos y materia orgánica, ya que esto impide que haya una buena adherencia entre el

cemento y el agregado grueso (grava) y por lo consiguiente baja la resistencia del concreto aumentando el tiempo de fraguado. Se requiere de un concreto de alta resistencia para lograr que los durmientes resistan el postensado.

AGREGADO GRUESO (grava).- Debe ser de 38mm. (3.8cm.) de tamaño máximo, producto de trituración de piedra con una densidad superior a 2.5gr./cm³ con alta resistencia a la compresión y exento de arcillas, limos y materia orgánica.

El fabricante debe mostrar reportes de pruebas de laboratorio de que los agregados usados en la fabricación del concreto, provienen de una misma fuente y que tienen una historia de servicio completamente satisfactoria, con una antigüedad mínima de 5 años.

AGUA. – El agua que se emplee en la elaboración de concreto debe ser limpia, exenta de sales solubles y contaminantes, comparable con la potable y con un contenido de Iones Cloro no mayor de 400 ppm.

CARACTERISTICAS DEL CONCRETO. –

El concreto debe tener revenimiento 0 (cero). La mezcla debe ser plástica y manejable para que al vibrarse y compactarse, no queden vacíos ni porosidades.

La resistencia mínima a la Compresión del concreto será $f'c=525$ kg./cm² a los 28 días en probetas cilíndricas de 15.2x30.5cm. y la resistencia mínima a la Tensión por Flexión será de 65kg./cm² a los 7 días en prismas de 10x15x70cm.

El curado del concreto debe efectuarse mediante vapor húmedo a presión ambiental que permita acelerar la resistencia del concreto. Al aplicar , el esfuerzo de compresión en el concreto debe ser menor de 60% de su resistencia a esa edad medida en cilindros.

DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS.-

TOLERANCIAS DE FABRICACION:

- .- El largo nominal de los durmientes debe ser de +/- 10mm
- .- El ancho nominal de los durmientes debe ser de +/- 5mm.
- .- La altura de los durmientes debe ser de +/- 5mm.
- .- La dimensión transversal de las chimeneas para el perno de anclaje de los durmientes debe ser +/- 2mm.
- .- El asiento del riel debe tener una superficie plana y lisa con diferencias de nivel de 1mm.

ALABEO.-

- .- La diferencia de inclinación entre los asientos de un mismo durmiente en el sentido de los rieles, no debe ser mayor de 2mm. En un ancho de 150mm. (15.0cm.).
- .- En la inclinación de la superficie de apoyo del patín del riel, en el sentido longitudinal del durmiente, debe ser +/- 4mm.
- .- El peso nominal del durmiente debe ser +/- 30kg.

ACABADO.-

- .- Las superficies superior y laterales de los durmientes deben presentar un aspecto liso y uniforme con mínimo de porosidades. Las aristas de las caras superiores deben estar redondeadas y exentas de salientes o despostilladuras.
- .- Los durmientes deben llevar aplicada una mano de impermeabilizante en sus caras extremas con el fin de proteger los anclajes del postensado de la humedad.
- .- Los durmientes deben tener letras o números en la cara superior en alto o bajo relieve para identificar al fabricante, tipo o modelo del durmiente y el año de su fabricación.

SELECCIÓN DE PIEZAS.-

Para efecto de pruebas físicas de aceptación de los durmientes, por única vez, de un lote previamente seleccionado no menor de 10 piezas producidas en las mismas condiciones que los durmientes que fabricará en serie el fabricante, se escogen 4 piezas, las cuales son sometidas a examen para determinar si cumplen con los requisitos de: dimensiones, materiales, tolerancias de fabricación y acabado. De ser así se toman tres de las cuatro, de los cuales dos son sometidas a las pruebas siguientes:

- .- Pruebas de Flexión en la Sección del Asiento del Riel.
- .- Pruebas de Flexión en la Sección del Centro del Durmiente.
- .- Prueba de Desarrollo de Adherencia, Anclaje de Postensado y Carga Ultima.
- .- Pruebas del Anclaje de la Fijación.

Y el otro:

- .- Prueba de Flexión Repetitiva en la Sección del Asiento del Riel.

Las pruebas mencionadas, deben ser realizadas en el laboratorio del propio fabricante, el cual debe contar con todo el equipo y mecanismo apropiados, debidamente calibrados y certificados oficialmente por la autoridad competente.

Si algunas de las cuatro piezas no cumple los requisitos indicados o si cualquiera de las tres piezas sujetas a las pruebas mencionadas no las satisfacen totalmente, el diseño de los durmientes no es aceptado.

DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS.-

.- Pruebas de Flexión en la Sección del Asiento del Riel:

La prueba de carga vertical en el asiento del riel se ejecuta en uno de dichos asientos, que se signa como asiento "A", con el durmiente apoyado y cargado como se muestra en la figura 1, una carga aumentando a un promedio no mayor de 2.2 toneladas por minuto, se aplica hasta que la carga (P) produzca el Momento Negativo en el asiento del riel (132.5 t-cm.). Esta carga se mantiene por no menos de 3 minutos, durante los cuales se hace una inspección para determinar si ocurre agrietamiento.

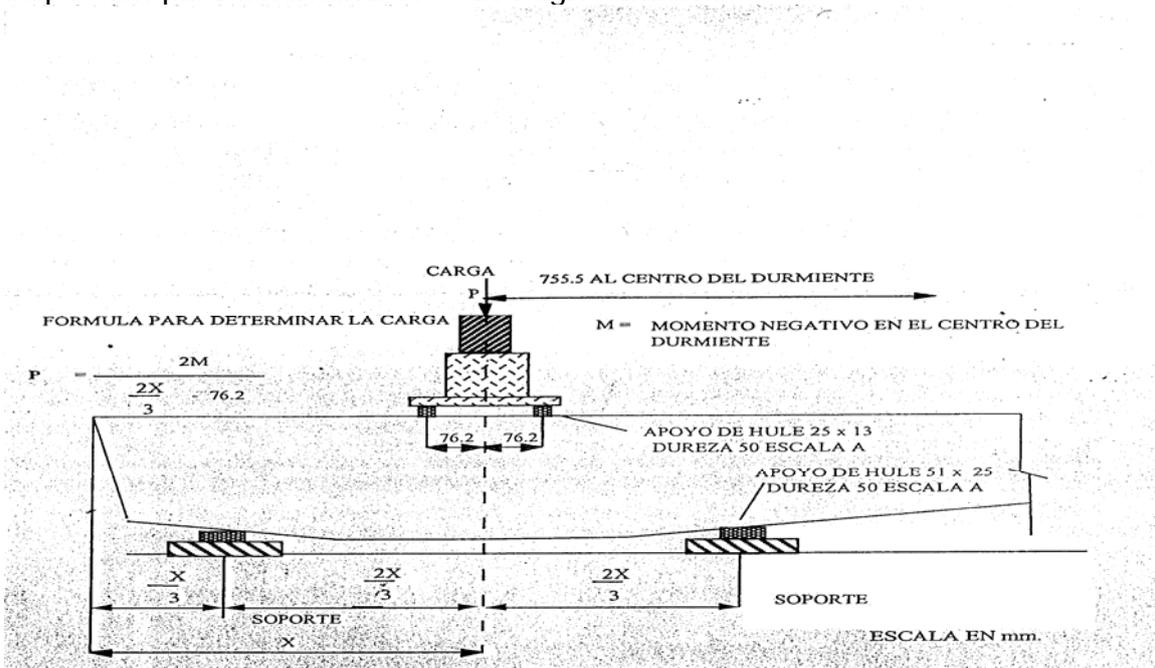


FIG. 1 PRUEBA DE FLEXION EN LA SECCION DEL ASIEN TO DEL RIEL.

De manera semejante, el durmiente es apoyado y cargado como se muestra en la figura 2, para producir un Momento Positivo del asiento del riel denominado "A" (253.5 t-cm.). Se hacen observaciones a ojo desnudo, si no aparece ningún agrietamiento, los requisitos de cada parte de esta prueba se han cumplido.

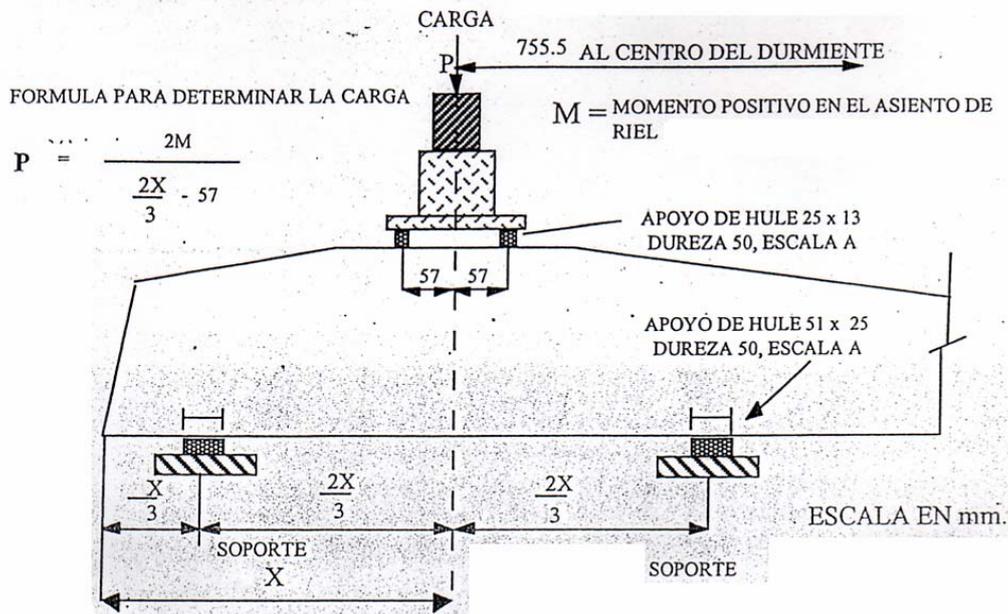


FIG. 2 MOMENTO POSITIVO DEL ASIENTO DEL RIEL.

Estas pruebas deben repetirse en el otro asiento del riel, que se denomina como asiento "B".

.- Pruebas de Flexión en la Sección del Centro del Durmiente:

Con el durmiente apoyado y cargado como se muestra en la figura 3, se aplica una carga aumentando a un promedio no mayor de 2.2 toneladas por minuto, hasta producir un Momento Negativo igual (253.5 t-cm.). Esta carga se mantiene por no menos de 3 minutos, durante los cuales se hace una inspección para determinar si hubo agrietamiento, se hacen observaciones a ojo desnudo, si no aparece ningún agrietamiento, los requisitos de esta prueba se babran cumplido.

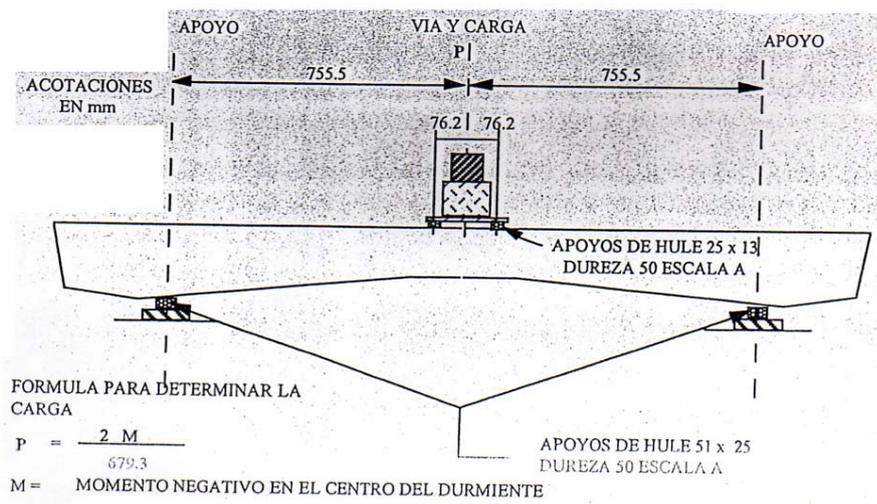
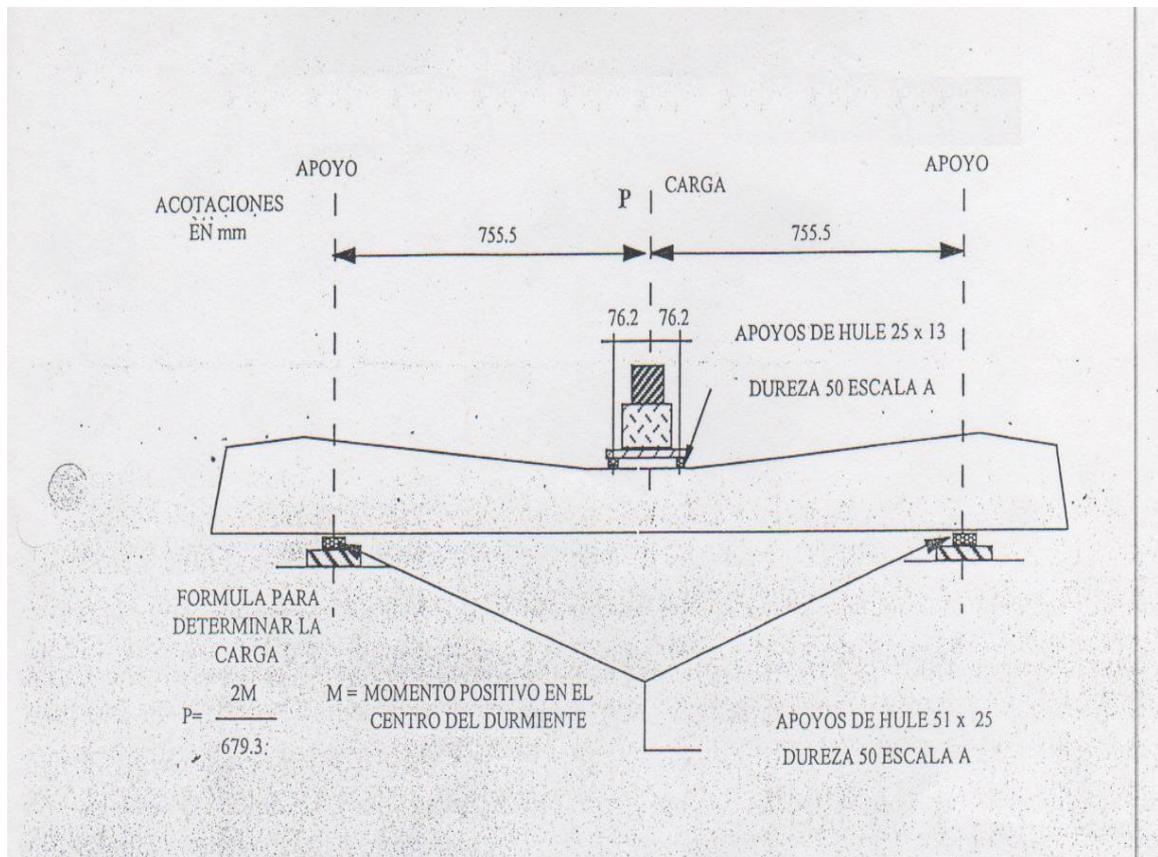


FIG.3 MOMENTO NEGATIVO EN EL CENTRO DEL DURMIENTE.

