

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

**Apuntes de la Materia Sistemas de Transporte
Terrestre
(SEGUNDA PARTE)
Terracerías y Superestructura del Ferrocarril**

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a :
ANDRES LUIS ALMAZAN ORTIZ

México, D. F.

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-317.T.E.

Señor ANDRES LUIS ALMAZAN ORTIZ,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Profr. Ing. Salvador Canales de la Parra, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero Civil.

APUNTES DE LA MATERIA SISTEMAS DE TRANSPORTE TERRESTRE
(SEGUNDA PARTE)
TERRACERIAS Y SUPERESTRUCTURA DEL FERROCARRIL

- I. Introducción
- II. Elementos sobre Mecánica de Suelos aplicables a la construcción de terracerías para ferrocarriles
- III. Drenaje y Alcantarillado
- IV. Superestructura de la vía férrea
- V. Tendido de vía

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 17 de junio de 1982.
EL DIRECTOR,

ING. JAVIER JIMENEZ ESPINO

JJE/06/11/hnd'

INDICE

PÁGINA

CAPITULO I. INTRODUCCION

Elementos de Geotecnia Indispensables para Proyecto y construcción de terracerías	1
Igneas Intrusivas	2
Plegamiento de la corteza	3
Mapas Geológicos	4

CAPITULO II. ELEMENTOS SOBRE MECANICA DE SUELOS APLICABLES A LA CONSTRUCCION DE -- TERRACERIAS PARA FERROCARRILES

Clasificación del suelo en uso reciente	6
Cálculo del valor de soporte de la Sub-base	11
Carta de Plasticidad	16
Método simplificado adaptado para ferrocarriles del original "Índice de grupo" del cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos de América	18
Estabilidad de Taludes de cortes y terraplenes	21
Coefficiente de Seguridad de un Talud	23
Capa Subrasante	24
Sub-balasto	26
Balasto	28
Algunos criterios utilizados para el diseño de la Sección del balasto	30

PÁGINA

Esfuerzos simétricos en túneles	33
Métodos para perforar túneles	35
CAPITULO III. DRENAJE Y ALCANTARILLADO	
Cunetas para ferrocarril	39
Alcantarillas	40
Obras "de arte" provisionales	42
Drenaje Superficial	45
CAPITULO IV. SUPERESTRUCTURA DE LA VIA FERREA	
Esfuerzos del riel y base durmiente	49
Estabilidad de la vía	51
Inestabilidad de las vías	53
Cualidades del riel	54
Secciones tipo del riel	56
Vibraciones	57
Rieles soldados de mediana longitud con uniones standard	59
Problema real de las dilataciones de los rieles fijos a los durmientes y estos anclados al balasto .	60
Medición del incremento de Temperatura (ΔT) . .	64
Accesorios de los rieles	67
Accesorios de fijación	69
Durmientes de madera	72
Impregnación de durmientes	73
Métodos de Impregnación	75
Durmientes de concreto	79
Fabricación de durmientes de concreto Mixtos Tipo "Rs"	83
Durmientes de acero	85
Características principales	87

PÁGINA

CAPITULO V. TENDIDO DE VIA

Método utilizado tradicionalmente en vía clavada	88
Alinear y nivelar	90
Métodos utilizados para el tendido de vía .	91
Método del pórtico y trineo	92
Método de los FF.CC. nacionales de México .	93
Método de plataforma-trabe en cantiliver . .	94
Comparación de Métodos	94
Algunos términos usuales en ferrovias de México y sus equivalencias	96

BIBLIOGRAFIA

I. INTRODUCCION

ELEMENTOS DE GEOTECNIA INDISPENSABLES PARA PROYECTO Y CONSTRUCCION DE TERRACERIAS

La Geología estudia las rocas de la superficie terrestre cuyas profundidades ocupan las intrusivas o plutónicas, hasta espesores relativamente moderados de la corteza, sin penetrar a la zona interior incandescente.

Las rocas del magma (enfriadas al salir a la atmósfera por erupciones volcánicas) constituyen el grupo de extrusivas o lavas de enfriamiento rápido.

Las dos clases de rocas ígneas (intrusiva y extrusiva original) se disgregaron por erosión, formando residuos y sedimentos compactados naturalmente y afectados por temperaturas y reacciones químicas, dando origen a parte de los gru-

pos de rocas sedimentarias y metamórficas además de los depósitos de fósiles calcáreos.

En general, la geología estudia rocas, grandes rocas - clasificables por su origen, en tanto que la Mecánica de Suelos estudia los materiales disgregados de cualquier origen, - con tamaños desde grava hasta polvo, a manera de microgeología.

IGNEAS INTRUSIVAS

Afloran por la erosión de las capas superiores, o por penetración según se trate de cúpulas denominadas batolitos - o de intrusiones delgadas como diques.

Sus cristales son gruesos, la cristalización y estratigrafía es de grandes bloques cuyo grado de fracturación depende de que las localicen en zona sísmica o fuera de ella.

El intemperismo disgrega las rocas formando en ocasiones suelos mal graduados muy erosionables, tal como la Tucuru guai de Sonora, proveniente del granito.

Las Rocas VOLCANICAS, se alternan por capas; las lavas, con las tobas o tepetates y otras cenizas, presentando rocas desde estratificadas hasta aglomerados, espumas y amorfas.

Las Rocas SEDIMENTARIAS, en su mayoría, se originaron

por capas horizontales, pero posteriores hundimientos, quebraduras y volcanes las han removido en todas las inclinaciones imaginables generalmente sobre las igneas.

PLEGAMIENTO DE LA CORTEZA

Anticlinales y sinclinales, con planos de simetría - - (ejes) en toda clase de inclinaciones respecto a la vertical, originaron tensiones en los estratos superiores y compresiones en las capas inferiores favoreciendo la erosión de las -- cimbras anticlinables que en la actualidad han pasado desde viejas cumbres, hasta convertirse en lecho de ríos.

FALLAS

El plegamiento o los hundimientos y perforaciones, rompen las capas estratigráficas, según planos de falla donde -- las caras de contacto se frotaron y desquebrajan entre sí formando una zona de falla rellena del material quebrado llamado brecha de falla, las dimensiones geométricas son: el rumbo de la horizontal del plano de falla, su inclinación (echado), el desnivel hundido y el corrimiento horizontal.

MAPAS GEOLOGICOS

Por reconocimiento directo, o preferentemente por mo--

saico aerofotográfico unido a reconocimiento terrestre, se delimitan las áreas de distinta geología y se marcan las áreas de fragmentos de diverso origen acumulados en capas de suelos.

Cada área queda limitada por el contacto entre dos rocas o entre roca y suelo.

CORTES GEOLOGICOS

Cualquier sección o perfil del mapa geológico, contiene datos verificados superficiales, de tal modo que precisa deducir la estratigrafía interna, por observaciones de rumbos, echado, hipótesis, sondeos, o mediciones geosísmicas.

INFORMACION COMPLETA

Nos bastan planos y cortes sin que se incluya información sobre rumbos y echados, ejes de plegamiento y sobre todo, la más detallada posible información sobre fracturas y fallas.

CAPITULO II

ELEMENTOS SOBRE MECANICA DE SUELOS APLICABLES A LA CONSTRUCCION DE TERRACERIAS PARA FERROCARRILES

La Geología estudia las grandes rocas originales ----
(igneas, sedimentaria y metamórfica) la Mecánica de Suelos --
estudia el distritus disgregado, donde Suelo Grueso en general
se **aplica** a material fragmentado en partículas, cuya mayoría -
esté comprendida desde grava de 3" hasta diámetros mínimos --
(fracciones de milímetro pero claramente perceptibles a la visu
ta y palpables al tacto 0.5 mm); los cuales es posible clasi--
ficar mediante cribas.

Suelo Fino es el término general aplicable a una ma--
yoría de partículas de diámetros menores que 0.2 mm., que ape-

nas es posible percibir, pero sin poder clasificar sus diámetros con cribas y por ello precisan métodos de sedimentación para su análisis.

Los Suelos Gruesos (o granulares) no son cohesivos y se les llama bien graduados signo convencional de Well (W) - cuando los vacíos de las gravas, son llenados por arenas y - los de éstos por limo produciendo máxima densidad, en contraste con los suelos malgraduados (P) de POOR = POBRE.

Los Suelos Finos o Plásticos, se afectan grandemente con la variable humedad, variando su volúmen y densidad, capacidad de carga, etc., de modo que su análisis no precisa - granulometría sino estudios sobre los comportamientos de plasticidad y de semifluidez (a manera de líquido) cuando se in-crementa el porcentaje de humedad, gradualmente.

CLASIFICACIONES DEL SUELO EN USO RECIENTE

En la actualidad, se ha adoptado el sistema unificado donde grava es lo que pasa por la criva de 3" hasta retenerse en la malla N° 4, donde pasa la arena hasta que la retiene la criva N° 200, donde sólo pasan los finos.

Observese que han desaparecido las antiguas clasificaciones de arenas gruesas o finas, gravas gruesas y menores, y ya no se distingue el limo de la arcilla, englobando ambos en

el genérico término finos.

Los suelos gruesos o granulares, son ideales para formar terraplenes, cuando además de estar bien graduados (sw), tienen buenos valores relativos a las siguientes características:

Origen.	Petrográfico de roca dura y densa
Forma.	Con aristas vivas adecuadas a elevados ángulos de fricción interna
Superficie.	Rugosa en sus caras
Cementación.	Químicamente favorable al reaccionar con el agua y con la consolidación, drenaje, humedad propia, etc.

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

Los cantos rodados y la grava de un río deben ser duros por haber resistido siglos de erosión, a pesar de su remediable inconveniente de forma redondeada de escasa fricción interna o trabazón entre las partículas.

DIFERENCIAS ENTRE LOS PROCEDIMIENTOS Y FINALIDADES DE MECANICA DEL SUELO, APLICADOS A FERROCARRILES Y CARRETERAS

- a) Para el diseño de carreteras se calcula el espesor de la base y pavimento por el valor de soporte relativo y por el tráfico, su peso y frecuencia; el grado de compactación de base de camino puede permanecer casi constante, mientras la carpeta asfáltica pueda impedir al agua penetrar en demasía hacia el interior del terraplen.
- b) En el camino se sella con riegos asfálticos a la carpeta, al igual que el enladrillado de los techos azotea, se impermeabilizan con materiales asfálticos.
- a') El ferrocarril en cambio, necesita ser permeable en todo el espesor de su base la que se golpea de continuo, tanto con el paso de trenes como las herramientas para calzar y nivelar la vía.
- b') En ferrocarriles se debe sellar la subrasante para evitar el agua de lluvia y para impedir que los suelos cohesivos puedan subir por capilaridad, agua de inundación o freática, (hasta 2 o más metros) siendo necesario según el caso, el

procedimiento de aplicar una o varias capas de sello, intercaladas en capas aisladas de terraplen y hasta puede resultar necesario asfaltar sobre durmientes y el contorno exterior del balasto.

El empleo de capa de arena (sub-balasto) sirve para detener el lodo mientras se sature esa capa y a su vez principie a lanzar arcilla hacia el balasto superior.

El espesor del balasto ha sido calculado (Area) según la presión conocida en la base del durmiente (P_0) y la presión (P) casi ignorada permisible por la subrasante, a través de hipótesis más o menos imprecisas sobre el ángulo y de transmisión de presiones a través de un balasto que empieza limpio y termina enlodado en pocos meses.

Los suelos cohesivos son suelos que presentan un gran problema para los constructores de terraplenes, y de la estabilidad de los Taludes de los cortes y su mantenimiento.

Es indispensable analizar su comportamiento en la humedad y aplicar todas las normas para su aceptación y para su rechazo.

Los suelos coloidales triplican su volumen al aumentar la humedad, las partículas coloidales (de tamaño ínfimo) llegan a flotar en el agua y quedan separadas entre sí por --

tensiones eléctricas naturales, que pueden variarse artificialmente aumentando el peso volumétrico de estos suelos floculares en la peor versión de suelo fino en su límite admisible, obteniendo grupos de coloides y agua a base de emulsiones.

Límite líquido: (LL) - Es la relación entre el peso de agua y el peso del suelo seco (porcentaje de humedad) cuando el suelo deja de ser plástico y empieza a ser líquido o sea a fluír, lo cual se mide mediante una prueba standard usando una cucharilla y un cuchillo para observar el comportamiento del cierre de la ranura hecha en el lodo.

Límite Plástico: (LP) - Es la relación por ciento entre el peso de agua y el peso seco, cuando el suelo empieza a ser moldeado en rollitos plásticos de pequeño diámetro precisándose valores especificados por la prueba standar correspondiente.

La diferencia entre (LL) - (LP) = (IP) es el Índice plástico el cual sirve para caracterizar el comportamiento plástico del suelo, junto con el (LL).

DENSIDAD Y HUMEDAD DEL SUELO

Los mejores terraplenes provienen de suelos de máxima densidad tanto por el peso específico del tipo de roca de origen como por su humedad óptima; cada suelo al aumentar su hu-

medad, aumenta su peso volumétrico hasta un porcentaje óptimo y luego pierde su máxima densidad al rebasarse esa humedad -- óptima.

Compactar un suelo, es reducir su % de vacíos, mediante presión o vibrado y agua hasta el grado óptimo; compactar cuesta trabajo, esfuerzo y dinero que precisan economizarse - técnicamente, en primer término: construyendo por capas delgadas los terraplenes arcillosos (20 cm) y capas de espesor no mayor de 40 cm. para los suelos arenosos. Cada suelo tiene - una relación de compactación igual al peso de la muestra de campo, entre el peso máximo de igual material compactado al máximo, según valores tabulados considerando la humedad óptima según laboratorio.

Generalmente un terraplen para ferrocarril precisa 80 a 90% (variando con el material lluvias regionales, tráfico, balasto, sub-balasto, etc.)

CALCULO DEL VALOR DE SOPORTE DE LA SUB-BASE

Los durmientes transmiten presiones medias del orden - de 3 a 4 kg/cm² y la base de la vía debe soportar la fuerza - cortante: $s = C + N \operatorname{tg} \psi$ (compresión triaxial); los suelos granulares contruídos por capas y compactados con equipos -- adecuados generalmente proporcionan resistencia o soporte suficiente para reaccionar las cargas de la vía con tráfico pre

cisando tan sólo un espesor mínimo de balasto (20 cm.), bajo el durmiente, como material selecto transmisor de presiones y con buena permeabilidad para drenar la vía y mantenerla -- anclada en su sitio; Los suelos cohesivos, son los que pueden ser hundidos o cortados por los durmientes y al hundirse éstos y saturarse de humedad (de lluvia o freática) se reduce su escaso valor inicial de soporte y se produce la destrucción del terraplen, a menos de emplearse una capa intermedia de material selecto granular, con suficiente espesor para permitir la reducción de la presión máxima de la vía, hasta la presión mínima permisible por la subrasante o terracería de suelo arcilloso.

Respecto a los cortes o terraplenes de suelo cohesivo en regiones de fuertes lluvias y humedad freática, deben compactarse con gran esmero al construirse y deben sellarse con riego asfáltico o suelo cemento, para impedir la entrada del agua al interior del terraplén y perder el valor de soporte inicial, debiéndose emplear una capa arenosa (sub-base) sobre la cual se colocará el balasto de la vía férrea.

El espesor (h) del balasto y del sub-balasto o material de la sub-base, pueden obtenerse de la fórmula derivada de experiencias del AREA usando $\psi = 30^\circ$

$$P = \frac{17}{h^{1.25}} \times P_0$$

DONDE:

P : Es la presión admisible (sin considerar altas-
velocidades de trenes) por el terraplen (subra-
sante).

P₀ : Es la presión sobre el durmiente

h : Es el espesor buscado (sin incluir impacto de
alta velocidad superior a la normal).

