

2ej. 160



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VIA FERREA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A :**

**EDUARDO QUINTERO GARRIDO**

**MEXICO, D. F.**

**1986**





## **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 está 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.

## INDICE

	PAG.
ANTECEDENTES	V

### CAPITULO PRIMERO VIA TRADICIONAL VIA ELASTICA

Vía tradicional.	1
Vía elástica.	4
Comportamiento de la vía elástica.	8
Temperatura del riel.	13
Temperatura de colocación.	14
Temperatura de liberación.	14
Riel compensado o en equilibrio térmico.	15

### CAPITULO SEGUNDO ELEMENTOS DE LA VIA INFRAESTRUCTURA SUPERESTRUCTURA

Infraestructura.	16
Superestructura.	16
Subrasante.	19.
Estabilizaciones	22

Estabilización por compactación.	22
Estabilización mecánica empleando suelos granulares.	23
Estabilización Arena-Arcilla.	24
Estabilización Grava-Arena-Arcilla.	25
Estabilización con Cal-Cemento.	27
Estabilización con Riego Asfáltico.	28
Determinación del Valor Relativo de Soporte.	
Estándar ( C.B.R. ).	28
Determinación del peso volumétrico seco máximo.	29
Prueba Proctor (suelos cohesivos).	29
Prueba Porter (suelos friccionantes).	30
Determinación de las propiedades expansivas del material.	32
Determinación del Valor Relativo de Soporte Estándar ( C.B.R. ]	33
Sub-balasto.	35
Balasto.	40
Requisitos de calidad para piedra triturada, grava y escoria de fundición.	42
Distribución de presiones en el balasto.	45
Espesor de balasto.	47
Rieles.	55
Funciones de las partes del riel.	57
Fabricación de los rieles.	60
Requisitos Químicos.	61
Requisitos Físicos.	63
Defectos de los rieles.	65

Durmientes.	70
Durmientes de madera.	72
Tratamiento preservativo de los durmientes.	78
Durmientes de concreto.	80
Durmientes mixtos de concreto y acero.	82
Durmientes metálicos.	86
Accesorios de vía.	
Planchuelas.	88
Tornillos, tuercas y rondanas de presión.	91
Clavos y tirafondos.	92
Anclas de vía.	95
Placas de apoyo.	97

## CAPITULO TERCERO

### CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Terracerías.	99
Colocación de estacas de referencia.	99
Despalme	100
Estudio de mecánica de suelos.	104
Metodología aplicable a la construcción de terraplenes.	109
Construcción de terraplenes empleando diferentes clases de equipo.	110
Cortes.	113
Excavación empleando diferentes clases de equipo.	114

Barrenación-explosivo.	122
Obras de drenaje.	126
Procedimiento para compactar Subrasante y Sub-Balasto.	132
Equipo de compactación.	134
Colocación de balasto.	141
Tendido de vía tradicional.	144
Alinear y nivelar.	147
Métodos modernos de tendido.	149
Soldadura de rieles.	156
Procedimiento aluminio-térmico.	157
Soldadura presión-eléctrica.	171
COMENTARIOS.	179
BIBLIOGRAFIA.	198

## ANTECEDENTES

En nuestra era los medios de comunicación son de vital importancia para cualquier región del mundo y sólo excepcionalmente existirán aisladas regiones que produzcan todo lo necesario para el consumo local de su población y aún en este caso, las exigencias de la vida moderna tanto sociales como culturales han hecho que ningún núcleo humano quede desvinculado del resto del mundo por mucho tiempo, fenómeno que ha favorecido al desarrollo de las vías de comunicación; es por ello que existe hoy en día, una extensa red de carreteras, vías férreas, vías aéreas, vías marítimas y tuberías, que hacen posible el traslado de bienes y mercancías, desde grandes centros de distribución hasta muy remotas regiones. Es por esto que las vías de comunicación, y más aún todas aquellas que puedan transportar grandes volúmenes de mercancías con máxima eficiencia son de gran importancia.

En los albores de la humanidad las vías marítimas y fluviales llegaron a ser los más importantes medios de comunicación, ya que en estas navegan incansablemente todo tipo de mercaderes y aventureros, llevando y trayendo productos e ideas de una parte del mundo a otra; este intercambio hizo que muchas ciudades crecieran y florecieran en las margenes de los ríos caudalosos, lagos y mares. En ese entonces la construcción de caminos para vehículos de tracción de animal resultaba extremadamente difícil ya que se carecía de los conocimientos técnicos y la organización social apropiada. En cambio, las embarcaciones que empleaban el viento y la misma corriente como medio de locomoción fa-

cilitaron enormemente dicha tarea. Más tarde cuando se mejoraron las condiciones sociales y técnicas, se contó con mejores vehículos de ruedas, mejores caminos, poco a poco estos adquirieron un lugar cada vez más importante en la comunidad .

Durante el imperio Romano los caminos tuvieron mucho auge, pues facilitaban enormemente el traslado de tropas. En Europa en los siglos que precedieron a la caída de los Romanos, los caminos decayeron de tal manera que se volvieron intransitables y por mucho tiempo permanecieron olvidados, sólo fué que hasta fines del siglo XVIII, cuando debido a un fuerte incremento de población, se hizo necesaria la utilización de los caminos en zonas internas alejadas de las vías marítimas y fluviales. De esta manera los caminos resurgen rápidamente y mejores, pues se contaba con los procedimientos de construcción necesarios.

A comienzos del siglo XIX aparece el ferrocarril como una maravilla técnica y hace que los caminos sean relegados a la condición de auxiliares del ferrocarril, para distribuir y recoger la carga local y llevarla al vagón de los mismos. Aún cuando esto se consideró definitivo, la mecanización de los vehículos volvió a hacer que los caminos se consideraran esenciales en la economía del transporte terrestre. El perfeccionamiento de los motores de combustión ejerció de inmediato una extraordinaria acción en la estructura y función de los caminos, implantandose una nueva técnica en la construcción y conservación con el uso de los asfáltos.

En ese momento se pensaba que el transporte sobre rieles .

taba próximo a su fin, era evidente que los ferrocarriles decaían en utilidad e importancia con respecto a los otros medios de transporte.

Ciertamente la construcción de grandes autopistas, el incremento masivo de automóviles y la consecuente mejora de la red caminera, provocó una disminución de la carga en los ferrocarriles .

Hay que mencionar que las características físicas de un sistema ferroviario abarca grandes obras de infraestructura como son: el tendido de vía ( rieles durmientes, muelles, agujas, cambio de vías, topes, etc. ), estaciones ( de pasajeros o de carga ), subestaciones eléctricas, señalizaciones de locomotas, guarda barreras, túneles, puentes; así como equipo de tracción ( locomotoras y vagones ), grúas etc., y equipo auxiliar de estos. Además para lograr el funcionamiento adecuado del sistema es necesaria la intervención del personal técnico y administrativo, apoyado por numerosos trabajadores encargados del mantenimiento de las máquinas y las vías.

Todo lo anterior le confirió al ferrocarril una seria desconfianza en lo relativo a que aún con los avances técnicos de la ingeniería ferroviaria, perdiera frente a la competencia de la red de caminos. Esta fué la principal razón de que en general se adoptaran políticas de inversión ferroviarias muy conservadoras, de esta manera se evitarían gastos innecesarios en inversiones que se pensaba resultarían negativas ante el avance y la competencia del movimiento de cargas por carretera. Ahora pasada la

euforía y ante las consecuencias de la crisis de energéticos, el aumento de precio en las unidades de autotransporte y refacciones, además del fuerte gravamen que sobre el presupuesto de las obras públicas implica la construcción de carreteras; es palpable el hecho de que los camiones no pueden competir con el ferrocarril en lo relativo a la capacidad de transporte ya que resulta obvio que el ferrocarril tiene una gran capacidad de transporte, pero un elevado costo de tendido de vías, instalaciones y conservación, le impiden llegar a todas partes, pues para ciertas zonas y determinados recorridos resulta completamente antieconómico. En este aspecto las carreteras son más flexibles dado que se pueden hacer llegar a cualquier parte y comunicar las regiones más alejadas e inhóspitas, aunque si se desea acarrear una cantidad de carga equivalente a la que transporta una línea ferroviaria, se percata uno de que el costo de conservación de la carretera, es elevado, además de que se necesita un gran número de camiones y esto nos llevaría a un elevado consumo de combustible, lubricantes, llantas, sin dejar a un lado los enormes problemas de tránsito con sus consiguientes accidentes.

La construcción de líneas férreas en nuestro país es una actividad que ha tenido un desarrollo demasiado lento, la influencia de la era automotora y la errónea creencia de superioridad frente al ferrocarril, han provocado la marginación del sistema, lo cual en la actualidad va en detrimento de una transportación eficiente, si en el pasado se logró a base de mantener una extensa red de caminos, en la actualidad esto ya no es posible, si...

do necesaria la restructuración del sistema ferroviario y la construcción de nuevas vías en las rutas donde los autotransportes resulten ineficientes.

## CAPITULO PRIMERO

### VIA TRADICIONAL

La vía tradicional es aquella que está constituida por rieles ordinarios unidos entre sí por medio de planchuelas y fijados con clavos a durmientes de madera, comunmente entre el riel y el durmiente se requiere la colocación de placas metálicas de apoyo y convenientemente espaciadas a lo largo de la vía es usual la colocación de anclas de fijación.

En la actualidad su uso es cada vez menos frecuente, debido a que resulta relativamente admisible en comparación con otros tipos de vias más modernos, sólo cuando se cuenta con durmientes de excelente calidad (madera cratosada de pino), gran número de anclas, grueso balasto y continuo mantenimiento. Este hecho en realidad no es muy sorprendente pues los nuevos tipos de vias se han conseguido a partir de sucesivas mejoras al sistema tradicional, como se verá mas adelante.

Un riel ordinario tiene una longitud de fábrica entre 10 y 12 m. y para obtener la longitud de vía deseada es necesario unir los rieles por sus extremos con planchuelas. Esta unión llamada junta emplanchuelada, permite además cierta dilatación del riel, para lo cual se deja una pequeña separación de más o menos un centímetro entre rieles, en el caso de que se requiera una mayor holgura es necesaria la colocación de una junta de dilatación.

Esta particularidad de la vía clavada es muy importante por que tanto las juntas emplanchueladas como las juntas de dilatación constituyen puntos de poca resistencia en la vía ya que

## CAPITULO PRIMERO

### VIA TRADICIONAL

La vía tradicional es aquella que está constituida por rieles ordinarios unidos entre sí por medio de planchuelas y fijados con clavos a durmientes de madera, comunmente entre el riel y el durmiente se requiere la colocación de placas metálicas de apoyo y convenientemente espaciadas a lo largo de la vía es usual la colocación de anclas de fijación.

En la actualidad su uso es cada vez menos frecuente, debido a que resulta relativamente admisible en comparación con otros tipos de vias más modernos, sólo cuando se cuenta con durmientes de excelente calidad (madera cretosada de pino), gran número de anclas, grueso balasto y continuo mantenimiento. Este hecho en realidad no es muy sorprendente pues los nuevos tipos de vias se han conseguido a partir de sucesivas mejoras al sistema tradicional, como se verá mas adelante.

Un riel ordinario tiene una longitud de fábrica entre 10 y 12 m. y para obtener la longitud de vía deseada es necesario unir los rieles por sus extremos con planchuelas. Esta unión llamada junta emplanchuelada, permite además cierta dilatación del riel, para lo cual se deja una pequeña separación de más o menos un centímetro entre rieles, en el caso de que se requiera una mayor holgura es necesaria la colocación de una junta de dilatación.

Esta particularidad de la vía clavada es muy importante por que tanto las juntas emplanchueladas como las juntas de dilatación constituyen puntos de poca resistencia en la vía ya que

momento resistente del riel no puede ser transmitido completamente por medio de las planchuelas.

Debido al pequeño espacio entre rieles cada junta representa una discontinuidad en la superficie de rodamiento, sí a esto se suma el juego que se produce por la falta de apriete en las tuercas de la junta veremos que ésto permite que las ruedas inflingan severos, continuos, así como pesados impactos en los extremos de los rieles, que producen el aplanado de las cabezas de los mismos y de no corregirse a tiempo ésta anomalia pueden llegar a fracturarse o romperse, el daño no es sólo en los rieles sino que en estos puntos en el balasto se registra un hundimiento que propicia una seria afectación a la corona de los terraplenes (aguachinamiento).

El castigo sostenido en las juntas es transmitido a lo largo de toda la longitud del riel y la combinación de vibración, impacto y cargas pesadas destruyen rápidamente el buen alineamiento y la superficie de rodamiento de la vía.

A ello se suman los efectos de la dilatación que hace que las cabezas se aprieten más fuertemente que los patines, el resultado de esto es un momento flexionante debido a la excentricidad del empuje que tiende a elevar la vía, originando con esto una deformación por pandeo.

De hecho las juntas disminuyen la vida de los rieles y los durmientes, lo que hace que los rieles desgastados en sus puntas deban cortarse y que los durmientes muy pocas veces puedan volver a utilizar. En las grandes líneas las juntas se consideran

puntos claves para verificar el envejecimiento de una vía, pues frecuentemente se encuentran desgastadas, deformadas o flojas.

El perfeccionamiento de las planchuelas y juntas de dilatación se han intentado hasta el cansancio, pero los resultados obtenidos en su mayoría han sido muy insatisfactorios y bastante complicados por lo que se ha abandonado su uso en poco tiempo. Para la vía ordinaria la simple junta a tope con planchuelas robustas se ha probado es lo más eficiente.

Para superar estos inconvenientes se trato de reducir el número de juntas que entraban en un cierto tramo, aumentando la longitud de los rieles laminados salidos de la fábrica y después utilizando los progresos de diversos procedimientos de soldadura se logró construir por medio de rieles del tipo ordinario rieles de mayor longitud, soldándolos en sus extremos en talleres o sobre el terreno.

En la práctica se ha visto que una vía en la que no existan suficientes juntas que permitan la libre dilatación de los rieles, las existentes se convierten en un serio peligro. Pues el empleo de clavos para unir el riel con los durmientes tiene el inconveniente de que no restringe el deslizamiento de los rieles en el sentido longitudinal de los mismos, las causas de estos corrimientos pueden ser la dilatación o un frenaje brusco del equipo rodante por lo que para contrarestarlos es frecuente el uso de anclas de fijación. Sin embargo se ha comprobado que los rieles así contruidos pueden resultar peligrosos y más aún en longitudes medias ( 50 a 90 m. ), aunque no se sabe a ciencia cierta

ta para este tipo de vía, que valores alcanzan los esfuerzos de dilatación y como se reparten estos al variar la temperatura. Es importante señalar que la renovación prematura de los rieles es debida a la existencia de juntas por ello hay que tratar de suprimirlas y no de disminuirlas ya que su disminución no evita que se dañe la vía.

La conservación de una junta cuesta muy caro no tan sólo por el remplazo de los materiales, sino por las operaciones que hay que ejecutar a lo largo de un año, como son; la verificación del apretado de las tuercas; la interposición de cuñas; la depuración de balasto y la nivelación frecuente. Para darnos una idea del costo de conservación de las juntas, podemos decir que se considera que una vía equipada con rieles de 15 m. de longitud cuesta el doble en conservación que una vía sin juntas.

Una mejor opción la constituye el riel continuo que se obtiene de soldar entre sí por cualquier procedimiento varios tramos de riel, lográndose rieles sin juntas de longitud mayor a los 250 m

Aún con estas mejoras la vía clavada carece de la elasticidad necesaria para permitir que los trenes circulen a velocidades altas con seguridad y confort por lo que en la actualidad se prefiere el uso de la vía elástica.

#### VIA ELASTICA

La vía elástica es la que está constituida de largos tramos de riel soldado, convenientemente fijados a los durmientes de madera, acero o concreto, mediante un sistema de fijación elástica

que evita el deslizamiento y flexión de los rieles y amortigua sus vibraciones e impactos al paso de los trenes.

Este tipo de vía fué desarrollado en Francia para mejorar las condiciones de comodidad, velocidad y seguridad de las vías tradicionales, en las que como ya se vió anteriormente se presentan problemas inducidos por la acción dinámica del equipo rodante en los rieles, durmientes y balasto, que a velocidades altas presenta riesgo para el equipo que transita por ellas, además del mínimo confort que proporcionan al pasaje y carga que transporta.

La acción dinámica de los trenes sobre la vía se ha analizado mediante estudios en los que se han empleado dispositivos piezoeléctricos conectados a oscilógrafos catódicos que representan con mucha fidelidad y en forma gráfica las variaciones de esfuerzo y deformaciones reales del riel, del durmiente y del balasto, habiéndose encontrado que la variación de la frecuencia se extiende hasta valores de 1000 ciclos por segundo, con muy pequeña amplitud pero con aceleraciones de 100 veces la aceleración de la gravedad. Las vibraciones de la parte inferior del espectro, es decir, las de pequeña frecuencia y mucha mayor amplitud, producen esfuerzos alternados que los materiales afectados deben resistir, pero no producen cambios básicos en la estructura íntima de dichos materiales ni trastorna seriamente los conjuntos de piezas ajustadas por medio de tuercas, rondanas de presión, etc. En cambio las vibraciones de alta frecuencia y poca amplitud producen la fatiga del riel, afloja tornillos, deterioran la super-

ficie de contacto y desorganizan el acomodo de balasto.

En el laboratorio, estos efectos han sido comprobados, con el uso de aparatos tales como el vibrogiro que simula los impactos producidos por el paso de los trenes en un tramo de vía experimental. El aparato consta de un motor y un mecanismo excéntrico que sacude al tramo de vía imponiendo fuerzas oscilantes en 50 ciclos por segundo y provoca frecuencias al sistema con un efecto comparable al observado en la realidad. Este aparato es adecuado para experimentar en diferentes tipos de vía, reproduciendo en poco tiempo efectos que en forma natural se producen en varios años. Como ya se dijo las frecuencias bajas de amplitud considerable no producen envejecimiento, se transmiten al subsuelo y actúan sobre el dispositivo de suspensión del equipo rodante. En cambio, la gama de frecuencias más altas si tiene efectos negativos pero pueden ser absorbidos con elementos de sujeción adecuados, disminuyendo considerablemente los fenómenos de envejecimiento, de desajuste y de transmisión de ruidos al material rodante.