De igual manera, como se muestra en la figura 4, se aplica la misma carga hasta producir un Momento Positivo igual (103.7 t-cm.). Si no ocurre ningún agrietamiento, los requisitos de esta prueba se habrán cumplido.



.- Prueba de Desarrollo de Adherencia, Anclaje de Postensado y Carga Ultima:

Se efectúa en el asiento del riel "A" del durmiente, como se muestra en la figura 2. La carga se aumenta en un promedio no mayor de 2.2 toneladas por minuto hasta obtener una carga total de 1.75 P, siendo (P) la carga correspondiente al Momento Positivo en el asiento del riel (253.5 t-cm.). Si el durmiente es Postensado y puede soportar esta carga durante 5 minutos, se ha satisfecho la prueba. La carga se incrementa hasta la falla total, haciendose el registro.

.- Pruebas del Anclaje de la Fijación:

Para determinar la habilidad de resistir la Tensión que le trasmite el perno al durmiente y la capacidad de éste para soportar los esfuerzos Flexionantes Negativos bajo el patín del riel, se efectúa esta prueba en cada anclaje como se muestra en la figura 5, aplicando una carga axial de 5.45 toneladas, y sosteniendola por no menos de 3 minutos durante los cuales se efectúa una inspección a ojo desnudo para determinar si hay alguna falla en el anclaje o cualquier agrietamiento en el concreto, si ocurren tales fallas, los requisitos de esta prueba no se han cumplido.

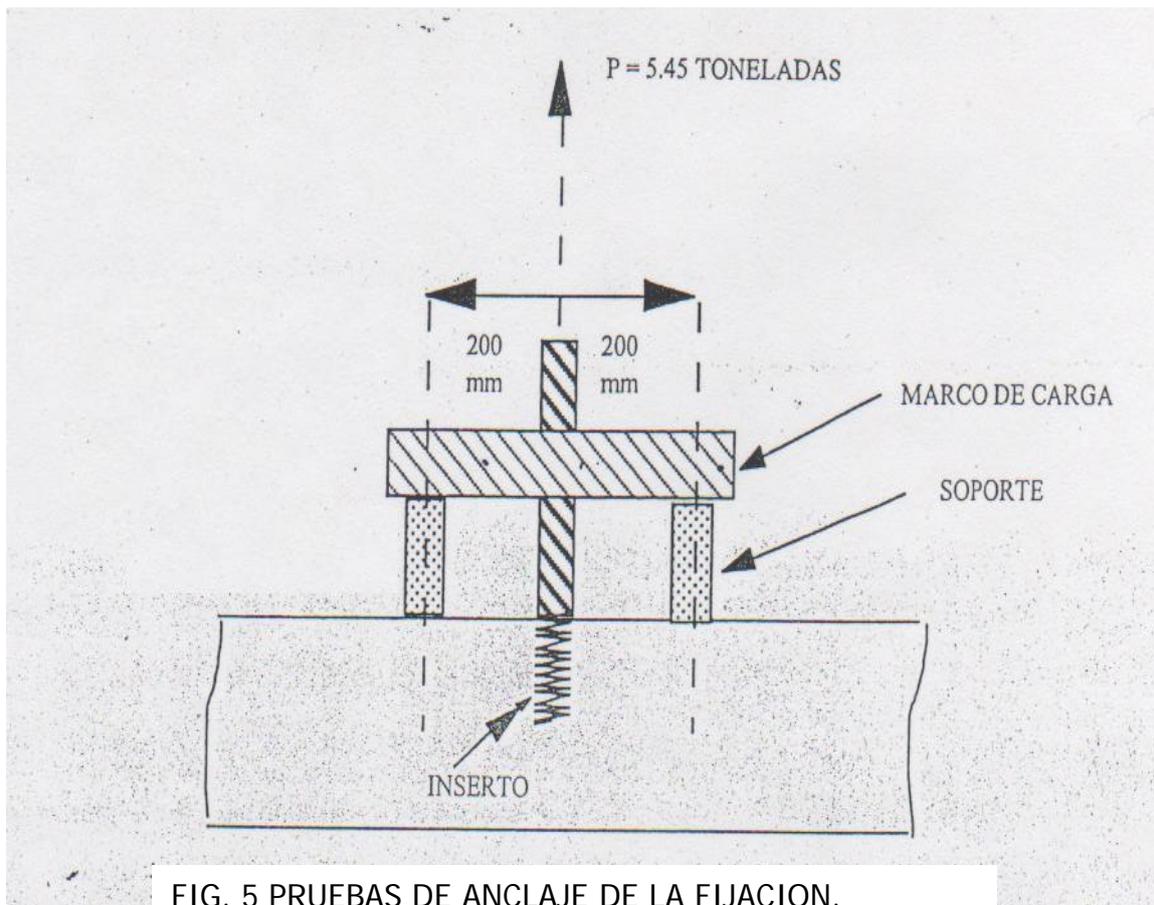


FIG. 5 PRUEBAS DE ANCLAJE DE LA FIJACION.

- Prueba de Flexión Repetitiva en la Sección del Asiento del Riel:

Siguiendo la prueba de Carga Vertical para el Momento Positivo sobre el asiento del riel "B", la carga debe incrementarse a 2.2 toneladas por minuto hasta que el durmiente se agriete de la superficie inferior al nivel más bajo del acero de refuerzo (grieta estructural). Después de remover del asiento del riel la carga estática para producir el agrietamiento y sustituir los apoyos de hule por triplay de 6.35mm. de espesor, el durmiente es sometido a 3 millones de ciclos de carga repetida, variando en cada ciclo uniformemente de 1.8 toneladas al valor de 1.1 P. La carga repetida no debe de exceder de 600 ciclos por minuto. Si después de la aplicación de los 3 millones de ciclos el durmiente puede soportar la carga de 1.1 P, los requerimientos de esta prueba han sido cumplidos.

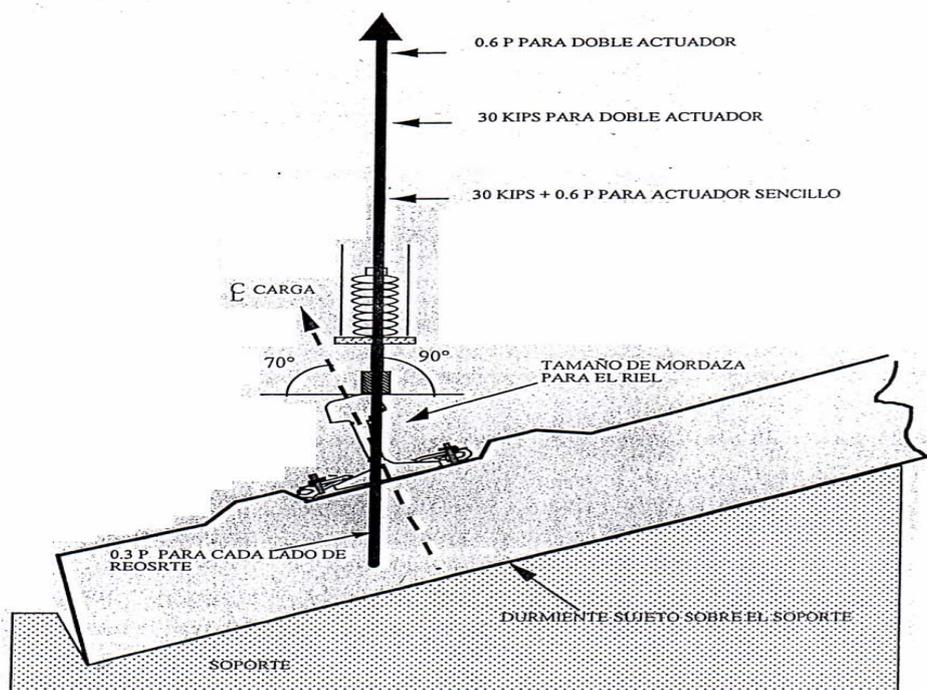


FIG. 6 PRUEBA DE CARGA REPETITIVA EN FIJACION DEL RIEL.

FIG. 6 PRUEBA DE LEVANTAMIENTO DE LA FIJACION.

PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD DURANTE LA PRODUCCION DEL DURMIENTE

Durante la producción del durmiente se deben efectuar pruebas de control de calidad para asegurar un producto uniforme y de alta calidad.

Las pruebas de control de calidad de la producción del durmiente deben efectuarse en una sola pieza elegida al azar de cada 600 durmientes o fracción, producidos cada día. Debe cumplir con las dimensiones reglamentarias y las tolerancias de fabricación, pruebas de Carga Vertical en el asiento del riel, prueba de Anclaje de la Fijación.

En caso de que el durmiente probado falle en cualquiera de las pruebas de control de calidad, a dos durmientes adicionales del mismo lote de 600 piezas se le realizan las mismas pruebas. En caso de que cualquiera de estos durmientes falle, el 100% del lote es rechazado; si los durmientes pasan las pruebas, el lote es aceptado.

PRUEBA DUGGAN.-

La prueba Duggan de expansión del concreto debe realizarse para cada lote de 5000 durmientes o menor. El incremento de volumen no debe ser mayor de 0.05% al día 20 de la prueba, en caso de resultar un porcentaje superior, debe detenerse la producción de durmientes hasta que se corrijan las causas que han provocado la reacción álcali, y el lote de los 5000 durmientes queda en observación estricta.

Las pruebas de control de calidad durante la producción del durmiente, también serán realizadas en el laboratorio propio del fabricante, el cual debe estar dentro de la planta, y dotado del equipo y mecanismos apropiados, debidamente calibrados y certificados por la autoridad competente.

EMBARQUE.-

El durmiente de concreto debe embarcarse en plataformas ó góndolas de ferrocarril debidamente asegurado para su transporte, de tal manera que no pueda desplazarse ni ocasionarse daño alguno. Debe colocarse en posición horizontal en no más de 6 camas separadas por polines de madera.

HERRAMIENTA PARA RECTIFICADO EN EL DURMIENTE FRESCO.



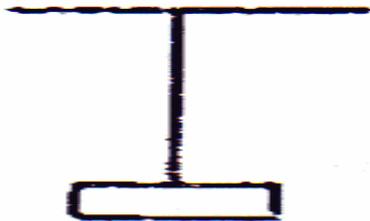
ESCANTILLON PARA DURMIENTE FRESCO.- Rectificar dimensiones, asi como la pendiente en el asiento del riel del durmiente.



VARILLA.- Rectificar ductos inferiores en el durmiente fresco.



CUERNO.- Rectificar lado cruz para que asiente correctamente las orquillas.



PERNO CHECADOR.- Rectificar las chimeneas asi como de verificar el giro de 360° en la parte inferior de la chimenea.

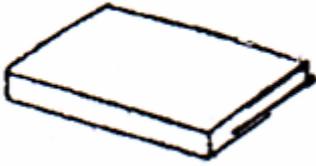


ALAMBRE.- Retirar residuos de concreto por la parte del dren.



CUCHARA.- Eliminar rebaba y dar un mejor acabo en el durmiente.

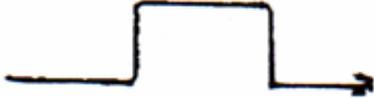
TABLA DE MADERA.- Rectificar drenes.



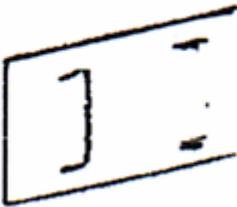
MAZO DE HULE.- Golpear sobre la parte superior del escantillón para durmiente fresco para mejor asentamiento del mismo.



LIMPIA CAMPANAS.- Retirar residuos de concreto de las campanas.



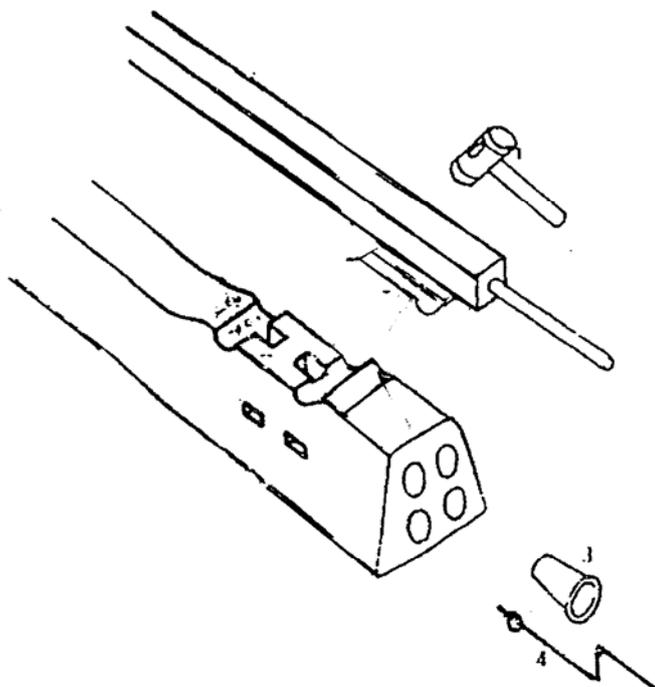
PLACA METALICA.- Sirve de apoyo para corregir dimensiones junto con el escantillón.