(Se anexa Monograma, Fig. 1)

La fórmula europea proviene de suponer que el balas-
to, transmite presiones según $\psi = 45^\circ$ tal que (Véase Fig. 2)

$$P = \frac{b}{2h + b} \times P_0$$

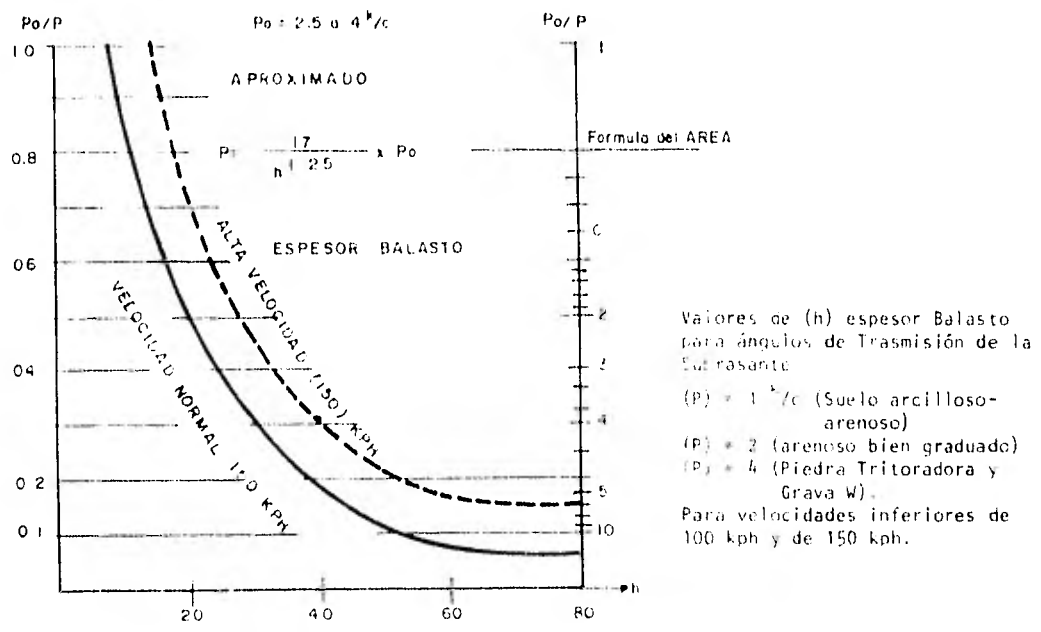
DONDE:

b : Es el ancho del durmiente

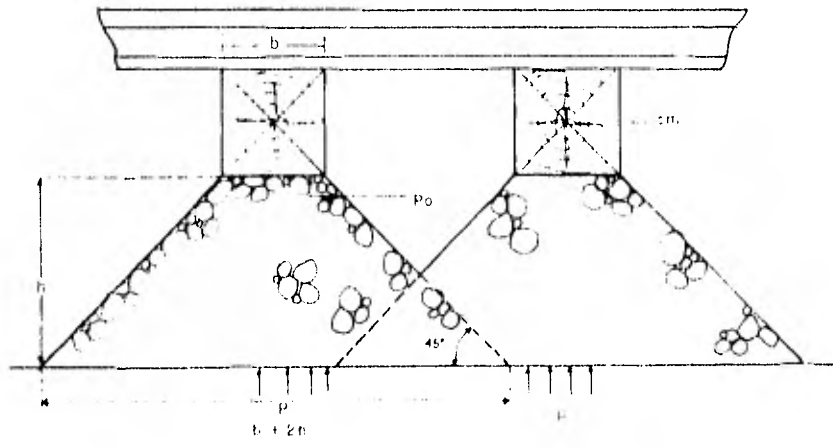
P₀ : Es la carga de 36 toneladas de un eje máximo
(estático) repartido aproximadamente sobre -
(3) durmientes nuevos con bases de (20 x 240
cm) c/u pero sin calzar el tercio central.

$$\frac{36 \text{ toneladas}}{2/3 \times 14.400 \text{ cm}^2} = 3.75 \text{ kg/cm}^2 \text{ para velocidades normales}$$

Esta cifra puede valer 5 kg/ cm² si se considera que



(FIG. 1)



(FIG. 2)

solo trabajan dos durmientes; por ejemplo: si tuvieramos una terracería capaz de soportar $P = 0.5 \text{ kg/cm}^2$, precisamos $h = 50 \text{ cm}$. aproximadamente.

En la práctica, el sub-balasto o sub-base arenosa, puede formarse con 20 ó 30 cm; de escorias o arena que detienen el lodo que asciende, y sellan al balasto el cual debe ser limpio para poder drenar bien y para permitir un calzado o bateo frecuente y para nivelar y compactar la vía, con espesores de balasto entre 20 y 50 cm.; bajo la base de los durmientes.

El anterior método de cálculo de espesor de la base (o sea del balasto y sub-balasto) es sólo aproximado y en casos frecuentes o críticos parece necesario realizar pruebas complementarias de resistencia al esfuerzo cortante de las muestras del suelo compactado de la subrasante para aplicarles la prueba de penetración de un pistón de 3 ft^2 cargando 3 tons. (CBR - Porter) cuyos resultados se comparan con la penetración base de 0.1 pulgadas, que la carga tipo produce en el mejor suelo imaginable proveniente de roca triturada.

Es recomendable en general, compactar adecuadamente la terracería, usando material granular bien graduado y dar un riego asfáltico de fraguado medio (de 2 lts. por m^2) para penetración y parcial sellado de la base bien compactada y con bombeo, antes de colocar la indispensable capa arenosa

del sub-balasto, con anterioridad al tendido de vía y la capa final del balasto que se detallará más adelante.

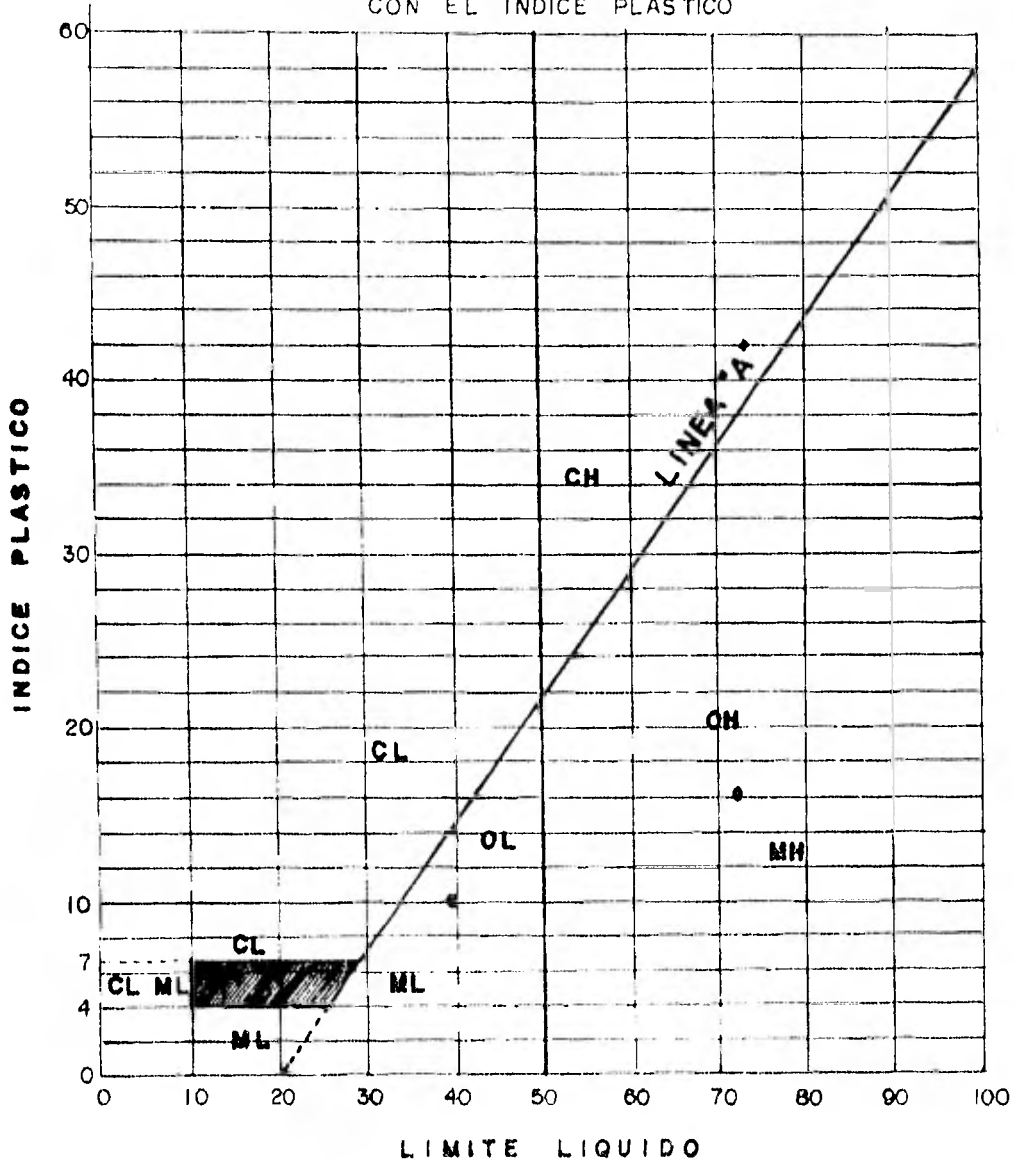
CARTA DE PLASTICIDAD

Empleando (LL) límite líquido ordenadas e (IP) índice plástico (abcisas) se representa la gráfica de plasticidad que se anexa, (Fig. 3), donde el índice de plasticidad no debe rebasar de 45 para ningún terraplén de ferrocarril, porque la permeabilidad decrece al aumentar (IP) y entonces el paso de los trenes produce bombeo de lodo con el vibratorio hundimiento y levante de la vía al paso de cada camión.

La arcilla (CH) es tan dura como un guijarro, pero sólo cuando está seca (exclusivamente) dado que el suelo agrietado duro (CH) seco, se disuelve en el agua perdiendo su dureza en seco lo cual NO es aprovechable como material de terraplen, a menos de envolver esos suelos con bolsas de polietileno, o cubrir con mantas de hule.

Es costoso pero factible, construir terraplén con suelos cohesivos en condiciones adversas de humedad: ello puede ahorrar distancias y producir perfiles a nivel y con ello puede abatirse el costo teórico de operar; sin embargo, lo más difícil en material de terraplenes, de suelo cohesivo, no es construir, sino conservar las condiciones óptimas de su inestable existencia.

COMPARANDO SUELOS A IGUAL LIMITE LIQUIDO LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL INDICE PLASTICO



CARTA DE PLASTICIDAD

PARA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN EL LABORATORIO

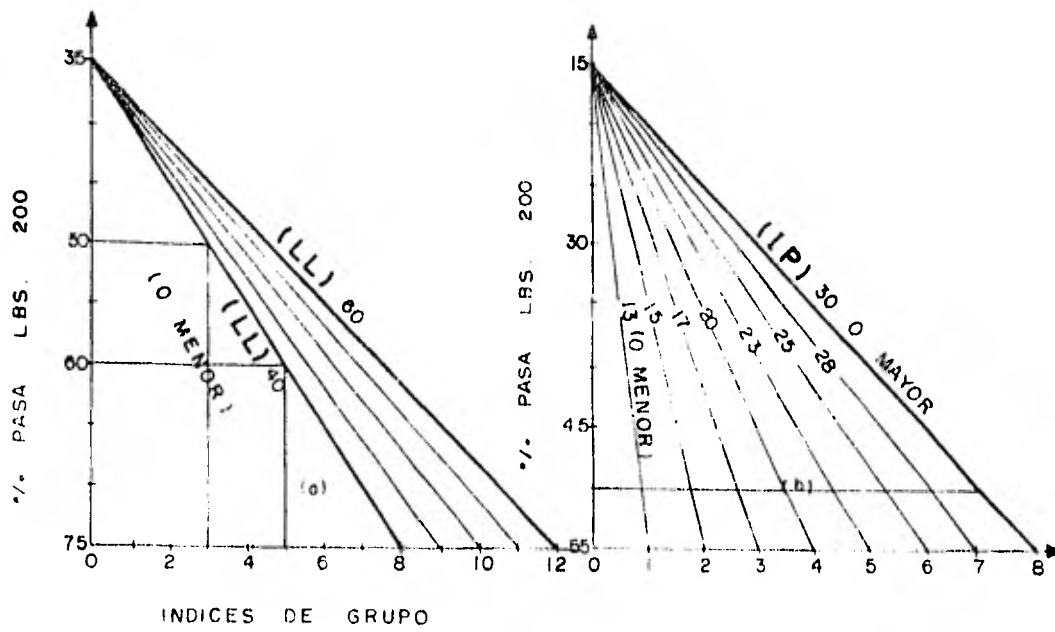
(FIG. 3)

Como ejemplo tenemos el ferrocarril del sureste de México y otros en zonas de suelo fino y alta precipitación, requieren taludes acostados, muy amplias cunetas, sello en las camas y coronas, inyecciones de cal, de mortero de cemento, para llenar las bolsas de agua del balasto incrustado, drenes y un esmerado mantenimiento a base de mantener el (LL) permisible para el (IP) disponible del terraplén.

METODO SIMPLIFICADO ADAPTADO PARA FERROCARRILES DEL
ORIGINAL "INDICE DE GRUPO" DEL CUERPO DE INGENIEROS DE
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

Considerese el (%) que pasa por la malla No. 200 que deberá estar comprendido entre 35 y 75% dado que se trata de suelos finos.

- 1o. Determinese (LL) límite líquido (entre 40 y menor) hasta (60) usese nomograma anexo, (Fig. 4), y encuentre parcial índice de grupo (a)
- 2o. Obténgase (IP) índice plástico (entre 15 y 50 - límite) y en el segundo nomograma, (Fig. 4a), -- encuentre el número complementario 1, grupo (b).
- 3o. La suma (a) + (b) revela el índice de grupo -- (IG) el cual ha sido relacionado experimentalmente con el valor de soporte y comportamiento



(FIG. 4)

(FIG. 4A)

% LBS 200 = 60

Ejemplo LL = 40
 IP = 30
 (a) = 3 (b) = 7
 IG = 3 + 7 = 10
 espesor 60 a 80 cm.

de las bases para carreteras, lo cual aproximadamente relacionamos al espesor de sub-balasto y balasto de los ferrocarriles expresado en centímetros para diversos tráficos; dando valores más altos que las bases de carreteras.

VALORES APROXIMADOS - ESPESOR TOTAL EN CMS.

(SUB-BALASTO Y BALASTO)

TERRAPLEN	"IG"	T R A F I C O		
		LIGERO	MEDIANO	FUERTE
EXCELENTE	0	20	30	45
BUENO	4	30	40	65
REGULAR	9	50	60	85
MALO	20	75	80	105

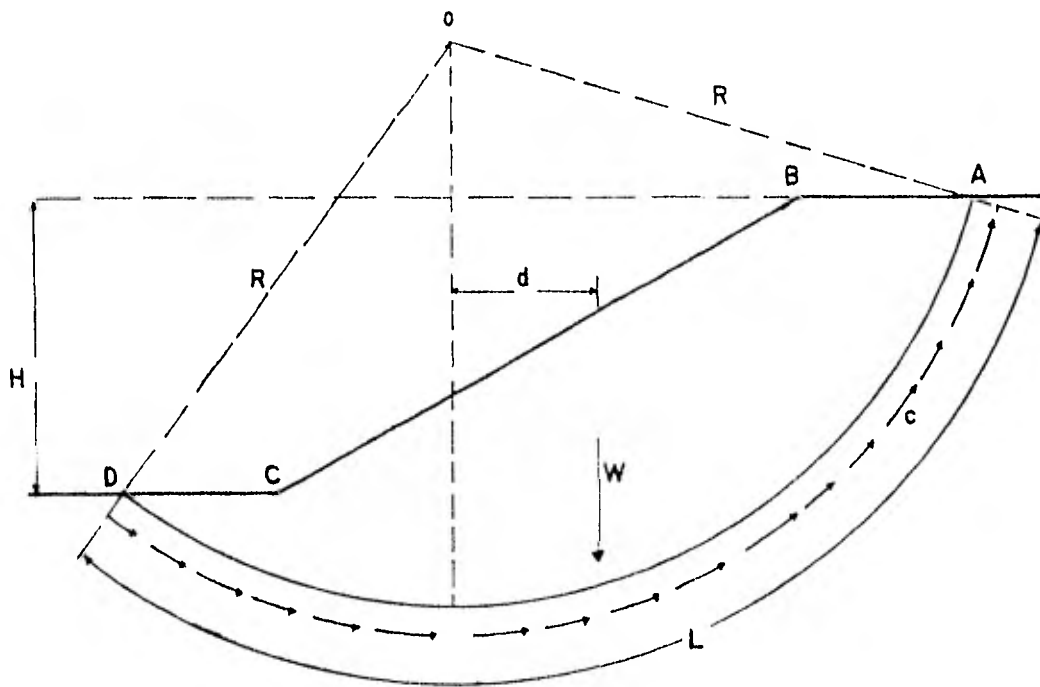
Este método puede usarse experimentalmente por su simplicidad y regular apoyo estadístico, en tanto se haga necesario usar a otros más laboriosos y precisos, dentro de la garantía de permanencia de las condiciones "LL" e IP y CBR supuestos.

ESTABILIDAD DE TALUDES DE CORTES Y TERRAPLENES

Los suelos tipo de una vía, pertenecen a unas cuantas clases cuyas características deben conocerse y catalogarse tanto en las vías en proyecto como en las vías existentes, para saber que hacer al presentarse problemas para definir los taludes o resolver adecuadamente los problemas relativos a los posibles derrumbes y deslizamientos. Al variar la humedad (freática o inundación exterior) varía la fricción interna y el esfuerzo cortante que limita lo que un talud puede cargar.

Algún corte con humedad óptima, puede ser casi vertical a pesar de que ese mismo material suelto, requiera taludes de reposo muy acostados; ese equilibrio puede ser permanente o inestable según la humedad o la presencia de sobrecargas inesperadas tales como deslizamientos de capas superiores o hundimientos del terreno; se estima que la fractura puede ocurrir (longitudinalmente) resbalando una cuña del prismoide del camino incluso la vía, o el corte puede caer sobre los rieles, a manera de un lento derrumbe deslizante, según un plano de falla con superficie cóncava de radio R (veáse Fig. 5)

La tesis Sueca estima que una parte de la sección empuja a favor del deslizamiento, en tanto que otra parte contrabalanza esta tendencia y finalmente, la resistencia al es



Procedimiento de A. Casa grande para aplicar el Método Sueco a un talud purante cohesivo.