Con base en los resultados indicados, la superestructura de la vía férrea ha sido estudiada con mayor cuidado y se han diseñado dispositivos capaces de amortiguar rápidamente el rango más indeseable de frecuencias sin perder de vista el factor económico.

La vía elástica resuelve el problema mencionado y proporciona una sujeción estable, económica y de fácil conservación. Se aplica tanto en durmientes de madera como en los de concreto hi-

hidráulico.

El elemento amortiguador está formado por una placa elástica de 4.5 mm. de espesor que se coloca entre el riel y el durmiente. Este material presenta características de deformación apropiadas para disipar rápidamente la energía de las vibraciones de alta frecuencia. Para facilitar la deformación vertical, la suela está acanalada según un diseño que experimentalmente se encontró ventajoso, estos canales permiten al material la deformación lateral que se asocia a toda deformación vertical.

El riel se ancla al durmiente al que queda sujeto con una fuerza practicamente constante, por medio de una grapa y un perno especial en el caso de durmientes de concreto hidráulico, o por un conjunto de muelle y tirafondo en el caso de los durmientes de madera. Así, al incrementarse la carga sobre el riel, la suela sufre una compresión no lineal, pero la muelle sigue al riel en su pequeño asentamiento conservando su presión. Al disminuir la carga y anularse finalmente, la placa elástica vuelve a su posición inicial pero siguiendo otro trayecto en la gráfica esfuerzo deformación. El área encerrada entre las dos curvas de compresión y extensión representa la energía disipada en cada ciclo. La muelle, a su vez y en el intervalo de deformación, trabaja con el apoyo en el punto interior ( primer contacto ), al contraerse la placa y en el punto exterior ( segundo contacto ), cuando dicha placa trata de extenderse más arriba de su posición de reposo. Este doble contacto también favorece el amortiguamiento de las vibraciones de frecuencia elevada.

Las muelles son de acero especial al cromo-manganeso, tratadas térmicamente, los demás elementos son de acero al carbón, de grado estructural.

Sujeto este sistema a la prueba con el vibrogiro, medidas las oscilaciones y calculadas sus componentes y sus respectivas amplitudes y aceleraciones, se observa una disminución en estas últimas de 50% a 60% en sus valores máximos y un amortiguamiento mucho más rápido que el caso de las sujeciones rígidas.

Aunque el costo de los accesorios de fijación descritos es mayor que el de los de la vía tradicional, el costo del conjunto es prácticamente igual, pues no hay necesidad de usar en este caso placas metálicas, sino en curvas fuertes, eliminandose también el uso de anclas de fijación.

#### COMPORTAMIENTO DE LA VIA ELASTICA

Cuando una vía está bien balastada y su curvatura sea igual o inferior a los 4 grados ( 286.54 mts. de radio ) y está constituida con largos tramos de riel soldado los cuales están fijados adecuadamente a los durmientes mediante fijaciones doblemente elásticas, los rieles no pueden desplazarse con relación a los durmientes ni longitudinal ni transversalmente, debido a los cambios de temperatura que experimenten los mismos, y la tendencia de los rieles al desplazamiento queda contrarrestada por el peso y el anclaje de los durmientes dentro del balasto, produciéndose en su lugar un esfuerzo de compresión o tensión en el interior del riel, el cual es soportado dentro de los límites normales, por la resistencia propia del acero que constituyen los rieles.

En un riel de 250 m o mayor longitud existen tres zonas que es necesario identificar del mismo: la parte central en la cual los movimientos de los rieles son nulos y las contracciones y tensiones están equilibradas y las zonas de respiración en los dos extremos, donde las contracciones y dilataciones son variables en función de la temperatura y pueden moverse los rieles en mayor proporción cuanto más se acerquen a la junta emplan- - chuelada. La longitud de éstas zonas varía de acuerdo con la re sistencia de la vía y su deslizamiento longitudinal que está en función del área de la sección transversal de los rieles, a la sección y clase de balasto, y a la variación de la temperatura.

La dilatación que se produce en el extremo libre se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$AL = 0.0000115 \times L \times \Delta t \dots (1)$$

Donde

AL.- dilatación lineal en mm

0.0000115.- coeficiente de dilatación del riel.

L.- longitud del riel en mm

At.- diferencia de temperatura del riel en grados centígrados (temperatura de colocación del riel menos temperatura media o de equilibrio)

También es posible calcular el esfuerzo interno en el riel, en función de su alargamiento.

Supongase que la barra se ha dilatado en AL, pero que se ha comprimido en la misma medida debido a la sección de una fuerza P.

Si se comprime una barra de longitud  $L$ , sección  $A$  y módulo de elasticidad  $E$  con la fuerza  $P$ , la contracción que se obtiene es la siguiente.

$$\Delta L = \frac{P \times L}{A \times E}$$

Despejando  $\frac{P}{A}$  tendremos

$$\frac{P}{A} = \frac{\Delta L}{L} E \dots (2) \text{ que es el esfuerzo unitario}$$

Sustituyendo  $\Delta L$  por su valor 0.0000115  $XLXAt$

$$\frac{P}{A} = \frac{0.0000115 \text{ XLXAt}}{L} E$$

$$\frac{P}{A} = 0.0000115 \text{ XAtXE} \dots (3)$$

Despejando  $P$

$$P = 0.0000115 \text{ XAtXAXE} \dots (4)$$

$P$  es la fuerza axial necesaria para contrarrestar la dilatación del riel.

Para obtener la longitud de las zonas de respiración es necesario tomar en cuenta la resistencia al deslizamiento de la vía ( $R_d$ ) que es del orden de 1250 kg. por metro lineal.

$$Z_R = \frac{PX^2}{R_d} \dots (5)$$

Ejemplo: Calcular el alargamiento de un riel continuo. ( L. R.S. ) \* provisional. de 180 m.

temperatura de colocación 36°C

temperatura media de equilibrio 20°C

\* L.R.S. largo riel soldado

Módulo de elasticidad  $E = 2\ 100\ 000\ \text{Kg/cm}^2$

Riel de 115 lbs/yd con una área transversal =  
 $72.579\ \text{cm}^2$

$AT = 36^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 16^\circ\text{C}$  ( diferencia de temperatura del riel ).

Sustituyendo valores en (1)

$$AL = 0.0000115 \times 180000 \times 16^\circ \\ = 33.12\ \text{mm}$$

Esfuerzo unitario en el riel (2)

$$\frac{P}{A} = \frac{AL}{L} E = \frac{33.12}{180000} ( 2100\ 000 ) = 386.4\ \text{kg/cm}^2$$

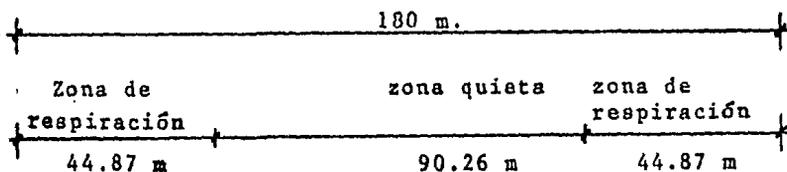
Esfuerzo que se presenta en la parte central fija de el riel consideraremos la resistencia al deslizamiento de la vía de 1250 kg por metro lineal de la ecuación (4) obtenemos el valor de la fuerza axial que contraresta la dilatación.

$$P = 0.0000115 \times 16 \times 72.579 \times 2100\ 000 = 28045\ \text{kg.}$$

en un riel finalmente obtendremos la longitud de las zonas de respiración ecs. (5)

$$Z_R = \frac{PX^2}{Rd} = \frac{28045 \times 2}{1250} = 44.87\ \text{m}$$

Se puede observar que la longitud de la zona de respiración no está en función de la longitud del riel sino que depende del área transversal del mismo y de la diferencia de temperaturas.



Es muy importante que la vía este capacitada para contener los efectos de la dilatación.

Cuando los rieles están bajo la acción directa de los rayos solares se pueden llegar a calentar hasta aproximadamente  $+ 60^{\circ}\text{C}$  por el contrario.

En invierno adquieren temperaturas hasta de  $- 30^{\circ}\text{C}$ , mientras que la temperatura media se ha situado entre los  $15$  y los  $20^{\circ}\text{C}$ .

Debido a la variación de la temperatura en verano se pueden producir fuerzas de compresión hasta de  $70$  ton. por carril y en invierno fuerzas de tensión con una magnitud similar.

Cuando una vía soldada o con juntas rígidas se alinea en curvas de radio corto esas fuerzas pueden flambear la vía recta, produciendo amplias ondulaciones en el alineamiento con flechas de varios centímetros.

Esta es la razón por la que no se admite riel continuo en curvas mayores de  $G = 4^{\circ}$  ( $R = 283$  m ), en esos casos los tramos soldados deben reducirse a sólo 3 rieles (  $36$  m ) para curvas hasta de  $G = 6^{\circ}$  ( $R = 191$  m ) y 2 rieles (  $24$  m ) para curvas mínimas de  $8^{\circ}$  ( $R = 143$  m ).

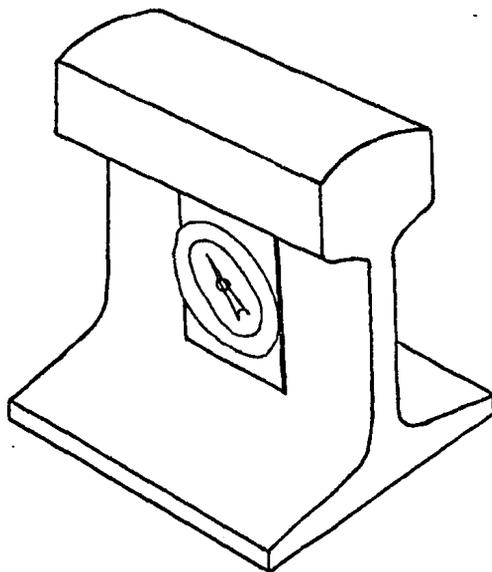
Un fenómeno de mucha mayor consideración que el anterior es el llamado " chicoteo " o torsión que se produce con gran estruendo y de una manera súbita en la vía, formando ondulaciones occurridas con flechas de  $40$  a  $60$  cm. para ondas de  $6$  a  $7$  m de largo.

Las causas pueden ser un frenaje de emergencia coincidiendo con esfuerzos de temperatura en igual sentido, quitar el balasto a temperaturas muy diferentes a la neutra.

Con relación al alineamiento vertical en columpios y jorobas los rieles tienden a levantarse, cuando están sometidos a temperaturas extremas, mayormente si coinciden con curvas horizontales.

Puesto que los fenómenos anteriores pueden causar daños considerables a la vía se debe considerar como la regla más importante en el tendido de una vía de ejecución continua el mantenimiento más exacto posible de la temperatura nominal o de lo contrario se expone a la vía a sufrir graves deformaciones o su rotura, en general no se debe mover el riel cuando existen temperaturas extremas.

TERMOMETRO  
DE RIEL



#### Temperatura del riel

Es la temperatura que presenta el riel en el momento en que se observa y debe medirse en el interior del mismo, utilizando

termómetros especiales; o bien un riel muestreador, que consiste en un trozo de riel de unos 30 cm de longitud que contiene en su interior un termómetro para medir la temperatura de la masa de acero del riel.

Las lecturas no se efectuarán antes de haber transcurrido 5 min. de su colocación. Para obtener mayor precisión debe tomarse la lectura promedio de tres termómetros.

Temperatura de equilibrio o temperatura media del riel.

Es la temperatura promedio, obtenida entre las temperaturas máximas y mínimas que alcanzan los rieles en la región geográfica, donde se va a construir la vía elástica. Es la temperatura del riel al pasar de compresión a tensión en consecuencia, donde el riel no presenta esfuerzo alguno.

Temperatura de colocación.

Es la temperatura que rige en los dos rieles en el momento de fijarlos a los durmientes. En principio, la temperatura ideal o más conveniente para la colocación de los rieles es la temperatura media de equilibrio. En la práctica, no es posible disponer siempre de la temperatura media, por lo que se ha fijado " una " " tolerancia " para la colocación de los rieles de  $\pm 11^{\circ}\text{C}$ , con respecto a la temperatura media, dentro de la cual podrán fijarse o colocarse los rieles.

Temperatura de liberación

Cuando un riel de gran longitud ( L.R.S. ) ha sido fijado o colocado a una temperatura distinta a la temperatura de colocación, debe procederse tan pronto como sea posible, a volverlo a

colocar o a fijar a la temperatura de equilibrio, o muy próximo a la misma. La tolerancia o gama de temperatura es de  $\pm 7^{\circ}\text{C}$ , con respecto a la temperatura de equilibrio para la fijación definitiva de los rieles de gran longitud es denominada " Temperatura de liberación ".

Riel compensado, liberado o en equilibrio térmico.

Es el riel que ha sido fijado, en el momento que tiene su posición y longitud correspondiente a la temperatura de liberación

Cuando el riel presenta la " temperatura media " o las tolerancias para su liberación de  $\pm 7^{\circ}\text{C}$  de la temperatura media y está apoyada sobre rodillos de manera que nada impida su libre movimiento y es golpeado ligeramente en su alma con un martillo de cobre; en ese instante los esfuerzos que tienden a dilatarlo o contraerlo, han quedado " compensados " o " equilibrados " entre sí, o sea el riel no presenta tendencias ni para dilatarse ni contraerse por encontrarse " liberado " de dichos esfuerzos.

Es necesario que se limiten en lo posible, las tensiones internas debidas a las variaciones de temperatura dentro del riel, por lo que los rieles, deben tenderse cuando se encuentran a una temperatura intermedia. Generalmente, se colocan los rieles a temperaturas comprendidas entre los  $10$  y los  $40^{\circ}\text{C}$ , de manera que los esfuerzos de tensión y compresión que se presentan en el invierno y en el verano, se compensen.

## ELEMENTOS DE LA VIA

En un ferrocarril se tiene dos tipos de instalaciones; instalaciones fijas ( vía, señales, edificios, estaciones, etc.) e instalaciones móviles ( equipo rodante ).

Las instalaciones fijas a su vez se dividen en dos partes esenciales, a saber: la infraestructura y la superestructura.

La infraestructura comprende todo lo que es necesario construir para permitir las instalaciones de un ferrocarril, es decir por infraestructura consideramos la plataforma y las obras de arte.

La superestructura comprende todas las instalaciones que son de carácter netamente ferroviario como es la vía, los cambios, los edificios, las estaciones, la señalización, la electrificación, las telecomunicaciones, etc.

Se hace incapie en que la vía es parte fundamental de las instalaciones fijas de un ferrocarril.

La vía está constituida por: Rieles, Durmientes, Balasto, terracerías y Accesorios de vía.

Cada uno de estos elementos tiene una función específica; los rieles sirven de soporte y de guía al equipo móvil. Los durmientes sirven de base a los rieles y transmiten los esfuerzos al balasto. El balasto descarga dichos esfuerzos a la terracería de manera uniforme y además asegura el drenaje de la vía.

La estructura propia de la vía debe ser lo suficientemente resistente para poder soportar los esfuerzos que sobre ella produce el paso de los trenes a velocidad.

Estos esfuerzos son de tres clases: verticales, longitudinales y transversales. Además actúan pares en los mismos ejes y sentidos que los esfuerzos citados.

Los esfuerzos verticales son debidos al peso de los vehículos y resultan no sólo de la carga estática que este peso representa, sino de la dinámica que se produce por la velocidad y en las locomotoras, por la acción de los mecanismos en movimiento.

Los esfuerzos longitudinales son producidos por la acción de la máquina de la locomotora al remolcar el tren, lo que da una pequeña componente tangencial que ejerce efecto de fuerza longitudinal, y debido igualmente a la acción del frenado, se ocasiona el deslizamiento longitudinal de los rieles.

Los esfuerzos transversales, de mucha mayor consideración que los longitudinales, se deben principalmente al movimiento llamado de "Serpenteo" que adquieren los vehículos por la conicidad de la llanta de las ruedas, por las irregularidades de la vía, por el juego que debe existir entre las cejas de las ruedas y los hongos de los rieles, por el juego de los ejes y por la diferencia instantánea entre las acciones y reacciones de las masas de la locomotora y de los vehículos en movimiento con la vía.

Los esfuerzos transversales resultan, además, en las curvas, por el efecto de la fuerza centrífuga y por la dificultad de la inscripción del material móvil.

Estos esfuerzos transversales tienden a separar los rieles, esto es, a ensanchar la vía; igualmente, tienden a abatir el riel y a destruir la unión del mismo con los durmientes así las juntas

entre los rieles. Para evitar ésto, se requiere que las juntas tengan suficiente resistencia, así como todos los elementos que constituyen la vía para conservar siempre el escantillón estandar

En general, para evitar los efectos perjudiciales de todos estos esfuerzos, es necesario que los elementos constitutivos de la vía estén bien unidos, para formar un cuerpo resistente. Se requiere también que la resistencia del riel aisladamente sea la debida, pero también la de los demás elementos de la vía, que los durmientes ofrezcan buena superficie de apoyo y estén bien asentados sobre el balasto y que la capa de este sea suficiente.

La resistencia de la vía, en resumen, no depende sólo de la del riel, sino de la de todos los elementos que la constituyen y de la relación de unos con otros.

## SUBRASANTE

Consideraremos a la línea subrasante como el límite entre las terracerías, tanto en los cortes como en los terraplenes y es propiamente la frontera entre las dos partes principales de una vía férrea: La infraestructura que es todo lo que se construye bajo esa línea y la superestructura o vía, ubicada arriba de ella. Estas plataformas sobre las que se apoya la vía son estructuras de tierra a las cuales una vez terminados se les da el nombre de terracerías; en corte o en terraplén, un corte es aquel en donde la línea subrasante queda bajo la superficie del terreno y se tiene que excavar el material para llegar a ella y el terraplén es el caso inverso, es decir, la superficie del terreno queda bajo la línea de subrasante y hay que colocar una estructura de tierra para alcanzarla.

Las capas superiores de la subestructura deben de poseer ciertas características de resistencia e impermeabilidad que les permitan cumplir con sus funciones estructurales y drenantes. Para obtener dichas cualidades se emplean dos procedimientos diferentes cuyos resultados son dos clases de capas: La capa subrasante o capa de mejoramiento de las terracerías y la capa de sub-balasto.