CONO DE PLASTICO.- Mantiene los ductos en su dimensión correcta dentro de un tiempo determinado.

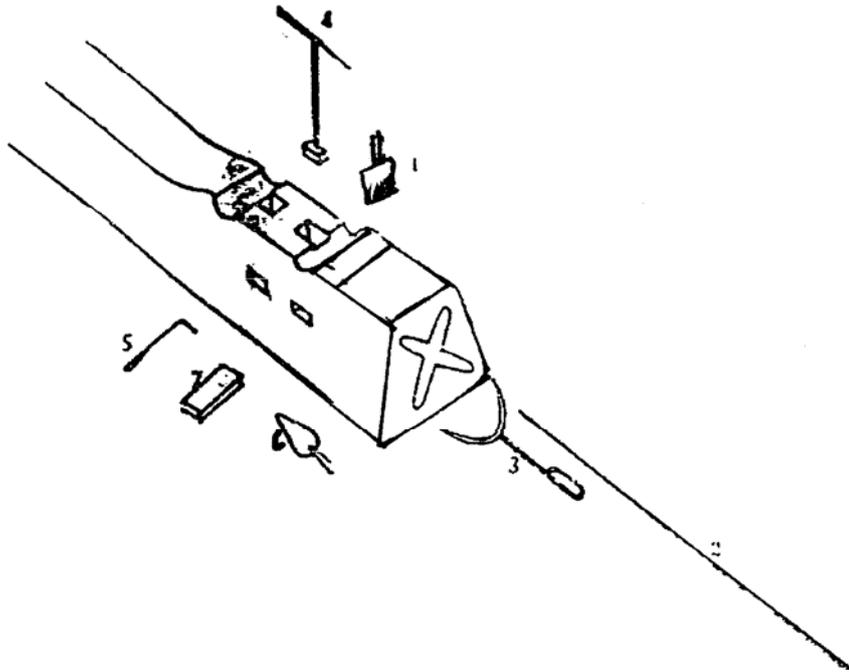


VERIFICACION EN EL DURMIENTE FRESCO PARA EL LADO CARA.



- 1.- Mazo de hule
- 2.- Escantillón para el durmiente fresco.
- 3.- Cono de plastico.
- 4.- Limpia campanas.

VERIFICACION EN EL DURMIENTE FRESCO PARA EL LADO CRUZ.



- 1.- Brocha
- 2.- Varilla
- 3.- Cuerno
- 4.- Perno chocador
- 5.- Alambre
- 6.- Cuchara
- 7.- Tabla de madera.

CAPITULO IV

COMPARATIVO TECNICO Y ECONOMICO ENTRE LOS
DURMIENTES DE CONCRETO Y DE MADERA.

4.1.- DE MADERA.-

En el capítulo anterior se trató la forma ó método para preservar, fabricar, el durmiente de madera para aumentar su vida útil, y se puede decir, que el éxito ó fracaso en lo que concierne a la técnica de impregnación del durmiente depende fundamentalmente de:

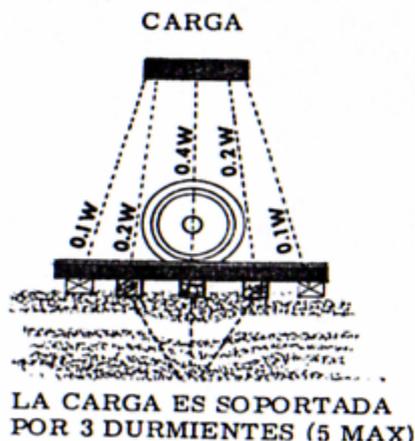
- 1°.- Llevar a cabo en forma correcta el procedimiento adecuado y
- 2°.- Dosificar y aplicar el producto preservante de acuerdo a las normas técnicas del método de impregnación.

Entonces, para definir la calidad de una vía con durmiente de madera se medirá en función del número de durmientes en estado de prestar un buen servicio, necesitándose como mínimo el 90% en buen orden para la vía troncal, y tolerándose de un 15 hasta un 25% en mal estado para vías secundarias.

Considerando que los durmientes de madera solo deben de transmitir presiones máximas admisibles al balasto, anclar la vía y para impedir el desplazamiento ó el corrimiento longitudinal de la vía, el durmiente de madera bien impregnado resulta excelente para absorber los momentos negativos, tomando en cuenta que soportan una carga máxima en dos puntos, es decir, debajo de cada riel, por lo que deben ser lo suficientemente resistentes para soportar la carga sin romperse, considerándose toda su longitud para distribuir el peso de la carga lo más uniformemente que sea posible a través del balasto hacia el lecho de la vía (terraplén).

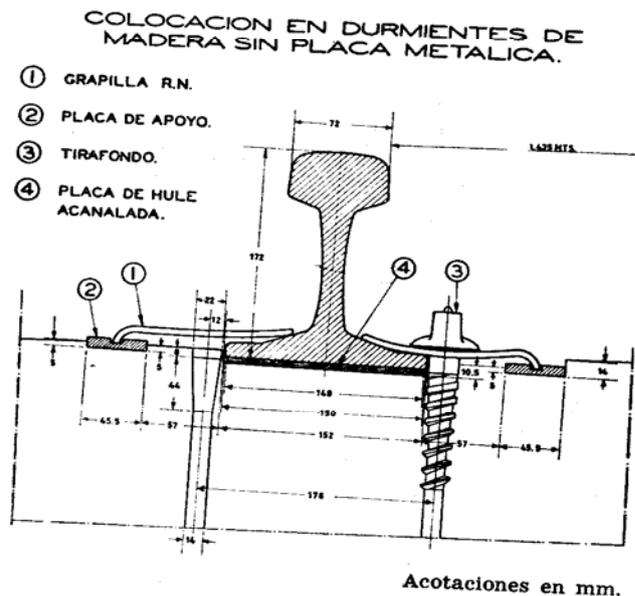
Si el terraplén y el sub-balasto carecen de una compactación y drenaje adecuado el durmiente de madera es capaz de resolver el problema de esfuerzos generados por ello.

Se ha comprobado que una rueda reparte su carga sobre 5 durmientes, con un máximo de $0.4 W$ (donde W es la carga que soporta una rueda), esto en el caso de que dichos durmientes estén bien calzados y en buen estado para reaccionar por igual (Fig.1).



El durmiente de madera puede ser utilizado en vías con tangentes y curvas, pero los esfuerzos rasantes (terraplén) en las curvas de radio corto, es decir, de grados de curvatura altos, mayores a 10° , no es posible soportar dichos esfuerzos solo con el durmiente y clavos, aunque estos sean renovados(sustituidos) con frecuencia, lo cual obliga a usar ó colocar barras de escantillón para mantener el escantillón reglamentario de la vía, que es de 1435mm.(1.435m).

En curvas de 4° a 6° se recomienda usar el durmiente de madera dura(encino),entallado, con accesorios de fijación adecuados, tales como perno tirafondo con grapa y placa de hule de neopreno para tener mayor resistencia a los esfuerzos(Fig.2).



Las fallas técnicas que pueden ocurrir en un durmiente de madera son:

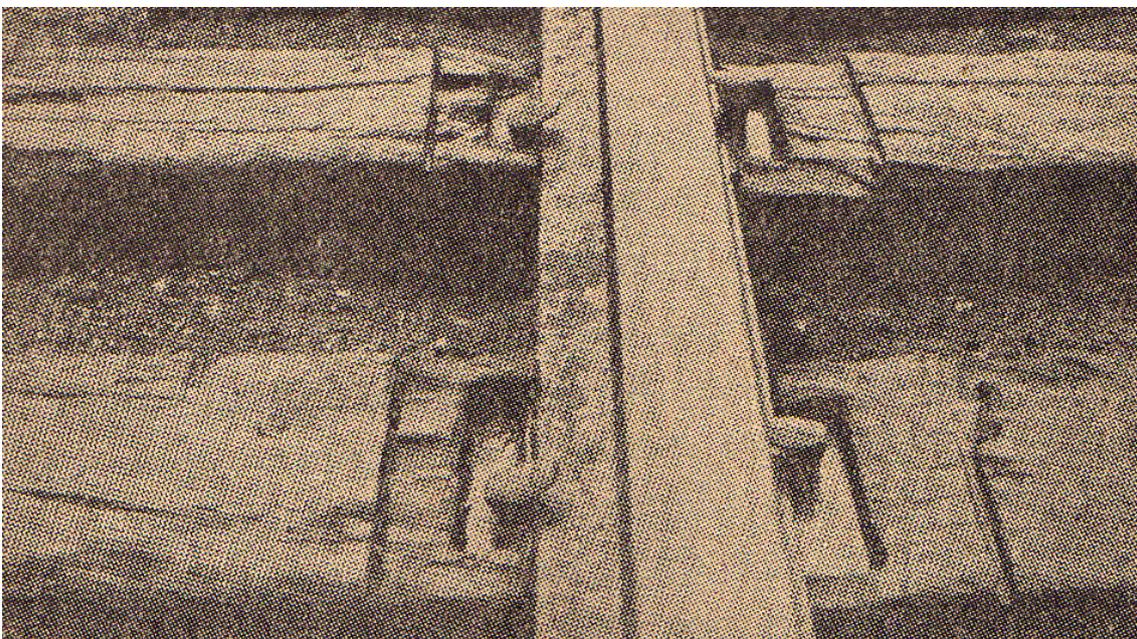
.- Bajo el apoyo del riel: Esto es ocasionado por la falta de balasto bajo el durmiente ya sea por deslave de talud de bordo ó deslizamiento del mismo, que

produce presión central con momento negativo y por lo tanto se quiebra el durmiente por la mitad.

.- Por balasto sucio (contaminado) y agua: Ocasiona que, por mal drenaje de la vía, se estanque el agua y pudra el durmiente.

Se tiene además el desgaste mecánico, que destruye casi tantos durmientes como la pudrición y pueden ser:

.- Por el movimiento frecuente que tiene la vía: Cada vez que la máquina ó equipo rodante transitan por el riel esto provoca que la placa de asiento se hunda en la base de apoyo del durmiente. A esto se le conoce como "Durmiente Degollado" (Fig.3).



.- Por los clavos de vía: Estos cuando se extraen y se vuelven a clavar para dar escantillón ó se alinea la vía tantas veces que debilitan a los durmientes considerablemente hasta hacerlos inapropiados para el servicio en la vía.

Siempre que se extraiga un clavo de vía se tiene que proteger el durmiente, debe colocarse un taquete de madera creosotada en la perforación para que al

aplicar nuevamente el clavo de vía, no se reduzca considerablemente el poder de sujeción al riel, a su vez se evita grandemente la probabilidad de originar un foco de pudrición al penetrar el agua en el durmiente.

Otro factor importante que se tiene que considerar es el peso propio del durmiente, en madera suave, pino, es de 80kg. Y en madera dura, encino, es de 100kg.aproximadamente. Esto puede llegar a provocar cierta inestabilidad en la vía a velocidades mayores a 50km/h.

Por todo lo anterior, se puede considerar que el problema durmiente, tomando en cuenta que su vida útil actualmente varia de entre 5 años a 7 años, tendría que llevarse a cabo una rehabilitación ó mantenimiento a una vía del 15% al 20% anualmente.

Entonces, un argumento a su favor es que sea utilizado en la construcción de vías secundarias como patios, laderos y espuelas, con terraplén bien compactado y drenado.

El análisis del costo en la fabricación de un durmiente de madera, incluyendo el proceso de razonamiento con vapores orgánicos y método de tratamiento de impregnación con mezcla de creosota, se describe a continuación:

- . DURMIENTE DE PINO. -

| | | |
|---|----------|------|
| 1.- Costo de la madera sin impregnar | \$120.00 | 36% |
| 2.- Costo de carga a orilla de la vía | \$ 10.00 | 3% |
| 3.- Costo de las maniobras en la planta | \$ 15.00 | 5% |
| 4.- Costo de la mano de obra en el secado | \$ 25.00 | 7% |
| 5.- costo del combustible de la caldera | \$ 10.00 | 3% |
| 6.- Costo del agente secador | \$ 15.00 | 5% |
| 7.- Costo de la proporción del personal en planta | \$ 15.00 | 5% |
| 8.- Costo de la cresota para la retención requerida | \$ 45.00 | 14% |
| 9.- Costo de la maniobra de impregnado | \$ 35.00 | 10% |
| 10.- Costo de los gastos generales | \$ 10.00 | 3% |
| 11.- Costo del flete | \$ 30.00 | 9% |
| TOTAL | \$330.00 | 100% |

El costo de un durmiente de madera de pino impregnado de las medidas reglamentarias de 18cm.x 20cm.x 244cm. listo para ser utilizado en una vía de ferrocarril es de: \$330.00 por pieza.

4.2.- DE CONCRETO.-

También se trató el proceso de fabricación, diseño, del durmiente de concreto, de las dimensiones requeridas, las pruebas de carga a que son sometidos para mayor seguridad al ser utilizado, tomando en cuenta la proporción de los materiales, todo esto para garantizar la resistencia mínima a los esfuerzos de compresión requerida.

El durmiente de concreto, como ya se indicó, debe ser diseñado para utilizar riel de 115lbs/yd (57.045kg/m) y puede ser usado en vías con tangente y curvas no mayores a 3° por su rigidez.

Las fallas técnicas que pueden ocurrir en un durmiente de concreto son similares a las del durmiente de madera y son:

.- Por falta de balasto y agua: cuando el balasto es escaso y esta en contacto con el agua, se crea un golpe de vía conocido como "golpe de nivel aguachinado". Esto genera que por el transitar del equipo rodante sobre el riel se vaya fracturando el concreto.

.- Por un descarrilamiento: Al descarrilarse el equipo rodante cae y golpea al durmiente quebrándolo, ya sea por la parte central ó en los apoyos del riel (cabezas).