(FIG. 5)

fuerzo cortante del suelo, por el área en contacto se opone también a que el deslizamiento se produzca; $(W_1 \times 1) = (W_2 \times 2) + (SA \times 3)$ representa la ecuación de equilibrio - según momentos tomados con respecto al supuesto centro de - rotación del deslizamiento del talud o terraplén.

Estas teorías conducen a descargar el corte que amenaza deslizar o cargar el pie del terraplén.

COEFICIENTES DE SEGURIDAD DE UN TALUD

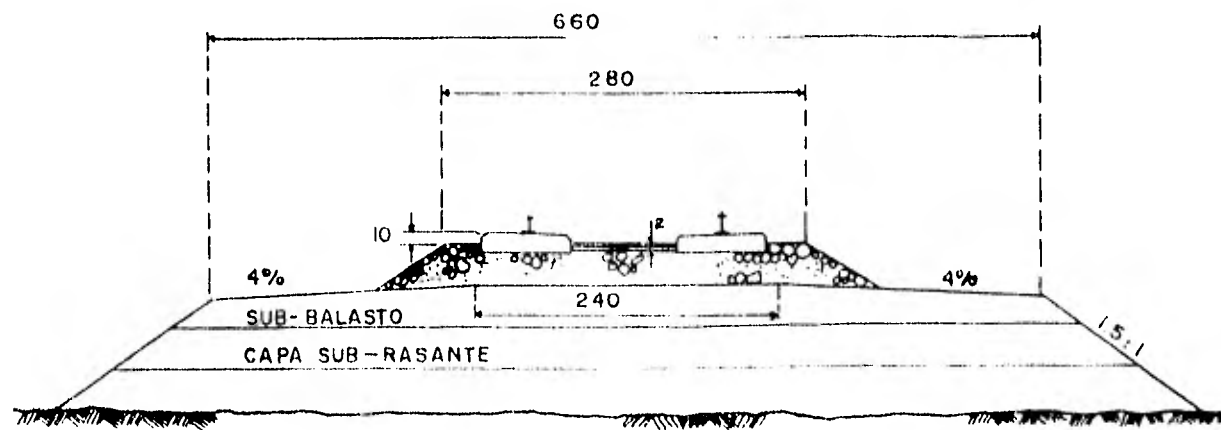
La relación entre la resistencia al esfuerzo cortante del suelo y la resultante de fuerzas tangenciales que genera el deslizamiento (peso por $\sin \alpha$) es un coeficiente -- que debe tener como valor mínimo la unidad; la teoría sobre diseño de taludes, ha recomendado usar $C = 1.5$ pero ese valor, produce ángulos muy inclinados, con elevados costos de construcción y con un alto costo anual de mantenimiento, debido a la erosión de los planos del talud, cuyas áreas son - proporcionales a la inclinación combinada del talud y del terreno. Resulta preferible excavar taludes más próximos a la vertical (mientras las rocas o tobas lo permiten) a base de experiencia directa y solamente descargar la parte superior - de los cortes con banquetas y taludes más inclinados, formando talud compuesto cuando los espesores excedan de 10 a 12 - metros de altura.

El arco o fractura (típica del deslizamiento en cortes o terraplenes) aumenta su radio (o sea la longitud del arco y su respectiva fuerza resistente) mediante sub-drenes, no solo verticales sino horizontales, lo cual representa la mejor práctica.

Los ferrocarriles deben adoptar en sus cortes, el "dren ciego", con tubo perforado (al centro de la vía) a profundidades de 2 metros como medida para abatir la capa freática, reducir los deslizamientos y mantener limpio el balasto.

CAPA SUBRASANTE

Se forma con el mismo material de los cortes, pero escogido de tipo granular, al cual se le dá un tratamiento especial, que las mejora. Este mejoramiento se obtiene, en algunos casos, agregando antes de compactar algunos materiales que modifiquen favorablemente la granulometría; en otros casos, dándole únicamente un mayor grado de compactación que al respecto de las terracerías. El espesor de la capa subrasante varía de 30 a 50 cm. y se construye generalmente como apoyo del sub-balasto en terracerías de materiales para resistencia o en la parte superior de la sub-estructura, cuando se considera innecesario el sub-balasto. (ver fig. 6)



TERRAPLEN CON MAPAS DE SUB-BALASTO Y SUBRASANTE

(FIG. 6)

SUB-BALASTO

La capa de sub-balasto está constituida por materiales procedentes de suelos, depósitos naturales o rocas alteradas, generalmente sin ningún tratamiento previo a su utilización. Además de una buena granulometría, contracción lineal reducida y alto valor cementante, se exige de los materiales que van a formar ésta capa un valor relativo de soporte estandar mínimo de 30%. Si se considera que a las funciones estructurales y de drenaje que se mencionaron antes se ha de agregar que este material debe impedir la incrustación del balasto, al que sirve de apoyo, resulta de particular -- importancia éste requisito, ya que el valor relativo de so--porte puede considerarse como una medida de la resistencia a la penetración de un material saturado, cuando previamente ha sido compactado a la humedad óptima.

Si tomamos en consideración que el sub-balasto sirve también para afinar las terracerías, resulta aconsejable construirlo en forma continua en toda la línea (aunque en muchos casos el materia sea el mismo de las terracerías).

En estas condiciones, el sub-balasto constituye la superficie que limita a la sub-estructura, y su perfil, que -- será una línea paralela a la rasante puede adoptar el nombre de línea sub-balasto. Esta línea debe ser la base para el --

proyecto de las terracerías, pero en los datos de construcción se deberán tomar en cuenta la línea subrasante y la subcorona, es decir, el nivel bajo el sub-balasto y el ancho de la terracería en ese nivel.

MATERIAL DE LA CAPA SUBRASANTE		
Símbolo del Suelo	Valor relativo de soporte estandar más frecuente	Espesor del Sub-balasto requerido
GW, GP, GM, SW	mayor de 40%	No se requiere
GC, SP, SM, SC	de 20 a 40%	No se requiere
CL, ML	de 8 a 20%	30 cms.
OL, MH, CH	menor de 8%	40 cms.

Tomando como base para la elección de los espesores del sub-basalto, su función distribuidora de los esfuerzos que recibe de la super-estructura; dichos espesores deberán incrementarse mientras menor sea la resistencia de las capas subyacentes, a reserva de que se obtengan resultados más precisos de una investigación acorde a las características de las vías en construcción, se recomienda la tabla anterior.

Observese que cuando la capa sub-rasante está formada por gravas o arenas más o menos bien graduados o mezcla-

dos con arcillas y limos no se necesita el sub-balasto (atendiendo unicamente a razones estructurales). No ocurre lo mismo con subrasantes de suelos limosos o arcillosos. En estos casos, cuando la plasticidad de los suelos es baja (CL y ML) requerirán un sub-balasto de 30 cms. de espesor, mientras que sí son altamente plásticas o son de origen orgánico, requerirán un espesor de sub-balasto mayor. Cuando los suelos no alcancen un V.R.S. mínimo de 5% serán rechazados para formar la subrasante.

BALASTO

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

- 1o. Confina los durmientes oponiéndose a sus desplazamientos longitudinal y transversal, originados por el frenaje o la tracción del equipo, por el Cabeceo, por las fuerzas centrífugas o por sobre-elevación excesiva en las curvas y, en las vías soldadas, por los considerables esfuerzos que se desarrollan con los cambios de temperatura.
- 2o. Transmite las presiones a la sub-estructura.

- 3o. Drena las vías
- 4o. Sirve de elemento nivelador para la conservación de la rasante.

Por lo tanto, resulta obvio que las funciones del balasto y las del sub-balasto, son lo bastante diferentes como para no pensar en substituir, ni aún parcialmente una capa por otra.

Las dimensiones del material que forma el balasto, pueden variar desde 2 hasta 7.5 cms., aunque generalmente se exige que no pasen de 4 a 5 cms. Esta limitación se debe a las dificultades que presenta el material grande para la precisión con que deben ser niveladas las vías. Las partículas menores de 2 centímetros también deben excluirse por constituir un dren poco eficiente. Esto no es obstáculo, sin embargo para que en los patios y vías secundarias se emplee un material de 0.66 a 2 cm.

Estos materiales se obtienen de la trituración de rocas o de escorias de fundición y en algunas ocasiones por la trituración parcial de conglomerados extraídos de depósitos naturales. También pueden utilizarse gravas de mina o de río, cribadas unicamente y algunas veces lavadas, siendo conveniente combinarlas con materiales triturados, el caso más frecuente, y también el más complicado es el de la trituración de la roca.

El balasto se distribuye en la vía mediante góndolas de puertas laterales o de descarga inferior (tolvas), en cantidades previamente calculadas para levantes sucesivos hasta 10 cms., hasta alcanzar la Sección que haya sido especificada. En cada operación, la vía se levanta a la altura prevista y se calza, distribuyendo el balaste uniformemente bajo los durmientes. Esta operación se lleva a cabo mecánicamente empleando gatos calzadores y multicalzadores, efectuándose en algunas ocasiones con herramienta de mano.

ALGUNOS CRITERIOS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DE LA SECCION DEL BALASTO

- a) Método Norteamericano considera que "El espesor de balasto debe ser al menos igual al espaciamiento entre durmientes, más 3 o 4 pulgadas adicionales como un factor de seguridad para aquellos casos en donde las condiciones de la capa sub-rasante sea deficiente". Así mismo un espesor mínimo de 24 pulgadas, por lo menos en las vías principales, parece ser el indicado para balastos de roca triturada, debe constituir por lo menos las 8 pulgadas (20.32 cms) superiores.

- b) Método Alemán, hicieron un minucioso análisis --

teórico de la distribución de los esfuerzos -- producidos por la carga viva, a través de los rieles, los durmientes y el balasto y concluyeron. "Todas estas consideraciones y pruebas -- apropiadas han llevado a los ferrocarriles alemanes (DB) a adoptar un espesor estandar uniforme de balasto, medido de la base del durmiente a la superficie de la formación: $h = 30$ cm.

- c) Debido a las experiencias que se han obtenido -- en las vías férreas nacionales, se muestran líneas cuyo tráfico no es muy intenso, en las que un espesor de balasto de 15 a 20 centímetros -- han dado un excelente resultado.

Los criterios cuyas conclusiones se han analizado están de acuerdo en que la capacidad de carga del balasto aumenta, a medida que éste se eleva alrededor del durmiente. -- Este incremento es efectivo, principalmente en la resistencia a los esfuerzos horizontales. Existe una limitación para la altura del balasto, sobre todo en vías electrificadas, o simplemente señalizadas, en las que el contacto del riel -- con el balasto ocasionan pérdidas en la corriente. Por éste motivo, se aconseja que el balasto llegue hasta 5 centímetros -- abajo del patín del riel.

En la vía elástica que se construye en México empleando durmiente tipo RS o SL, el balasto se eleva, en los hom--
bros hasta 10 centímetros abajo del punto más alto de los --
blocks de concreto y en el centro 2 centímetros abajo de la
barra unión.

ESFUERZOS SIMETRICOS EN TUNELES

Excavar túneles en rocas homogéneas o estratificadas (en blocks casi horizontales o verticales) produce esfuerzos en las estructuras de soporte del túnel, debido a cargas verticales simétricas sobre la bóveda de soporte del túnel, y empujes iguales para ambos costados o paredes del mismo.

La carga vertical sobre la bóveda es el peso del material derrumbable cuyo espesor es $H_p = K (B + H_t)$, donde:

H_p = Espesor del material derrumbable sobre la bóveda proyecto.

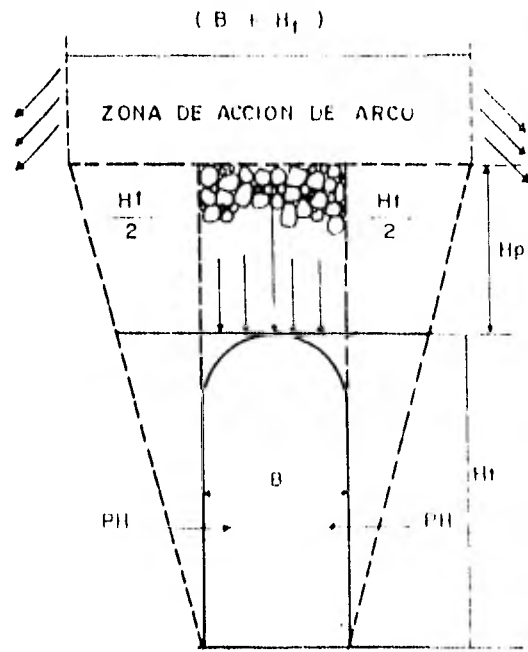
B = Anchura del túnel

H_t = Alto del túnel desde el piso a la bóveda

K = Coeficiente variable de 0.3 hasta 1.5

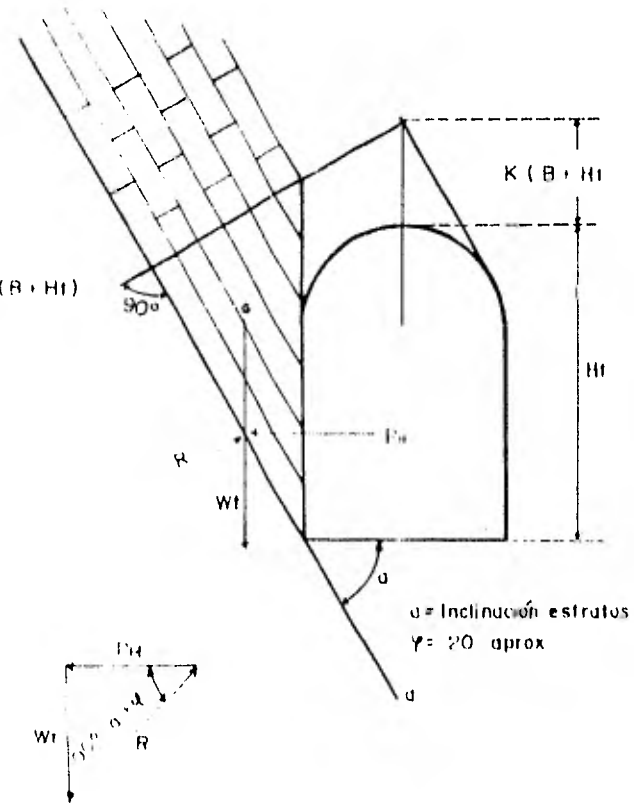
El empuje horizontal (Ph) es la componente del peso -- que gravita sobre los triángulos extremos (ver fig. 7) con -- talud variable (aprox. $1/2$ para arenisca) valuado aproximadamente en $cw (0.5 H_t + H_p) = Ph$ en que W = pesos volumétrico -- de la roca y $c = 0.3$ aprox.

Cualquier muro de retención, recibe un empuje horizontal (aproximado) igual al peso de un imaginario prisma de -- empuje que se suponía bisectris del complemento del ángulo de reposo del relleno ($\frac{90^\circ - \alpha}{2}$) teniendo alguna similitud con



Túnel con esfuerzos
simétricos

$$\frac{PH = CW (0.5 Ht + HP)}{HP = K (B + Ht)}$$



Solución Gráfica
Esfuerzos túnel
Estratos inclinados

FIG. 7

las probables presiones sobre las paredes verticales del túnel (cuando no hay cargas asimétricas debidas al resbalamiento de los estratos inclinados).

METODOS PARA PERFORAR TUNELES

Varian con la resistencia y humedad de la roca, las dimensiones de la obra, el equipo disponible, el tiempo programado para la realización del túnel y de la obra de conjunto, etc.

- a) BARRENACION. Para perforar horizontalmente por frentes sucesivos verticales, se requiere resolver la salida del explosivo, mediante barrenos - en cuña en forma de "V" para colocar la dinamita cerca del vértice del cono de eje horizontal - - (ó en doble "V") de modo de tronar en el primer - tiempo esa carga y poder excavar un cráter que - permita salida posterior a los barrenos longitu - dinales periféricos (horizontales); también se - emplea el método de barrenación paralela, resol - viendo la salida con gruesos barrenos vacíos cen - trales.

- b) COSTOS. Barrenar horizontalmente, cuesta mucho más que la barrenación vertical, ya sea a mano, -

con columna y lyner, con rodillos mecánicos o con "jumbo", además de que la cantidad de explosivo también es bastante mayor que la usual para barrenación vertical (doble a triple) en un promedio de 1.5 kilo dinamita gelamex por M^3 , - de roca excavada por barrenación horizontal y - se requiere de 1.5 a 2 metros de barreno por -- M^3 .