La capa subrasante ( corona ó cama de terracerías según sea el caso de terraplén o corte respectivamente ) es la capa superior de terracerías y se forma del mismo material que ésta, al cual se le da un tratamiento especial que las mejoras dicho tratamiento se logra, proporcionándole un grado de compactación -

yor que al resto de las terracerías y en otros casos agregando antes de la compactación materiales que modifiquen de manera favorable la granulometría, su espesor es variable a lo largo del eje de proyecto tomándose como mínimo aceptable 30 cm. y como máximo recomendable 50 cm. y se construye como apoyo del sub-balasto en terracerías de materiales poco resistentes o directamente bajo el balasto cuando se considera innecesario el sub-balasto.

La subrasante tiene las siguientes funciones:

Proporciona una superficie regular sobre la que la sección de balasto y la estructura de la vía puedan tenderse.

Soporta y transmite a el terreno natural el peso de la carga viva y equipo rodante, así como el de la vía y el balasto, valiéndose para esto de la compactación y de algunos otros sistemas de estabilización.

Impide la infiltración de el agua pluvial a las terracerías, así como la ascensión capilar, para lo cual se aplican riegos asfálticos tanto en las camas como en la corona de la sub-rasante.

Protege a las capas superiores aislandolas de la terracería cuando esta está formada por material fino y plástico ya que como el sub-balasto es de textura más abierta, de no existir el aislamiento dado por el material de la corona, el material de la terracería se introduciría en la base pudiendo inducir cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad, a la vez que se disminuye la resistencia estructural de la base.

Reduce el costo de la capa de sub-balasto y balasto disminu-

yendo el espesor necesario de estos dado que se forman con material más costoso pues cumple con normas más rígidas, lo cual es obvio ya que al estar próximos a la base de los durmientes están expuestos a esfuerzos de mayor intensidad.

En tramos en construcción frecuentemente se construye la subrasante de manera que propiamente es un revestimiento provicional, contandose de esta manera con una superficie de rodamiento que facilite en cualquier época del año, el paso del equipo de construcción.

Con relación a los materiales que pueden formar la corona (o cama) se puede decir que sólo las turbas y los suelos altamente orgánicos en descomposición o cuyo rebote elástico sea importante y por lo tanto, produzca deformaciones excesivas a las capas suprayacentes los debemos descartar como materiales apropiados para la subrasante. Cualquier otro tipo de suelo se puede usar siempre y cuando se establezca apropiadamente. Técnicamente cuando un suelo no alcance un VRS mínimo de 5% debe ser rechazado para formar dicha capa.

## ESTABILIZACIONES.

La estabilización de un suelo es el proceso al que se someten los suelos naturales, consistente en la aplicación de ciertos tratamientos para aprovechar mejor sus cualidades, de tal manera que las estructuras que con ellos se elaboren resistan satisfactoriamente los ataques del intemperismo y las presiones que le son transmitidas por el tráfico del equipo rodante.

Se debe escoger el método de estabilización más adecuado a cada caso de entre los que mejor cumplan con los siguientes requisitos:

El material básico constitutivo de la capa debe ser el suelo, ya sea en el estado natural en que se encuentra a lo largo del eje de proyecto, incorporandole otros materiales de préstamo lateral o que sean acarreados de depósitos o bancos cercanos.

Se debe desarrollar la cohesión y fricción interna necesaria para aumentar el valor de soporte en cada tipo de suelo de que se disponga y garantizar una relativa permanencia de dicho valor en todo tiempo resistiendo la acción de los agentes atmosféricos.

Es necesario que se empleen los materiales y los métodos de construcción apropiados para que la obra resulte económica y con las características indicadas para soportar las cargas de trabajo en condiciones razonables de esfuerzo y deformación.

### Estabilización por Compactación.

La compactación es el mejoramiento artificial de las propie

dades mecánicas de un suelo por medios mecánicos. En la práctica se logra esto reduciendo su % de vacíos, mediante presión o vibrado al tiempo que se agrega agua hasta el grado óptimo.

La compactación de la subrasante es de primordial importancia para mejorar sus características de comportamiento mecánico ya que cuando un suelo esta compactado en forma correcta se hace más estable, pues se aprietan los granos que lo forman entre sí, aumentando la fricción interna lo que incrementa su poder soportante ( V.R.S. ). Por otro lado al densificarse la masa del suelo la cantidad de agua que puede penetrar y afectar la resistencia al corte, así como causar cambios volumétricos perjudiciales se reduce considerablemente.

Aunque este procedimiento mejora la calidad de los suelos, por si solo no proporciona la resistencia y durabilidad que requiere la subrasante y el subbalasto, pues aún los suelos bien compactados son seriamente afectados por los cambios de humedad y por el desgaste del tránsito si no poseen otras cualidades in dispensables.

Estabilización Mecánica empleando suelos granulares.

Esta depende de la cohesión y de la fricción interna que puedan desarrollarse mezclando adecuadamente distintos tipos de suelos. Sabemos que los suelos de grano grueso, como las gravas y arenas, poseen fricción interna relativamente alta, mientras que los suelos de partículas finas, como las arcillas, tienen escasa fricción interna, excepto cuando secos.

La fricción interna por si sola no imparte toda la estab:

dad que es necesaria en un camino, ya que si las partículas pueden moverse libremente, se separarán de la mezcla y se reducirá la magnitud de la fricción interna que pudieran desarrollar, - por lo tanto es necesario agregar un agente aglutinante que mantenga firmemente unidas a las partículas gruesas.

Los suelos arcillosos poseen bastante cohesión cuando su contenido de humedad se encuentra dentro de ciertos límites y - por lo tanto pueden emplearse como aglutinantes para mantener unidas las gravas y arenas.

#### Estabilización Arena-Arcilla.

La mezcla de arena con arcilla es un material estabilizado en forma económica, cuando el suelo natural es arena con muy poco aglutinante o cuando no lo tiene y la arcilla se puede obtener mediante un acarreo razonable. En zonas cercanas a las playas el suelo de la subrasante generalmente es arena con buen drenaje que puede ser fácilmente estabilizado con arcilla lográndose un alto valor de soporte y aún bueno al variar la humedad. Debe determinarse con cuidado la cantidad de arcilla que se le vá a agregar y además fijarse la manera de operar el equipo para que la mezcla no contenga demasiada arena. Las mezclas se realizan dosificando los espesores en varias capas de los dos o tres materiales, revolviendolos con motoconformadoras y arado y compactandolos por capas de 20 a 40 cm. de espesor, usando la humedad óptima.

Los finos ( % de material que pasa la malla # 200 ) no deben de exeder de un 10 a 15%. Cantidades de arcilla menores del

10% en volumen con respecto a la arena no son muy aconsejables por ser muy difícil su distribución uniforme en la masa de arena.

#### Estabilización Grava-Arena-Arcilla.

Muy frecuentemente es necesario construir subrasantes y subbalastos con materiales baratos productos de la extracción de los mismos de depósitos naturales existentes a lo largo de la ruta a construir. Dichos materiales sin embargo o son completamente arenosos con muy bajo valor cementante o presentan características plásticas muy altas que los hacen que queden fuera de las especificaciones que se exigen a los materiales de subrasante. En estos casos es cuando la mezcla de dos o más materiales de los depósitos mencionados pueden resolver el problema. Un material francamente arenoso ( grueso ) y carente de cementación, puede estabilizarse mezclandole un cierto porcentaje de un material arcilloso y viceversa. Las mezclas de tres suelos se resuelven en el campo mezclando primero los dos suelos más gruesos, hasta obtener un primer compuesto el que será un nuevo suelo mejor graduado que los dos originales y luego se le adiciona el tercero más arcilloso que los anteriores y en consecuencia el que se usará en una mínima proporción.

La determinación de los porcentajes de material, apropiados para una mezcla óptima, se puede hacer comparando la granulometría de los suelos disponibles por mezclar con los de la tabla siguiente en la que se muestran 6 suelos con diversas granulometrías que producen buenos resultados.

Se debe tener cuidado que la mezcla resultante no exceda el índice de plasticidad límite ( 6 a 9 ) lo cual se comprueba verificando la mezcla de suelos grueso y fino, caracterizados por sus índices de plasticidad, donde la mezcla obtendrá otro índice linealmente proporcional a los porcentos de sus componentes.

### GRANULOMETRIAS DE MEZCLAS DE SUELO-AGREGADO

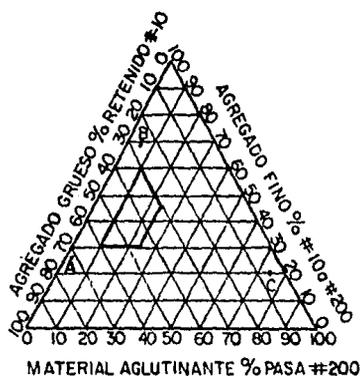
Porcentaje	en peso que pasa por tamices de aberturas cuadradas.					
Granulometría	A	B	C	D	E	F
TAMIZ 2"	100	100	---	---	---	---
1"	---	75-95	100	100	100	100
3/8"	36-65	40-75	50-85	60-100	---	---
Nº 4	25-55	30-60	36-65	50-85	55-100	70-100
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
Nº 200	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

Existen métodos gráficos tales como el del " Triángulo " - que consiste en definir los puntos A, B y C en una escala triangular granulométrica, al unir los puntos se forma el triángulo ABC, cuyos lados AB-BC y CA representan los lugares geométricos de las mezclas ( de dos en dos ) de los tres materiales disponibles.

Se delimita y achura una zona representativa de un punto - "L" que es el centro de la granulometría ideal junto con sus linderos permisibles.

Para obtener el proporcionamiento óptimo entre dos materiales punto "R" es necesario unir cualquiera de los vértices AB o C, con el punto L.

El porcentaje necesario del material restante se despeja del 100%.



		Porcentaje en peso		
		A	B	C
grueso.	MALLA 1 1/2"	100	100	100
	1"	70	100	100
	3/4"	58	100	100
	3/8"	48	97	100
	Nº 4	40	90	100
fino.	Nº 10	28	75	95
	Nº 40	8	20	90
	Nº 200	2	6	75
	Índice Plástico	0	2.5	10.3
	Agregado grueso	72	25	5
	Agregado fino	26	69	20
	Material Aglutinante	2	6	75

#### Estabilización con cal, cemento.

Cuando se tenga un suelo arcilloso que presente problemas de estabilidad extremos, la subrasante debe mejorarse mediante la inyección de lechadas de cal o de mortero de cemento a través de barrenos de un metro de profundidad espaciados un metro entre sí donde se introducen 10 lts. de lechadas de cal o de mortero en cada barreno, con el objeto de diluirla entre el material cohesivo, restándole humedad excesiva y plasticidad obteniendo una mejor cementación y soporte, lo cual debe complementarse con un sellado asfáltico final antes de colocar el sub-balasto. En :

gares donde se considere necesario este sello se puede sustituir por suelo cemento.

#### Estabilización con Riego Asfáltico.

El sello de camas y coronas consiste en dar un riego asfáltico de fraguado medio ( 2 lts. por  $m^2$  ) para penetración y parcial sellado de la base ya compactada y con bombeo.

La aplicación de los riegos asfálticos tiene como funciones la de evitar que el agua de lluvia se introduzca en el cuerpo del terraplén y la de impedir que los suelos cohesivos puedan subir por capilaridad, agua de inundación o freática ( hasta dos o más metros ). Siendo necesario según el caso, el proceso de aplicar una o varias capas de sello intercaladas en capas aisladas del terraplén y hasta puede resultar necesario asfaltar sobre los durmientes y el contorno exterior del balasto.

La utilización de una arcilla de alta plasticidad para la formación de la subrasante se ha estudiado con éxito en algunos países forrando la base compactada con tela ahulada de neopreno, o bolsas de polietileno. Un estudio más cuidadoso de estas técnicas resultaría muy benefico para nuestras vias férreas, pues este tipo de suelo es muy común en el sureste del país.

#### Determinación del Valor Relativo de Soporte Estándar.

El Valor Relativo de Soporte Estándar (C.B.R.) (California, Bearing, Ratio) es un índice de la resistencia del suelo al corte en condiciones determinadas de compactación y sujeto a un período determinado de saturación. Se expresa como el tanto por -

ciento de la carga que se requiere para que el mismo pistón penetre la misma profundidad en una muestra tipo de piedra triturada.

El método comprende tres ensayos que son:

- a).- Determinación del peso volumétrico seco máximo.
- b).- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- c).- Determinación de la relación de soporte.

Determinación de peso volumétrico seco máximo.

El peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima se obtienen normalmente mediante la ejecución de dos tipos de pruebas diferentes según el tipo de suelo de que se trate, la prueba "Proctor" para suelos cohesivos y la "Porter" en suelos friccionantes.

La prueba "Proctor" consiste en compactar la muestra dentro de un molde de dimensiones y forma especificadas, en tres capas aplicando a cada una de ellas un número determinado de golpes - para lo que se emplea un pistón, que se deja caer libremente desde una altura prefijada.

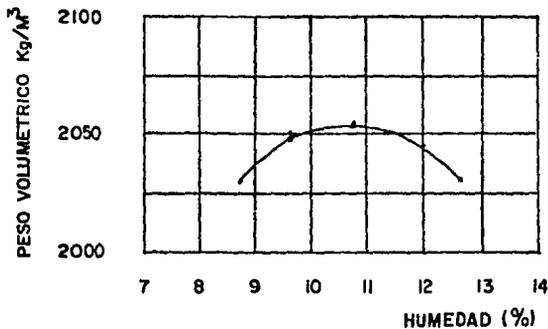
El molde empleado es un cilindro de 0.94 lts. ( $1/30 \text{ pie}^3$ ), de 10.2 cm. (4") de diámetro y 11.7 cm. (4.59") de altura, provisto de una extensión desmontable de igual diámetro y 5 cm. (2") de altura. El molde puede fijarse a una base metálica con tornillos de mariposa.

El pistón es de 2.5 Kg. (5.5 lb) de peso y consta de un vástago en cuyo extremo inferior hay un cilindro metálico de 5 ..

(2") de diámetro. Los golpes se aplican dejando caer el pisón-- desde una altura de 30.5 cm (12").

Dentro del molde el suelo debe colocarse en tres capas que se compactan dando 25 golpes, repartidos en el área del cilindro, a cada una de ellas.

Esta operación se lleva a cabo para diferentes contenidos de humedad, hasta determinar la óptima y el peso volumétrico seco máximo. Para cada contenido de humedad ensayado se determina el peso volumétrico seco y se grafican los resultados como se ve en la figura siguiente.



Prueba "Porter", esta prueba consiste en compactar una muestra de suelo dentro de un molde, acomodando el material con golpes de varilla en cuestión de tres capas iguales, la compactación propiamente dicha se lleva a cabo al aplicar con la máquina de compresión una presión de  $140.6 \text{ Kg/cm}^2$ , la cual se mantiene durante un minuto, después de esto se descarga el espécimen.

El molde empleado es de 15.24 cm. (6") de diámetro interior y 22.86 cm (9") de altura, provisto de una extensión desmonta--

ble de igual diámetro y 5 cm (2") de altura, tiene además una base con dispositivo para sujetar el cilindro.

Máquina de compresión con capacidad mínima de 30 ton. y - - aproximación de 100 kg.

Varilla metálica de 1.9 cm (3/4") de diámetro y 30 cm. de longitud, con punta de bala.

Placa circular para compactar, ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro, con diámetro de 15 cm.

Dentro del molde el suelo debe ser colocado en tres capas, con la punta de la varilla se le da a cada una de ellas 25 golpes uniformemente distribuidos en la superficie de la muestra.

Al terminar la colocación de la última capa, se toma el molde que contiene el material y se coloca en la máquina de compresión, aplicando lentamente carga uniforme de modo que se alcance en un lapso de 5 min. la presión de 140.6 Kilogramos entre centímetro cuadrado, equivalente a una carga de 26.5 ton., mantengase esta carga durante un minuto hagase la descarga en el siguiente minuto. Al llegar a la carga máxima revítese la base del molde, si esta ligeramente humedecida, el material ha alcanzado la humedad óptima de compactación y su peso volumétrico seco máximo.

Si no, es necesario repetir esta operación, aumentando o - disminuyendo el contenido de agua en cada nueva fracción representativa del material que se ensaye, hasta conseguir que la aplicación de la carga máxima coincida con una leve humedad en la base del molde. Una vez logrado esto, de la muestra ensaya ..

se obtiene el peso volumétrico y el contenido de agua que corresponde con los buscados.

#### Determinación de las propiedades expansivas del material

La expansión del material, por la absorción de agua durante la saturación, se mide de la siguiente forma:

Se compacta el material con la humedad óptima, hasta alcanzar el peso volumétrico seco y se mide la altura de la muestra.

Se coloca encima del material compactado un papel filtro o un cedazo fino.

Sobre el papel filtro se coloca una placa perforada que tiene un vástago graduable y además se colocan dos placas con agujero central que pesan 2.5 Kg.

Sobre el vástago de la placa perforada se coloca un extensómetro y se ajusta la lectura a cero.

Se coloca el cilindro con la muestra compactada, junto con el disco perforado y las placas, dentro de un recipiente con agua. Estando el molde dentro del agua. Esta deberá estar aproximadamente a nivel con el borde superior del molde.

Cada 24 horas, durante los cuatro días que permanezca el cilindro bajo el agua se toma la lectura con el extensómetro, para observar la expansión que ha experimentado el material.

Se calcula el porcentaje de expansión dividiendo la lectura total del extensómetro entre la lectura original de la muestra y multiplicado por 100.

Los suelos malos, como los demasiado arcillosos y los orgá-

nicos, suelen tener expansiones mayores del 10%. En este caso un material que tenga más del 3% de expansión no es recomendable. Las subrasantes de buena calidad tienen expansiones menores de 3%.

#### Determinación de la razón de Soporte de California

( C.B.R. )

##### o Valor Relativo de Soporte Estándar.

La prueba consiste en lo siguiente: después de saturada la muestra durante cuatro días, se saca el molde del agua, retirándose cuidadosamente el extensómetro, se inclina el cilindro (teniendo cuidado de que no se salgan las pesas) para que escurra el agua. Así volteado debe permanecer unos cuantos minutos. Luego se quitan las pesas, el disco y el papel filtro o cedazo, se pesa la muestra y se lleva a la prensa para medir la resistencia a la penetración, mediante la introducción del pistón de  $19.35 \text{ cm}^2$  ( $3 \text{ plg}^2$ ) de sección circular tal como se ha indicado ya con anterioridad. Antes de empezar la prueba de penetración debe asentarse el pistón sobre la superficie de la muestra con una carga inicial de 4.5 Kg. y luego colocarse el extensómetro a cero.