SE puede deducir entonces, que en el durmiente de concreto las fallas técnicas son mínimas y que considerando que su vida útil se estima en 20 años aproximadamente, la rehabilitación ó mantenimiento que se le daría a una vía, en este caso secundaria, sería mínimo anualmente.

También se debe considerar el peso del durmiente de concreto que es de 300kg. por pieza, esto genera mayor estabilidad a la vía en velocidades superiores a los 50km/h. Puede utilizarse tanto para vía troncal como para vías secundarias.

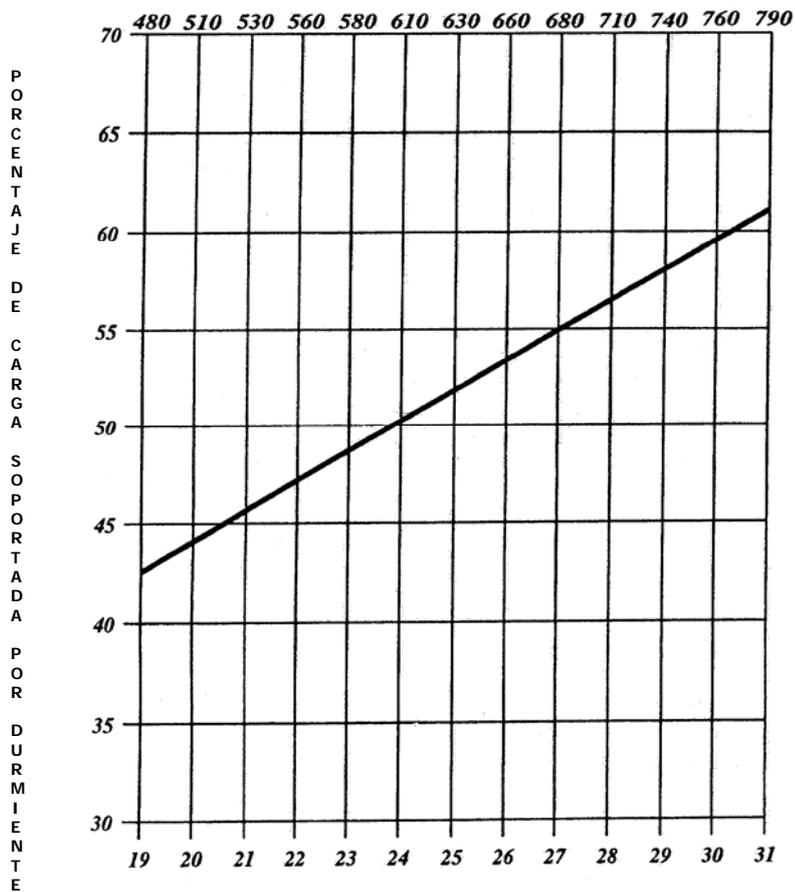
En el durmiente de concreto es importante tomar en cuenta la separación entre durmientes, se ha establecido como norma 600mm (60cm) de centro a centro de durmiente, entendiéndose de que si se incrementa la separación, se tendrían momentos flexionantes más altos en el riel y esfuerzos mayores en cada durmiente.

Es decir, entre mayor sea la separación entre los durmientes mayor será el hundimiento de la vía por carga unitaria de rueda y a la inversa, entre menor sea el espaciamiento menor será el esfuerzo unitario.

La distribución de la carga de la rueda aplicada al riel también será distribuida a varios durmientes, dependiendo de la separación entre ejes de durmientes, de la reacción del balasto y de la subrasante y la rigidez del riel.

El porcentaje de carga por rueda por riel soportada por un solo durmiente en forma individual es variable, un cálculo conservador de la distribución esta dada en la gráfica 1, mientras que la rigidez del riel influye en los porcentajes, su efecto es pequeño comparado con los otros factores. Es decir, los factores de distribución se muestran solo como una función de la separación del durmiente.

SEPARACION DE CENTRO A CENTRO DE DURMIENTE EN MM.



SEPARACION DE CENTRO A CENTRO DE DURMIENTE EN PULGADAS.

GRAFICA 1

Las cargas laterales generadas por el movimiento del equipo rodante son transmitidas por el paso de las ruedas y los rebordes de las mismas a los rieles, los cuales deben mantenerse en su lugar por medio de sujeciones a los durmientes confinados por el balasto.

La rigidez lateral de los rieles distribuye las cargas laterales a las fijaciones riel-durmiente. La resistencia de las fijaciones mantienen el escantillón de la vía, la masa de los durmientes, la fricción entre los durmientes y el balasto, el área de apoyo lateral de los durmientes y la masa de balasto, actúan en conjunto para controlar el movimiento lateral.

La magnitud de las cargas laterales que deben controlarse depende no solamente de las dimensiones del durmiente, configuración, peso, velocidad y características del equipo rodante, sino también de la estructura de la vía. Tanto la geometría de trazo como la geometría detallada de irregularidades y pequeñas desviaciones de diseño influyen en la magnitud de la carga lateral.

Entonces, para lograr la máxima economía y beneficios del uso del durmiente de concreto se recomienda que en vía de línea troncal se usen rieles soldados continuos (L.R.S.). Si se emplean durmientes de concreto en vías atornilladas (con planchuelas de unión) convencionales, secundarias, se debe tener cuidado de que la unión de dos rieles no ocurra sobre un durmiente de concreto, porque la magnitud de los impactos sobre un durmiente colocado en la unión de dos rieles puede ser destructiva para el asiento del riel y las sujeciones, generándose así, golpes de nivel de vía.

También se recomienda que los durmientes de concreto no se instalen, coloquen, dentro de los límites de un cambio de vía ó enlace.

Análisis del costo de un durmiente de concreto preesforzado postensado.

.- DURMIENTE DE CONCRETO.-

| | | |
|---|----------|-----|
| 1.- Costo del cemento | \$180.00 | 34% |
| 2.- Costo de la grava | \$100.00 | 18% |
| 3.- Costo de la arena | \$ 40.00 | 7% |
| 4.- Costo del agua | \$ 10.00 | 2% |
| 5.- Costo de las maniobras en la planta | \$ 30.00 | 6% |
| 6.- Costo de la mano de obra en general | \$ 60.00 | 11% |
| 7.- Costo del acero para postensado | \$ 50.00 | 9% |

| | | |
|---|----------|------|
| 8.- Costo de materiales (betún, impermeabilizantes) | \$ 20.00 | 3% |
| 9.- Costo de los gastos generales | \$ 20.00 | 3% |
| 10.- Costo del flete | \$ 40.00 | 7% |
| TOTAL | \$550.00 | 100% |

El costo de un durmiente de concreto preesforzado postensado con dimensiones de 22cm x 33cm x 240cm listo para ser utilizado en una vía de ferrocarril es de:\$ 550.00 por pieza.

Comparando los dos tipos de durmientes con el cociente costo/duración se tiene:

Durmiente de madera: se considerara una vida útil de 5 años, por lo tanto,
 $\$ 330.00 / 5 \text{ años} = \$ 66.00$ por año.

Durmiente de concreto: se considerara una vida útil de 20 años, por lo tanto,
 $\$ 550.00 / 20 \text{ años} = \$ 27.50$ por año.

Ahora, si se divide el costo/duración por año del durmiente de madera entre el costo/duración del durmiente de concreto es igual a 2.4, es decir, que un durmiente de madera tiene un costo/duración 2.4 veces mayor que un durmiente de concreto.

CAPITULO V

ESTUDIO DEL CASO: EN LA CONSTRUCCION DE UN
LADERO DE FERROCARRIL.

Para la construcción de una vía de ferrocarril, en este caso un ladero, es importante tomar en cuenta el terreno donde se va a construir. Mediante estudios de mecánica de suelos se puede definir el tipo de suelos existentes en el terreno.

Los mejores terraplenes provienen de suelos gruesos o granulares de máxima densidad tanto por el peso específico de su roca de origen como por su humedad óptima, no son cohesivos, es un material fragmentado en partículas cuya mayoría es gava que pasa por la criba de 3" hasta retenerse en la malla n°4 (3/4"), con aristas vivas (forma) adecuadas a elevados ángulos de fricción interna.

Se comprende que los suelos provienen de la desintegración o descomposición de las rocas durante largos periodos geológicos de erosión o metamorfosis (por agua, hielo, viento, reacciones químicas) o los que pueden fabricarse artificialmente triturando rocas relativamente grandes entre quijadas de una trituradora.

Al compactarse un suelo se reduce su porcentaje de vacíos mediante presión o vibrado y agua hasta el grado óptimo, considerándose que actualmente en los ferrocarriles mexicanos, el terraplén debe compactarse al 95% de la prueba proctor como mínimo y ser permeable en todo el espesor de su base la que se golpea de continuo, tanto con el paso de trenes como con las herramientas para calzar y nivelar la vía.

Los suelos granulares contruidos por capas y compactados con equipos adecuados (motoconformadoras, rodillo vibrador), generalmente proporcionan resistencia o soporte suficiente para reaccionar las cargas de la vía con tráfico, precisando tan solo un espesor mínimo de balasto (20cm) bajo el durmiente como material selecto transmisor de presiones y con buena permeabilidad para drenar la vía y mantenerla anclada en su sitio.

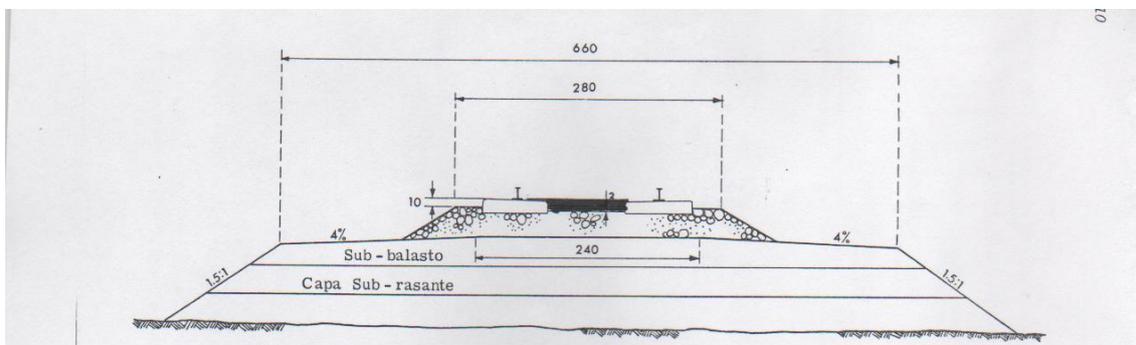
Las capas superiores de la subestructura de una vía férrea, deben reunir diversas características de resistencia e impermeabilidad, que les permitan cumplir sus funciones drenantes y estructurales. El drenaje superficial se realiza por el escurrimiento del agua pluvial sobre las pendientes transversales de la corona de la formación, impidiendo su filtración a las terracerías.

Como elementos estructurales, estas capas distribuyen las presiones transmitidas por la carga viva a través de los rieles, durmientes y balasto. Para lograr esas cualidades se emplean dos procesos diferentes que dan lugar a dos tipos de capas: la capa subrasante o capa de mejoramiento de terracerías y la capa de sub-balasto.

La capa subrasante se forma con el mismo material de las terracerías, al cual se le da un tratamiento especial que las mejora. Este mejoramiento se obtiene agregando antes de compactar, materiales que modifiquen favorablemente su

granulometría y que actualmente se utiliza lo que se conoce como "grava controlada", que es una mezcla que se compone de un 70% de grava (finos hasta 3/4") y 30% de tepetate. El espesor de la capa subrasante varía de 20cm a 50cm y se construye generalmente como apoyo del sub-balasto en terracerías de materiales poco resistentes o en la parte superior de la subestructura cuando se considera innecesario al sub-balasto.

La capa sub-balasto está constituida por materiales procedentes de suelos, depósitos naturales o rocas alteradas generalmente sin tratamiento previo a su utilización. Si se considera que el sub-balasto sirve también para afinar terracerías, resulta aconsejable construirlo en forma continua en toda la vía, recomendando hacerlo sólo un poco antes del tendido de la vía para evitar su deterioro con el tránsito del equipo de construcción.



TERRAPLEN CON CAPAS DE SUB-BALASTO Y SUBRASANTE.

Un material importante en la construcción de una vía de ferrocarril es el balasto. El balasto es el material pétreo seleccionado que se coloca sobre la corona de la terracería, debajo y entre los durmientes.

Los objetivos del balasto, como parte constitutiva de la superestructura de la vía férrea, son muy diversos y todos ellos de gran importancia:

1°.- Confina los durmientes oponiéndose a sus desplazamientos longitudinales y transversales, originados por el frenado o tracción del equipo rodante, por el cabeceo o por sobre elevación excesiva en las curvas y en las vías soldadas (con largo riel soldado), por los considerables esfuerzos que se desarrollan con los cambios de temperatura en los rieles.

2°.- Transmite las presiones a la subestructura.

3°.- Drena las vías.

4°.- Sirve de elemento nivelador para la conservación de la rasante.

Es decir, su función es distribuir uniformemente las cargas sobre las terracerías, estabilizar vertical, longitudinal y lateralmente la vía y permitir mantener la

calidad geométrica de la vía mediante nivelaciones y alineamientos y facilitar el drenaje de la vía.

El balasto se obtiene de la trituración de rocas o de escoria de fundición, también puede utilizarse grava de río cribada únicamente, siendo conveniente combinarla con materiales triturados, por lo que más recomendable y utilizado actualmente en la construcción de vías de ferrocarril es el de la roca triturada.

Los tamaños del material que forman el balasto pueden ser desde 3/4" (1.9cm) hasta 3" (7.6cm) de diámetro, aunque en los ferrocarriles mexicanos actualmente se exige se aplique de 2" (5.8cm). Esta limitación se debe a las dificultades que presenta un material más grande por la precisión con que deben ser niveladas las vías.