- c) TAMAÑO. El tiro más reducido (socavón) que puede formar parte de un túnel ferroviario es de - 2.50 x 3 metros para poder permitir el ademe y el paso de los obreros y del mínimo equipo de - rezaga, el cual puede consistir en la cuchara - de un malacate de arrastre, una vía Decauville para vagonetas, una vereda para carretilleros, o un tubo para detritus de lodo desalojados - - con agua a presión. Cuando la sección es mínima, el costo por excavar 1 m^3 de roca es máximo y ello es admisible cuando es obligado por los derrumbes probables del túnel que requieren un ademe tanto más económico cuanto menor sea la - sección del socavón o galería de avance, produciéndose un costo mínimo por un m^3 (excavado y ademado).

- d) TIEMPO PARA ADEMAR. Excavar una bóveda en terreno derrumbable, es una labor que depende del tiempo que el cielo y las paredes del material recién excavado, demoren en caerse. La bóveda del túnel en el extremo del ataque, termina en forma de nicho o sector de cúpula, con diámetros decrecientes hasta terminar en claros mínimos. Cuando el tiempo del derrumbe sólo concede unos cuantos minutos se precisa usar marcos y recibir a la bóveda con estacones hincados pasando de la base hacia la parte superior de los cabezales.

En cambio, un túnel que concede varias horas antes de iniciar los desprendimientos de sus rocas puede admitir ademe de arco rebajado (con empujes coseando hacia las paredes) o con arco de medio punto para transmitir las cargas a cabezales soportados por postes verticales.

Otros casos de excavación pueden demandar dos viguetas de fierro estructural con placas agujeradas en sus extremos para montarse rápidamente (con pernos y tornillos) en vez de secciones poligonales de madera de gran escuadría que consumen mucho tiempo para las maniobras de montaje, ensambles, clavado y tornillos, etc.

CAPITULO III

DRENAJE Y ALCANTARILLADO

Las alcantarillas y los puentes, resuelven el paso de las vías, de las aguas superficiales de los arroyos y ríos cruzados por la línea férrea, las aguas pluviales (sobre el derecho de vía) tanto en la línea como en patios o terminales, requieren a su vez, de canales, cunetas y contra cunetas para drenar las vías y finalmente, las aguas subterráneas, con frecuencia precisan drenarse para evitar la pérdida de la capacidad de carga de las vías.

Las aguas freáticas se les encuentra generalmente al excavar cortes en los lomeríos y montañas para instalar las terracerías del ferrocarril; el nivel freático original, que dará abatido hasta la elevación de la proyectada rasante, --

donde las cunetas permitirán la salida superficial del agua subterránea aflorada lo cual podría reducir el valor de soporte del suelo del corte y deslavarlo, en especial al tratarse de suelos cohesivos.

Por ello los cortes que interceptan aguas subterráneas, deben disponer de sub-drenes que abatan más al nivel freático; más abajo que el efecto de ascenso (por capilaridad) característico de cada suelo; un terreno arenoso, puede tolerar agua freática a menor profundidad que un suelo fino donde la capilaridad adquiere mayores alturas de ascenso y donde la capacidad de carga se afecta más al permitirse una humedad mayor que la óptima.

La instalación de los drenes subterráneos, requieren por lo menos de una zanja de metro y medio de profundidad bajo la sub-rasante del corte la cual precisa llenarse con material permeable y dotarse de un caño formado por grandes piedras con una cubierta de baldosas (a modo de dren francés) o colocar tubos perforados y faltos de junteo, que colecten el agua freática y la conduzcan hacia afuera.

CUNETAS PARA FERROCARRILES

Es recomendable construir cunetas trapeziales de mampostería o concreto (con cubeta drenada para protección del

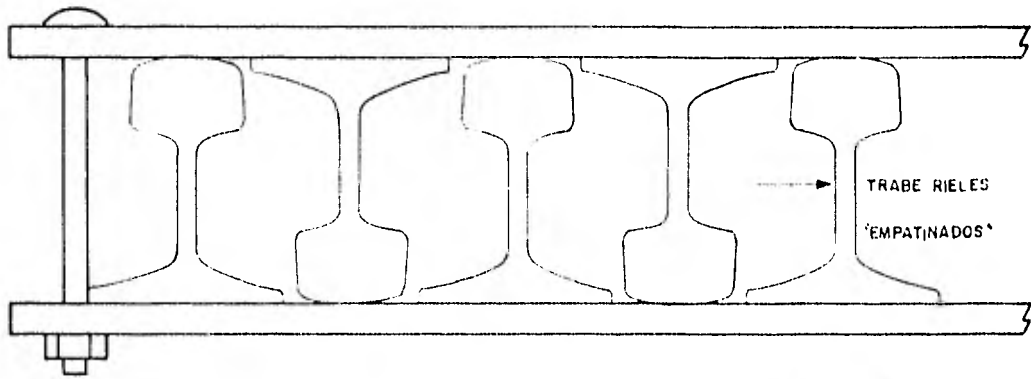
balasto) las pendientes varían entre 1 y 3% de modo que las cunetas triangulares de 30 cm., de profundidad por metro de ancho, sólo admiten velocidades entre 1 y 1.5 mts./seg. o - (dependiendo de la rugosidad) con gastos máximos promedio de 0.2 m³/seg. que demandan frecuentes caños de alivio.

Las cunetas tienen como principal función abatir el nivel del agua respecto a la base del sub-balasto, lo cual - requiere desechar el uso de cunetas sobre-elevadas en las -- curvas.

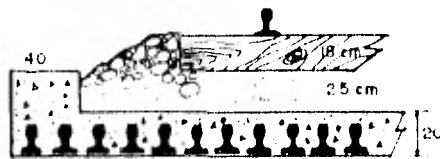
ALCANTARILLAS

Tubos, bóvedas, losas y caños cubiertos (con claros individuales hasta el máximo de 6 mts.) constituyen los pequeños pasos de agua denominados alcantarillado; los materiales usados según dicte la economía local pueden ser la mampostería, concreto, (ciclópeo, simple o reforzado) tubos rígidos o flexibles, láminas multiplate, rieles empatinados de recobro, etc. (ver fig. 8).

En general se deberá adoptar una localización en planta, adecuada para evitar el azolve, la socavación o desviación del cruce, aún cuando ello signifique esviajar el eje - respecto al perfil; debe evitarse además las fuertes pendientes que produzcan velocidades elevadas sin lograr incrementar



Rieles de 75 lbs. permiten 13 cm ca/c. Luz de 2.50 mts.
 3 claros - riel de 10 mts. total claro 7.50 mts.



Rieles de 56 lbs. (recobro) 10 cms. ca/c para 2 luz de
 2 mts. con apoyos 80 cms. largo 560 cms. rieles luz - -
 total 4 mts.

FIG. 8

los gastos máximos críticos, cuando el tirante llena el tubo o la bóveda, antes de iniciar el inconveniente funcionamiento ahogado.

Las alcantarillas fallan generalmente por socavación, lo cual demanda zampeados y dentellones, o cimentación profunda; también fallan estas pequeñas obras por azolve y arrastre de arbustos, en las zonas más difíciles donde cambian -- las pendientes de lomerío a la planicie; la construcción de -- desarenadores o cajas de azolve, o preferentemente una capacidad sobrada y evitar fuertes cambios de pendientes (entre el canal de entrada y el caño de la obra) pueden resolver éste -- tipo de problemas donde en ocasiones precisa utilizar alcan-- tarillas de paso superior.

OBRAS "DE ARTE" PROVISIONALES

Los puentes y viaductos de madera creosota, pueden -- tener una duración entre 6 y 20 años (según el clima y calidad de los materiales) pero en general deben ser considera-- dos como provisionales, respecto a las obras de arte de mam-- postería, concreto y fierro estructural.

Los puentes de banco o caballetes, pueden apoyarse -- sobre zapatas y rastras de madera, o sobre cimientos y pilas de mampostería, o bien hincarse mediante pilotes de carga --

por penetración hasta la capa del sub-suelo resistente, o --
por fricción con limos y arcillo-arenoso en los casos de sub
suelo falso de gran profundidad.

Las vigas para cubrir los claros "Standard" (14 -- -
pies) de los puentes de madera, (ver fig. 9) son de - - ----
8" x 16" x 28', en número de 3 para cada rueda, lo cual pro-
duce un problema serio para obtener esa madera de pino de --
gran escuadría la cual escasea en los países de clima tropi-
cal; las vigas de 8" x 16" x 28' pueden reemplazarse por rie
les empatinados o sea traveses de rieles de medio uso formados
alternando hongo y patín y consolidando mediante soleras, --
remaches y soldadura, variando el número de rieles, según su
calibre y el peso de las locomotoras usadas y la velocidad -
del sector.

Las alcantarillas de bóveda pueden ser de medio punto
(semicirculares) o rebajadas, siendo más económicas éstas --
últimas, las que pueden usarse donde no se disponga de altura
suficiente (entre el cauce del arroyo y la razante) y donde -
no precisa dejar un espacio grande libre para el paso de ra--
mas y cuerpos flotantes durante las crecientes. Las losas -
formadas con rieles de recobro ahogados en concreto resuelven
económicamente algunos casos aislados, pero no deben usarse -
sistemáticamente debido al desperdicio de acero que ello re--
presenta, al comparárselas con losas de concreto reforzado --

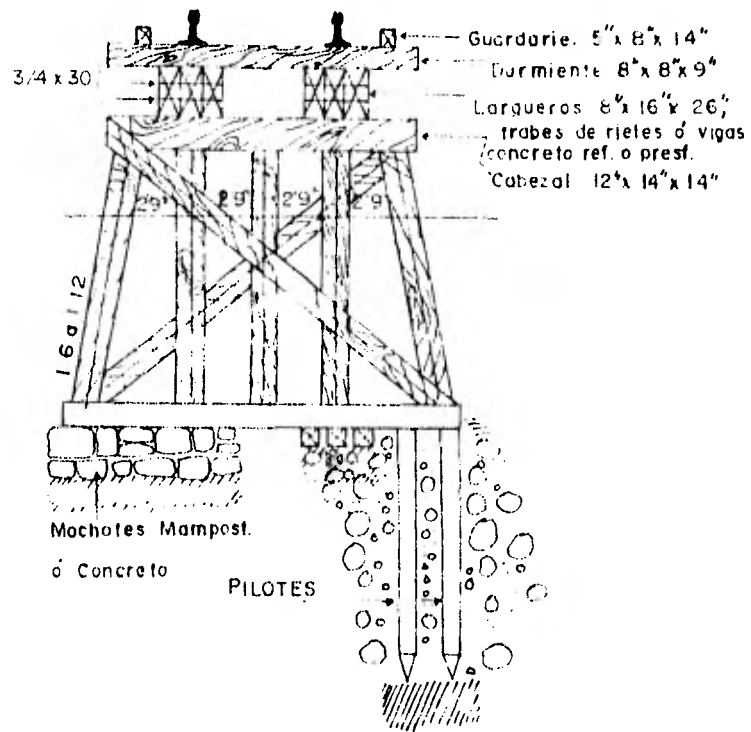
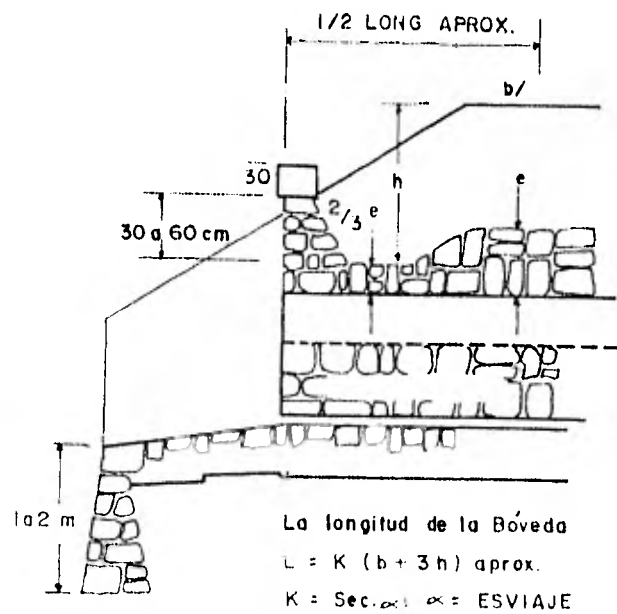


FIG. 9

con varillas adecuadamente colocadas para resistir los esfuerzos de tensión y cortantes sin desperdicios fierro en zonas de compresión.

Los puentes y viaductos de bancos falsos o piloteados, con claros de 4.20 mts. usando 6 vigas de madera (20 x 40 x 42 cm.) o rieles empatinados, cuestan anualmente más que los puentes con claros dobles y triples usando caballetes de concreto y pilas de mampostería, con trabes de concreto prefabricado, trabes de concreto pre-esforzado o viguetas de fierro; los viaductos de bancos tienden a reemplazarse por terraplenes y alcantarillas de tubo, en tanto que los puentes piloteados en ríos y suelos pantanosos continúan siendo de uso muy frecuente.

DRENAJE SUPERFICIAL

Se realiza mediante cunetas, canales y contra cunetas para encausar las aguas hacia las alcantarillas correspondientes, además de las obras de arte necesarios para cruzar los arroyos y ríos.

Se designa como alcantarilla a las obras de arte menores (con claros entre 60 cm y 6 mts.) según los siguientes tipos:

- 1) Tubos circulares rígidos (concreto, etc.)

- 2) Flexibles (láminas corrugadas "armco")
- 3) Tubos abovedados, rebajados y elípticos (generalmente de láminas atornillables múltiples)
- 4) Caños cubiertos de rieles o durmientes, losas de concreto y bóvedas de mampostería (se micirculares o rebajados) y pequeños puentes definitivos o provisionales.

CAPITULO IV

SUPERESTRUCTURA DE LA VIA FERREA

Los rieles (paralelos a una distancia entre sus costados interiores denominada escantillón), permiten el tránsito del equipo, cuyas ruedas se mantienen sobre la vía, gracias a las cajas con separación igual al escantillón más una pequeñas holgura.

Los rieles requieren la máxima precisión para su alineado en planta y la nivelación del perfil longitudinal, así como adecuadas sobre-elevaciones para poder permitir altas velocidades y confort, a un tráfico que somete a los rieles, a grandes esfuerzos que precisan de fijaciones sólidas para mantenerlos sobre los durmientes, amortizando golpes y vibraciones.

Los durmientes, a su vez, deben transmitir solo presiones máximas admisibles al balasto y anclar a la vía, para impedir su desplazamiento lateral o el corrimiento longitudinal.

RIEL. Se acostumbra denominar a los rieles empleados en vías de ferrocarril por su calibre y por su tipo; el calibre de un riel está dado por el peso de la unidad de longitud generalmente expresado en el sistema inglés en libras por yarda.

El tipo de riel lo determinan la forma y dimensiones de su sección transversal, el material de que está hecho y el procedimiento seguido en su fabricación.

El hongo o cabeza, representa la superficie de rodamiento que soporta un desgaste hasta una primera fase, que hace clasificar el fin de ese riel seminuevo, como riel usado, pero aprovechable en vías de menor importancia por largo plazo, hasta alcanzar un desgaste del hongo y otros deterioros, a un grado tal, que obligan a retirar el riel usado de la circulación de trenes y venderlo como riel de recobro o chatarra para ser fundido nuevamente a un precio de salvamento.

VIDA UTIL DEL RIEL

Depende del tráfico y su velocidad, del calibre o sea del peso en libras por yarda o kilos por metro, del durmiente, su número, calidad y su mantenimiento respecto del balasto, la clase y nivelación de ésta y sobre todo de la supresión de impactos directos en las juntas, la reducción de vibraciones y el mejor alineado geométrico de la vía, además de otros numerosos factores.

El material de que fabrican los rieles ésta formado por una aleación de hierro, carbono, manganeso y silicio: sin embargo comúnmente estan presentes también el fósforo y el azufre, elementos que son indeseables. Del porcentaje de carbono depende de la dureza de los rieles.

Para la combinación de éstos elementos en la fabricación de rieles las sociedades técnicas ferrocarrileras han especificado ciertos porcentajes de tolerancia.