Se procede luego a la aplicación lenta (1.27 mm 0.05" por minuto) de cargas continuas y se anotan las cargas correspondientes a las penetraciones de 1.27 mm (0.05"), 2.54 mm (0.10") 3.81 mm (0.15"), 5.08 mm (0.20"), 7.62 mm (0.30"), 10.16 mm (0.40") y 12.7 mm (0.50").

La carga registrada para la penetración de 2.54 mm debe d

ser expresada como un porcentaje de la carga estándar de 1360 Kg ( $70 \text{ Kg/cm}^2$  para pistón de  $19.35 \text{ cm}^2$ ), y si la prueba estuvo bien hecha, el porcentaje así obtenido es la Razón de Soporte de California ( C.B.R. ) Estándar correspondiente a la muestra ensayada.

Este valor del ( C.B.R. ) se emplea para clasificar el material que forma la subrasante de acuerdo a la tabla siguiente.

C.B.R.	CLASIFICACION
0 -- 5	Subrasante muy mala.
5 -- 10	Subrasante mala.
11 -- 20	Subrasante regular. o buena.
21 -- 30	Subrasante muy buena.
31 -- 50	Sub-balasto regular o bueno.
51 -- 100	Sub-balasto muy bueno.

### SUB-BALASTO

El sub-balasto es aquel material que se coloca entre la terracería terminada y el balasto, con el propósito de dotar al balasto de una superficie de apoyo más firme que la que podría proporcionarle la subrasante, facilitando además el escurrimiento de el agua de lluvia que drena a través del balasto sin que se introduzca en el cuerpo del terraplén.

Esta capa de hecho forma ya parte de la superestructura, pues constituye un elemento que va en la parte superior de las terracerías, es decir arriba de la capa subrasante.

La superestructura o vía propiamente dicho es todo lo que se construye sobre la terracería y está formada por dos hileras de rieles sujetos a piezas transversales denominadas durmientes, que a su vez descansan sobre el balasto, a lo que hay que agregar los accesorios de la vía.

El uso del sub-balasto tiene su origen en la necesidad de reducir el costo de la vía férrea y mejorar las cualidades estructurales de las capas superiores de la terracería. Se emplea en los casos en que el material que compone el lecho de la vía es de escasa resistencia, el cual al humedecerse pierde su compacidad dando lugar a asentamientos, que provocan los golpes de vía, al incrustarse el balasto en el material soportante.

En una vía de primera clase el espesor necesario de balasto es fuerte, pues debe ser lo suficientemente resistente para soportar satisfactoriamente las pesadas cargas a que son sometidas dichas vías. Si se emplea en todo el espesor un material con las

mejores cualidades de balasto resultaría caro, en cambio si se forma la mitad del espesor total requerido con alguna clase de balasto más barata, que cubra la cama de la vía en todo su ancho, se reduce el costo además de que se da un mejor drenaje y soporte a la vía que utilizando un material de primera categoría en toda la zona de balasto.

La capa de sub-balasto está constituida por material granular selecto procedente de los cortes, depósitos naturales o rocas alteradas, generalmente sin ningún tratamiento previo a su utilización. En si puede usarse cualquier material que al compactarse adquiera mayor resistencia e impermeabilidad que el material que forme la subrasante.

Normalmente se exige que los materiales propuestos tengan buena granulometría, contracción lineal reducida, alto valor cementante y un valor relativo de soporte estándar mínimo de 30%, también se considera que el material que forme el sub-balasto debe impedir la incrustación del balasto, así como el ascenso del barro o lodo hacia la capa del balasto al paso de los trenes.

Los terraplenes de suelos granulares contruidos por capas y compactados con equipos adecuados, generalmente proporcionan una resistencia suficiente para reaccionar las cargas de la vía con tráfico, precisando tan sólo un espesor mínimo de balasto ( 20 cm ), bajo del durmiente.

Los suelos cohesivos son los que pueden ser hendidos o cortados por los durmientes y al hundirse estos y saturarse de hume-

dad ( de lluvias o freática ) se reduce su escaso valor inicial de soporte y se produce la destrucción del terraplén, 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 permisible por la corona de terracerías.

Para obtener el espesor total de balasto y de sub-balasto se emplea la fórmula siguiente derivada de las experiencias de A.R. E.A.

para un  $\phi = 30^\circ$

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

Donde

P presión admisible por el terraplén

$P_o$  varia de 2.5 a 4 kg/cm<sup>2</sup>  $P_o$  presión bajo el durmiente.

h espesor buscalo.

Esta fórmula no considera altas velocidades de trenes.

Ni tampoco impacto por alta velocidad.

Fórmula Europea.

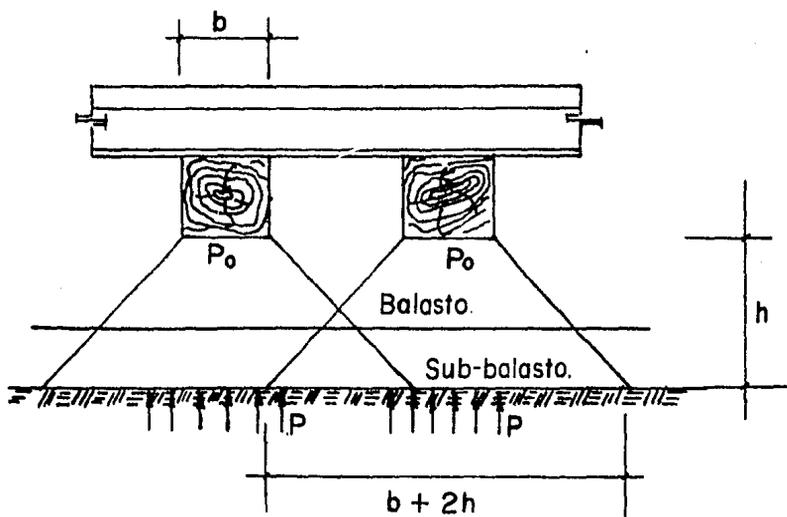
donde

Para  $\phi = 45^\circ$

b ancho del durmiente.

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

$P_o$  es la carga estática máxima de un eje repartida aprox. sobre tres durmientes nuevos, sin calzar el tercio central.



Considerando una carga de eje de 36 ton. y durmientes de 20 X 240

$$P_0 = \frac{36 \text{ ton.}}{2/3 \times 4 \ 800 \text{ cm}^2 \times 3 \text{ dtes}} = 3.75 \text{ Kg/cm}^2$$

para velocidades normales.

Si se considera que sólo trabajan 2 durmientes  $P_0 = 56 \text{ kg/cm}^2$ . En el caso de que se tenga una subrasante con una resistencia de  $5 \text{ ton/m}^2$  al esfuerzo normal de compresión, entonces  $P = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ . Despejando de la fórmula tenemos:

$$h = \frac{1}{2} \left\{ (b P_0 / P) - b \right\} = 0.5 \left( \frac{20 \times 5.6}{0.5} - 20 \right)$$

$$h = 0.5 (224.00 - 20)$$

$$h = 0.5 (204.00) = 102.00 \text{ cm.}$$

Lo que se soluciona empleando un espesor de balasto de 50

cm y el resto 52 cm con algún material granular de menor calidad de sub-balasto.

MATERIAL DE LA CAPA SUBRASANTE

Símbolo del suelo	Valor Relativo de Soporte estándar más frecuente.	Espesor del Sub-balasto requerido.
GW,GP,GM,SW	Mayor de 40%	No se requiere
GG,SP,SM,SC	de 20 a 40%	No se requiere
GL,ML	de 8 a 20%	30 cm.
OL,MH,CH	Menor de 8%	40 cm.

Tabla propuesta por la Secretaría de Obras Públicas.

Ya que el sub-balasto sirve para afinar las terracerías es aconsejable que sea construida en forma continua a lo largo de la línea y sólo un poco antes del tendido de la vía, para evitar su deterioro con el tránsito del equipo de construcción, aunque a veces es imposible impedir que sirva de superficie de rodamiento a los vehículos de aprovisionamiento y de supervisión y en algunas regiones hasta de camino provisional.

Cuando se haya verificado la necesidad de usar sub-balasto se escogerá el material más apropiado de la localidad o cercano dentro de los límites económicos de acarreo y deberá pasar por las pruebas que indique el laboratorio, el cual recomendará el espesor adecuado.

En la práctica la capa se forma con 20 ó 30 cm de escorias o arena que detienen el lodo que asciende y sella al balasto, el cual debe estar limpio para drenar correctamente y para p -

mitir un calzado o bateo frecuente que es indispensable para ni velar y compactar la vía.

En casos críticos es necesario hacer pruebas complementarias de resistencia al esfuerzo cortante de las muestras de sue lo compactado de la subrasante (C.B.R. Porter) que en la genera lidad de los casos de valores poco constantes.

#### BALASTO

El balasto es la capa de material escogido, compuesto de partículas duras, fuertes, durables y libres de materiales perjudiciales, que se coloca sobre las terracerías compactadas para dar apoyo a los durmientes y garantizar la estabilidad de la vía.

Como parte constitutiva de la superestructura de la vía férrea sus objetivos son los siguientes:

Confina los durmientes, oponiéndose a sus desplazamientos longitudinales y transversales, originados por el frenaje o la tracción del equipo, por el cabeceo, por las fuerzas centrífugas o por la sobreelevación excesiva en las curvas y en las vías soldadas por los considerables esfuerzos que se desarrollan con los cambios de temperatura.

Transmite la presión provobada por el peso de los trenes a la subestructura repartiendola uniformemente en su superficie, puesto que si los durmientes se apoyarían directamente en el terreno, estos se clavarían en él.

Drena la vía, facilitando el escurrimiento del agua de lluvia por entre los huecos de las partículas que forman el balas-

to hasta la superficie impermeable por donde escurre hasta la cuneta.

Mantiene a los durmientes nivelados y alimentados al paso de los trenes y hace posible el realineado, nivelación y elevación de la vía o bien la renovación de los durmientes sin tocar el lecho impermeable cada vez que se requiera.

Se puede decir que cualquier material de carácter superior al empleado en la formación de la corona del camino, que logre un drenaje adecuado y sostenga a los durmientes en posición correcta, puede ser aceptado como balasto.

Su elección está sujeta a factores económicos y de facilidad para obtenerlos.

En general el material que forme el balasto debe ser resistente, a la trituración, al desmenuzamiento y a los ataques del intemperismo.

Las partículas que forman la capa deben de tener ciertas di mensiones ya que si son muy pequeñas impiden un drenaje adecuado y no tienen una gran resistencia al desgaste por el contrario partículas demasiado grandes dificultan el calzado y encajan sus aristas en los durmientes de madera.

Los materiales más usados como balasto en orden decreciente de calidad son los siguientes.

Piedra triturada, Granito desintegrado, Escoria triturada, Grava lavada, Grava cribada, Grava de río, Grava de mina, Cenizas, Residuos de la trituración de piedras, Arena, Grava cementada, Escoria granulada, Tezontle.

## REQUISITOS DE CALIDAD PARA PIEDRA TRITURADA,

## GRAVA Y ESCORIA DE FUNDICION

- 1 Peso unitario máximo
- 2 Fatiga de ruptura máxima  $700 \text{ kg/m}^2$ ; mínima  $350 \text{ kg/m}^2$
- 3 En la prueba de solubilidad no debe aparecer decoloración en el agua.
- 4 En la prueba de desgaste o durabilidad, el material que pase la malla de  $1/2''$  no deberá exceder de 40%
- 5 La absorción no deberá exceder de 16 litros de agua por metro cúbico.
- 6 En la prueba de cementación, las muestras deberán dar un esfuerzo de compresión menor de  $0.28 \text{ kg/cm}^2$
- 7 No deberán encontrarse sustancias deletéreas en el balasto preparado, que excedan de las siguientes cantidades:

Partículas suaves y quebradizas	5 1/1
Material más fino que el que pasa;	
por la malla # 200	1 1/1
terrones de arcilla	0.5 1/1

La piedra triturada es el material que cumple en forma ideal los requisitos para formar la capa de balasto. Se obtiene principalmente de la piedra caliza, el granito y basalto, extrayendola de canteras y fragmentada por medios mecánicos.

De preferencia este material debe provenir de rocas pesadas,

duras, fuertes y durables, sin grietas, ni huacos y que no absorba agua, no se desintegre y este libre de sustancias y/o partículas perjudiciales.

La forma de las partículas debe ser poliédrica, de arista viva y debe ser mínima la cantidad de partículas laminares y aciculares.

Una uniformidad en las dimensiones es ideal y se recomiendan un tamaño de piedra de 2 a 6 cm., aunque en patios y vías secundarias se emplee un material de 0.65 a 2 cm.

Los F.N. DE M. especifican como balasto de piedra triturada aquellas que pasa de 100% la malla de 1 1/1 " y se retiene en la malla de 3/4".

Se usa primordialmente en vías de primer orden, ya que dicho material no se desintegra ni se desmenuza por efecto del tráfico o de los trabajos de conservación, sus caras filosas sujetan al durmiente a la vez que se presionan entre sí con las piedras adyacentes, conservando la vía firmemente alineada y nivelada.

Además la limpieza de este material resulta más fácil.

No obstante todas estas conveniencias se dificulta algunas veces el encontrar canteras cercanas a la vía que cumplan los requisitos necesarios, aparte de requerirse instalaciones y equipo de trituración así como de transporte.

La grava es otro material empleado comunmente como balasto al cual es una piedra que ha sido disminuida de tamaño por agentes naturales y posteriormente alisada y redondeada por la ac

ción de las olas en los mares o de las corrientes en los ríos, cuando este material está libre de tierra y de material no deseado o fuera de especificación forma un balasto de buena calidad sólo inferior o a la piedra triturada.

La grava debe ser lavada o cribada para quitarle la tierra, materia orgánica, etc.

Las normas de F.N. de M. aceptan grava para balasto, que pa se por la malla 3<sup>u</sup> y sea retenida en la malla de No. 10.

La escoria o grasa es el desperdicio resultante del proceso de fundición de los minerales, usualmente es el producto del venteo de un horno.

La utilización de la escoria como balasto, resulta muy conveniente cuando se cuenta con cantidades suficientes y bancos cercanos.

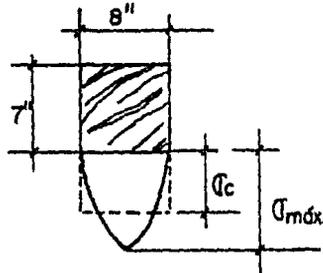
Entre sus ventajas están las de proporcionar un buen drenaje, que evita el crecimiento de la vegetación, no produce polvo y puede ser limpiado en la vía, aunque algunas variedades llegan a tener aristas tan filosas que cortan la superficie de apoyo de los durmientes blandos, por lo que respecta a su obtención estas escorias sólo se pueden encontrar en lugares donde existan altos hornos o fundiciones de hierro y acero.

### DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL BALASTO

Las presiones verticales contra el balasto situado debajo de los durmientes no se transmiten en forma uniforme, no sólo a lo largo sino también a lo ancho del durmiente.

La presión máxima en el eje del durmiente es aproximadamente de 1.6 veces mayor que su valor calculado como la relación entre la fuerza ejercida por el tren sobre el durmiente y el área de apoyo del mismo.

En los análisis teóricos, con el propósito de simplificar el problema, se considera que la distribución de presiones abajo del durmiente es rectangular.



Experimentos realizados con detectores de cuarzo indican que el durmiente bajo la carga soporta  $0.4 W$ , repartiendo a los siguientes durmientes  $0.2 W$  y  $0.1 W$  a los más distantes, esto es en el caso de que todos los durmientes esten bien calzados y en buen estado para reaccionar igual, estadísticamente se ha observado que estas cualidades tienen una permanencia muy breve en vías de tráfico fuerte.

En vías modernas contando con buen balasto, durmientes re

cien calzados a máquina y placa de asiento de hule, indican que hasta 7 durmientes cooperan para reaccionar, resultando menores fatigas al riel, al balasto y a los durmientes, independientemente de la gran reducción del efecto vibratorio que es absorbido en gran parte por la elasticidad de la placa de hule.

Para contrarrestar esta ausencia de reacción en algunos durmientes, se ha obtenido de promedios estadísticos que las vías pueden operar con límite de dos fallas ( una a cada lado de un apoyo fijo ), es decir, cargas al riel con claros dobles que producen cargas sobre el apoyo fijo de 65%

#### PROBLEMA

Encontrar la presión transmitida al balasto por la locomotora más pesada que actualmente circula en la red nacional, tomando en cuenta su peso por eje.

Locomotora Modelo DE-27             $W_n = 120.0$  Ton.

Peso por eje  $W = W_n/4 = 120\ 000$  kg/4 ejes = 30 000  
kg/eje

Factor de impacto por velocidad ( 105 km/H ) 1.16

La carga por eje será :

$$W_1 = ( 30\ 000 ) \times 1.16 = 34\ 800 \text{ kg.}$$

Suponiendo una descarga máxima de 0.65  $W_1$

$$0.65 \times 35\ 000 = 22\ 750 \text{ kg}$$

Utilizando durmientes de madera de 7" X 8" X 8' ( 0.18 X 0.20 X 2.44 m. ) con 50 cm de distancia uno del otro y calzándose sólo 2/3 partes de la superficie del durmiente en contacto

con el balasto.

El área apoyada por el durmiente será:

$$A = 2/3 \times 20 \times 244 = 3253.32 \text{ cm}^2$$

La presión máxima sobre el balasto será:

$$P_{\text{máx.}} = 22\,750 \text{ kg} / 3253.32 \text{ cm}^2 = 6.99 \text{ kg/cm}^2$$

La presión media sobre el balasto es:

$$P_{\text{med}} = 0.4 W/A = 0.4 \times 35\,000 / 3\,253.32 = 4.30 \text{ kg/cm}^2$$

#### ESPESOR DE BALASTO

El espesor de la capa de balasto debe ser tal que proporcione firme asiento a los durmientes y que distribuya uniformemente las presiones a la terracería, dicho espesor debe ser tanto mayor cuanto más intenso sea el tránsito en la vía y mayores las cargas y las velocidades de los trenes.