GRANULOMETRIA DEL BALASTO

| MATERIALES | POR CIENTO DE PESO QUE PASA LA MALLA DE : | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|------------------|--------------|-------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| | 76 lmm. 3" | 64.0mm 2 1/2" | 50.8mm 2" | 38.lmm. 1 1/2" | 25.4mm. 1" | 19.0mm. 3/4" | 12.7mm. 1/2" | 9.5lmm. 3/8" | 6.35mm. 1/4" | 4.76 mm. Malla N°4 |
| BALASTO DE PIEDRA - TRITURADA | 100 | 90-100 | | 25-60 | | 0-10 | 0-5 | | | |
| ESCORIA O GRASA DE FUNDICION | | | 100 | 90-100 | 20-55 | 0-15 | | 0-5 | | |
| SCREENING | | | | | | 40-75 | 15-35 | 0-15 | | 0-5 |

El espesor de la cama de balasto requerida por los ferrocarriles en México es de 30cm, esto influye a que tiende a propagar las cargas de un durmiente sobre un área más amplia de la subrasante, reduciendo con ello la presión en la misma y el consecuente hundimiento de la vía. La capacidad de carga del balasto aumenta a medida que éste se eleva alrededor del durmiente y este incremento es efectivo principalmente en la resistencia a los esfuerzos horizontales.

Finalmente, que al construirse el terraplén donde se alojara la vía, ladero, en este pueda utilizarse durmiente de madera o durmiente de concreto.

Definición de ladero: es una vía secundaria que conecta a una vía troncal en dos puntos denominados conexión "A" y conexión "B".

Para el estudio del caso, el ladero de ferrocarril será construido sobre la línea "H" del ferrocarril Ferrosur S.A de C.V. entre la estación de Paula, Hgo. dirección sur y la estación de Tapa, Hgo. dirección norte, con una longitud de 355.0m de la conexión "A" a la conexión "B".

En esta zona el terreno natural está constituido principalmente por tepetate, material altamente resistente, cohesivo, por lo que únicamente se hará un despalme de 60cm. para mejorarlo, aplicando grava controlada en capas de 20cm. de espesor compactadas al 95% de la prueba proctor como mínimo en todo lo ancho y largo de la corona del terraplén.

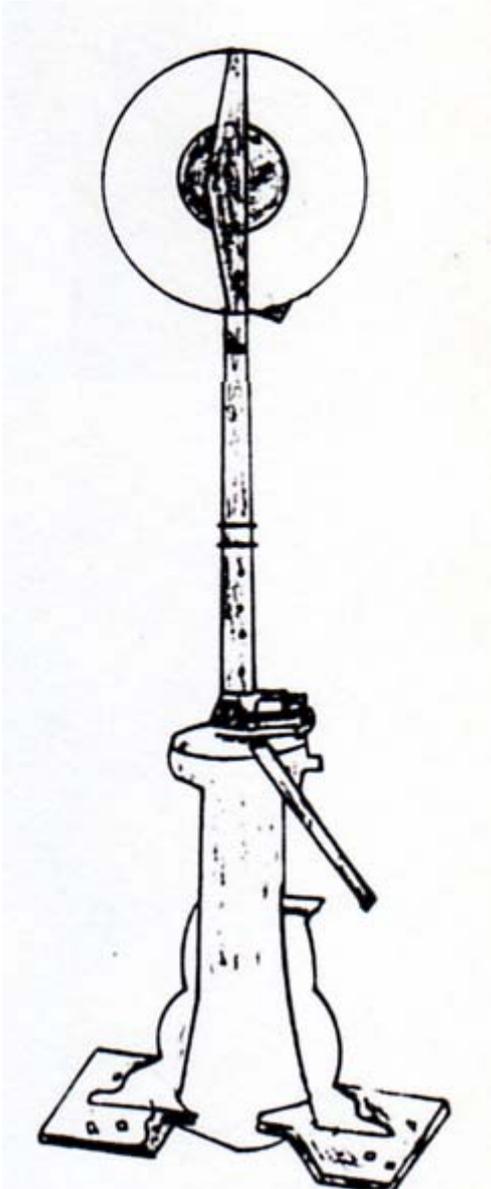
Ya construido el terraplén donde se alojara dicha vía férrea, se procede a analizar el costo de la construcción del ladero utilizando durmiente de:

5.1.- DE MADERA.-

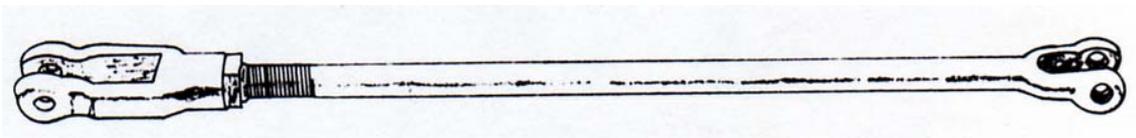
El reglamento conservación de vía y estructuras de los ferrocarriles mexicanos especifica que la separación de la vía troncal con un ladero debe ser de 5.0m centro a centro de vías y que para las conexiones "A" y "B" se instalaran herrajes para cambio de vía #10 con sapo inserto corazón acero manganeso y agujas, de 16'06" (5.02m) de longitud y los juegos de madera especial #10 de 62 piezas.

Las partes o accesorios de un herraje de cambio #10 son las siguientes:

| Descripción de las partes. | Cantidad. |
|---|-----------|
| Arbol de cambio alto tipo 56-B | 1 |
| Barra de conexión | 1 |
| Varillas N° 1 y N° 2 | 2 |
| Placa de escantillón 1-G | 1 |
| Placas correderas 1-A | 2 |
| Placas correderas N° 1 | 10 |
| Placas correderas N° 2 | 2 |
| Placas correderas N° 3 | 2 |
| Placas de talón de agujas N° 4-RH y N° 4-LH | 2 |
| Placas de talón de agujas N° 5-RH y N° 5-LH | 2 |
| Placas para contra riel CR- 115 | 14 |
| Placas gemelas L-23 | 14 |
| Placas gemelas LR-23 | 8 |
| Placas gemelas L-27 | 18 |
| Placas gemelas LR-27 | 12 |
| Placas gemelas L-31 | 4 |
| Placas gemelas LR-31 | 6 |
| Aguja de 16'06"x 115 lbs/yd. izq. Y der. | 2 |
| Block talon de aguja izq. Y der. | 2 |
| Sapo inserto corazón acero manganeso | 1 |
| Contra riel de 11' o 13' de longitud | 2 |