ESFUERZOS DEL RIEL Y BASE DURMIENTE

Si los durmientes reaccionasen igual, entonces el riel sería una viga continúa soportando una carga rodante. (Fig. 10)

Resulta evidente que las elasticidades de los apoyos son indeterminables en su diversidad, de modo de precisar de

ESFUEROS POR DURMIENTES = 0.4 (rueda)

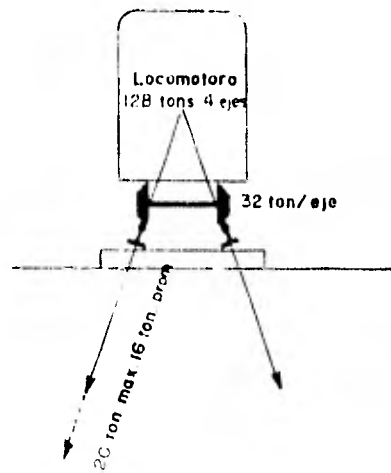
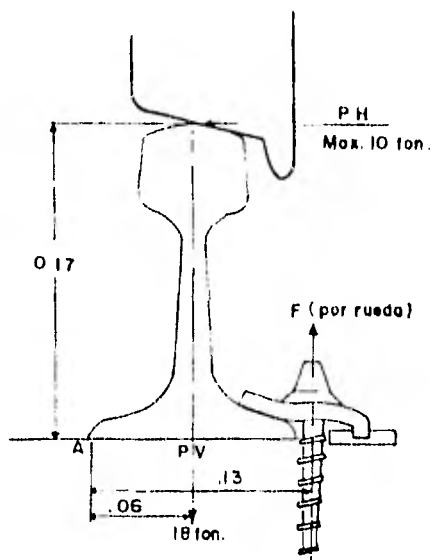
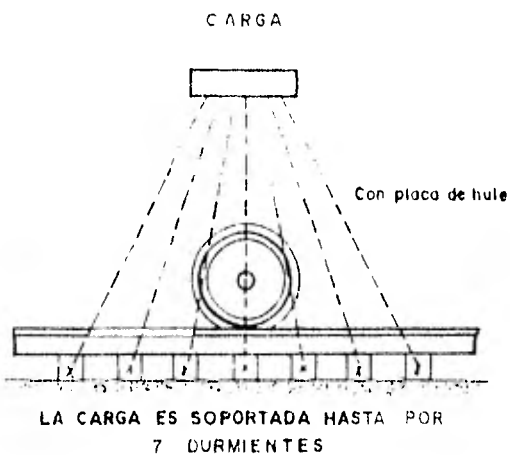
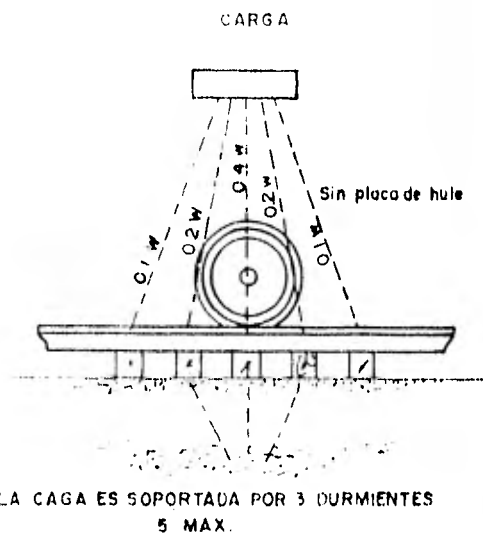


FIG. 10



LA CARGA ES SOPORTADA HASTA POR 7 DURMIENTES



LA CARGA ES SOPORTADA POR 3 DURMIENTES 5 MAX.

técnicas con experimentación del soporte real que los durmientes representan para poder transmitir las cargas del riel sin deformarlo.

El riel es una viga cuyo peralte y momento de inercia le proporcionan cierto momento resistente o módulo de sección que precisa concordar con la máxima carga rodante y su impacto sobre una serie de durmientes donde pueden fallar uno o más contiguos a los durmientes que soportan la carga analizada, produciéndose claros reales, hasta el triple del normal espaciamiento entre los durmientes.

Esta condición, produce presiones máximas sobre un sólo durmiente el cual debe reaccionar en un apoyo de balasto sin hundirse y a su vez debe soportar la flexión sin deformarse, ni romper las planchuelas o juntas de rieles por excesiva tensión.

Los variables son: área de apoyo del durmiente, espaciamiento entre durmiente, reacción del balasto, calibre o módulo del riel, peso por eje y el impacto considerado.

ESTABILIDAD DE LA VIA

La vía es una estructura que se deforma elástica o permanentemente bajo diversos esfuerzos.

La resistencia depende del calibre del riel, del peso, tamaño, sección del durmiente y su espaciamiento, o sea de la superficie de apoyo de los durmientes (por kilometro de vía), de la fuerza de fijación y muy especialmente del espesor y calidad del balasto.

La Asociación Americana de ferrocarriles ha desarrollado la siguiente expresión.

$$M = P^4 \left(\frac{EI}{64U} \right) \text{ en donde :}$$

M = Momento flexionante en el riel

E = Módulo de elasticidad del acero

I = Momento de inercia del riel

U = Módulo de elasticidad de la vía = $\frac{\text{Carga por unidad lateral}}{\text{Deformación unitaria de la vía}}$

P = Carga por rueda (estática)

(U) es variable (entre 900 lb/p² y 1200 lbs/p²) con un valor promedio de 7 kg/cm² = 980 lbs/p².

Este módulo de elasticidad (U) puede ser constante para mayor superficie de durmientes y menor espesor de balasto o riel de 80 lbs con 2600 durmientes de madera con mínimo balasto de 10 cms., igual módulo que riel de 100 lbs. con 1800 durmientes con 40 cms. de balasto; aún cuando las fatigas del riel varían de 30 000 lbs. a 20 000 lbs/yard. lo cual tiene límite restrictivo dado que se debe comprender que no se puede fatigar en exceso por flexión cuando el riel debe fatigarse -

con grandes compresiones o tensiones por temperatura y que el durmiente no debe espaciarse más de 60 cms. porque al fallar uno o dos contiguos, la deformación del riel podría ser permanente.

El calibre del riel y el área de apoyo (base durmiente por número de piezas por kilómetro) son la mejor solución cuando no se dispone de buen balasto con espesor suficiente y subrasante capaz de un elevado valor de soporte.

INESTABILIDAD DE LAS VIAS

Las compañías francesas usan el índice de inestabilidad

$$= 100 \frac{2R}{(2R + \frac{T}{d})^2}$$

Donde:

R = Es el peso o calibre del riel en kilos por metro lineal

T = Peso del durmiente y sus accesorios (kg)

d = Distancia centro a centro de los durmientes (mts)

La menor inestabilidad pone en evidencia un mejor conjunto capaz de resistir mejor a los grandes esfuerzos --

del tráfico y temperatura, en las peores condiciones de alineamiento y balasto.

Para riel de 100 lbs., su inestabilidad = 0.18 cuando se usa durmiente de madera y el mismo riel de 100 lbs. con durmiente de concreto produce una inestabilidad = 0.06 o sea 3 veces más estable ésto es a manera de ejemplo.

La fórmula de inestabilidad está basada en la experiencia con durmientes de diseño geométrico, similares a los de madera aserrada y produce valores aproximados comparativos, sin embargo cuando se usan durmientes especiales (como los 2 bloques y conchas de acero) la fórmula no resulta aplicable y también debe considerarse el efecto de estabilidad transversal y longitudinal adicional, derivada del uso de algunas anclas especiales como la Fair de doble acción y otros similares que presentan áreas considerables de contacto con el balasto y durmientes.

CUALIDADES DEL RIEL

Se ha expuesto que el riel y sus uniones precisan de un módulo de sección capaz de resistir la flexión que produce la carga máxima y su impacto, sobre claros hasta 3 centros de durmientes o sea 1.50 mts., aproximado usual para durmientes de madera.

En buena parte, el riel define su peralte por lo - - antes dicho en tanto que el tamaño del hongo dependerá del - desgaste previsible causado por las llantas de las ruedas, - como por las cejas al rozar en las curvas. El patín transmite la presión al durmiente a través de placas metálicas, - de hule o tablillas de madera.

Los empujes horizontales aplicados al hongo, tienden a volcar al riel con momentos más grandes cuando mayor sea - el peralte o inversamente proporcionales a la anchura del pa - tín.

La sección geométrica del riel elegido depende de -- los momentos de inercia y distancias de giración de cada per - fil para un determinado valor de fatiga permisible, según la geometría de la vía y del equipo usado. El riel puede tam - bién requerir un gran calibre y peralte cuando el balasto y terraplén tienen escaso valor de soporte, con similitud al - riel ancho de hongo y de patín con reducido peralte adecuado para vía sinuosa con buen balasto y base firme.

ENFRIAMIENTO CONTROLADO

El escape de gases y las impurezas, la escoria, etc. hacen desechar un elevado porcentaje del acero fundido y - el enfriamiento rapido produce grietas invisibles que causan

fracturas posteriores del riel prematuramente.

El control de calidad y el enfriamiento lento controlado justifican plenamente los gastos de inspección técnica en las fundiciones y laminadoras de riel, donde los rieles - al rojo, se envuelven en capas de arena y se les enfría --- gradualmente durante 3 hasta 24 horas.

ENDURECIMIENTO DE EXTREMOS

Para soportar impactos de ruedas, se endurece el - - riel en las puntas, sin que ello elimine la vibración, pero se logra reducir ésta y dar mayor vida al riel, sumando al - empleo de planchuelas reforzadas y ello puede ser recomendable en vías muy sinuosas, donde no es posible soldar tramos largos.

SECCIONES TIPO DEL RIEL

Las locomotoras modernas cargan 25 a 35 toneladas por eje y los impactos varían sus coeficientes entre 1.1 y 1.3 -- según las velocidades usuales para cada clase de vía, los - - rieles tienden a estandarizarse entre 5 tipos muy similares, pesando desde 100 hasta 156 lbs/yd para los países con gran - desarrollo; siendo muy recomendable usar entre 80 hasta 115 - lbs/yd., para países en desarrollo con escaso capital como --

el nuestro, (ver fig. 11).

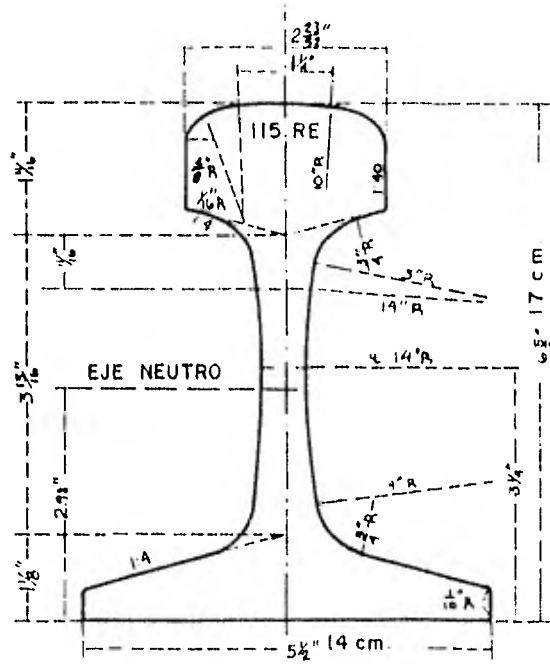
Las técnicas modernas (elástica y riel continuo) han contenido al desmesurado aumento de calibre mayor de 156 lbs /yd., pero en algunos casos muy reducidos y especiales (para velocidades "record") precisa usar la mejor técnica contra impactos, vibraciones y deformaciones, sumando al grande y costoso riel de 156 lbs/yd.

VIBRACIONES

La vibración destruye la cohesión molecular y la destrucción se inicia por las zonas con fisuras y defectos de la fundición y laminado, con los golpes del tráfico. Para medir éste fenómeno se usa la unidad de Hertz y consiste en el producto del número de oscilaciones por segundo por la fuerza en equivalentes a la aceleración (g).

La posibilidad de medir las vibraciones y la creación de vibradores de laboratorio para simular iguales efectos que los observados para el paso de los trenes, en la vía permiten desde hace 25 años, los estudios exhaustivos realizados por técnicos franceses, belgas, alemanes, para provocar en unas cuantas horas o días, una destrucción debida a la vibración, equivalente a varios años de tráfico.

SUPERESTRUCTURA DE LA VIA FERREA



	Area			
	Pigs ² .	Porcentaje	Momento de inercia	65.6
Cabeza	3.91	54.8	Módulo de la sección, cabeza	18.0
Malla	3.05	27.1	Módulo de la sección, base	22.0
Base	4.29	38.1	Relación M. de I. al área	5.83
Total	<u>11.25</u>	<u>100.0</u>	Relación altura a base	1.20
			Relación M. de S. cabeza al área	1.60
			Peso estimado, lbs. por yarda	114.7
			Corete del Riel RE	

FIG. 11

IMPACTO DE UNA RUEDA

Los rieles de 13 metros de largo pueden separarse -- por sus planchas de unión, hasta una distancia máxima de 15 mm = 2"/3 y ese claro los brinca cada rueda, en un tiempo -- de 450 microsegundos cuando el tren viaja a 120 kmph, variando a mayor tiempo para menor velocidad.

La rueda cae debido a la gravedad, a la vez que se -- traslada por la inercia del tren, provocando un golpe cuyo -- impacto hace vibrar todo el riel además de romper el roda -- miento de sus extremos.

RIELES SOLDADOS DE MEDIANA LONGITUD CON

UNIONES STANDARD

Si en vez de rieles cortos de solo 13 metros, se solda ran tramos por ejemplo de 9 rieles = 117 metros, entonces la dilatación obligaría a usar separaciones para expansión -- con valores de varios centímetros, provocando grandes golpes al paso de cada rueda, con impactos de magnitud inaceptable; en consecuencia, como resulta factible admitir 3 a 4 rieles soldados (con uniones normales) mientras la reducción del -- número y fuerza de esos golpes, iguales al mayor daño de un mayor impacto en su límite admisible, hasta precisar la otra

técnica de usar dispositivos especiales, de dilatación dejando el método de tramos medianos (de 26 a 52 mts.) para emplear la de rieles largos (continuo) con longitudes superiores a 1 kilometro.

PROBLEMA REAL DE LAS DILATACIONES DE LOS RIELES

FIJOS A LOS DURMIENTES Y ESTOS ANCLADOS AL BALASTO

Los durmientes se rodean de balasto compactado, de tal modo que precisa romper la resistencia al esfuerzo cortante del balasto (por el largo de cada durmiente) para poder desplazarlo de su lugar precisando una fuerza máxima al iniciarse el primer movimiento del durmiente (similar a la cuchilla del bulldozer empujando al balasto compactado).

Si los durmientes los espaciamos a una distancia (d), entonces una longitud extrema del riel (L) contendrá (n) -- durmientes x (d) separaciones. ($L = nd$), y cada durmiente produce (f) kilos de resistencia a moverse tal que (nf) sería la resistencia máxima que puede presentar el tramo (L).

Si se observa la (Fig. 12) donde ($\frac{nf}{2}$) es el promedio de resistencia a desplazarse del tramo (L), el cual puede moverse por la fuerza de dilatación (F) en cada extremo - en todo sector donde $(nf) + (P_0) = F$, llamando (P) a la fuerza del apriete del riel y (μ) a la fricción entre riel y su

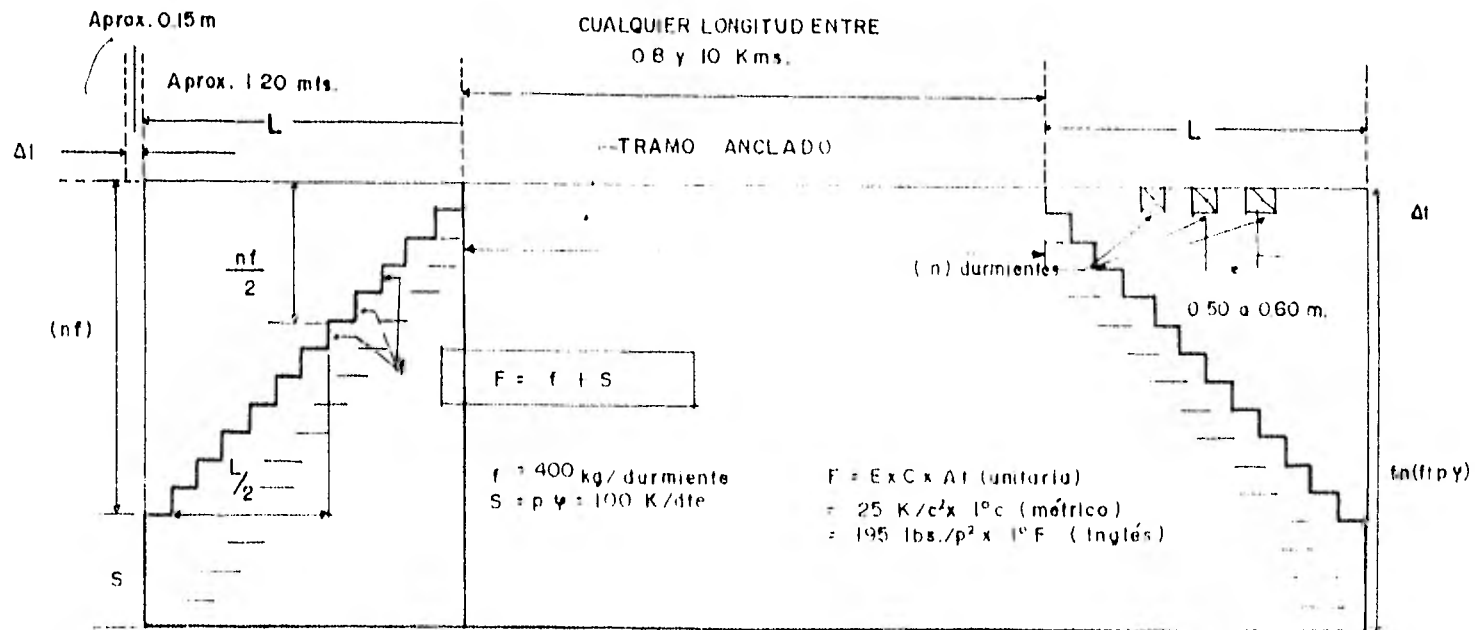


FIG. 12

apoyo.

$$(\Delta L)/\text{metro} = \frac{F}{E} ; F = \frac{n f}{2 A} \quad (\text{fuerza/cm}^2 \text{ del \u00e1rea}) \quad (1)$$

$$\Delta L \text{ en cada extremo (L) del riel} = \frac{n f L}{2 A E} \quad (2)$$

pero $L = n d$

$$n = \frac{F - s}{f} ; \text{ donde (s) es el saldo de fuerza}$$

$$(n f + s) = F \text{ en cualquier lugar del extremo del riel.}$$

\u22c5. Sustituyendo en la Ec. 2

$$L = \left(\frac{F - s}{f} \right) \frac{f}{2 A E} \frac{(F - s) d}{f} = \frac{(F - s)^2}{2 A E} d \quad (3)$$

Observese que en las zonas extremas y m\u00f3viles del riel resulta inevitable considerar la resultante (F - s) de la fuerza (F) contra la resistencia decreciente (n f) o sea la fricci\u00f3n riel-apoyo m\u00e1s la resistencia ofrecida por posibles uniones extremas con planchuela, la cual depende del apriete de los tornillos y su oxidaci\u00f3n; experimentalmente (L) se mueve desde cero hasta ΔL por el saldo de fuerza (F - s) en que (s) posiblemente tenga un valor medio (aproximado) de $\frac{2}{3} F$.