Para su cálculo se han empleado ciertas fórmulas obtenidas empíricamente, cuya base práctica se apoya en la resistencia de la subrasante ( C.B.R. ) y en métodos que garanticen para cada tipo de suelo que la formen una relativa permanencia de dicho valor de soporte. Se considera que la presión en la base del durmiente, se transmite a través del balasto según aproximados diagramas cónicos ( piramides ), cuyos taludes tienen una inclinación de 30 a 45 grados y con espesores suficientes para que los "bulbos de presión " de los durmientes colindantes, produzcan una presión uniforme, admisible por la subrasante o sub-balasto.

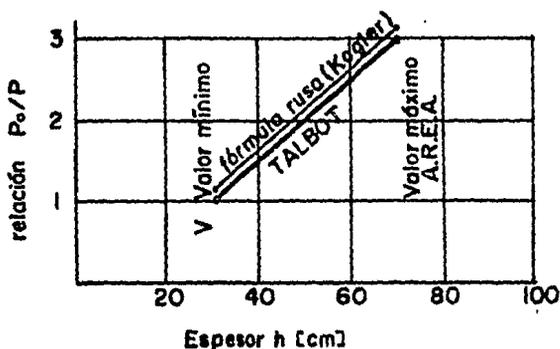
El problema con estas fórmulas es que las condiciones del valor de soporte de la subrasante son muy variables con la humedad ( compactación ) y tráfico que varía en sus velocidades y cargas.

Estas fórmulas difieren de las que se originan de las teorías elásticas, donde a la vía formada por rieles, durmientes, fijaciones, balasto, etc. se le asigna un módulo de rigidez constante, ante cargas variables en peso y en impacto.

De acuerdo con un estudio realizado por el Ingeniero López Pita de la Renfre es necesario reducir la rigidez vertical que produce un balasto de gran espesor. Pues según esta teoría los " golpes dinámicos " del tráfico, varían con la raíz cuadrada de la rigidez del balasto y ello demanda el empleo del espesor mínimo necesario, lo cual implica el uso casi exclusivo de terracerías con gran valor de soporte, lo que produce costos en ocasiones elevados y en otras prohibitivos al tenerse que construir vía en grandes regiones de suelo cohesivo, otro hecho importante es que si la subestructura de la vía no es rígida, su elasticidad y deformaciones limitan las cargas rodantes y las velocidades necesariamente.

El estudio de Renfre, analiza 3/4 de siglo de investigaciones realizadas para obtener el espesor del balasto y concluye que la mejor proviene de las tesis del investigador ruso Kogler, las cuales producen casi iguales resultados que las recomendaciones del profesor Talbot de los Estados Unidos, cuyas observaciones fueron realizadas hace más de medio siglo con base en el C.

B.R. En la figura siguiente se observa graficamente dicha comparación.



VALORES APROXIMADOS ESPESOR TOTAL SUB-BALASTO Y BALASTO.

En la actualidad no se ha encontrado una solución racional definitiva para el diseño de la sección de balasto, pero un análisis a los resultados de los experimentos realizados al respecto indica que la intensidad de las presiones disminuye a medida que el espesor de balasto aumenta, hasta llegar a un espesor en que las presiones se distribuyen uniformemente. En todos los casos este espesor es un poco mayor que la separación entre durmientes. Ahora bien considerando como factor importante la intensidad del tráfico, que se traduce en la frecuencia de aplicación de la carga viva y que las especificaciones exigidas para el sub-balasto y para la capa subrasante donde no se considera necesario el primero, son rígidas, se puede aceptar que estas capas soporten esfuerzos diferenciales, lo que disminuye sensiblemente los espesores necesarios.

En nuestro país en líneas cuyo tráfico no es muy intenso, un espesor de balasto de roca triturada entre 15 y 20 cm se ha usado con excelentes resultados.

La secretaría de Obras Públicas propone un espesor de 15 a 30 cm bajo el durmiente de acuerdo con el tonelaje anual que vaya a soportar la vía.

En lugares donde el espesor de la capa de balasto y sub-balasto resulte grande se recomienda que el espesor de balasto sea cuando menos igual a la distancia centro a centro entre durmientes.

Cálculo aproximado del espesor de balasto empleando la fórmula de Dressen para obtener la carga máxima.

$$P \text{ máx} = \frac{W X K}{h}, \quad n = \frac{d}{e}, \quad K = 1 + \frac{v^2}{30\,000}$$

Donde

W = carga por eje

d = ancho de la secc. de balasto

e = espaciamiento entre durmientes

v = Velocidad máxima.

Ejemplo. Consideremos una locomotora de 40 ton. de carga por eje, con base rígida de 275 cm; operando a velocidad máxima de 110 km/hora, la separación de durmientes es de 50 cm.

La presión en la base del durmiente esta en función de la carga máxima.

Sustituyendo valores tenemos.

$$n = \frac{d}{e} = \frac{275}{50} = 5.5$$

$$K = 1 + \frac{(110)^2}{30\,000} = 1.4$$

$$P_{\max} = \frac{W \times K}{n} = \frac{40 \times 1.4}{5.5} = 10.2 \text{ ton.}$$

Esta carga se aplica sobre 2/3 del apoyo del durmiente ( 20 X 20 X 240 )

$$P_0 = \frac{10\,200 \text{ kg}}{20 \text{ cm} \times 240 \text{ cm} \times \frac{2}{3}} = 3.2 \text{ kg/cm}^2$$

Para continuar es necesario identificar la presión permisible por la subrasante de acuerdo al tipo de suelo de que se trate.

Tipo de suelo	P
Para suelo cohesivo de mínimo soporte ( malo )	0.5 kg/cm <sup>2</sup>
Para suelo arenoso arcilloso ( regular )	1.0 kg/cm <sup>2</sup>
Para suelo bien graduado ( bueno )	1.5 kg/cm <sup>2</sup>
Para pedraplén o material selecto compactado ( excelente )	2.0 kg/cm <sup>2</sup>

Usando estos datos o preferentemente el mejor conocimiento de que se disponga sobre el valor de soporte de la terracería se deduce la relación (P/P<sub>0</sub>) con la cual podemos calcular el valor del espesor del balasto h<sub>1</sub> mediante la fórmula AREA.

$$P/P_0 = \frac{17}{h \cdot 1.25}$$

Supongamos para el ejemplo un terraplen de suelo arenoso ar

ciloso, por tanto  $P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$

Despejando h

$$h = \sqrt[1.25]{\frac{17}{\frac{P}{P_0}}}$$

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{3.2} = 0.31$$

$$h = \sqrt[1.25]{\frac{17}{0.31}} = 24.62$$

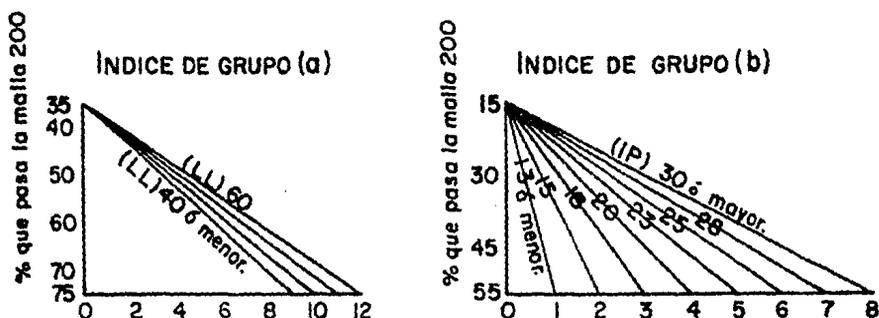
El espesor total de balasto más sub-balasto empleando la figura No.- sería de 70 cm correspondiente a  $P_0/P = 3.2$

Cálculo del espesor de balasto por el método simplificado ( adaptado para ferrocarriles ) del original " Índice de Grupo " del cuerpo de ingenieros de Estados Unidos de América.

Este método puede usarse experimentalmente por su simplicidad y regular apoyo estadístico, en tanto no se requiera mayor precisión y se garantice la permanencia de las condiciones LL e IP y CBR supuestos.

Considérese el % que pasa por la malla No. 200 que deberá estar comprendiendo entre 35 y 75% dado que se trata de suelos finos.

Determinese ( LL ) límite líquido ( entre 40 y menor ) hasta ( 60 ) usese el siguiente nomograma para encontrar parcial índice de grupo ( a ).



Obtégase ( IP ) índice plástico ( entre 15 y 50 límite ) y en el 2°, nomograma, encuentre el número complementario índice de grupo b.

La suma  $a + b$  es igual al índice de grupo ( IG ) el cual ha sido relacionado experimentalmente con el valor de soporte y comportamiento 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 carretera.

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

Ejemplo. Se tiene un terraplán de suelo fino en el que el 1/1 que pasa la malla # 200 es de 45, con un límite Líquido d.

40 y el índice plástico es de 30.

De las figuras y con % de 45 y LL de 40  $\Rightarrow$   $a=2$  ,  
con 45% que pasa malla # 200 y IP = 30  $\Rightarrow$   $b = 6$ .

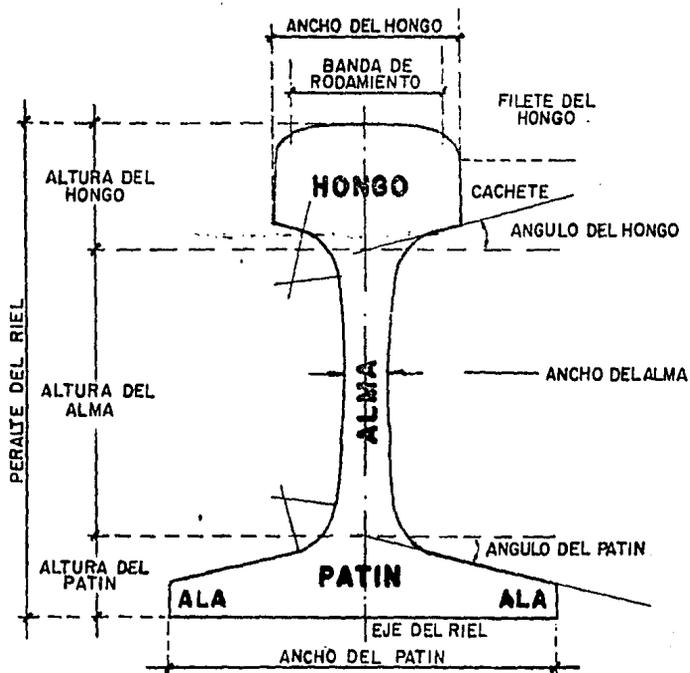
$$IG = 2 + 6 = 8$$

espesor para tráfico medio 60 cm.

## RIELES

Los rieles son barras de acero laminado que se utilizan en las vías de ferrocarril para soportar y guiar a los trenes y se colocan paralelos entre si sobre los durmientes a una distancia constante entre sus costados interiores denominada escantillón.

Las partes que caracterizan al riel son: el hongo o cabeza en la parte superior, el patín en la inferior y el alma del riel que une a las dos anteriores. En la figura siguiente se muestra la sección transversal típica de un riel con sus partes principales.



NOMENCLATURA DE LAS PARTES DE UN RIEL

Los primeros rieles que se usaron servían principalmente para guiar las ruedas de los trenes y tenían escasa rigidez en el plano vertical, posteriormente se fueron requiriendo rieles que trabajan mejor a la flexión y que transmitieran de manera segura y económica las cada vez mayores cargas del equipo móvil en evolución. De esta manera por medio de sucesivas correcciones a diseño inconveniente se llegó a la forma que conocemos actualmente propuesta por Stevens en E. U. en 1832.

El hecho de que su geometría no haya seguido desde su principio métodos puramente racionales se debe a la gran cantidad de factores indeterminados que afectan a las cargas estáticas y dinámicas que actúan sobre la vía.

El riel moderno es una estructura capaz de conducir las ruedas del equipo móvil, soportar las cargas producidas por éste y transmitir las a la mayor cantidad posible de durmientes además de poseer una forma tal que facilita su fijación a los durmientes y la unión de varios rieles en forma continua.

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 con apoyos deficientes donde puede fallar uno o más contiguos a los durmientes que soportan la carga analizada, produciéndose claros reales hasta del triple del normal espaciamiento entre durmientes.

## Funciones de las partes del riel

### Hongo del riel

Es la parte superior del riel, se distingue: por su anchura, su altura, el bombeo de la banda de rodamiento, radio de los filetes e inclinación de los cachetes.

Su función es la de proveer al riel de una superficie de rodadura que garantice la transmisión de las cargas desde las ruedas hacia su parte central.

El tamaño del hongo depende del desgaste previsible causado por las llantas de las ruedas, como por las cejas al rozar en las curvas.

La relación entre el ancho y la altura del hongo debe ser tal que el desgaste de los costados no obligue a quitar el riel antes de que haya que hacerlo por desgaste vertical. Dicha relación debe ser de 1.6 a 1.7 como máximo. El ancho debe ser un poco mayor que el de la rodadura de la rueda para disminuir la posibilidad de excentricidad en la transmisión de las cargas desde las ruedas hacia el riel.

La superficie de rodadura de los rieles no es plana sino combada con el fin de reducir el desgaste reciproco entre la rueda y el riel. Una superficie de rodadura plana produciría rebabas laterales que acabarían finalmente por exfoliarse y desprenderse.

La inclinación de los cachetes del hongo evitan el contacto entre la carga de la rueda y el hongo con lo que se disminuye el desgaste de ambos elementos, pero esto sólo es posible cua

do el carro va en tangente en curvas este contacto ayuda a contrarestar la fuerza centrífuga.

#### Alma del riel

Esta parte del riel ha sido diseñada no solamente con el fin de absorber los efectos del cortante sino también los efectos flexores que se producen por la acción de las cargas transversales. Ello ha conducido al diseño de almas con espesor variable siendo mayor en la base de la misma y también junto al hongo ya que el cambio brusco de la sección puede favorecer la acumulación de tensiones.

#### Patín del riel

El patín debe proporcionar al riel su máxima resistencia y una superficie suficiente para transmitir la presión al durmiente a través de placas metálicas, de hule o tablillas de madera además de darle estabilidad contra las fuerzas transversales que provocan su volteo.

La relación entre el ancho del patín y la altura del riel va ría de 0.78 a 1.0 y el ancho del patín es aproximadamente dos veces mayor que el ancho del hongo (aprox. 14 cm.).

La distribución del metal entre los elementos del riel debe guardar una proporción adecuada. Una de las que se han considerado como buena es la siguiente: Cabeza 40%, alma 22% y patín 38%.

El riel se identifica por su calibre y en el caso de que este no esté marcado en el riel, por su peralte o altura, ancho

del hongo y ancho del patín. El calibre es el peso por unidad - de longitud lbs/yd o kg/m.

Los calibres instalados en México son los comprendidos entre los de 40 lbs/yd a 115 lbs/yd. Con longitudes normales de 9.14m (30'), 10.05 m (33') y 11.89 m (39'), la elección del peso y calidad de un riel dependen de las condiciones de explotación de la línea, geometría de la vía, cargas por eje, velocidades de circulación y densidad de tráfico..

Una fórmula empírica para saber aproximadamente el peso del riel a usarse en una vía es la siguiente:

$$\text{Calibre del riel} = \frac{\text{Carga por rueda}}{350}$$

La vida útil del riel que es de 10 a 50 años, depende de numerosos factores como podrían ser: el tráfico y su velocidad, del calibre instalado, tipo de durmientes y su número, la calidad de los elementos empleados y su mantenimiento respecto del balasto, la nivelación y sobre todo de la supresión de impactos directos en las juntas, la reducción de vibraciones y el mejor alineado geométrico de la vía, entre otros.

## FABRICACION DE LOS RIELES

Los rieles de acero son el resultado de mezclar y laminar minerales básicos como el hierro, carbón, manganeso y silicio, junto con los cuales se encuentran minerales no deseados e impu rezas así como fósforo, azufre, gases y escorias.

El acero es obtenido de altos hornos que producen metal fun dido y se encuentra en grandes "ollas" o "cucharones" que poste riormente serán vaciados en una serie de moldes de hierro (lin gotera), en donde el acero en estado líquido se enfría y se so lidifica formando así los llamados lingotes.

Una vez que el acero de los lingotes se ha enfriado, se les quitan los moldes y se llevan a otros hornos especiales donde se les calienta hasta tener la temperatura requerida para el la minado.

El laminado consiste en hacer pasar el lingote por una serie de rodillos que lo desbastan y otros que le dan la forma de riel.

El lingote se corta en dos partes y de cada una de ellas se pueden obtener de dos a cuatro rieles, de acuerdo con la longi tud y la sección del riel que se vaya a producir.

Se puede resumir la fabricación de los rieles en las siguien tes etapas.

- 1) Producción del acero de rieles, que consiste en eliminar el exceso de carbón en el hierro colado y obtenerse la composi ción química necesaria. Finalizada esta etapa se tienen lingo-- tes de acero de rieles.

2) Obtención de un perfil de rieles predeterminado, con lo que se logran rieles brutos de longitud necesaria.

3) Tratamiento térmico y mecánico de rieles en bruto, al finalizar esta etapa se tienen rieles de una estructura y características mecánicas preestablecidas para el metal.

4) Ensaye de rieles, clasificación por calidad, estampado y marcado. Esta es la última etapa en donde se tienen rieles listos para ser usados.

El chequeo de la calidad de los rieles se efectúa prácticamente en todas las etapas de su producción. Se verifica la composición química del acero de los rieles, regímenes de su función, vaciado y laminación. Se efectúan también ensayos de rigidez de los especímenes y se controlan las dimensiones de los elementos del riel.

#### Requisitos Químicos.

El fierro dulce (de fundición) adicionado con carbón, silicio y manganeso respectivamente adquiere mayor dureza, evita porosidad y aumenta resistencia y flexibilidad.

La composición química del acero debe estar dentro de los siguientes límites.

ELEMENTOS	PESO NOMINAL DEL RIEL EN Kg/m		
	34.6 a 39.6	40.0 a 44.6	45.0 a 59.5
	%	%	%
CARBÓN	0.55 a 0.68	0.64 a 0.77	0.67 a 0.80
MANGANESO	0.60 a 0.90	0.60 a 0.90	0.70 a 1.00
FOSFORO (MAX)	0.04	0.04	0.04
SILICE	0.10 a 0.23	0.10 a 0.23	0.10 a 0.23

La determinación de los contenidos pueden hacerse química o espectrográficamente mediante muestras representativas: Uno de los tres primeros y otro de los tres últimos lingotes de tamaño natural de la hornada.