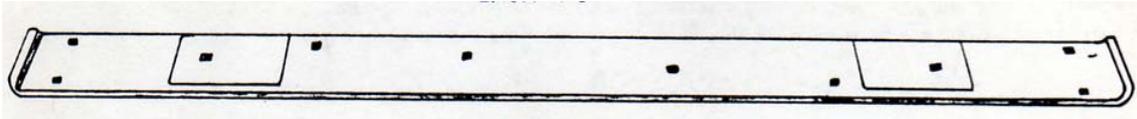
Arbol de cambio alto tipo 56-B



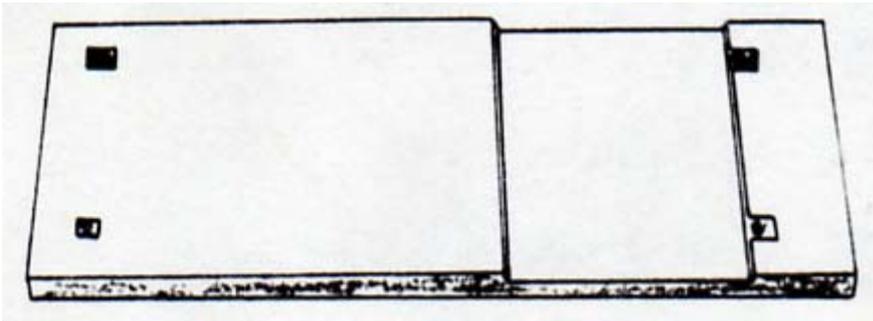
Barra de conexión



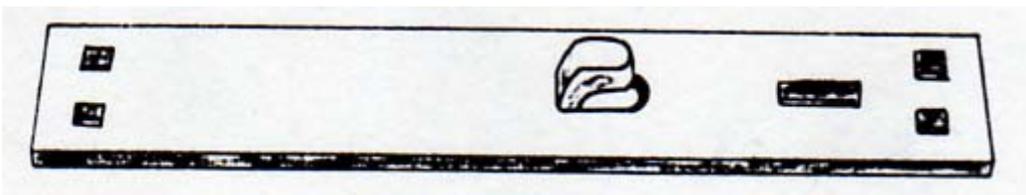
Varillas N° 1 y N° 2



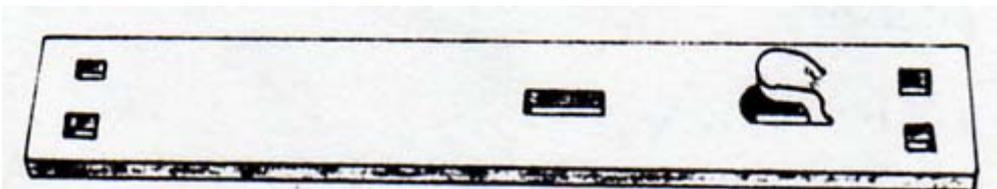
Placa de escantillón 1-G



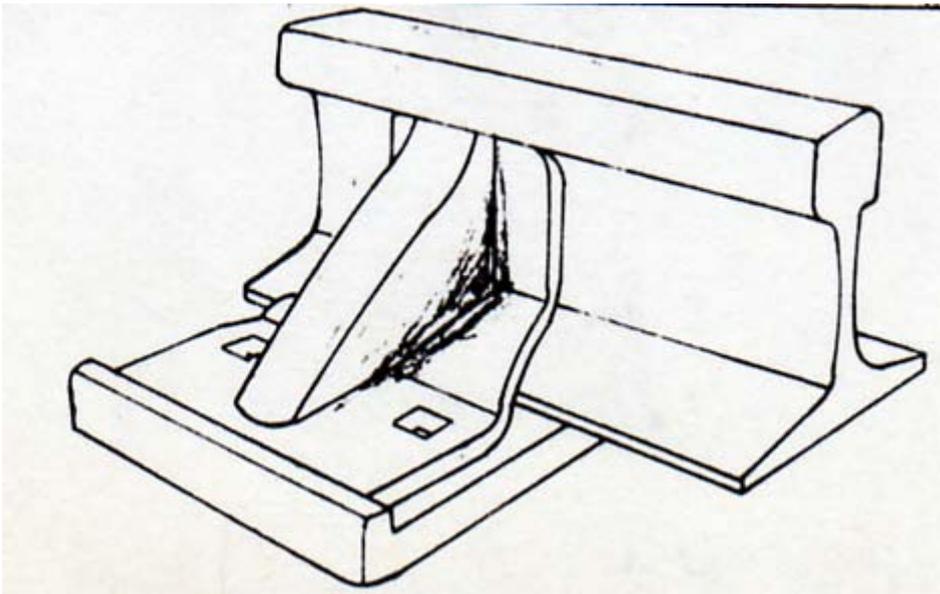
Placas correderas 1-A



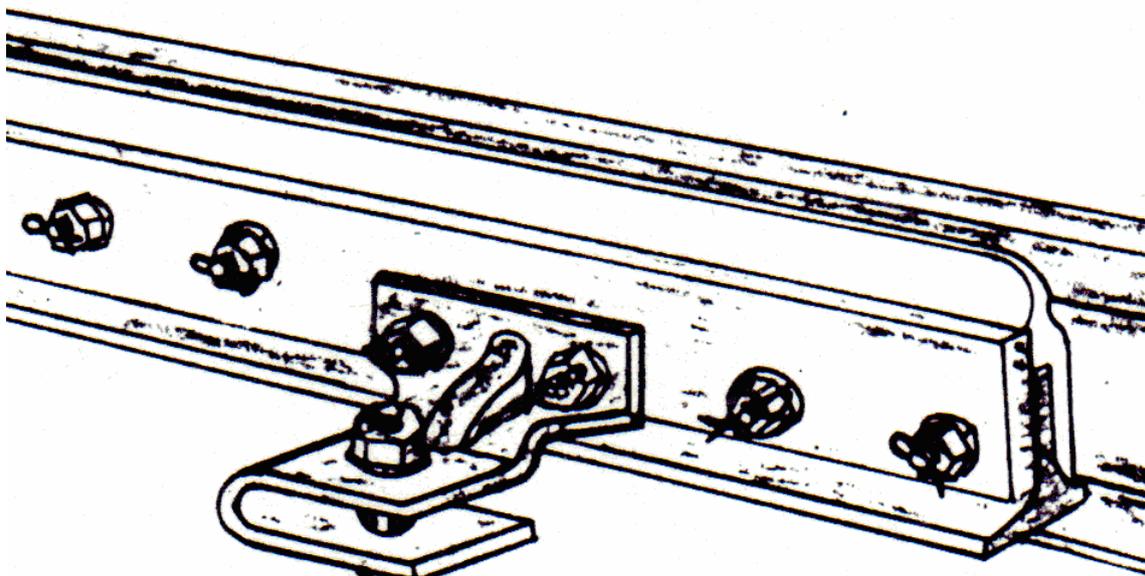
Placas gemelas L-23



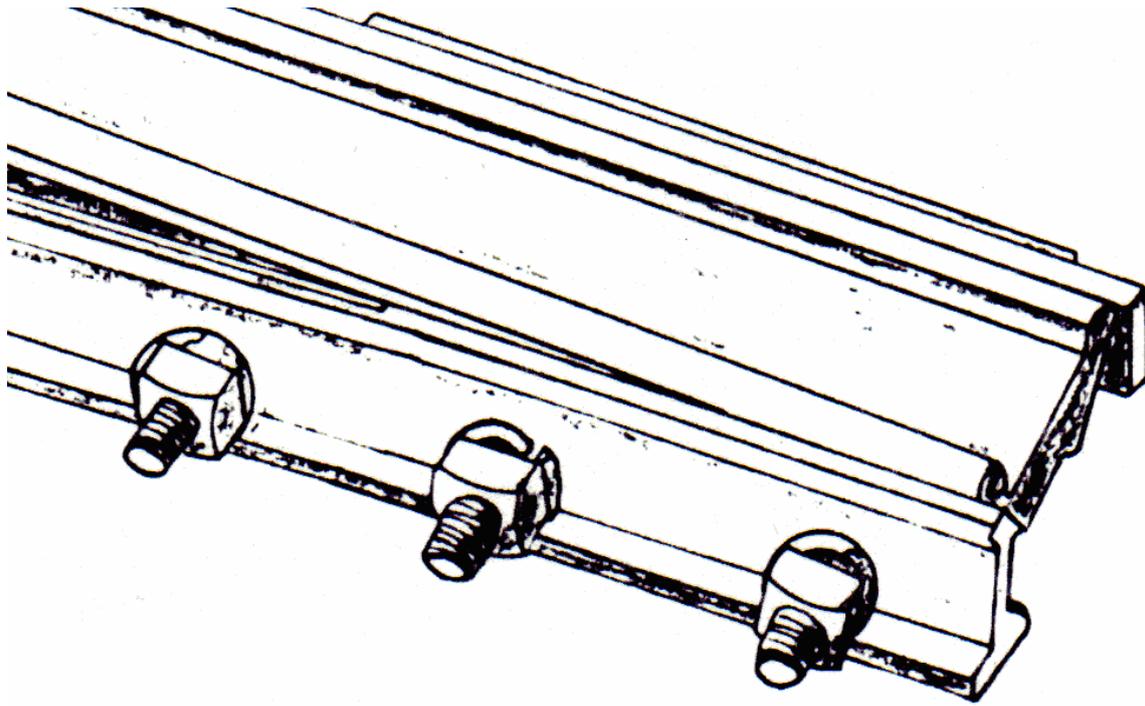
Placas gemelas LR-23



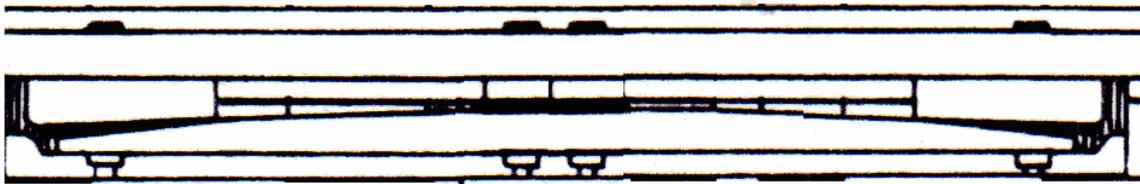
Silleta de Refuerzo.



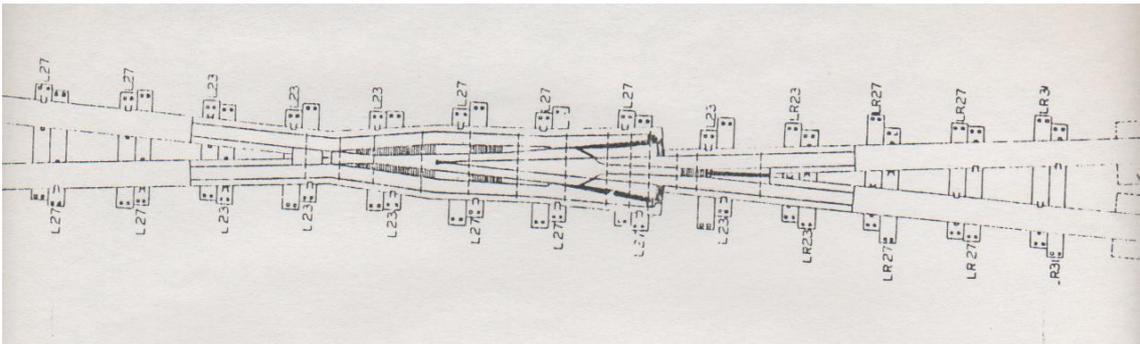
Aguja de 16'06" x 115 lbs/yd. izq. Y der



Block talón de aguja izq. Y der.



Contra riel de 11' o 13' de longitud



Sapo inserto corazón acero manganeso

Juego de madera para cambio especial #10.-

| N° de durmiente. | Separación (cm). | Escuadría. | Longitud. |
|------------------|------------------|------------|-----------|
| 1 | 0 | 7"x9" | 15'00" |
| 2 | 56 | 7"x9" | 15'00" |
| 3, 4, 5 | 51 | 7"x9" | 8'06" |
| 6 | 50 | 7"x9" | 8'06" |
| 7 | 51 | 7"x9" | 8'06" |
| 8,9 | 52 | 7"x9" | 8'06" |
| 10, 11 | 51 | 7"x9" | 8'06" |
| 12 | 55 | 7"x9" | 8'06" |
| 13 | 54 | 7"x9" | 9'00" |
| 14 | 55 | 7"x9" | 9'00" |
| 15 | 54 | 7"x9" | 9'00" |
| 16 | 55 | 7"x9" | 9'00" |
| 17 | 54 | 7"x9" | 9'00" |
| 18 | 55 | 7"x9" | 9'00" |
| 19 | 51 | 7"x9" | 9'06" |
| 20 | 41 | 7"x9" | 9'06" |
| 21 | 51 | 7"x9" | 9'06" |
| 22, 23 | 53 | 7"x9" | 9'06" |
| 24 | 55 | 7"x9" | 10'00" |
| 25 | 54 | 7"x9" | 10'00" |
| 26 | 55 | 7"x9" | 10'00" |
| 27 | 54 | 7"x9" | 10'00" |
| 28 | 54 | 7"x9" | 10'06" |
| 29 | 55 | 7"x9" | 10'06" |
| 30 | 54 | 7"x9" | 10'06" |
| 31 | 55 | 7"x9" | 10'06" |
| 32 | 54 | 7"x9" | 11'00" |
| 33 | 53 | 7"x9" | 11'00" |
| 34 | 51 | 7"x9" | 11'00" |
| 35 | 56 | 7"x9" | 11'06" |
| 36, 37 | 57 | 7"x9" | 11'06" |
| 38 | 57 | 7"x9" | 12'00" |
| 39 | 58 | 7"x9" | 12'00" |
| 40 | 57 | 7"x10" | 12'06" |
| 41 | 55 | 7"x10" | 12'06" |
| 42 | 57 | 7"x10" | 13'00" |
| 43 | 59 | 7"x10" | 13'00" |
| 44, 45 | 50 | 7"x10" | 13'06" |
| 46 | 49 | 7"x10" | 13'06" |
| 47, 48, 49 | 49 | 7"x10" | 14'00" |
| 50, 51 | 50 | 7"x9" | 14'06" |
| 52 | 50 | 7"x9" | 15'00" |
| 53 | 51 | 7"x9" | 15'00" |
| 54 | 58 | 7"x9" | 15'00" |

| | | | |
|------------|----|-------|--------|
| 55 | 58 | 7"x9" | 15'00" |
| 56, 57, 58 | 58 | 7"x9" | 15'06" |
| 59, 60, 61 | 59 | 7"x9" | 16'00" |
| 62 | 60 | 7"x9" | 16'00" |

Estas 62 piezas que conforman un juego para cambio de vía equivalen a un volumen de madera igual a 3873.63 pies-tablón.

Al llevar a cabo la conexión a la vía troncal, el herraje y el juego de madera para cambio #10, tienen una longitud de desarrollo de 32.855m (107'9 1/2") por conexión. Como son dos ("A" y "B"), se tiene entonces una longitud de conexiones igual a 65.71m.

El ladero que se construirá tiene una longitud de 355.00m, por lo tanto:

$$355.0 - 65.71m = 289.29m.$$

Esta longitud que resta es intermedia y es conocida comúnmente como "cuerpo de la vía", entonces:

$$\text{Longitud de conexiones} = 65.71m.$$

$$\text{Cuerpo de la vía} = 289.29m.$$

Con estas longitudes, se procede a generar los volúmenes de obra para obtener el presupuesto (costo) de la construcción del ladero con durmiente de madera.

.- MATERIALES.-

1.- Madera para cambio #10 especial de 62 piezas reglamentario.

| | |
|--------------|-----------|
| Conexión "A" | 1 juego |
| Conexión "B" | 1 juego |
| Total = | 2 juegos. |

2.- Herraje completo para cambio #10 x 115lbs/yd. (57.045kg/m) con sapo inserto corazón acero manganeso y agujas de 16'06" (5.02m) de longitud y accesorios reglamentarios necesarios.

| | |
|----------------|-----------|
| Conexión "A" = | 1 juego |
| Conexión "B" = | 1 juego |
| Total = | 2 juegos. |

3.- Durmiente de madera de pino impregnado reglamentario de 7"x8"x8' (18cmx20cmx2.44m).

Separación centro a centro de durmiente = 50cm.

Cuerpo de la vía = 289.29m.

Por la tanto: $289.29 / 0.50\text{m} = 579$ piezas.....Total = 579 durmientes.

4.- Placa de asiento de 2 hombros para riel de 115lbs/yd (57.045kg/m).

Para las conexiones son necesarias 151 piezas cada una = 302 piezas
2 placas por durmiente: $579 \times 2 =$ 1158 piezas
Total = 1460 piezas.

5.- Clavo de vía de 5/8" x 6"(1.59cmx15.24cm).

Para las conexiones son necesarios 700 piezas cada una = 1400 piezas
2 clavos por placa: $1158 \times 2 =$ 2316 piezas
Total = 3716 piezas.

6.- Riel de 39' de longitud x 115lbs/yd (11.887mx57.045kg/m).

Para conexiones son necesarios 11 piezas cada una = 22 piezas
Cuerpo de la vía = 289.29m; longitud del riel = 11.887m. por lo tanto:
 $289.29\text{m} / 11.887\text{m} = 24.34$ piezas / hilo x 2 = 48.68, 49 piezas
Total = 71 piezas.

7.- Planchuela de conexión tipo cordón para riel de 115lbs/yd (57.045kg/m).

Para conexiones son necesarias 28 piezas cada una = 56 piezas
2 planchuelas por riel: $49 \times 2 =$ 98 piezas
Total = 154 piezas.

8.- Tornillo de vía de 1" x 6" (2.54cm de diámetro x 15.24cm de longitud) con roldana de presión y tuerca.

Son 154 piezas de planchuelas = 77 pares, en cada par se aplican 4 tornillos completos, 77 pares x 4 piezas = 308 piezas. Total = 308 piezas.

9.- Balasto reglamentario de piedra triturada de 2"(5.08cm).

El reglamento de conservación de vía y estructuras de los ferrocarriles mexicanos considera que, para una vía nueva con durmiente de madera, se aplicará 1.30m³ de balasto por un metro, es decir, un 30% más, con una cama de 20cm de espesor mínimo bajo el durmiente.

Para conexiones son necesarios 56m³ cada una = 112 m³
Cuerpo de la vía = $289.29\text{m} \times 1.30 =$ 376 m³
Total = 488 m³

Ahora se obtiene la mano de obra.

Se requiere de una cuadrilla de vía que se conforma del siguiente personal y con salarios actuales por jornada:

| | |
|-------------------------------------|--------------------|
| 1 ingeniero residente | \$ 800.00 |
| 1 mayordomo de vía | \$ 500.00 |
| 12 reparadores de vía \$200.00 c/u. | \$2400.00 |
| Costo de la cuadrilla de vía = | \$3700.00 jornada. |

Cabe hacer mención que tanto los costos de los materiales como de la mano de obra será a precio unitario directo.

.- MANO DE OBRA.-

1.- Distribuir y armar para su colocación madera para cambio #10 especial de 62 piezas a su separación reglamentaria entre centros de durmientes.

Costo cuadrilla de vía = \$ 3700.00 / jornada.

Rendimiento = 6 jornadas.

\$ 3700.00 x 6 jornadas = \$ 22200.00

Total = \$ 22,200.00

2.- Distribuir y armar para su colocación herraje completo para cambio #10x115lbs/yd (57.045kg/m.), verificando sus coordenadas reglamentarias, incluye: rieles, planchuelas de conexión, tornillos de vía, placa de asiento, clavos de vía y accesorios necesarios.

Costo cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada.

Rendimiento = 6 jornadas.

\$ 3700.00 x 6 jornadas = \$ 22200.00

Total = \$ 22,200.00

3.- Distribuir el material necesario para armar cuerpo de la vía, como son: durmiente, placa de asiento, riel, planchuela de conexión, tornillos y clavos de vía y balasto.

.- Distribuir material:

Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada.

Rendimiento = 118.87m / jornada.

\$ 3700.00 / 118.87m/jornada = \$ 31.13m

.- Armar cuerpo de la vía:

Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada.

Rendimiento = 59.435m / jornada.

\$ 3700.00 / 59.435m/jornada = \$ 62.25m

.- Distribuir balasto:

Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada.

Rendimiento = 72m³ / jornada.

\$ 3700.00 / 72m³/jornada = \$ 51.39m³

Total = \$ 144.77m

4.- Alinear, nivelar, calzar y revestir vía dando escantillón reglamentario de 1.435m.

.- Alinear vía:

Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada.

Rendimiento = 95.10m / jornada.

\$ 3700.00 / 95.10m/jornada = \$ 38.90m

.- Nivelar vía:

Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada.

Rendimiento = 95.10m / jornada.

\$ 3700.00 / 95.10m/jornada = \$ 38.90m

.- Calzar vía:

Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada.

Rendimiento = 95.10m / jornada.

\$ 3700.00 / 95.10m/jornada = \$ 38.90m

.- Revestir vía:

Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada.

Rendimiento = 118.87m / jornada.

\$ 3700.00 / 118.87m/jornada = \$ 31.13m

Total = \$ 147.83m

.- CATALOGO DE CONCEPTOS Y PRESUPUESTO DE OBRA.-

1.- MATERIALES.