Por ejemplo sea:

- d = 0.50 mts.
- Δt = 40°C
- A = 100 cm²/riel
- E = 2,200 000 kg/cm² - Módulo de elasticidad del Acero.
- C = 0.0000115°C - Coeficiente de dilatación del Acero.
- f = 500 kg.
- L = 100 metros
- n = 200 durmientes

$$\Delta L = \frac{n f L}{2 A E} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\Delta L = \frac{200 \times 500 \times 100}{2 \times 100 \times 2,200.000} = \underline{0.022 \text{ mt.}}$$

$$\Delta L = \frac{(F - s)^2}{2 A E} \quad \text{Ec. 3} \quad \text{donde } F = 25 \text{ kg/cm}^2$$

para $\Delta t = 40^\circ\text{C}$

$$\therefore \Delta L = \frac{(2500 - 1700)^2 \cdot 0.50}{2 \times 100 \times 2,200,000} = 0.0007 \text{ mts.}$$

La fórmula (2) nos dice que el punto a 100 mts. del extremo del riel, ya casi no sufre dilatación ($\Delta L = 0.022$ mts.) porque el sólo anclaje del durmiente al balasto, casi impide el movimiento.

La fórmula (3) se basa en fatigas máximas de riel y -- de las juntas o la fricción riel-durmiente que practicamente se equilibran, tal que resulta $\Delta L = 0.0007$ mts.

MEDICION DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA (ΔT)

Cuando se instalan los rieles en la vía fijándose solidamente a los durmientes y calzando su balasto, el (ΔL) - resulta mínimo en los extremos (a uno y otro lado) según la tensión causada por el calor, o la compresión por frío, - - cuando se hace el tendido y apriete de la vía precisamente en la temperatura Neutra = $(\frac{\Delta T}{2})$.

Los termómetros del riel, permiten registrar y calcular para cada región, la temperatura neutra que debe usarse para tender la vía y ello determina, la posibilidad o inconveniencia de poder liberar a la vía de sus fijaciones y su anclaje al balasto; debemos esperar a tener en el ambiente, rieles con temperatura neutra para poder aflojar y levantar la vía del balasto, o deberá calentarse al riel (con sopletes) hasta lograrlo o exponer la vía a graves deformaciones o a su rotura.

Los rieles desarrollan fricción contra sus placas de-

asiento y otros factores que cooperan a resistir los esfuerzos teóricos anteriores.

Las vías con riel sobre placas de fierro (usando clavo) con algunas anclas mal colocadas, tienen escasa resistencia para contra-restar la dilatación; en cambio las vías sobre placa de hule apretada con tirafondos, grapas o arandelas elásticas, tiene gran resistencia a moverse longitudinalmente.

La experiencia de las compañías alemanas recomienda usar cuñas de expansión (entre cortos tramos de rieles soldados) diferenciando las vías de gran resistencia, de las de escasa al corrimiento longitudinal según lo siguiente:

Vía con gran resistencia: (Juego en milímetros)

$$\text{Juego} = \frac{\text{largo de 3 rieles (mts)}}{5} = \frac{\text{largo 3 rieles x temp. neutra}}{80}$$

$$\text{Juego} = \frac{\text{largo de 4 rieles (mts)}}{3} = \frac{\text{largo 4 rieles x temp. neutra}}{82}$$

Para vías con escasa resistencia

$$\text{Juego} = \frac{\text{largo de 2 rieles}}{2.5} = \frac{2 \text{ rieles x temp. neutra}}{80}$$

$$\text{Juego} = \frac{\text{largo de 3 rieles}}{3.2} = \frac{3 \text{ rieles x temp. neutra}}{82}$$

En México para cada riel de 13 mts y la temperatura - neutra usual = 20°C, se tiene lo siguiente.

Vía elástica con modernas fijaciones:

(tramos de 3 rieles) juego = 3 milímetros

(tramos de 4 rieles) juego = 1 milímetro

Vía antigua (con escasa resistencia al corrimiento)

(tramo de 2 rieles) juego = 4 mm.

(tramo de 3 rieles) juego = 2 mm.

Los Ferrocarriles Nacionales de México (para rieles - de 12 mts) usan cuñas de expansión (juego) de 5 mm. en tiempo frío de (0° a 10°), 3 mm de (10° a 25°), 2 mm de (25° a 40°C) y nada en más de 40°C. En general no se debe mover el riel cuando existen temperaturas extremas.

Actualmente los Ferrocarriles Nacionales de México, - soldan tramos de 4 hasta 6 rieles usando planchuela de los - extremos (uniones standard) con buenos resultados, la práctica de soldar 6 rieles en vía sinuosa reduce el desgaste y resulta factible gracias al desplazamiento lateral en las - vías de baja velocidad.

ACCESORIOS DE LOS RIELES

1. De conexión
2. De anclaje
3. De fijación
4. De reducción de esfuerzos
5. De lubricación

DE CONEXION. Placas de unión o planchuelas solamente se usa la sección más robusta para cada calibre y poder reducir el vencimiento de las puntas de los rieles pudiendo usar 2 o 3 agujeros para cada extremo de riel, según la importancia del esfuerzo de tensión a que se someta la unión.

Las juntas del riel se deben localizar entre dos durmientes, donde el esfuerzo cortante es nulo y existe momento flexionante máximo positivo, en la viga continua que representa el riel; la junta debe permitir la libre dilatación, para lo cual se requiere que esté completamente limpia y lubricarse adecuadamente.

La expansión resulta permisible por la forma ovalada de los agujeros de la planchuela en tanto que el diámetro queda determinado por el esfuerzo cortante deducido de la tensión por temperatura: la expansión puede aumentarse (pro-

visionalmente) de 2/3" hasta 1" si se usan tornillos de diámetro menor y poder tender la vía usando planchuela provisional; y después reemplazarla por soldadura en el campo (aluminotérmica) y no tener que reajustar la separación necesaria entre los rieles.

ANCLAJE , Las anclas son accesorios para aferrarse al patín del riel con fuerza de amarre superior a 500 kilos por pieza, que se colocan al costado de un durmiente para utilizar la resistencia de éste a desplazarse debida al esfuerzo cortante del balasto compactado.

Una de las principales características de las anclas es la facilidad con que son colocadas y las cuales pueden extraerse sólo con herramientas especiales, también puede reducirse en número y mejorarse en resultado, usando la máxima fricción entre el patín del riel y su apoyo sobre el durmiente, mediante una placa de hule que duplica el coeficiente de fricción del fierro contra el acero o del riel sobre madera.

El resultado del anclaje por fricción, depende no sólo del coeficiente con mayor valor, sino de la fuerza de apriete continuado entre el riel y el durmiente: la colocación de anclas precisa estudiar previamente la dirección del corrimiento del riel cuya tendencia depende del sentido

del tráfico pesado, las pendientes, frenajes, etc.

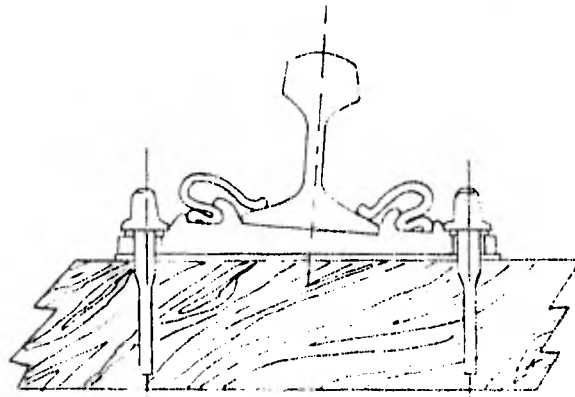
ACCESORIOS DE FIJACION

Los durmientes pueden ser de maderas duras o blandas - de concreto, mixtos y de fierro, cada tipo demanda una fijación especial, la resistencia a la extracción, puede determinar el método de usar clavos hincados a golpe, o requiriendo el de clavos guiados por un barreno de menor diámetro taladrado previamente, usar clavo elástico o emplear los tirafondos. (ver Fig. 13).

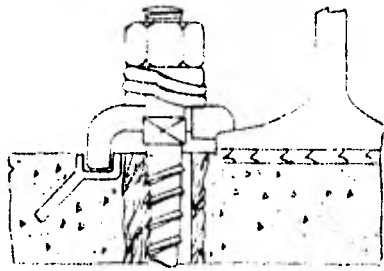
Clavar, empujar o atornillar, deben ser realizados sin rajar la madera paralelo a sus fibras, abocardar la entrada, o causar cualquier otra clase de daño al durmiente de madera, incluso permitir la entrada del agua, sin facilitar su drenaje lo cual precisa de barrenar el lugar del clavo o tirafondo, traspasando el taladro hasta la base del durmiente.

En la comparación entre el clavo común y el clavo elástico debe preferirse a éste último para cualquier clase de madera, especialmente cuando se tiene un tráfico pesado y de trenes rápidos; un clavo elástico y la cuarta parte de un tirafondo.

ACCESORIOS DE FIJACION



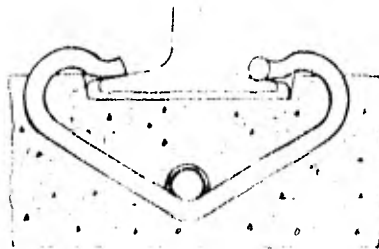
SUJECION PARA RIEL DE 54 KG/M SOBRE DURMIENTE DE MADERA CON PLACA DE ASIENTO SUJETA CON TIRA FONDOS



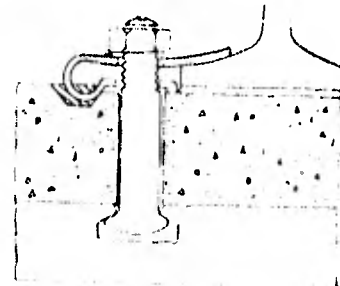
(b) SUJECION — b (ALEMANIA)



(c) GRAPAS Y CUÑA AJUSTABLE PARA ESCANTILLON (ALEMANIA)



ESTRIBO ELASTICO (SUECIA)



(c) GRAPA ELASTICA (FRANCIA)

(Figs. 13)

El tirafondo es insustituible para maderas blandas y la solidez de su fijación es tan grande que puede producir roturas del patín, cuando se comete el error de no usar placa de hule en el asiento del riel y dotarlo de una rondana de presión.

RESISTENCIA A LAS CARGAS REPETIDAS DE MAGNITUD

VARIABLE

Las cargas estáticas crecientes de un laboratorio no señalan lo requerido a un clavo o tirafondo en la vía. Precisa una investigación para cargas repetidas con frecuencia y magnitud similar al paso de los trenes para medir la deformación o sea la gradual extracción o aflojamiento, hasta la cesación del apriete, el cual es la fuerza que impide el corrimiento longitudinal del riel.

DURMIENTES. El durmiente es un elemento constitutivo de la vía con el que se obtiene una buena fijación, escantillón apropiado alineamiento y nivelación adecuados con el apoyo necesario para soportar el equipo rodante es esencial que las vías cuenten con la dotación completa y un buen estado de los mismos.

Actualmente los tipos de durmientes que se usan en ---

nuestro país se pueden reducir a dos grupos principales que se clasifican de acuerdo con el material de que están elaborados:

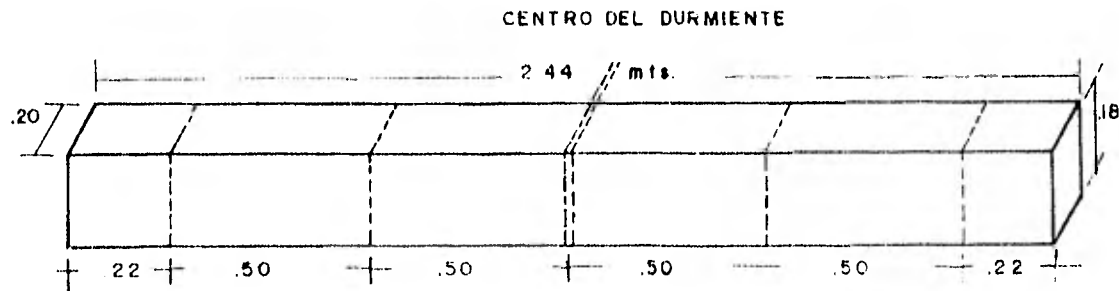
GRUPO 1. Durmientes de Madera

GRUPO 2. Durmientes de Concreto

GRUPO 1. DURMIENTES DE MADERA

Los bosques mexicanos producen maderas suaves de pino y maderas duras como las de encino y las variedades del cedro. Las primeras se usan en las tangentes y las segundas en las curvas fuertes de las líneas férreas.

En México las dimensiones reglamentarias para un durmiente de madera, para vía ancha son: 18 cm. de espesor, - - 20 cm. de ancho y 2.44 mts. de largo (7" x 8" x 8') ver (fig.14)



para la vía angosta 18 cms. de espesor, 20 cms. de ancho y - 2.00 mts. de largo (7" x 8" x 6 ³/₄ ').

En nuestro sistema ferroviario las sujeciones entre riel y el durmiente de madera se hacen a base de clavo y para evitar el corrimiento longitudinal de la vía, se emplean anclas antideslizantes.

El promedio de vida útil del durmiente es de 20 años - promedio que se puede aplicar a todo el Sistema Ferroviario Nacional, la vida útil del durmiente varía con diversos factores como son: clima, clase de terreno, tráfico de la vía, velocidades de los trenes, etc.

IMPREGNACION DE DURMIENTES

Cada día se impone más la necesidad de prolongar la vida de las piezas de madera que se utilizan para las vías férreas se trate de durmientes, vigas de puentes, pilotes y postes, o de la madera empleada en sus carros caja, almacenes, etc. para la cual se usan procedimientos de preservación.

Por preservación de maderas se entiende la preparación de éstas mediante procesos físico-químicos que los protegen contra la acción destructora de agentes orgánicos lo que permite usarlas durante un período más largo.

La madera es susceptible al ataque de insectos y hongos, entre los primeros se encuentran las hormigas (Termitas),

los coleópteros, los barrenadores marinos y otros; entre -- los segundos, se hallan los parásitos saprófitos, xirófagos y lingnívoros.

La protección del durmiente o madera en general se lo -- grará con un producto que reúna los siguientes requisitos:

- a) Que tenga una gran penetración al interior del tejido celular de la madera.
- b) Debe resistir el deslave ocasionado por lluvia
- c) Que no exude fácilmente bajo el calor del sol.
- d) Debe sellar o reforzar la membrana celular.
- e) Al contacto con el suelo, debe intoxicarlos -- también.
- f) Que por su grado de toxicidad rechace los ataques de los insectos.

Las substancias más usadas en la impregnación de made -- ras son los siguientes: creosota, aceite impregmol, cloruro de zinc, acetato de sodio, tamalith (floruro de sodio), cro -- mato de sodio, dinitrofenol, pentaclorofenol, etc.

El preservativo que más se usa en las plantas de -- -- -- impregnación de los ferrocarriles Mexicanos, es a base de -- -- una mezcla de 40% de creosota y 60% de aceite impregmol con

lo que resulta un producto más económico.

METODOS DE IMPREGNACION

En la fig. 15 se presenta el Diagrama General de Impregnación de maderas, en el cual estan representados todos los tratamientos con Creosota y aceite impregmol que se aplican actualmente tales como el Rueping, Lowry, Bethell y Boulton, este diagrama indica claramente los materiales que se utilizan cambios que sufren y fase donde entran a la retorta para la impregnación de la madera.

Almacenamiento de Maderas Crudas Sazonadas al Aire

Estas maderas que han sido sazonadas al aire por seis meses después de su corte, podrán ser introducidas en la retorta para su impregnación.

Creosota y Aceite Impregmol. Para estos líquidos se disponen de tanques de almacenamiento de la capacidad adecuada.