Para la producción de rieles se usa generalmente acero al carbón, aunque con menor frecuencia se utilizan aleaciones de acero especiales.

Cada mineral que conforma al acero le comunica propiedades particulares.

Carbono - a mayor cantidad de carbón contenido en el riel, este será más duro, pero se pondrá quebradizo.

Manganeso - aumenta la resistencia y la tenacidad.

Silicio - contribuye a la expulsión de gases al fundirse o laminarse el metal.

Fósforo - reduce su resistencia al impacto o golpeteo del equipo rodante. Por lo que se considera indeseable pues comunica fragilidad al someterse el metal a cargas de impacto, sobre todo a bajas temperaturas.

Azufre - causa roturas, sobre todo a altas temperaturas (durante la laminación) llegando a romperse a causa del alto contenido de este elemento.

El riel en curvas, debe contener alto silicio y alto carbono en cambio en vías expuestas a asentamientos el contenido de carbono debe ser bajo y en los extremos del riel que deba ser soldado, tiene que ser de acero normal.

### Requisitos físicos.

De cada lingote se toma un espécimen en el que se practican ensayos mecánicos de ductilidad y resistencia al impacto. Dicho ensayo consiste en combar un pedazo de riel de sección completa apoyado sobre dos soportes, por la acción de un martinete de una tonelada de peso y midiéndose posteriormente la flecha.

Los especímenes de prueba miden entre 122 y 183 cm. de longitud y su temperatura no debe exceder de 38°C.

La distancia entre soportes es de 91 cm. para secciones de peso menor de 57.6 kg/m. y de 122 cm. para secciones de 52.6 kg/m. a 69.4 kg/m.

Durante este ensaye el riel no debe agrietarse y la flecha de deformación plástica no debe exceder de su valor límite.

La altura a la que se deja caer la maza o martinete, varía según los pesos nominales de los rieles como se indica a continuación.

PESO POR METRO EN KG.	ALTURA DE CAIDA LIBRE METROS
34.6 - 39.6	5.18
40 - 44.6	5.49
45 - 49.6	5.79
50 - 59.5	6.10

Con el objeto de poderlos identificar en cualquier momento los rieles son marcados en los costados de su alma al pasar por el último rodillo de laminación.

Dichas marcas proporcionan la información siguiente.

I

100	RE	CC	COLORADO	1958	III
-----	----	----	----------	------	-----

100 -- Peso o # de sección del fabricante (ca  
libre)

RE -- Tipo de riel ( Diseño A.R.E.A. )

CC -- Enfriamiento controlado

COLORADO -- Fabricante

1958 -- Año de laminación

III -- Mes de laminación

En la cara opuesta a la anterior se indica lo siguiente:

I

CH	62346	D	17
----	-------	---	----

CH Puntas endurecidas

62346 El número de la colada

D Indica que fue el cuarto riel del lin-  
gota.

17 Número del lingote

Estas marcas son de mucha importancia para mantener un con-  
trol de calidad en el caso de que se reporten rieles defectuo-  
sos.

Los rieles nuevos son pintados en sus extremos con el propó-  
sito de clasificarlos según su calidad y posible uso.

Extremos sin pintar ( Bajo carbono )

Son rieles de primera clase que pueden ser usados en tangen-

tes y curvas suaves ( $4^{\circ}$ 6 menos)

Extremos pintados de Azul (ALTO CARBONO)

Son rieles de primera clase se utilizarán principalmente en curvas de fuerte curvatura (mayores de  $4^{\circ}$ )

Extremos pintados de Amarillo (RIEL "A")

Son rieles de primera clase procedentes del extremo de un lingote, se utilizarán exclusivamente en tangentes.

Extremos pintados de Verde (RIEL CORTO)

Son rieles de primera clase con longitudes menores a la estandar (39') y son utilizables en curvas y para fabricación de herrajes de cambio.

Extremos pintados de Blanco (RIEL CORTO)

Son rieles de segunda clase y son aquellos que presentan entubamientos, segregación u otros defectos, se colocan en tramos rectos, donde circulen trenes de carga a velocidades bajas.

Recomendaciones para el manejo de rieles. Los rieles que forman parte de largos rieles soldados, no se pintan en sus extremos ni tampoco se les endurecen las puntas.

Los rieles nunca deberán ser cortados usando flama de oxiacetileno, deberá usarse seguetas mecánicas o romperlos mediante tajadera, haciendoles previamente una muesca, los cortes en cualquier caso, deberán ser limpios, lisos, encuadrados y sin rebordes que dificulten el ajuste de las planchuelas.

Defectos de los rieles.

El riel durante su vida útil va deteriorandose ya sea por defecto de fabricación o por la acción dinámica a que está suje

to. Dicho deterioro se manifiesta físicamente por la aparición de pequeñas fisuras o deformaciones en el cuerpo del mismo.

Independientemente de la magnitud del daño un defecto en el riel representa peligro para los trenes en movimiento y requiere una renovación inmediata en vías de gran densidad de tráfico.

Los defectos pueden ser externos, es decir, cuando se ven a simple vista o internos que revisten mayor peligrosidad, ya que al no ser fácilmente observable, el riel puede considerarse como en buen estado y sin embargo llegan a provocar accidentes.

Las fisuras invisibles generalmente provienen de un defecto del enfriado al laminarse el riel sin control o de alguna burbuja de gas o escoria del fundido.

A este tipo corresponden, las fisuras transversales, compuestas y Desconchado; que se producen en el hongo. En estos casos el núcleo o grieta original se va acrecentando como los anillos de crecimiento de un tronco de árbol, las fisuras rápidas separan sus anillos con distancias crecientes en tanto que las lentas marcan anillos con separación uniforme hasta ocupar casi la totalidad del hongo.

Asimismo tanto el entubamiento como las fisuras centrales del alma son defectos interiores del riel pero existen casos en los cuales pueden detectarse por su aspecto exterior.

Las fisuras centrales cuando llegan al exterior, marcan grietas. En otros casos la fisura interior se oxida con el agua y la superficie del riel se mancha de óxido rojo morado que acusa

el defecto.

En zonas con fuerte humedad la fisura del alma termina por agrandarse y forman el riel entubado.

Existen otro tipo de daños que son el resultado de alguna acción imprevista e inadmisibles ejercida sobre el riel, tales acciones pueden ser originados por un equipo móvil defectuoso o por el personal de mantenimiento.

El manejo del riel al descargarlo se debe hacer evitando golpes que puedan fracturarlo.

Al clavar al riel debe emplearse a gente con experiencia para evitar golpes al patín, los que muy frecuentemente producen roturas.

Otra de las causas importantes de afectación al riel es el desgaste originado por el contacto de las ruedas con las superficies de rodamiento del riel en condiciones extraordinarias, pues este efecto daña al riel en puntos específicos a diferencia del desgaste normal que es uniforme.

El desgaste y rotura de llantas, las aplanaduras producidas por el patinamiento del tren motriz al arrancar (quemadura), frenajes bruscos, desgaste de los cachetes del hongo por fricción con las cajas de las ruedas (filete) o el escurrimiento de la banda de rodadura (riel sudado) son claros ejemplos de lo anterior.

En las curvas los desgastes a que son sometidos los rieles son aún mayores.

Normalmente el borde del hongo se desgasta rápidamente y e

necesario invertido para usar el filete del lado opuesto.

La falta de sobre elevación, corta el hongo ocasionando "grieta vertical" en una longitud considerable, desconchando el filete, o escurriendo la banda del hongo hacia el lado de afuera de las curvas.

La separación del alma y el hongo se produce por: la velocidad excesiva en curvas. Una inclinación inapropiada del riel o bien el exceso de grava en los cruceros, da lugar a que el hongo cargue el peso de los trenes en forma dispareja apareciendo pequeñas grietas o arrugamientos en la unión del hongo y el alma, que crece rápidamente cuando el riel es volteado punta por punta.

Los defectos de fatiga surgen como resultado de la influencia cíclica y repetida de las ruedas.

Se ha observado que las fallas de rieles coinciden generalmente con defectos del control de enfriamientos y aceros con alto contenido de carbón además de la corrosión por gases industriales, brisa de mar, humo en túneles, etc.

El daño puede ser ya demasiado grande cuando la grieta resulta visible, por lo que el defecto debe ser localizado con anticipación realizando inspecciones frecuentes.

El sondeo de los rieles se hace por medio de detectores magnéticos o de sonido, que registran las variaciones del flujo emitido al pasar sobre un tramo de riel fisurado o agrietado en su interior. Existen detectores portátiles que emplean sonido para la localización de fallas y se puede revisar con ellos un

tramo de 10 km. por día.

El carro detector Sperry emplea flujo magnético y tiene una capacidad de 200 km diarios, localizando, registrando y marcando con pintura, el lugar defectuoso y la cuantía del daño con gran precisión.

Se utiliza pintura roja para indicar daños graves e irreparables y pintura amarilla para casos en que haya que cambiar el riel defectuoso a vías laderos y patios de segundo orden.

## DURMIENTES

Se llama durmientes o traviesas a los elementos de madera, concreto o mixtos, que se colocan transversalmente a la vía sobre el balasto, para anclarla y proporcionar a los rieles un soporte adecuado.

Su función es la de repartir al balasto lo más uniformemente que sea posible las presiones que los trenes transmiten a los rieles, mantener la distancia correcta de escantillón y proporcionar una forma sencilla de conservar la vía alineada y nivelada, además de impedir cualquier tipo de desplazamiento de la misma.

Un buen durmiente debe reunir ciertas características; una vida útil alta comparable de ser posible a la duración del riel, resistencia a los esfuerzos estáticos y dinámicos producidos por el paso de los trenes, proporcionar una adecuada sujeción al riel, tener un costo anual de conservación mínimo.

La geometría esta en función de la resistencia del material de que esten constituidos, de la economía de construcción así como del ancho de vía.

El espaciamiento a que son colocados varía según el tipo de vía de que se trate, el material de que esten hechos y la intensidad del tránsito.

La separación mínima esta definida por ser aquella que permita un buen calzado del balasto bajo los durmientes (bateo) empleando herramientas de mano. Operación que requiere un espacio libre de 25 cm entre durmientes adyacentes lo que da una separa

ción de 45 cm a ejes.

La separación máxima la determinan las cargas por eje, la flexión del riel y la naturaleza de la plataforma, aunque la práctica usual es limitar el espacio entre paños contiguos a 45 cm.

El trabajo mecánico de un durmientes no se limita a los esfuerzos de compresión y de flexión, que se producen en condiciones normales de trabajo, sino que incluye también fatiga de material y desgaste por fricción con la caja de balasto.

El anclaje de los durmientes en el balasto debe ser firme, para evitar la posibilidad de desplazamiento lateral, fenómeno de considerable peligrosidad.

El chicoteo o desplazamiento lateral se genera cuando la compresión del riel por temperatura es excesiva o se complementa con alguna condición accidental como pudiera ser un frenaje brusco, serpenteo del equipo móvil y en curvas por la fuerza centrífuga.

## DURMIENTES DE MADERA

La madera constituyó por muchos años, el material básico para la fabricación de durmientes, aunque en la actualidad su uso es todavía frecuente, paulatinamente se ha ido incrementando la preferencia por los durmientes de concreto, ya que tienen mayor resistencia, mayor vida útil y no se trata de un recurso natural no renovable como es el caso de la madera.

Existen dos tipos principales de madera para la fabricación de durmientes: las de fibra suave y las de fibra dura, las primeras son por lo general de poco peso, de fibra recta, se rajan fácilmente, contienen bastante resina y se obtienen de árboles con hojas en forma de agujas, como el pino resino ponderosa, pino ocote, cipres y el abeto. En cambio las maderas duras provienen de árboles que tienen hojas ordinarias como el castaño y las tropicales: chicozapote, mora quebracha, tepeguaje, jabin, etc. Todas las variedades anteriores tienen como característica ser más pesadas, con fibras más fuertes y resistentes, aunque tienden a torcerse y a formar grietas al sazonarse. También se obtienen durmientes de maderas semiduras como encino y laurel - que tienen características muy similares a las de madera dura.

Las ventajas de los durmientes de madera son las que se enumeran a continuación: Se pueden labrar fácilmente, su manejo resulta sencillo por su poco peso, poseen características aislantes, son flexibles, soportan bien las grandes tensiones y el efecto químico del aire, además ya instalados en la vía se batean y reparan fácilmente.

Entre los inconvenientes podemos citar los siguientes: Una vida relativamente corta ( en particular de los durmientes no tratados ), están expuestos al deterioro por parte de ciertos insectos (termitas) de los hongos y del fuego, el desgaste y la pudrición acelerandose con el tiempo dificultan el mantenimiento, el costo por durmiente se ha elevado debido a que se han disminuido mucho nuestras reservas de madera.

Los durmientes son de sección rectangular y sus dimensiones reglamentarias son: 18 cm de grueso; 21 cm de ancho; 244 cm de largo (7"X8"X8') como mínimo y 19 cm X 21 cm X 250 cm como máximo.

Además deberán ser rectos, con sus partes superior e inferior paralelas, bien labrados o aserrados, cortados en ángulo recto en los extremos y sin cortesa.

Se considera que un durmiente no está bien labrado cuando sus superficies están desiguales o prestan entalladuras de más de 13 mm de profundidad.

Un durmiente se considera recto cuando una línea recta trazada desde el centro de uno de sus extremos hasta el centro del otro y sobre la parte superior, queda enteramente dentro del durmiente. Se consideran paralelas las superficies superior e inferior cuando la diferencia en el espesor de los costados o extremos no exceda de 13 mm.

Las fibras de la madera deberán ser rectas compáctas y duras. Deberán estar libres de todo defecto que perjudique su fuerza o durabilidad, como hendiduras, rajaduras, pudriduras

grandes, huecos o nudos numerosos.

La selección de los durmientes que formarán la vía debe hacerse desechando aquellos durmientes que tengan pudridura, hueco grande o huecos numerosos, entendiéndose como hueco grande - aquel de más de 1.3 cm de diámetro y 7.6 cm de hondo, en el interior del durmiente, o más de 2.5 cm de diámetro por 7.6 cm de hondo, que de al exterior del mismo, hueco numeroso se refiere a cualquier número de huecos que sean igual en su efecto perjudicial a un hueco grande.

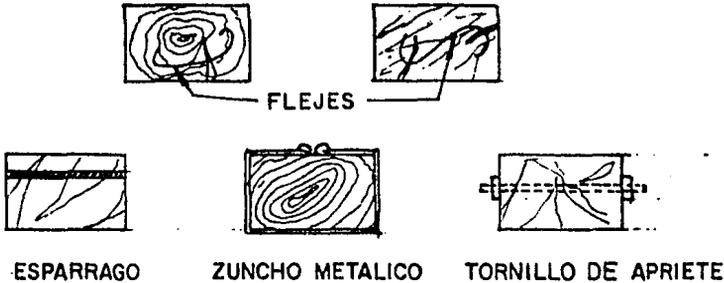
Se rehusarán los durmientes que contengan nudo grande, o sea cualquier nudo cuyo diámetro promedio exceda una cuarta parte del ancho de la superficie donde se encuentre. Se aceptará - el nudo cuando sea sano y se encuentre en los extremos de las secciones, entre 0.50 y 1.00 m del centro del durmiente.

Tampoco serán aceptados aquellos durmientes que tengan rajaduras más grandes en longitud que la tercera parte del ancho del durmiente o de más de 3 mm de ancho, debe comprenderse como rajadura a la separación de los anillos de crecimiento anual de la madera.

Una hendidura es una quebradura a través de dichos anillos de crecimiento. Se rechazarán aquellos durmientes que contengan hendiduras de más de 20.3 cm de largo o de 3 mm de ancho o de - 5 mm de profundidad.

La duración de los durmientes se puede aumentar mediante una armadura que corrija los defectos mencionados anteriormente como pueden ser tirafondos especiales, zunchado de los extremos,

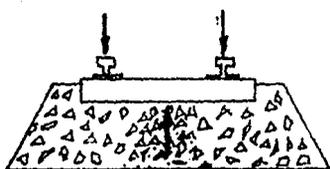
esparragos de madera o clavado de grapas en los extremos.



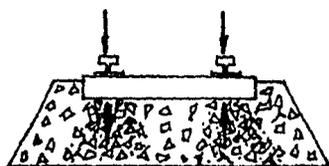
#### ARMADURAS TÍPICAS EN DURMIENTES DE MADERA.

En lo que respecta a esfuerzos, la madera proporciona durmientes capaces de absorber de manera excelente los momentos negativos, que se presentan al centro del mismo, bajo cargas normales de trabajo y aún otras complejas de formaciones imprevisibles, producidas por la falta de compactación y drenaje adecuados de terraplenes y sub-balasto.

Es conveniente que el asiento del balasto sea más consistente en las partes del durmiente cercanas a los rieles, preferentemente en una zona de 30 a 40 cm alrededor de estos, ya que de no hacerse de esta manera, si los durmientes están bateados en toda su longitud, el aflojamiento del balasto bajo los rieles ordánadamente produce presión central, con momentos negativos y rotura por la mitad del durmiente.



BATEO DEFICIENTE



MEJOR ACOMODO DEL BALASTO.

Este mismo efecto se produce por la falta de banqueteta, ya sea que esto se deba a deslizamientos del material o al gradual deslave de los taludes del bordo.

Las más frecuentes fallas, ocurren bajo los rieles y en gran parte se producen por el balasto sucio que pudre los extremos.

La vida útil del durmiente es un concepto variable que depende del confort y seguridad, además de velocidad y cargas para cada tipo de subrasante, sub-balasto, balasto, clima y hasta de insectos y otras causas de destrucción.

En México se considera que es de 18 años para durmientes de pino y maderas semiduras cretosadas, para los tráficos moderados actuales, con reducidas velocidades y escaso balasto.

La calidad de una vía con durmiente de diversas edades, se mide en función del número de durmientes en estado de prestar buen servicio, necesitándose un 90% en buen orden para las vías de primera clase y tolerándose de 15 a 25% en mal estado, para las vías de menor tráfico.

A medida que aumenta el % de durmiente en mal orden, aparecen

temente se incrementa la vida útil promedio, pero claramente se observa que en estos casos la conservación diferida requiere pe  
riódicas rehabilitaciones intensivas.