1.1.- Madera para cambio #10 especial de 62 piezas reglamentario.

| Unidad. | Cantidad. | Precio Unitario. | Importe. |
|---------|-----------|------------------|---------------|
| Juego | 2 | \$ 56,000.00 | \$ 112,000.00 |

1.2.- Herraje completo para cambio #10 x 115lbs/yd (57.045kg/m) con sapo inserto corazón acero manganeso y agujas de 16'06" (5.02m) de longitud, incluye accesorios necesarios.

| | | | |
|-------|---|--------------|---------------|
| Juego | 2 | \$145,000.00 | \$ 290,000.00 |
|-------|---|--------------|---------------|

1.3.- Durmiente de pino impregnado reglamentario de 7"x8"x8' (18cmx20cmx2.44m).

| | | | |
|-------|-----|-----------|---------------|
| Pieza | 579 | \$ 330.00 | \$ 191,070.00 |
|-------|-----|-----------|---------------|

1.4.- Placa de asiento de 2 hombros para riel de 115lbs/yd (57.045kg/m).

| | | | |
|-------|------|----------|--------------|
| Pieza | 1460 | \$ 50.00 | \$ 73,000.00 |
|-------|------|----------|--------------|

1.5.- Clavo de vía de 5/8" x 6" (1.59cmx15.24cm).

| | | | |
|-------|------|---------|--------------|
| Pieza | 3716 | \$ 8.00 | \$ 29,728.00 |
|-------|------|---------|--------------|

1.6.- Riel de 39' longitud x 115lbs/yd (11.887mx57.045kg/m).

| | | | |
|-------|----|--------------|--------------|
| Pieza | 71 | \$ 11,000.00 | \$781,000.00 |
|-------|----|--------------|--------------|

1.7.- Planchuela de conexión tipo cordón para riel de 115lbs/yd (57.045kg/m).

| | | | |
|-------|-----|-----------|--------------|
| Pieza | 154 | \$ 200.00 | \$ 30,800.00 |
|-------|-----|-----------|--------------|

1.8.- Tornillo de vía de 1" x 6" (2.54cm de diámetrosx15.24cm de longitud) con roldana de presión y tuerca.

| | | | |
|-------|-----|----------|--------------|
| Pieza | 308 | \$ 45.00 | \$ 13,860.00 |
|-------|-----|----------|--------------|

1.9.- Balasto de piedra triturada de 2" reglamentario.

| | | | |
|----|-----|-----------|--------------|
| M3 | 488 | \$ 160.00 | \$ 78,080.00 |
|----|-----|-----------|--------------|

Sub- total = \$ 1'599,538.00

2.- MANO DE OBRA.

2.1.- Distribuir y armar para su colocación madera para cambio #10 especial de 62 piezas a su separación reglamentaria entre centros de durmientes.

| Unidad. | Cantidad. | Precio unitario. | Importe. |
|---------|-----------|------------------|--------------|
| Juego | 2 | \$ 22,200.00 | \$ 44,400.00 |

2.2.- Distribuir y armar para su colocación herraje completo para cambio #10x115lbs/yd (57.045kg/m), verificando sus coordenadas reglamentarias, incluye: rieles, planchuelas de conexión, tornillos de vía, placa de asiento, clavo de vía y accesorios necesarios.

| | | | |
|-------|---|--------------|--------------|
| Juego | 2 | \$ 22,200.00 | \$ 44,400.00 |
|-------|---|--------------|--------------|

2.3.- Distribuir el material necesario para armar cuerpo de la vía como son: durmiente, placa de asiento, riel, planchuela de conexión, tornillo y clavo de vía y balasto.

| | | | |
|---|--------|-----------|--------------|
| M | 289.29 | \$ 144.77 | \$ 41,880.51 |
|---|--------|-----------|--------------|

2.4.- Alinear, nivelar, calzar y revestir vía dando escantillón reglamentario de 1.435m.

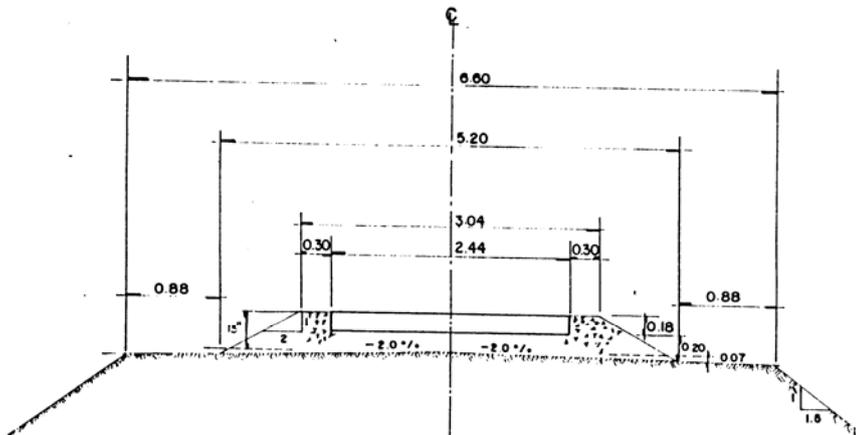
| | | | |
|---|--------|-----------|--------------|
| M | 289.29 | \$ 147.83 | \$ 42,765.74 |
|---|--------|-----------|--------------|

Sub-total = \$ 173,446.25

TOTAL = \$ 1'772,984.25

Costo de la obra con durmiente de madera: \$ 1'772,984.25

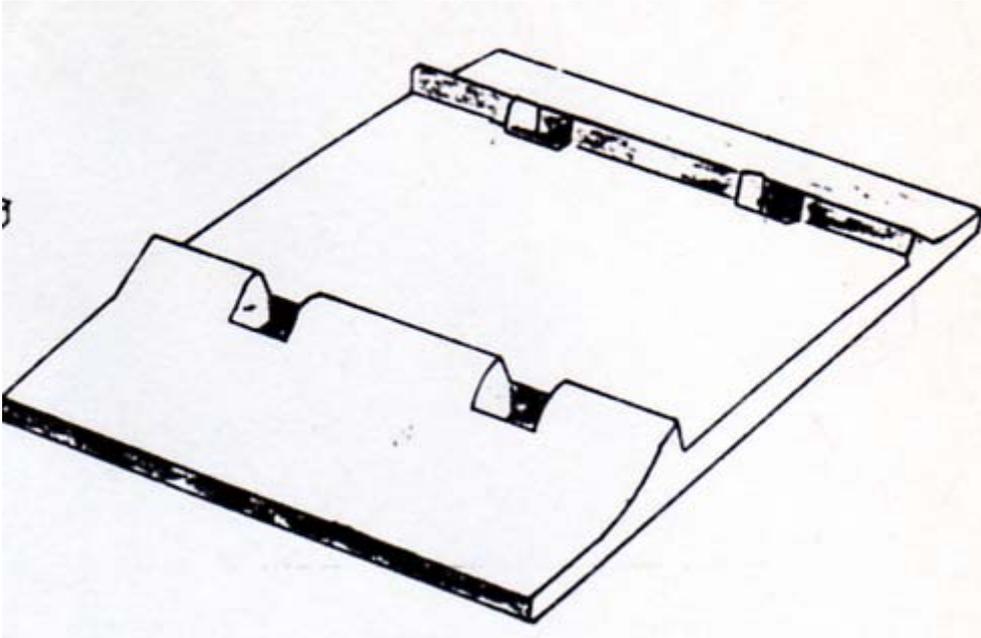
SECCION TIPO PARA CUANTIFICACION DE BALASTO UTILIZANDO DURMIENTE DE MADERA.



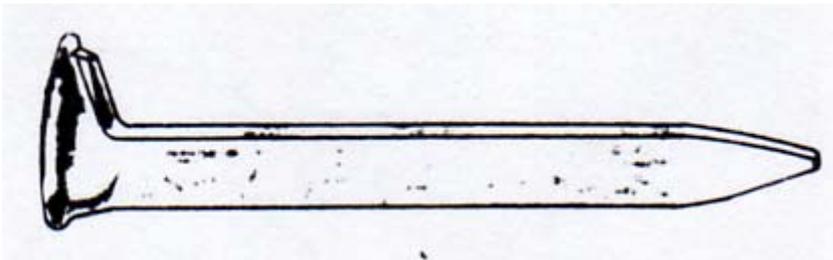
5.2.- DE CONCRETO.-

Para la construcción del ladero con durmiente de concreto, el material necesario para las conexiones "A" y "B" con la vía troncal, son los mismos que los utilizados en el durmiente de madera, por lo que la diferencia sería en el cuerpo de la vía.

Como se sabe, para fijar el riel al durmiente de madera se utiliza: placa de asiento (metálica) y clavo de vía, (figura 1 y 2). Para el caso del durmiente de concreto, el tipo de fijación es a base de grapa elástica reforzada tipo "RN", con perno de anclaje "SL" de cabeza "T" de 22mmx210mm. de longitud con tuerca hexagonal y roldana plana, cojinete semicilíndrico amortiguador y placa de hule tipo chevron de 4.5mm. de espesor. (figuras 3, 4 , 5 y 6).



Placa de Asiento de dos hombros.



Clavo de via

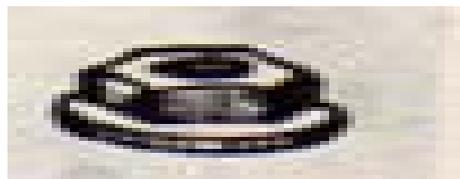
ACCESORIOS DE FIJACION PARA DURMIENTE DE MADERA.



Grapa Elastica "RN"

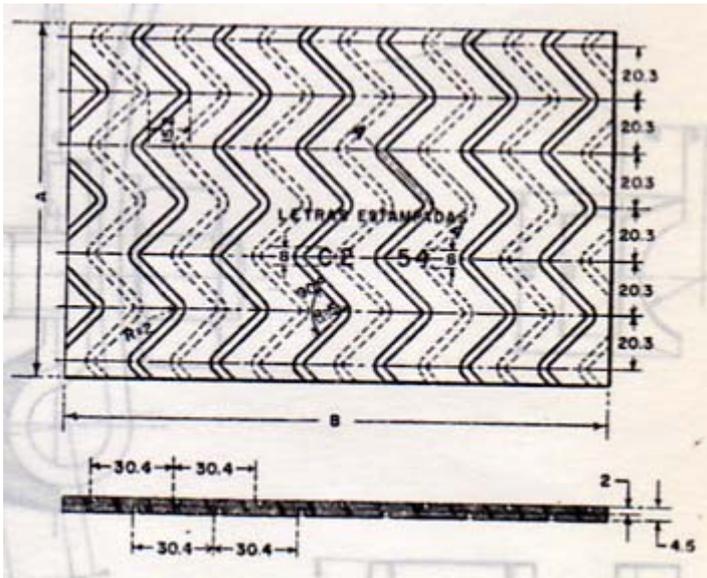


Perno "SL"

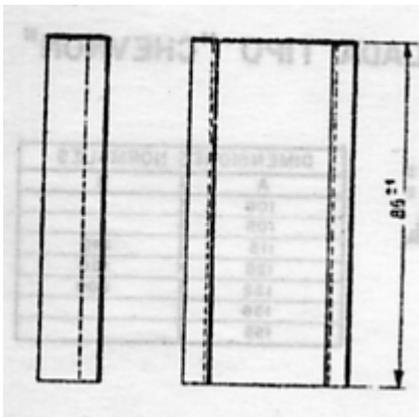


Tuerca exagonal y roldana plana

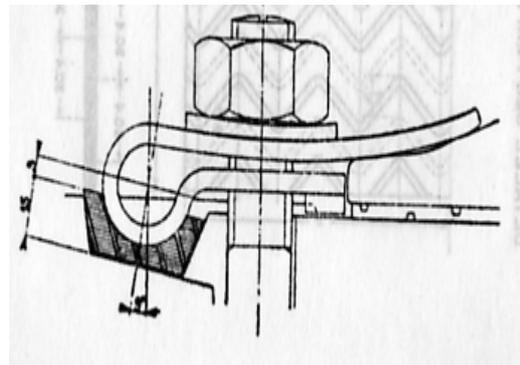
ACCESORIOS DE FIJACION PARA DURMIENTE DE CONCRETO.



Placa de Hule Neopreno tipo Chevron



Cojinete amortiguador.



Cojinete amortiguador

ACCESORIOS DE FIJACION PARA DURMIENTE DE CONCRETO.

Ahora, se obtienen los volúmenes de obra únicamente del durmiente de concreto, las fijaciones, clavo de vía para las conexiones y balasto:

1.- MATERIALES.-

1.1.- Durmiente de concreto preesforzado postensado de 22cmx33cmx2.40m.

Cuerpo de la vía = 289.29m

Separación entre centros de durmientes = 0.60m

$289.29 / 0.60m = 482$ piezas

Total = 482 piezas.

1.2.- Grapa elástica reforzada tipo "RN".

Son necesarias 4 piezas por durmiente

482 x 4 piezas = 1928 piezas Total = 1928 piezas.

1.3.- Perno de anclaje "SL" de cabeza "T" de 22mmx210mm. con tuerca hexagonal y roldana plana.

Son necesarios 4 piezas por durmiente
482 x 4 piezas = 1928 piezas Total = 1928 piezas

1.4.- Cojinete semicilíndrico amortiguador.

Son necesarios 2 piezas por durmiente
482 x 2 = 964 piezas Total = 964 piezas.

1.5.- Placa de hule de neopreno tipo chevron de 4.5mm. de espesor.

Son necesarias 2 piezas por durmiente
482 x 2 piezas = 964 piezas Total = 964 piezas.

1.6.- Clavo de vía de 5/8"x 6" (1.59cm de diámetro x 15.24cm de longitud) únicamente para conexiones.

Son necesarios 700 piezas por conexión
2 conexiones x 700 piezas = 1400 piezas Total = 1400 piezas.

1.7.- Balasto reglamentario de piedra triturada de 2"(5.08cm).

El reglamento de conservación de vía y estructuras de los ferrocarriles mexicanos considera que, para una vía nueva con durmiente de concreto, se aplicarán 1.40m³ de balasto por metro, es decir, 40% más con una cama de 30cm de espesor mínimo bajo el durmiente.

Para las conexiones son necesarios 56m³ cada una
2 conexiones x 56m³ = 112m³
Cuerpo de la vía = 289.29m.
289.29 x 1.40m³/m = 405m³ Total = 517m³.

.- MANO DE OBRA.-

También en la mano de obra los costos de distribución y colocación de los juegos de madera y herrajes para cambio, tienen el mismo costo que con el durmiente de madera, por lo tanto:

1.- Distribuir el material necesario para armar cuerpo de la vía como son: durmiente, accesorios de fijación, riel, planchuela de conexión, tornillo de vía, placa de hule neopreno y balasto.