Tanque Mezclador. Es donde se prepara la mezcla impregnante de 40 y 60% de creosota y aceite impregmol respectivamente.

Pre calentador y recipiente de medida. Una vez obtenida la mezcla de aceite, este es bombeado hacia el tanque de calentamiento en donde su temperatura es elevada hasta 90°C perdiendo de unos 5° a 10°C en su paso por el recipiente de medida. Antes de entrar a la retorta de impregnación - - - (Fase No. III)

El tratamiento que sufre la madera por impregnar es el que a continuación se explica:

Fase No. (I) (Vacío) Con la madera lista en la retorta y esta cerrada herméticamente, se produce un vacío de - - 55 cms. de mercurio (hg) sosteniéndolo por espacio de 15 minutos a 1 hora.

Fase No. (II) (Aire a presión) dejando pasar el aire comprimido que se tiene almacenado a la retorta, se mantiene en ésta una presión de 70 a 80 lbs/pulg² mantenida por tiempo de 20 a 30 minutos.

Fase No. (III) (Inyección del Impregnante) En ésta -- etapa se inyecta el impregnante, aumentando la presión hasta un máximo que varía entre 180 a 200 lbs/pulg², manteniéndola durante todo el tiempo que sea necesario, de acuerdo con la madera de que se trate y la retención y penetración que se desean.

Fase No. (IV) (Vacío Final) En ésta etapa se hace un vacío de 55 cms. de (Hg) con el objeto de que sea extraído el excedente del líquido impregnante que haya quedado en la madera.

Procedimiento con aceite de Coyol. Es semejante al Bethell y Rueping, pero supliendo la creosota y el impregol por aceite coyol puro tiene el inconveniente de facilitar -- la incrustación de los tanques, tuberías y retortas, haciendo más costoso el tratamiento.

DIAGRAMA GENERAL DE IMPREGNACION

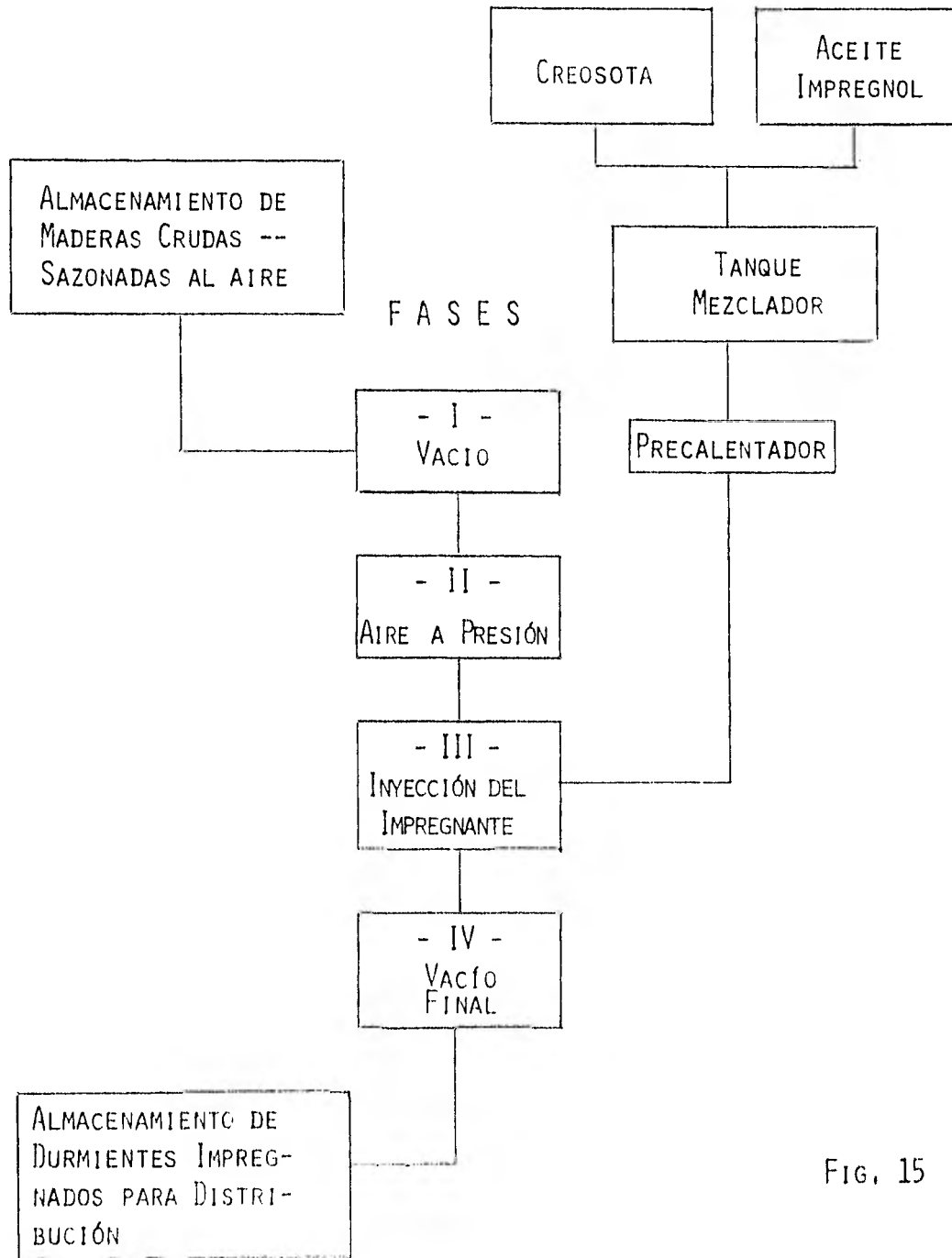


FIG. 15

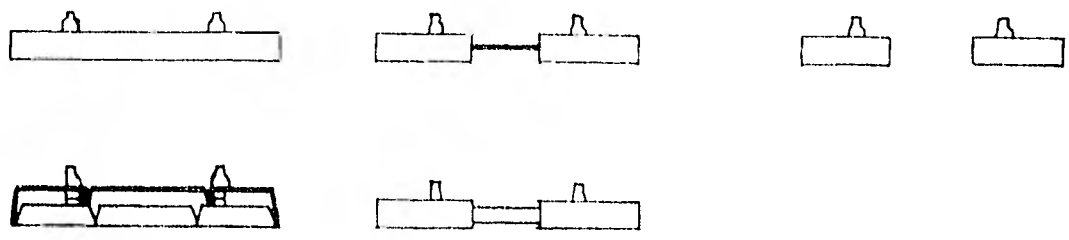
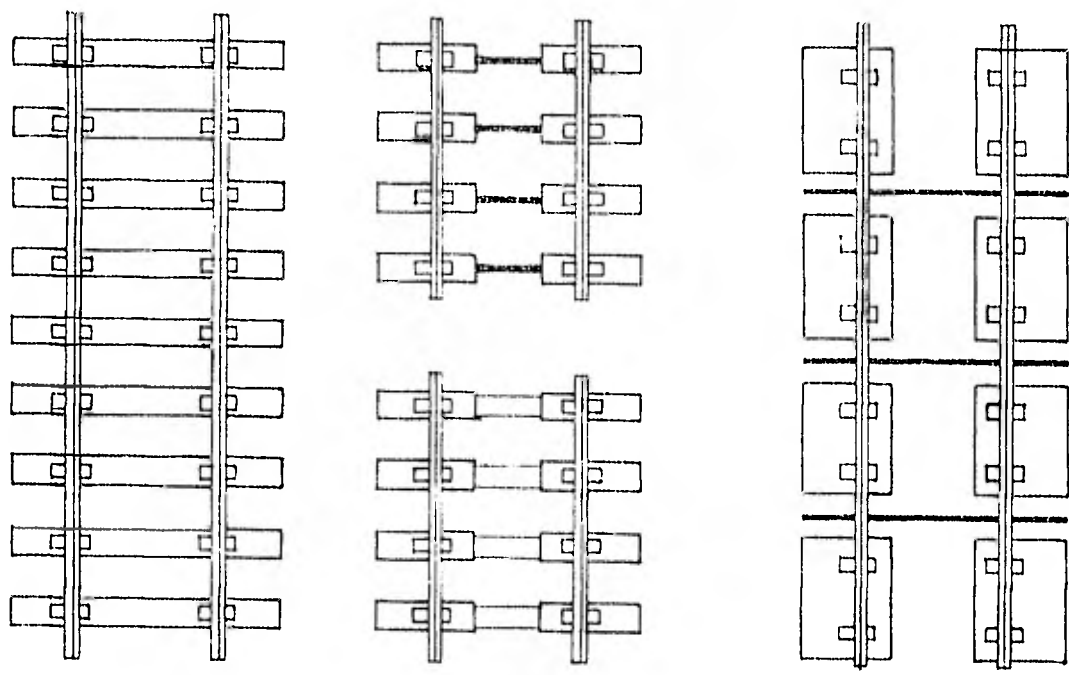
DURMIENTES DE CONCRETO

El durmiente de concreto fue inventado en 1884, sin embargo hasta después de la segunda guerra mundial fué ampliamente aceptado. Aunque no tiene la elasticidad de la madera, ésto se sustituyó con la invención de la sujeción doblemente elástica, con placa de hule o neopreno y grapas elásticas, la duración supuesta es de 50 años que lo hace conveniente desde el punto de vista económico.

Las formas más importantes que se han considerado para el diseño de durmientes de concreto, son las siguientes, el tipo viga o monolítico, el tipo mixto, el articulado, el semejante al de acero y finalmente los longitudinales, (fig. 16).

De estos cinco tipos de durmientes los que han tenido un mayor uso son:

- a) El tipo viga o monolítico Dywidag B-55 y B-58 cuya forma es semejante al de madera.
- b) El tipo mixto "Rs" que está formado por una barra de acero o perfil laminado que liga a dos bloques de concreto manteniéndose en esta forma el escantillón.



DURMIENTES TIPO
VIGA

DURMIENTES CONSTI-
TUIDO POR 2 BLOQUES

LOSETAS LONGITUDINALES

DURMIENTE SEMEJANTE
AL DE ACERO

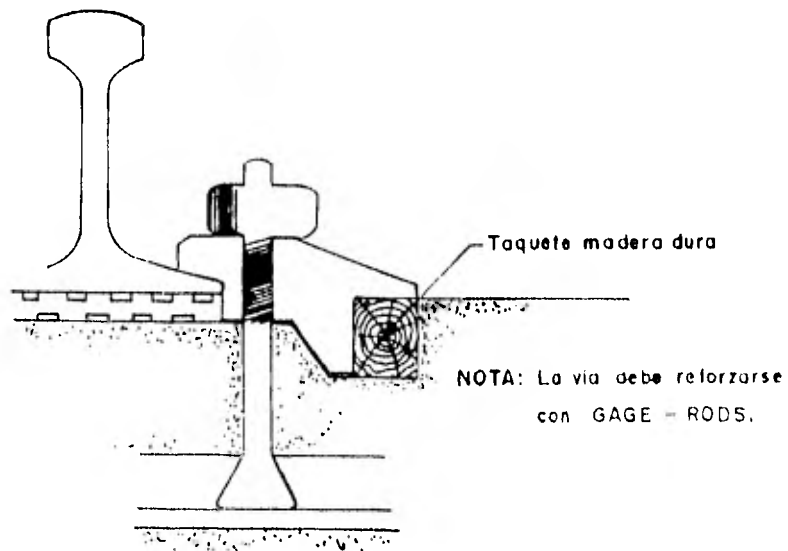
DURMIENTE DEL TIPO
ARTICULADO

UNIONES CONSTITUIDAS POR
AMARRES TRANSVERSALES
O BARRAS QUE CONSERVAN
EL ESPACIAMIENTO ENTRE
AMBOS RIELES.

DURMIENTES DE CONCRETO

FIG. 16

por especificaciones el número de durmientes por kilometro es de 1650 piezas, la (Fig. 17) muestra una forma de anclaje de durmientes Rs para curva de 8 a 12 grados.



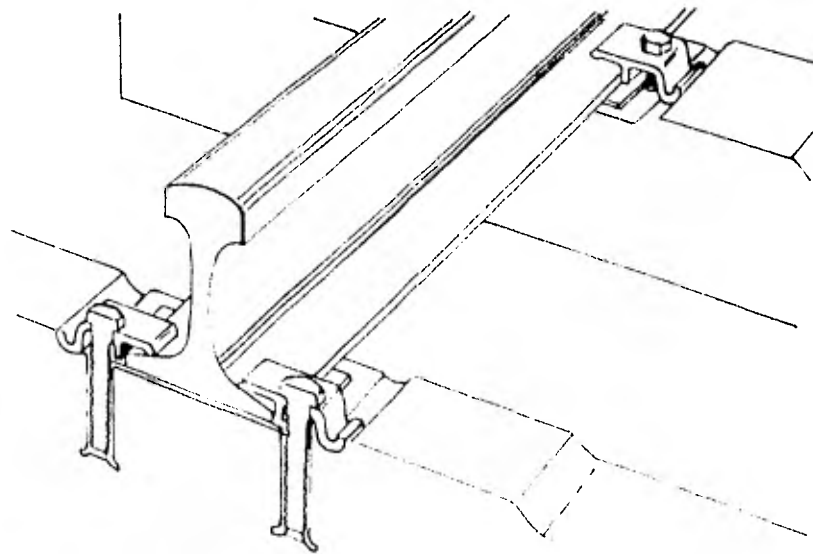
SISTEMA ECOBLOC RS para curvas 8 a 12 grados

FIG. 17

Dos son las ventajas directas que han reportado la introducción del concreto como material para la fabricación de durmientes: el logro de la vía elástica y la realización de la vía continua, soldando los rieles.

La otra ventaja es producto del incremento en el peso -

del durmiente, pues es indudable que su resistencia al deslizamiento con respecto a las terracerías es una función directa de dicho peso, esto tiene una importancia decisiva, ya que es obvio que la libertad de la vía para elongarse o contraerse por efecto de los cambios de la temperatura ambiente, depende de esa resistencia, la (fig. 18) muestra una fijación de durmiente de concreto.



MODERNA FIJACION AMERICANA PARA DURMIENTES
DE CONCRETO

FIG. 18

PROCEDIMIENTO DE FABRICACION

Son dos los sistemas empleados para la fabricación de -

durmientes de concreto Dywidag B-55 y B-58, uno consiste en esforzar los miembros de tensión. El otro sistema consiste en el postensado del durmiente de concreto una vez endurecido, el cual fué removido del molde en condiciones frescas y sin que se fraguara.

De los durmientes terminados se escogen varios especímenes de muestra para someterlos a las siguientes pruebas especiales: prueba del durmiente bajo cargas estáticas, pruebas bajo cargas dinámicas, prueba de impacto, prueba de sanidad del concreto, prueba de desgaste en el área de apoyo del riel, prueba de la resistencia de aislamiento eléctrico y prueba del proceso de manufactura.

FABRICACION DE DURMIENTES DE CONCRETO MIXTOS

TIPO "Rs"

1. Se colocan dentro de los moldes, la barra de unión, las parrillas y el armado helicoidal, colocando una clavija que permite dejar las distintas cavidades que presenta el durmiente ya terminado.
2. Los moldes se colocan sobre unas mesas vibratorias, efectuándose simultáneamente el colado y el vibrado del durmiente a razón de 3,000 vibraciones por minuto, la vibración se continúa hasta que aflore lige-

ramente lechada en la superficie.

3. Terminado éste proceso se volca el molde sobre una plataforma de ferrocarril, lográndose su desmoldeo con una emulsión fina de aceite aplicada por medio de un pulverizador, la remoción o desmoldeo de los dos bloques del durmiente se hace simultáneamente.
4. El acabado de los durmientes se hace a mano para - suprimir las rebabas del mortero y retocar superficialmente los paramentos utilizándose para ello - - pequeñas planas.
5. Los orificios de entrada para los pernos deberán -- quedar perfectamente exactos y limpios. Verificándose por medio de calibradores. Esta verificación se hace dentro de la hora siguiente al vaciado.
6. La permanencia de los durmientes removidos de sus - moldes en tiempo normal (temperatura ambiente 15°C) será de 15 horas aproximadamente para después introducirlos a un túnel de curado durante 10 horas, a - una temperatura máxima de 65°C, en un ambiente saturado de humedad.
7. Las plataformas de ferrocarril con los durmientes - son sacadas del túnel de curado con la ayuda de un

malacate hasta la zona de entongamiento.

Una vez terminado el proceso de manufactura, el durmiente "Rs" debe cumplir ciertas condiciones de recepción, ver -- (fig. 19).

DURMIENTES DE ACERO

Denominados conchas, presentan una cara superior dotada de los elementos para sentar los rieles, afirmar el escanti-- llón y sujetar las cabezas de los pernos de fijación del pa-- tín.

Los bordes volteados hacia abajo, presentan su inconfun-- dible característica de anclaje que los hace excelentes para vías sinuosas o de riel soldado. La concha es hueca y preci-- sa usar adecuado balasto y saber introducirlos y calzarlo co-- rrectamente, usando herramienta mecanizada especial para com-- pactar e introducir el balasto bajo el durmiente.