El durmiente de madera se marca con una raya de crayón amarillo cuando es notoriamente corto el saldo de su vida útil ( 1 año) y deben evitarse largos tramos con esos durmientes de resistencia insuficiente, en especial en las curvas y extremos de rieles (llantas) y todo lugar crítico como proximidades a cambios, puentes, etc.

Cuando el durmiente suena hueco y suelta al clavo (además de rajaduras o destrucción de los bordes de la placa o del partín) se marcan con dos rayas y debe ser retirado con urgencia para desecho, dado que aún no usamos métodos de recuperación mediante cinchado ó taquetes de madera dura injertados.

Debido al buen comportamiento mecánico de la madera podemos asegurar que existen tramos que precisan durmientes de este material tales como terraplenes angostos por deslaves, vías provisionales, tramos con fuerte curvatura, etc. cabe aclarar que en los casos anteriores se somete a los durmientes a esfuerzos inaceptables para el concreto con placa única de hule requiriéndose placas de acero adicionales.

La red actual de 23 000 km de vías troncales y ramales (incompletos) consume por lo menos el 7% anual de la dotación total de durmientes, o sea 130 durmientes por cada km en cada año según una tasa que deberá incrementarse por velocidades y tráfico creciente además del aumento de kilometraje (3000 k) para

completar la red básica mínima.

El uso racional de durmientes de madera en nuestras vías es indispensable y requiere de un análisis económico integral, para evitar en lo más posible el dispendio en precios subsidiados en comparación de el producto de la madera industrializada (muebles, construcción, decoración, celulosa, etc.) y disminuir el serio problema de la tala irracional.

Tratamiento preservativo de los durmientes.

Muy comúnmente es necesario someter a los durmientes a un proceso preservativo para evitar que se hagan inservibles debido al desgaste mecánico y principalmente al proceso de pudrición, ambas acciones se desarrollan al mismo tiempo y se intensifican recíprocamente.

Estos tratamientos han hecho posible que muchas maderas que anteriormente se consideraban inútiles para usarse como durmientes, se puedan emplear en la vía de manera confiable.

Hoy, casi cualquier clase de durmiente tratado, tiene una vida útil que oscila entre los 15 y 25 años y muchos de ellos se desgastan antes de pudrirse.

El método más práctico que se ha descubierto para evitar la putrefacción de la madera, consiste en introducir en ella alguna sustancia que destruya la vida de los organismos que ocasionan dicha pudrición. De un gran número de preservativos experimentados, los que mejor han respondido a una aplicación práctica son: el sulfato de cobre, el cloruro de zinc, el bicloro de mercurio y la cresota obtenida de la destilación de el alqui-

trán de hulla.

El tratamiento se realiza de la siguiente manera: Una vez que se ha seleccionado la madera, se somete a un secado o sasonamiento de la misma, para posteriormente enmuescar y perforar.

Dicho enmuescado se lleva a cabo con el fin de que los durmientes ofrezcan una superficie uniforme a los rieles y las perforaciones tienen por objeto facilitar la inserción de los clavos o tornillos que sujetan al riel.

Todo el material se acomoda en vagonetas que son introducidas a un tubo de acero llamado retorta. Cuando esta lleno el cilindro o autoclave se cierran las compuertas herméticamente y se inicia la extracción del aire encerrado en el cilindro, esta acción tiene por objeto extraer la mayor parte de la humedad que haya quedado en la madera. Una vez que se ha hecho el vacío, se hace trabajar a las bombas en sentido contrario e inyectan aire seco a una presión de 4.93 a 5.63 kigs/cm<sup>2</sup> (70 a 80 lbs/plg<sup>2</sup>) y se mantiene por espacio de 20 a 30 minutos.

En este punto se inyecta el impregnante incrementando la presión hasta un límite que varía entre 12.67 y 14.09 kigs/cm<sup>2</sup> (180 a 200 lb/plg<sup>2</sup>).

El material de impregnación es una mezcla de cresota y un aceite especial que se llama impregnoi (derivado del petroleo). La mezcla se hace por partes iguales, se mantiene esta presión durante algunas horas (4 ó 5) las necesarias para asegurar la retención y penetración deseadas de acuerdo al tipo de madera a tratar.

Se ha observado que para conseguir buenos resultados en la impregnación la retención deberá ser de 35 litros por metro cúbico. (7 lbs/pie<sup>3</sup>).

Se hace un vacío, con el fin de que sea arrojado el excedente del preservativo que haya quedado en la madera. Al terminar esta etapa se restablece la presión atmosférica dentro del cilindro, con lo cual se está en condiciones de sacar las vagone-tas y entongar los durmientes ya tratados en los patios de almacenamiento.

#### DURMIENTES DE CONCRETO

De acuerdo a su forma se dividen en: Durmientes monoblock, mixtos, articulados y en celosía.

Los durmientes monoblock están compuestos por una sola viga de concreto con sección constante o variable y pueden ser armados con acero de refuerzo o con acero a pre-esfuerzo.

El inconveniente de los durmientes no tensados es que son muy pesados, requieren mucho armado y están expuestos al surgimiento de rajaduras, es por esto que se prefiere a los pre-esforzados.

El concreto de un durmiente pre-esforzado debe resistir entre 700 y 800 kg/cm<sup>2</sup> a la compresión y 80 kg/cm<sup>2</sup> a la tensión, precisando agregados pétreos de gran dureza. El acero del armado tiene un límite elástico de 1 4000 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia a la ruptura es del orden de 16 000 kg/cm<sup>2</sup>; el alargamiento a la ruptura es de 6%.

Es importante mencionar que las fisuras existen a través --

del tiempo en servicio, pero la fuerza del pretensado las mantiene cerradas e invisibles.

#### DURMIENTES DWIDAC

Este tipo de durmiente desarrollado en Alemania por los señores ingenieros Karig y Hermán Meier.

Capitaliza en su diseño todas las posibilidades de economía. Los modelos B-55 y B58 son una robusta y correcta solución resistente de los esfuerzos, dentro del límite económico estrictamente calculado.

De acuerdo con los momentos flexionantes empleados en el análisis del durmiente como estructura, es necesario disponer en la vía de una base regular de balasto similar a las condiciones de proyecto, esto es con el objeto de no incurrir en fatigas considerables y frecuentes; en especial, es preciso impedir el contacto central del balasto con la base del durmiente.

Tanto el B-55 como el B-58 soportan cargas de 30 ton por eje que fatigan al balasto en la base del durmiente (Po) con 10 hasta  $13 \text{ kg/cm}^2$  según se trate de condiciones normales o de cargas con gran impacto y excentricidad.

Estos durmientes se usan en líneas de tráfico pesado y para vías de curvatura pronunciada, tienen una sección trapezoidal con base de 140 a 170 mm. en la parte media, con una longitud de 2.30 m y un peso de 240 kg.

El pretensado de este durmiente es proporcionado por dos varillas de acero de  $3/4"$  de diámetro que reciben cada una un esfuerzo de  $4\ 900 \text{ kg/cm}^2$  y que corresponde a una tensión dada

acero de 13 ton.

El durmiente Dividag B-53 es un diseño más económico que -- los anteriores y no debe ser usado en vías de primer orden, ni exponerse a grandes esfuerzos por curvatura y pendiente en vías de 2° orden, ni usarse donde no exista buen balasto y menos aún exponerlo a quebrarse en zonas de escaso valor de soporte debido a los grandes momentos flexionantes que se producen en esas zonas. Su vida útil sin embargo es mucho mayor que la de los -- durmientes de madera; puede ser hasta de 35 años.

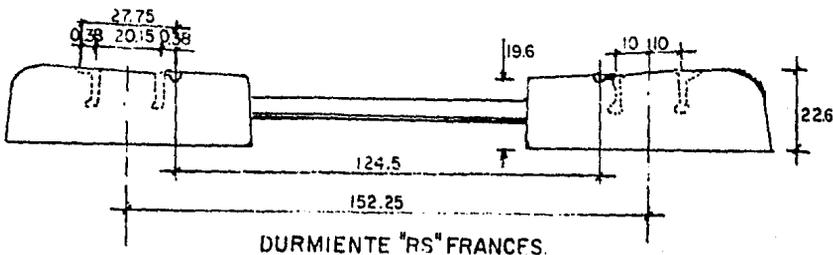
Se admite un esfuerzo a la compresión en el concreto de 500 kg/cm<sup>2</sup> con lo que se ahorra en costo por agregados de alta resistencia y cemento.

#### DURMIENTES MIXTOS DE CONCRETO Y ACERO

Son los más usados en la actualidad. El diseño de dos blocks (por durmiente) ligados por una barra ligera de fierro, evita los esfuerzos en lugar de resistirlos.

Este tipo de durmiente resulta más económico que el de concreto, el más empleado es el de diseño francés llamado durmiente R-S y el SL.

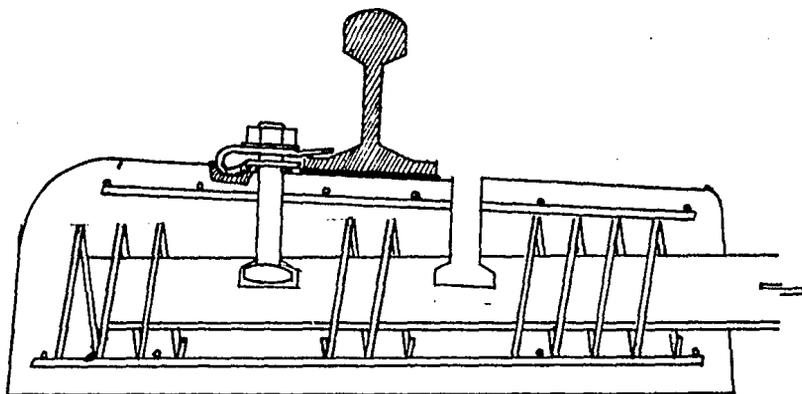
Los blocks son de (22X29X72 cm), con inclinaciones en la parte superior hacia el centro de la vía 1:40 y achaflanados para el apoyo de los rieles



El concreto empleado en estos blocks debe resistir 400 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, por lo cual resulta factible el uso de casi cualquier agregado de rocas de dureza normal, necesitando sólo 25 kg/cm<sup>2</sup> a la tensión.

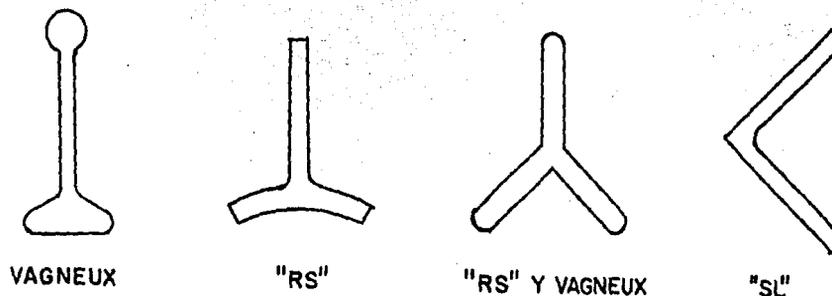
La relación agua-cemento, es de 0.3 debiéndose vibrar el concreto al colar los blocks, el volumen de concreto por cada durmiente es de 0.08 m<sup>3</sup>.

El refuerzo esta formado por 2 parrillas de 4 varillas cortas de 5/16" con separadores de alambrcn, ligados adem1s por un ~~zunchado~~ zunchado helicoidal de 3/16" de diámetro y paso de 4 cm el acero de refuerzo pesa menos de 7 kg por durmiente.



ACERO DE REFUERZO EN BLOCK.

El elemento de unión lo constituye una barra ligera de fierro (ángulo, tubo, etc.) como se ve en la figura.



#### BARRAS SEPARADORAS PARA DURMIENTES MIXTOS.

La barra de unión tiene dos metros de longitud y su peso -- fluctua entre los 9 kg para tráficos livianos y en regiones de baja oxidación hasta los 15 kg. para tráficos pesados o vías -- clase A.

Estas barras tienen 3 veces más acero que el requerido por los esfuerzos, como margen de seguridad en prevención de la oxidación y los descarrilamientos.

En teoría la oxidación necesaria 50 años para hacer peligrar en condiciones normales, la resistencia requerida según -- pruebas aceleradas realizadas en este tipo de barras, pero en -- la práctica se ha comprobado que después de cierto tiempo aparecen pequeñas grietas entre el concreto y la barra de unión que originan oxidación de esta última por lo que es conveniente la aplicación de pintura ahulada (tipo Sylpyl) o de algún galvani-

zado económico para las zonas de gran humedad.

Los esfuerzos a que están sometidos estos durmientes son bajos, los blocks trabajan como zapatas que transmiten presiones casi uniformes al balasto, en tanto que la barra no recibe reacciones importantes del balasto a causa de su pequeña sección y de admitir cierta flexibilidad elástica sin afectarse la medida del escantillón.

Los durmientes se prueban mediante la aplicación de una carga de 30 ton por block bajo la cual el elemento debe flexionarse sin que se presente grieta alguna. También se comprueba la resistencia a la abrasión del concreto mediante el vibrogir pues dichos blocks al tenderse y ahogarse en el balasto sufriran desgastes al paso de los trenes por fricción de sus caras con las aristas del balasto.

Durante el montaje el manejo de los durmientes debe hacerse evitando la flexión de la barra de unión.

En este tipo de durmientes, se deben usar fijaciones elásticas, de las cuales existen varios tipos como son: "HM", "K" con placa nervada, "Pandrol" y "R N" para vía principal, en vías de empalme es factible el uso del clavo elástico.

Ventajas de los durmientes de concreto.

Entre las ventajas tenemos: Posibilidad de fabricarse en lugares próximos a su empleo, lo que repercute en ahorro por concepto de transporte; su vida útil es alta, lo que permite renovación integral de la vía, incombustibilidad y su insensibilidad a los agentes atmosféricos, su peso aumenta la estabilidad

de la vía, el número de durmientes por kilometro es menor.

Como inconvenientes podemos citar que: su costo es alto, requieren de un control de calidad estricto en cuanto a fabricación y materiales, los elementos de sujeción son caros, no pueden utilizarse en curvas de radios menores de 300 m; en caso de descarrilamiento se destruyen fácilmente.

#### DURMIENTES METALICOS

También denominados conchas por su forma combada, hueca, con sus bordes hacia abajo.

La cara superior presenta los elementos necesarios, para presentar los rieles, afirmar el escantillón y sujetar las cabezas de los pernos de fijación del patín.

Sus dimensiones son: 2.4 m de largo por 0.45 m de ancho total. con una inclinación de 1:20 hacia el centro de la vía en la zona de apoyo del riel. el espesor varia de 1/2" a 3/4".

Tiene un peso aproximado de 75 kg para vía ancha o sea que pesa igual que uno de madera y puede ser manejada por un sólo hombre con facilidad.

Estos durmientes son ideales donde existe tráfico fuerte, ruda curvatura y pendiente como serían el desierto o la montaña y el lomerío.

Los bordes volteados hacia abajo y el hueco de la concha presentan excelentes características de anclaje, aunque precisa usar adecuado balasto y saber introducirlo y calzarlo correctamente, usando herramienta mecanizada especial para compactar e introducir el balasto bajo el durmiente.

Tiene grandes ventajas entre las que se citan: Una duración alta de 60 años como mínimo aún con fuerte tráfico, llegando a ser hasta de 80 años o más.

Vida útil homogénea, precisando el económico método de re-plazo total en lugar del parcial.

Daño mínimo por descarrilamiento y posibilidad de repara-ción mediante soldadura.

Gran resistencia al desplazamiento lateral y al corrimento longitudinal reduciendo el uso de anclas.

Mantenimiento prolongado de línea y niveles cuando el balasto es adecuado y bien calzado.

Alto valor de recobro pudiendo venderse como chatarra a un precio de salvamento casi igual al costo inicial.

Como inconvenientes podemos decir que la oxidación salobre les resulta muy perjudicial por lo que no deben de instalarse en la costa proxima al mar o en tuneles..

Para la fijación del riel se usan grapas y pernos con rondanas de presión, sin embargo, dichos durmientes presentan cierta dificultad en el mantenimiento del escantillón.

Actualmente se ha descontinuado su uso basicamente por el alto costo del acero sin que existan motivos técnicos en su contra.

## ACCESORIOS DE VIA

Son los elementos de la superestructura que se utilizan para unir los rieles de tal forma que se formen rieles continuos, fijarlos a los durmientes, evitar que se apoyen directamente sobre estos y que no se recorran o deslicen longitudinalmente.

Los accesorios de sujeción de vía, son entre otros:

Planchuelas, tornillos, tuercas, rondanas de presión, placas para durmiente, tirafondos, clavos, anclas, placas de hule grasas elásticas, soldadura de rieles, etc.

Su trabajo se puede clasificar por su función como: de conexión, de anclaje, de fijación, de reducción de esfuerzos y de lubricación.

Estos elementos deben satisfacer ciertas condiciones como son: proporcionan una alineación duradera de las filas de los rieles, permitir regular la alineación de las filas de rieles en planta y en perfil, en la etapa de reparación y construcción garantizar la elasticidad necesaria de la vía, ser fácilmente producidos, disponer de una cantidad mínima de elementos, deben de ser económicos y provocar un mínimo de mantenimiento.

### PLACAS DE UNION O PLANCHUELAS

El objeto de estas piezas es el de unir los rieles formando cordones o hilos a derecha e izquierda de la vía en el sentido en que crece el kilometraje. Debe proporcionar un cierto juego de los rieles debido a la influencia de las fuerzas térmicas además debe contener los esfuerzos de tensión a que se someta la junta.

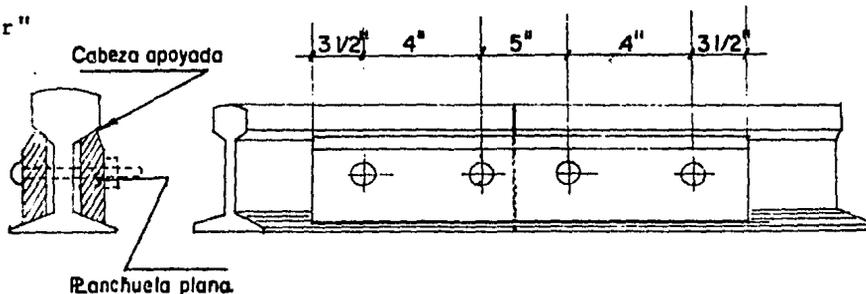
Las planchuelas constan de 3 partes principales que son: Cabeza, Alma y Base.