.- Distribuir material:
Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada

Rendimiento = 71.32m / jornada
\$ 3700.00 / 71.32m/jornada = \$ 51.88m

.- Armar cuerpo de la vía:
Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada
Rendimiento = 35.66m / jornada
\$ 3700.00 / 35.66m/jornada = \$ 103.76m

.- Distribuir balasto:
Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada
Rendimiento = 56m³ / jornada
\$ 3700.00 / 56m³/jornada = \$ 66.07m³

Total = \$ 221.71m³

2.- Alinear, nivelar, calzar y revestir vía dando escantillón reglamentario de 1.435m.

.- Alinear vía:

Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada
Rendimiento = 47.55m / jornada
\$ 3700.00 / 47.55m/jornada = \$ 77.81m

.- Nivelar vía:

Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada
Rendimiento = 47.55m / jornada
\$ 3700.00 / 47.55m/jornada = \$ 77.81m

.- Calzar vía:

Costo de la cuadrilla = \$ 3700.00 / jornada
Rendimiento = 47.55m / jornada
\$ 3700.00 / 45.77m/jornada = \$ 77.81m

.- Revestir vía:

Costo de la cuadrilla \$ 3700.00 / jornada
Rendimiento = 71.32m / jornada
\$ 3700.00 / 71.32m/jornada = \$ 51.88m

Total = \$ 285.31m

.- CATALOGO DE CONCEPTOS Y PRESUPUESTO DE OBRA.-

1.- MATERIALES.-

1.1.- Madera para cambio #10 especial de 62 piezas reglamentario.

| Unidad. | Cantidad. | Precio unitario. | Importe. |
|---------|-----------|------------------|---------------|
| Juego | 2 | \$ 56,000.00 | \$ 112,000.00 |

1.2.- Herraje completo para cambio #10 x 115lbs/yd (57.045kg/m) con sapo inserto corazón acero manganeso y agujas de 16'06" (5.02m) de longitud, incluye accesorios necesarios.

| | | | |
|-------|---|--------------|---------------|
| Juego | 2 | \$145,000.00 | \$ 290,000.00 |
|-------|---|--------------|---------------|

1.3.- Durmiente de concreto preesforzado postensado de 22cmx33cmx2.40m.

| | | | |
|-------|-----|-----------|---------------|
| Pieza | 482 | \$ 550.00 | \$ 265,100.00 |
|-------|-----|-----------|---------------|

1.4.- Grapa elástica reforzada tipo "RN".

| | | | |
|-------|------|----------|--------------|
| Pieza | 1928 | \$ 28.00 | \$ 53,984.00 |
|-------|------|----------|--------------|

1.5.- Perno de anclaje "SL" de cabeza tipo "T" de 22mmx210mm con tuerca hexagonal y roldana plana.

| | | | |
|-------|------|----------|--------------|
| Pieza | 1928 | \$ 32.00 | \$ 61,696.00 |
|-------|------|----------|--------------|

1.6.- Cojinete semicilíndrico amortiguador.

| | | | |
|-------|-----|---------|-------------|
| Pieza | 964 | \$ 7.00 | \$ 6,748.00 |
|-------|-----|---------|-------------|

1.7.- Placa de hule de neopreno tipo chevron de 4.5mm de espesor.

| | | | |
|-------|-----|----------|--------------|
| Pieza | 964 | \$ 15.00 | \$ 14,460.00 |
|-------|-----|----------|--------------|

1.8.- Riel de 39' x 115lbs/yd (11.887m de longitud x 57.045kg/m).

| | | | |
|-------|----|-------------|--------------|
| Pieza | 71 | \$11,000.00 | \$781,000.00 |
|-------|----|-------------|--------------|

1.9.- Planchuela de conexión tipo cordón para riel de 115lbs/yd (57.045kg/m).

| | | | |
|-------|-----|-----------|--------------|
| Pieza | 154 | \$ 200.00 | \$ 30,800.00 |
|-------|-----|-----------|--------------|

1.10.- Tornillo de vía de 1" x 6" (2.54cm de diámetro x 15.24cm de longitud) con roldana de presión y tuerca.

| | | | |
|-------|-----|----------|--------------|
| Pieza | 308 | \$ 45.00 | \$ 13,860.00 |
|-------|-----|----------|--------------|

1.11.- Placa de asiento de 2 hombros para riel de 115lbs/yd (57.045kg/m) únicamente para las conexiones.

| | | | |
|-------|-----|----------|--------------|
| Pieza | 302 | \$ 50.00 | \$ 15,100.00 |
|-------|-----|----------|--------------|

1.12.- Clavo de vía de 5/8"x 6"(1.59cm de diámetrox15.24cm de longitud) únicamente para las conexiones.

| | | | |
|-------|------|---------|--------------|
| Pieza | 1400 | \$ 7.00 | \$ 11,200.00 |
|-------|------|---------|--------------|

1.13.- Balasto reglamentario de piedra triturada de 2" (5.08cm).

| | | | |
|----|-----|-----------|--------------|
| M3 | 517 | \$ 160.00 | \$ 82,720.00 |
|----|-----|-----------|--------------|

Sub-total = \$ 1'738,668.00

2.- MANO DE OBRA.-

2.1.- Distribuir y armar para su colocación madera para cambio #10 especial de 62 piezas a su separación reglamentaria entre centros de durmientes.

| Unidad. | Cantidad. | Precio unitario. | Importe. |
|---------|-----------|------------------|--------------|
| Juego | 2 | \$ 22,200.00 | \$ 44,400.00 |

2.2.- Distribuir armar para su colocación herraje completo para cambio #10x115lbs/yd (57.045kg/m) verificando sus coordenadas reglamentarias, incluye:

Rieles, planchuelas de conexión, tornillos de vía, placa de asiento, clavos de vía y accesorios necesarios.

| | | | |
|-------|---|--------------|--------------|
| Juego | 2 | \$ 22,200.00 | \$ 44,400.00 |
|-------|---|--------------|--------------|

2.3.- Distribuir el material necesario para armar cuerpo de la vía, incluye: durmiente, accesorios de fijación, riel, planchuela de conexión, tornillo de vía, placa de hule neopreno y balasto.

| | | | |
|----|--------|-----------|--------------|
| M. | 289.29 | \$ 221.71 | \$ 64,138.48 |
|----|--------|-----------|--------------|

2.4.- Alinear, nivelar, calzar y revestir vía dando escantillón reglamentario de 1.435m.

| | | | |
|----|--------|-----------|--------------|
| M. | 289.29 | \$ 285.31 | \$ 82,537.32 |
|----|--------|-----------|--------------|

Sub-total = \$ 235,475.80

\$ TOTAL = \$ 1'974,143.80

Costo de la obra con durmiente de concreto = \$ 1'974,143.80

Ahora, se hace el comparativo entre el costo de la obra con durmiente de concreto contra el costo de la obra con durmiente de madera para obtener el porcentaje de diferencia entre ambos:

$\$ 1'974,143.80 - \$ 1'772,984.25 = \$ 201,159.55$, entonces:

$\$ 201,159.55 / 1'772,984.25 = 0.1135 \times 100 = 11.35 \%$

Es decir, que la construcción del ladero de ferrocarril con durmiente de concreto, es un 11.35 % mayor que con durmiente de madera.

El costo por metro de vía con durmiente de madera será:

$\$ 1'772,984.25 / 355.0\text{m de longitud del ladero} = \$ 4,994.32$

El costo por metro de vía con durmiente de concreto será:

$\$ 1'974,143.80 / 355.0\text{m de longitud del ladero} = \$ 5,560.97$

El costo anual por mantenimiento o rehabilitación será:

Vía con durmiente de madera.-

Durmiente = \$ 303,070.00

Vida útil = 5 años

\$ 303,070.00 / 5 años = \$ 60,614.00

Herrajes, rieles y planchuelas de conexión = \$ 1'101,800.00

Vida útil = 25 años

\$ 1'101,800.00 / 25 años = \$ 44,072.00

Placas de asiento, tornillos y clavos de vía = \$ 116,588.00

Vida útil = 4 años

\$ 116,588.00 / 4 años = \$ 29,147.00

Balasto reglamentario = \$ 78,080.00

Vida útil = 5 años

\$ 78,080.00 / 5 años = \$ 15,616.00

Mano de obra = \$ 173,446.25

Rehabilitación periódica = 5 años

\$ 173,446.25 / 5 años = \$ 34,689.25

Total costo anual = \$ 184,138.25

Vía con durmiente de concreto preesforzado y postensado.

Juegos de madera = \$ 112,000.00

Vida útil = 5 años

\$ 112,000.00 / 5 años = \$ 22,400.00

Durmientes = \$ 265,100.00

Vida útil = 20 años

\$ 265,100.00 / 20 años = \$ 13,255.00

Herrajes, rieles y planchuelas de conexión = \$ 1'101,800.00

Vida útil = 25 años

\$ 1'101,800.00 / 25 años = \$ 44,072.00

Placas de asiento, tornillos y clavos de vía, grapas elásticas, pernos de anclaje, cojinetes semicilíndricos y placas de hule neopreno = \$ 177,048.00

Vida útil = 4 años

\$ 177,048.00 / 4 años = \$ 44,262.00

Balasto reglamentario = \$ 82,720.00

Vida útil = 5 años

\$ 82,048.00 / 5 años = \$ 16,544.00

Mano de obra = \$ 235,475.80
Rehabilitación periódica = 25 años
 $\$ 235,475.80 / 25 \text{ años} = \$ 9,419.00$

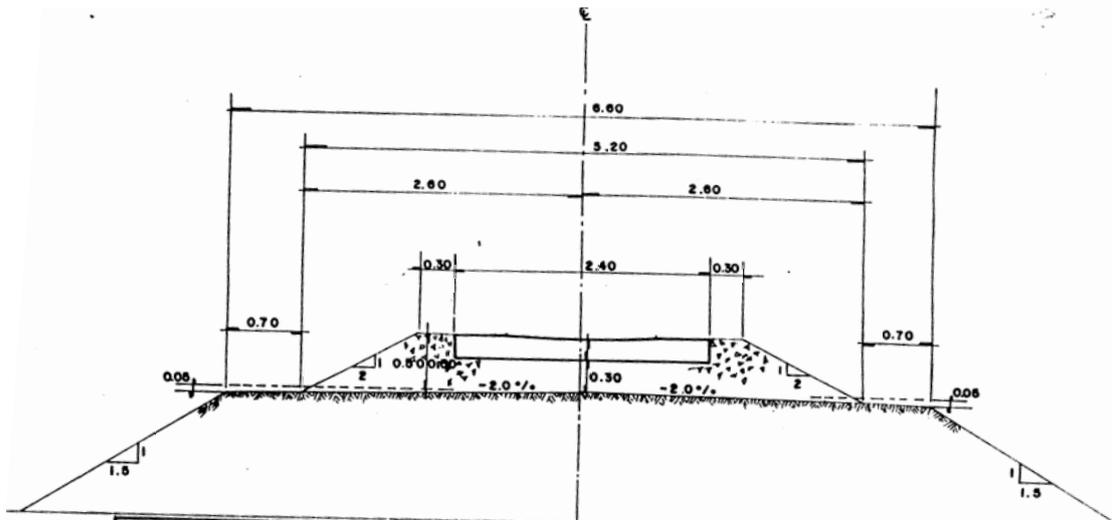
Total costo anual = \$ 149,952.00

Haciendo el comparativo del costo anual de mantenimiento o rehabilitación con durmiente de madera contra el del durmiente de concreto, se tiene que:

$\$ 184,138.25 - \$ 149,952.00 = \$ 34,186.25$, entonces:
 $\$ 34,186.25 / \$ 149,952.00 = 0.2280 \times 100 = 22.80\%$

Por lo anterior, se deduce que el mantenimiento o rehabilitación anual con durmiente de madera, sería un 22.80% mayor que con durmiente de concreto, por lo que resulta más económico utilizar durmiente de concreto.

SECCION TIPO PARA CUANTIFICACION DE BALASTO UTILIZANDO DURMIENTE DE CONCRETO.



CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Actualmente los bosques mexicanos, por la tala inmoderada de árboles, ha ocasionado escasez de madera de pino para poder fabricar durmiente de madera, no así con la materia prima para fabricar el durmiente preesforzado postensado de concreto, ya que su producción es altamente mecanizada y con una participación mínima de la mano de obra pudiéndose así producirse en gran escala.

En el comparativo del costo de un durmiente de madera contra el de un durmiente de concreto, el durmiente de concreto es mayor en un 67% en el precio unitario, pero para la construcción de un ladero de ferrocarril, como en este caso, es de solo 11.35% mayor y se tiene que para el mantenimiento o rehabilitación anual es un 22.80% más con durmiente de madera, es decir, el mantenimiento o rehabilitación es menor y más durable con durmiente de concreto postensado que con el durmiente de madera.

Por el comparativo anteriormente mencionado, se puede concluir, que aunque para la construcción de un ladero de ferrocarril con durmiente de concreto postensado sea mayor en un 11.35% en el costo inicial, a la larga, con un costo anual de mantenimiento o rehabilitación menor, es recomendable para las empresas que requieran llevar a cabo el movimiento de productos a los mercados de consumo mediante el ferrocarril.

•

BIBLIOGRAFIA

APUNTES FERROCARRIL T.F.M. (KANSAS CITY SOUTHERN – MEXICO)

APUNTES FERROCARRIL MEXICANO. (FERROMEX) .

APUNTES FERROCARRIL FERROSUR.

APUNTES FERROCARRIL TERMINAL VALLE DE MEXICO (FERROVALLE).

APUNTES FERROCARRIL CHIAPAS – MAYAB.

APUNTES FERROCARRILES NACIONALES DE MEXICO.

REGLAMENTO DE CONSERVACION DE VIA Y ESTRUCTURAS.

APUNTES IMPULSORA TLAXCALTECA DE INDUSTRIAS S.A DE C.V. (ITISA)

LIBRO FERROCARRILES AUTOR ING. FRANCISCO M. TOGNO