El peso es de sólo 75 kg. para vía ancha por cada pie-- za, o sea que pesa igual que uno de madera y puede manejarse por un hombre con facilidad, el flete de la fábrica se empaca en atados de 10 piezas cada uno.

La oxidación salobre los hace inconvenientes para la -- costa próxima al mar o los túneles, pero el desierto o la mon

malacate hasta la zona de entongamiento.

Una vez terminado el proceso de manufactura, el durmiente "Rs" debe cumplir ciertas condiciones de recepción, ver -- (fig. 19).

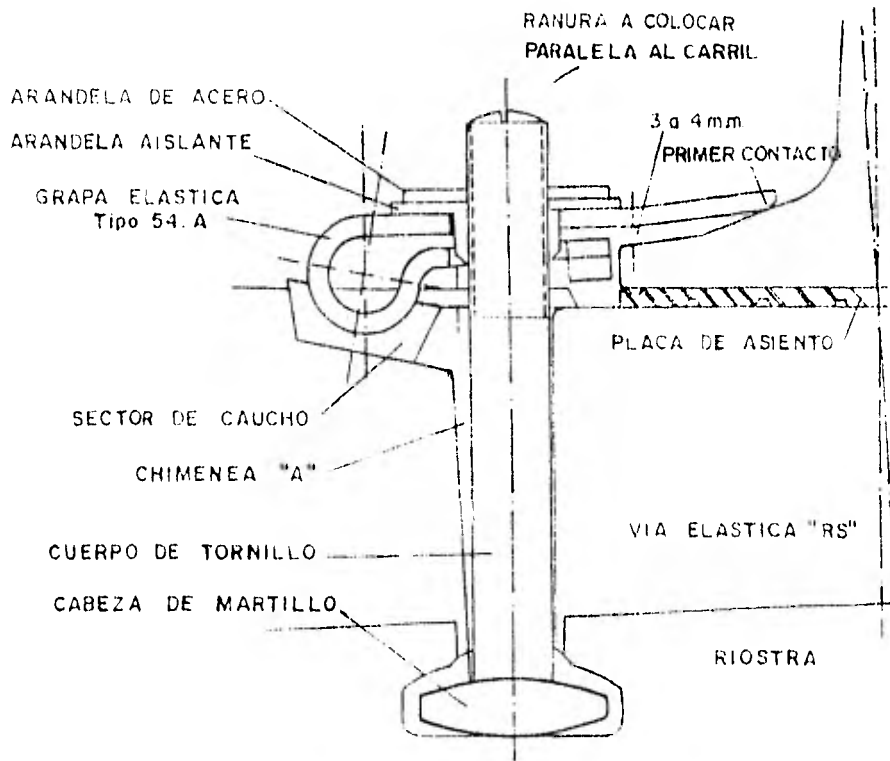
DURMIENTES DE ACERO

Denominados conchas, presentan una cara superior dotada de los elementos para sentar los rieles, afirmar el escanti-- llón y sujetar las cabezas de los pernos de fijación del pa-- tín.

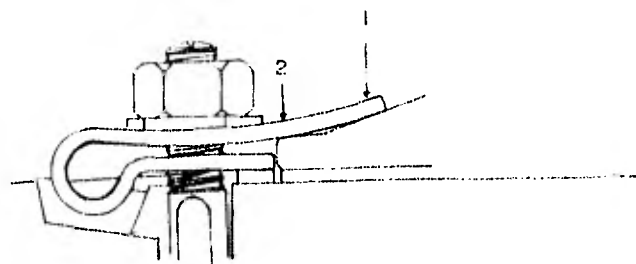
Los bordes volteados hacia abajo, presentan su inconfun dible característica de anclaje que los hace excelentes para vías sinuosas o de riel soldado. La concha es hueca y preci-- sa usar adecuado balasto y saber introducirlos y calzarlo co-- rrectamente, usando herramienta mecanizada especial para com-- pactar e introducir el balasto bajo el durmiente.

El peso es de sólo 75 kg. para vía ancha por cada pie-- za, o sea que pesa igual que uno de madera y puede manejarse por un hombre con facilidad, el flete de la fábrica se empaca en atados de 10 piezas cada uno.

La oxidación salobre los hace inconvenientes para la - costa próxima al mar o los túneles, pero el desierto o la mon



FIJACION DEL DURMIENTE "RS"



GRAPA AJUSTADA CON EL 2º CONTACTO (2)

FIG. 19

V. TENDIDO DE VIA

METODO UTILIZADO TRADICIONALMENTE EN VIA CLAVADA

El tren de trabajo (retrocediendo) penetra hasta el -- extremo vía y las plataformas o góndolas a la cola del tren, se les descarga de sus durmientes (mecanicamente o a mano) - distribuyendo la madera (de atrás hacia adelante) alineando - el lado izquierdo (lado de ojo) y espaciando a 50 cms.

Prosigue la distribución de placas de durmiente, que se colocan sobre los apoyos (previamente entallados) donde tam-- bién se deben antes de barrenar los taladros que guían los -- clavos.

Una vez descargada la madera y parte de los accesorios,

taña y el lomerío resultan el territorio ideal de éste versátil durmiente.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES

- Duración mínima de 60 años con fuerte tráfico; vida útil homogénea precisando el económico método de reemplazo total en lugar de parcial.
- Daño mínimo por descarrilamiento y posibilidad de reparación mediante soldadura.
- Gran resistencia al desplazamiento lateral y al corrimiento longitudinal reduciendo anclas.
- Mantenimiento prolongado de líneas y niveles - cuando el balasto es adecuado y bien calzado.
- Valor de recobro (muy elevado) pudiéndose vender como chatarra a un precio de salvamento aproximado de un 50% del costo inicial.
- Fijación: grapa o plaquetas (para pernos con rondana de presión o arandelas elásticas) de sistema Karing, ingles o Grower simplificado, dan solidez y evitan el corrimiento de los rieles largos soldados.

V. TENDIDO DE VIA

METODO UTILIZADO TRADICIONALMENTE EN VIA CLAVADA

El tren de trabajo (retrocediendo) penetra hasta el -- extremo vía y las plataformas o góndolas a la cola del tren, se les descarga de sus durmientes (mecanicamente o a mano) - distribuyendo la madera (de atrás hacia adelante) alineando - el lado izquierdo (lado de ojo) y espaciando a 50 cms.

Prosigue la distribución de placas de durmiente, que se colocan sobre los apoyos (previamente entallados) donde tam-- bién se deben antes de barrenar los taladros que guian los -- clavos.

Una vez descargada la madera y parte de los accesorios,

el tren de trabajo regresa con una grúa o burro para la descarga del riel, el cual puede traer colocados en un extremo el par de planchuelas (con un sólo tornillo sin apretar).

Los rieles se colocan a partir del lado de ojo que se alinea con esmero, usando cuñas de expansión acordes con la temperatura presentando tornillos para armar la vía donde el clavado sólo afirma el riel, en las llantas y centros, dejando la mayoría restante del clavado, para realizarse a máquina, una vez alineado y asegurado el escantillón.

El tren avanza a medida del tendido provisional, para proseguir la distribución de durmientes, usando vía sin balasto (vaciada), tan sólo por el avance de un día de labor, lo cual demanda que el último viaje del día del tren de trabajo, se le destine a distribuir balasto enrasando los rieles con un volumen aproximado de 500 m³ por km correspondiente a un 40% de la dotación final.

En la actualidad, los durmientes deben distribuirse de adelante hacia atrás, posteriormente a la distribución de los rieles, los cuales se almacenan a lo largo de la banqueta y cunetas de la línea, utilizando tractores automotores y remolques tipo forestal, para su transporte desde la estación próxima.

El durmiente se alinea y escuadra a mano y el riel se coloca con auxilio de una grúa automotora procediéndose a -- realizar un clavado de centros de llantas (preliminar) seguido del clavado a máquina y del apretado de tuercas también -- realizado a máquina.

ALINEAR Y NIVELAR

Las estacas de centro, permiten la distribución del durmiente, pero el riel debe ser alineado directamente con mayor precisión.

Los niveles se apoyan en una base bien compactada y nivelada al centímetro, previo al tendido, ya sea la subrasante o el sub-balasto.

El primer balasto acarreado por el tren de trabajo se distribuye descargando góndolas Hopper por el fondo a baja -- velocidad, extendiendo al ras del riel con ayuda de un cabezal de madera de puentes, empujando por los trucks del tren -- (manera de hoja bulldozer), cuando no se dispone de góndolas balasteras especiales de compuerta DAMY.

El balasto precisa uniformar la tosca distribución de -- la descarga mediante la insustituible máquina reguladora de -- balasto, la cual saca el balasto central, para colocarlo a --

los lados, quitando cualquier exceso de material, para transportarlo a los tramos deficientes así como recortar los taludes; una vez llenas las cajas (entre durmientes) y colocando el balasto lateral (cubriendo las cabezas) se debe dar el primer levante lo cual resulta económico y rápido usando el arado-trineo, o si no se dispone de ello, usando máquinas niveladoras o gatos de escaleras por parejas.

El balasto precisa ser compactado con presión y vibrado a máquina para obtener calidad uniforme y máxima compactación, o a mano con calzadores bajo estricta vigilancia; la nivelación y línea del primer levante son provisionales hasta dar el segundo levante que permite disponer de 20 cms, de balasto compactado bajo el durmiente, lo cual ya admite afinar la nivelación y el mejor alineamiento, para iniciar la operación de trenes con velocidades moderadas hasta compactar y alisar la vía.

METODOS UTILIZADOS PARA EL TENDIDO DE VIA

El riel largo (soldado en taller con presión eléctrica) resulta ideal para cambio de riel, cuando los tramos exceden de 48 hasta 60 metros o más; los largos tramos (transportados en plataformas) se les ancla en sus extremos en el lugar de la descarga en la vía y se jala el tren bajando al riel sobre los durmientes con el auxilio de rodillos portáti

les, para evitar rozamientos.

Las plataformas disponen de una ranura metálica para guiar la descarga del riel que resbala sobre rodillos y rodillos colocados tanto en la plataforma como sobre algunos durmientes.

METODO DEL PORTICO Y TRINEO

Desarrollado por SNCF y los ferrocarriles Europeos, ha sido adoptado por numerosos países.

Consiste en prefabricar tramos de vía de 12 metros con peso de 5 a 5.4 ton. cada uno; esos tramos se transportan sobre plataformas de ferrocarril uno sobre otro, o sobre tren de Lorrys usando 3 tramos encimados, los que al llegar al extremo del tendido de la nueva vía, se cargan con 3 pórticos o grúas viajeras por cada tramo, usando un trineo con vía para dejar entrar y salir al tren de trabajo.

El trineo avanza y la vía suspendida del pórtico, se baja hasta colocarla en su sitio.

Cuando se construye vía con tramos de 1 riel, el pórtico puede avanzar sobre rieles exteriores colocados provisionalmente, o usar pórtico que se apoye en gatos hidráulicos cuyas

bases descansan en el balasto y que se trasladan sobre el tren de Lorrys y sus tramos prefabricados.

METODO DE LOS FF. CC. NACIONALES DE MEXICO

Se usan plataformas de 45 toneladas a los cuales se les ha colocado una vía para el tren de Lorrys, dotada de puentes para su conexión.

El tren llega al tendido de vía con una grúa automotriz que carga los tramos y los descarga girando 180° hasta agotar los 6 tramos de cada plataforma de Lorrys, la cual se coloca a canto de vía y se prosigue con las siguientes hasta terminar un tendido de 500 o más metros de nueva vía usando planchuelas provisionales apretadas con prensa en lugar de tornillos a través de agujeros en el alma del riel.

METODO DE MAQUINA COLOCADORA Y ESPACIADORA DE

DURMIENTES

Primero se colocan los durmientes y luego se monta el riel el cual puede ser soldado en taller (presión eléctrica) lo cual requiere usar cables, anclajes y poleas para descargar el riel y colocarlo con auxilio de rodillos con baleros.

METODO DE PLATAFORMA-TRABE EN

CANTILIVER

También usa tramos prefabricados de un sólo riel de largo, con máxima rapidez y sin limitación alguna debido al giro de 180° del sistema anterior.

La máquina es eficiente aún cuando es de costo elevado y se deben separar los rieles con cuñas-plantillas de riel grueso dependiendo de la temperatura neutral del tendido, -- usándose planchuela provisional hasta reelevarse después de la soldadura de campo aluminio-térmica.

COMPARACION DE METODOS

Soldar 100% con aluminio-térmica, cuesta más que usarla en un 20% y emplear rieles largos soldados en taller con -- eléctrica y presión en un 80% de las uniones.

Además, el control de calidad lo demanda y por otra parte, soldar en la vía obliga apretar y aflojar las fijaciones para relevar los esfuerzos de temperatura y controlar los -- espaciamientos de expansión, con un resultado que produce -- errores en los esfuerzos previstos y maltrato de los accesorios.

Lo ideal consistiría en colocar tramos prefabricados de la mayor longitud posible, por lo menos de 48 metros cada -- uno.

Para ello se requiere disponer de la vía exterior para los pórticos en mayor longitud (es lo cual un problema de fácil y económica solución) además de necesitarse mayor número de pórticos (a razón de uno cada 4 metros) y un gran cuidado para la maniobra del descenso de la vía sobre la base compactada o sub-balasto.

La vía puede moverse con cables para obtener el espacio de expansión con el extremo anterior y el empleo de algunos patines (Skis) provisionales puede aligerar los desplazamientos a cargo de tractor que debe remolcar la vía con un tri--neo en el extremo.

Los métodos, los equipos y herramientas, de continuo se mejoran y adaptan a cada solución en su aspecto económico -- técnico, práctico y funcional.

Sin embargo la producción en serie, el mayor tamaño, el mejor aprovechamiento de las fuerzas disponibles, etc., po--nen en manifiesto que la consolidación ferroviaria evita la costosa dispersión de métodos y programas.

ALGUNOS TERMINOS USUALES EN FERROVIAS DE MEXICO
Y SUS EQUIVALENCIAS

- AMPLIACION. Holgura, aumento de la distancia entre los rieles, etc.
- ARA. Siglas de la Asociación de Ferrocarrileros Americanos (Am. Ry. Asn.) empleados en dimensiones de rieles y accesorios.
- AREA. Siglas de la Asociación Americana de Ingenieros Ferroviarios (Am. Ry. Eng. Asn.), que formula las especificaciones generales y los rieles RE.
- BALASTO. Material pétreo o escoria seleccionado para soportar, drenar y anclar la estructura de la vía férrea. Equivale a Ripio, gravilla, balastre, etc.
- CALZAR. Renivelar levantando y compactando mediante calzadores o bateadoras.
- CAMION. Carro de 2 ó 3 ejes, carretilla, bogie, ó TRUCK del material rodante.
- CHICOTEO. Vía desalineada por efecto de altas temperaturas según ondulado irregular.

- CHORREARSE. Falla de frenos por velocidad excesiva, etc.
- CHUNACERAS. Cajas de grasa, de los ejes de carros y coches.
- DURMIENTE. Traviesa, talla
- ENTALLAR. Alisar el asiento de los durmientes para soportar placas y rieles.
- ESCANTILLON. Galibo de la vía (entre rieles)
- GOLPES. (de nivel, o de línea) hundimiento o asentamiento, codos, etc., del riel que produce golpeteo al paso del tren por errores o defectos del perfil o del alineado geométrico.
- LANCHAR. Desplazar lateralmente la vía.
- LORRY. Carritos de uno y dos ejes, usados para trans--portar material de vía durante construcción o -mantenimiento; pudiéndose formar TRENES DE ----LORRYS.
- LLANTA. Se refiere en ocasiones a los extremos o puntas del riel y en otras al rodamiento de las ruedas.
- METRO. Galicismo del Metro, Rapid Transit, o tren Suburbano (subterráneo o elevado)

PIGGY BACK: Cargar camiones o remolques sobre plataformas de ferrocarriles.

RETOPAR. Rieles carentes de espacio para dilatación.

SC y T. Secretaría de Comunicaciones y Transportes - -
(México)

SNCF. Organización Administrativa de Ferrocarriles - -
(Francia)

SOBRELEVACION. Peralte en curva

SOUFLAGE. Soplar o inyectar gravilla para elevar y calzar un golpe de vía

TRUCK. Carretilla, bogie.

BIBLIOGRAFIA

1. Ferrocarriles
Representaciones y servicios de Ingeniería, S.A.
Ing. Francisco M. Togno
México 1968

2. Monografía de los Ferrocarriles Mexicanos
Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Dirección General de Ferrocarriles en Operación
Departamento de Conservación, Vías y Estructuras
México 1970

3. Fundamentos de la Mecánica de Suelos (Tomo I)
Teoría y Aplicación de la Mecánica de Suelos (Tomo II)
Ing. Eulalio Juárez Badillo
Ing. Alfonso Rico Rodríguez
Editorial Limusa
México 1970, 1980

4. Geología para Ingenieros
José Luis de la Loma
México Continental
1964

5. Ferrocarriles, Conservación y Reparación
México-Secretaría de Comunicaciones y Transportes
-Conservación de vías y manual para trabajadores
de vía -
México 1969