Las medidas varían de acuerdo con el calibre de los rieles para el que van a ser utilizadas siendo las principales medidas las siguientes: largo, total, distancia de cada extremo de la planchuela al centro del primer taladro, distancia entre centros de taladros, distancia de centro a centro de los dos taladros centrales y altura entre la cabeza y la base.

Las medidas de los taladros se refieren al diámetro si estos son circulares, la parte más angosta y más ancha si estos son ovalados y uno de sus lados si son cuadrados.

Por su forma las planchuelas pueden ser de solera o planas, de cordón y angulares, de la misma forma pueden ser de "cabeza apoyada" o de "cabeza libre".

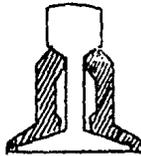
Las planchuelas de solera o planas se distinguen de los otros tipos porque no tienen faldón en su parte inferior. Además como las cabezas de las planchuelas quedan perfectamente en contacto con el hongo del riel, son de "cabeza apoyada", como se puede ver en la fig. siguiente y que corresponde a las planchuelas de riel utilizadas en el calibre de 56 lbs/yard tipo "Angleur"



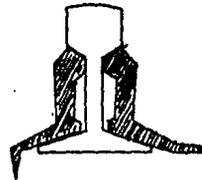
Las planchuelas de "cordón" vienen a ser una modificación de las planchuelas "planas", su cabeza no queda totalmente bajo el hongo del riel y su base tapa una gran parte del patín del riel en la figura se muestra una planchuela de "cabeza apoyada" para el riel de 110 lbs y de "cabeza libre" para el riel de 100 lbs. R.E.



cordón.



angular.



bonzano.

Las planchuelas angulares se caracterizan porque el "alma" y la "base" forman un ángulo obtuso, es decir, mayor de  $90^\circ$  y la base del "faldón" tapa totalmente el patín del riel, una variante la constituye las tipo "Bonzano" esta tiene un doblez hacia abajo en su parte central.

En algunos casos es necesario unir rieles con calibres diferentes, esto se logra usando planchuelas especiales llamadas de "compromiso", las cuales pueden ser incluso fabricadas por personal especializado (soldadores) del mismo ferrocarril.

Cuando las juntas o "llantas" de los rieles quedan sobre los durmientes, las planchuelas también quedarán encima de los dur-

mientes, recibiendo entonces el nombre de planchuelas "suspendidas", o junta "suspendida".

En los Ferrocarriles Nacionales de México, las juntas y por consiguiente las planchuelas son siempre suspendidas.

Junta de dilatación (J-D). La junta de riel ordinaria permite un movimiento en los extremos de los rieles de únicamente más o menos 1 cm.

Si se requiere una libertad de movimiento mayor deben usarse juntas de dilatación.

Tales juntas son dispositivos especiales que permiten recorridos importantes de los extremos de los rieles que en ellos concurren.

Está constituida por unas agujas y contra-agujas, ancladas a la vía sobre durmientes de madera, dichas juntas son intercaladas entre los extremos de dos rieles consecutivos, de gran longitud (L.R.S.) soldandolas a los mismos.

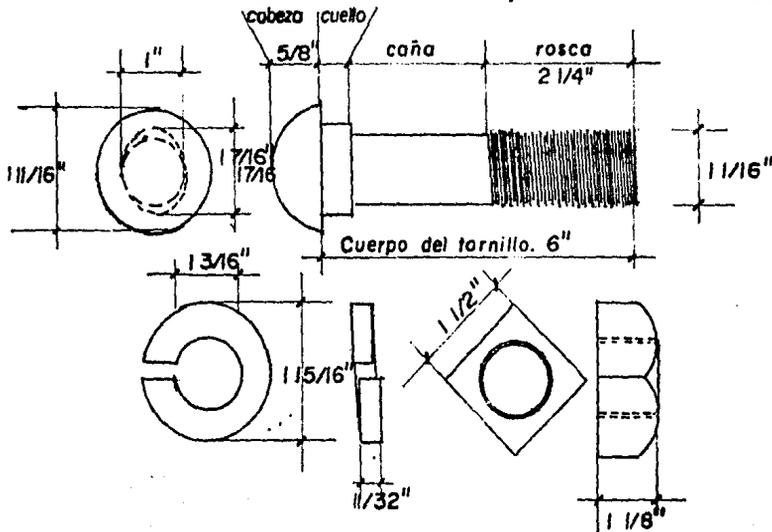
Estas juntas son necesarias especialmente para puentes largos, sobre los cuales los rieles están más o menos conectados firmemente a la estructura del puente para que puedan absorber las vigas del puente los cambios de temperatura.

#### TORNILLOS, TUERCAS Y RONDANAS DE PRESION

Los tornillos de vía, sus tuercas y rondanas, se emplean para sujetar las planchuelas de los rieles, al colocarlos es necesario que queden bien apretados, lo que hará que los hongos de los rieles coincidan perfectamente, sobre todo en la superficie de rodamiento y por el lado interior de la vía o lado de escape.

tillón, para evitar que las cejas de las ruedas "golpeen" en la junta.

En la figura siguiente se indican las partes de un tornillo así como las medidas de un tornillo para riel de 112 lbs.

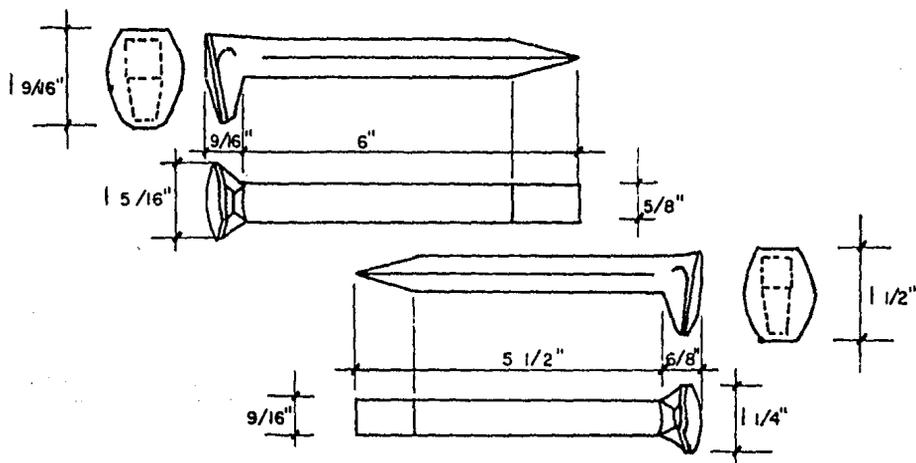


#### CLAVOS Y TIRAFONDOS.

Los clavos y tirafondos se emplean para sujetar el riel al durmiente, evitan que se abran o se volteen los rieles y además mantienen el escantillón de la vía.

El clavo consiste simplemente en una barra afilada en uno de sus extremos y que en el otro extremo tiene una cabeza alargada hacia un lado, que apoya sobre el patín del riel.

La longitud de los clavos se mide de abajo de la cabeza a la punta del clavo y es la que sirve para identificarlos.



Los clavos de  $5 \frac{1}{2}$ " X  $\frac{9}{16}$ " se utilizan para rieles de calibre inferior a 70 lbs y los clavos de 6" X  $\frac{5}{8}$ " se utilizan para rieles de 70 lbs en adelante.

Se utilizan de dos a cuatro clavos por durmiente dependiendo del tráfico, peso de los trenes de la pendiente, en lugares de fuerte pendiente se usan de 6 a 8 clavos dependiendo de la placa.

El uso del clavo resulta admisible cuando se complementa con un gran número de anclas, grueso balasto y continuo mantenimiento de casi el doble de costo de la vía elástica.

La razón es que el clavo poco después de ser hincado comienza a desplazarse hacia afuera del durmiente por efecto del tráfico, perdiéndose el valor de apriete entre durmiente y clavo.

Normalmente durante los trabajos de conservación se vuelv

a apretar al reclavar la vía, pero la duración funcional decrece gradualmente respecto al primer apriete.

La falta de firmeza en la sujeción provoca; fenómenos vibratorios y esfuerzos dinámicos, que hacen que el riel ya no se comporte como una viga continua, con el consecuente deterioro del equipo, que esto representa, intensificandose recíprocamente ambos fenómenos.

El clavo está sometido a esfuerzos diversos una vez colocado en la vía;

La adherencia de las superficies de sus caras con el durmiente que es un factor importante para impedir el desalojo del clavo hacia afuera del durmiente.

La cabeza del clavo que sujeta al riel está sometida a esfuerzos generalmente verticales o cercanos a esta dirección y hacia arriba, soportando múltiples fuerzas de impacto en un tiempo sumamente breve.

El clavo elástico y los tornillos de vía o tirafondos constituyen una mejor opción para la sujeción del riel pues dañan en menor escala a los durmientes, tienen un anclaje respectivamente de 2 a 4 veces mayor que el clavo y no permite la infiltración del agua através del hueco entre este y el durmiente como en el caso del clavo, condición que favorece la destrucción al durmiente.

La elección de los accesorios de fijación está en función del tipo de durmiente ya que cada tipo demanda una fijación especial.

En el caso de usar durmientes de madera. La sujeción que proporciona un determinado durmiente al elemento de fijación es muy variable habiendo maderas tan blandas que es preferible el uso de tirafondo y otras muy duras en las que el clavo raja la madera o se aprieta a tal grado, que resulta demasiado rígido y nocivo para el patín y los efectos vibratorios en general.

Una prueba de la resistencia a la extracción puede decidir entre el uso de clavos hincados a golpe, clavos guiados por un barreno de menor diámetro taladrado previamente, clavo elástico o tirafondo.

Cualquiera que sea la alternativa escogida debe evitarse cualquier tipo de daño al durmiente de madera. Clavar, empujar o atornillar deben hacerse sin rajar la madera en sentido paralelo a sus fibras, o abocardarlas.

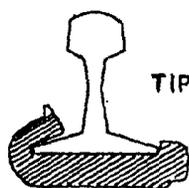
El clavo requiere de gran habilidad para hincarse a mano sin abocardar, doblarlo o golpear el patín, por lo que se prefiere barrenar a máquina previamente al clavado, también con máquina, para evitar golpes diagonales que abocarden la entrada y reduzcan la fuerza de apriete.

#### ANCLAS DE VIA

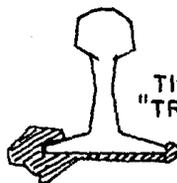
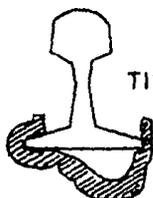
Son accesorios que evitan que el riel se corra en sentido longitudinal, utilizando la resistencia del durmiente a deslizarse debida al esfuerzo cortante del balasto compactado, las causas de dicho corrimiento pueden ser: la tendencia del riel a moverse en el sentido del tráfico pesado, las pendientes, frenajes, etc.

Estas piezas son unas grapas de acero que presionan ambas -  
 caras del patín y que van recargadas en las caras laterales o  
 costados de los durmientes, de tal manera que al sujetar el pa-  
 tén del riel y apoyarse en el durmiente, reducen o evitan su co-  
 rrimiento.

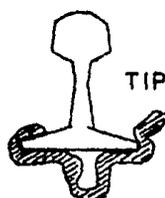
Todas las anclas, traen marcado el calibre del riel para el  
 que deberán utilizarse.



TIPO "FAIR"

TIPO  
"TRUE TEMPER"

TIPO "UNIT"



TIPO "WOODING"

El uso de estas anclas pueden reducirse en número y mejorar-  
 se 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 freno contra la made-  
 ra.

El resultado del anclaje por fricción, depende no sólo del  
 coeficiente con mayor valor, sino de la fuerza de apriete conti-

nuado entre el riel y el durmiente.

#### PLACAS DE APOYO METALICAS

El objetivo principal de las placas de apoyo es el de evitar o por lo menos disminuir las fatigas (hendiduras) que se producen en los durmientes de madera por el hecho de apoyar los rieles directamente sobre estos.

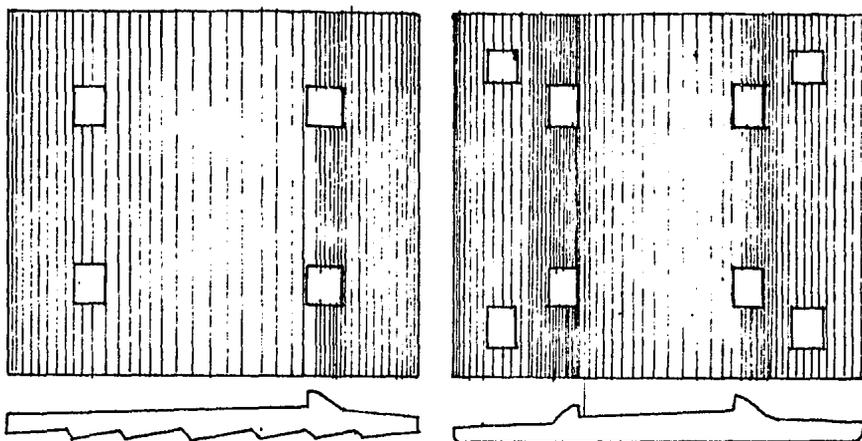
La razón es que el patín del riel además de ser angosto no tiene generalmente un asiento adecuado para repartir las presiones con uniformidad (apenas dos terceras partes del área en contacto). Aún en el caso de que se empleen entalladoras mecánicas rotativas que mejoran el asiento, los bordes del patín invariablemente cortan con presiones mucho mayores que el centro debido a la diferente deformación del acero y la madera.

El área de las placas es aproximadamente el doble del patín del riel, con lo que distribuyen las cargas sobre una mayor área del durmiente, disminuyendo así la presión por unidad de área.

Las placas para durmiente pueden ser de un hombro o de dos hombros y el número de taladros para los clavos varia desde 3 hasta 8.

#### PLACAS DE HULE

Este tipo de placa constituye una mejor opción que la pesada placa metálica, debido a que con su uso se obtiene un mejor asiento del riel, que da como resultado una mejor distribución de la presión y no produce cortaduras en los durmientes de madera, además el material que las constituye es excelente para absorber



UN HOMBRO

DOS HOMBROS

## PLACAS DE APOYO

vibraciones del riel al durmiente y produce un mayor anclaje por el máximo coeficiente de fricción entre hule y fierro.

La placa de hule se coloca sobre la madera bien entallada y asfaltada o sobre la entalladura prevista en los de concreto.

## GRAPAS ELASTICAS.

Se emplean para mantener sujeto al riel, permitiendo pequeños movimientos del mismo, favoreciendo así el amortiguamiento de las vibraciones de frecuencia elevada que ocasionan envejecimiento de la vía.

Las grapas están fabricadas con acero especial cromo-manganeso y están constituidas por una rama superior y una inferior, ligadas por un "bucle" (ver figura No.     ), en el caso de que se trate de durmientes de madera se emplea una grapilla que difiere de la grapa, en que tiene sólo una rama, aunque más larga, para hacerla más flexible.

## CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

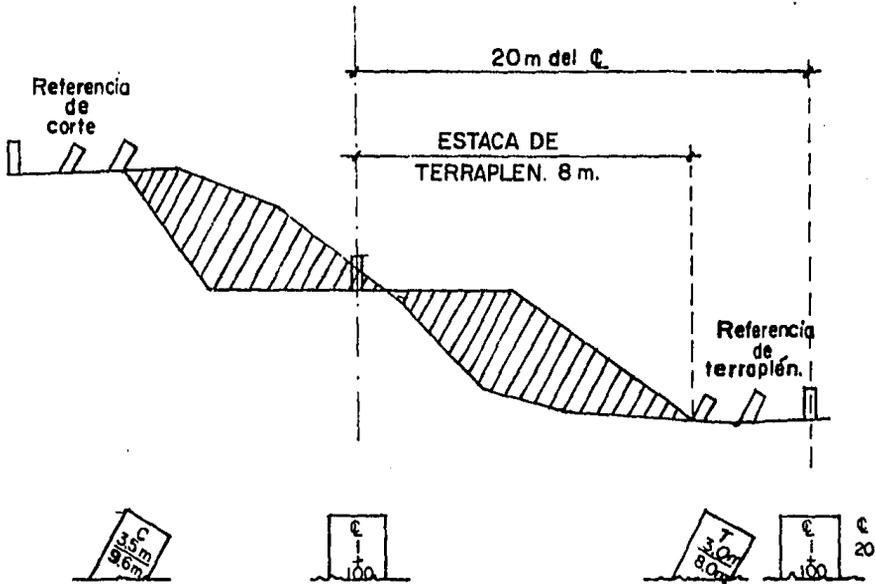
## TERRACERIAS

A los procesos necesarios para la construcción de terraplenes y cortes, se les denomina terracerías y comprende las operaciones de limpieza, excavación, acarreos y consolidación del terreno.

Antes de efectuar cualquier tipo de trabajo, es necesario - colocar las estacas que servirán de guía al trabajo. Estas estacas se colocan a cada lado de la línea de centro, en los puntos en que el talud lateral del corte o del terraplén intersece la superficie del terreno natural.

Las estacas colocadas en los puntos en donde el corte o el terraplén es cero, define los límites del trabajo así como las áreas que hay que limpiar. La línea que marca corte se inclina hacia la línea de centro, mientras que la que indica terraplén se inclina hacia afuera. Los números en las estacas indican el corte o terraplén que hay que hacer en relación con la cota de la subrasante en la línea de centro.

Durante la ejecución de los trabajos algunas de estas estacas se pierden o son removidas, por lo que es necesario referenciarlas, por lo general esto se hace fijando una distancia a -- partir de la estaca donde el corte o el terraplén es cero, a la estaca de referencia.



### ESTACAS DE REFERENCIA.

Despalme.

Este concepto engloba las operaciones necesarias para la limpieza del terreno, consiste en eliminar la vegetación y materiales orgánicos existentes en el derecho de vía y en las áreas destinadas a bancos de préstamo.

El despalme se compone de las siguientes operaciones:

Tala.- Consiste en cortar árboles y arbustos.

Rosa.- Consiste en quitar maleza, hiervas, zacate y residuos de siembra.

Desenraice.- Consiste en sacar los troncos con raíces o cortando de éstas.

Limpia y quema.- Consiste en retirar el producto del desmonte al lugar apropiado, para estibarlos y quemar lo que no

sea utilizable.

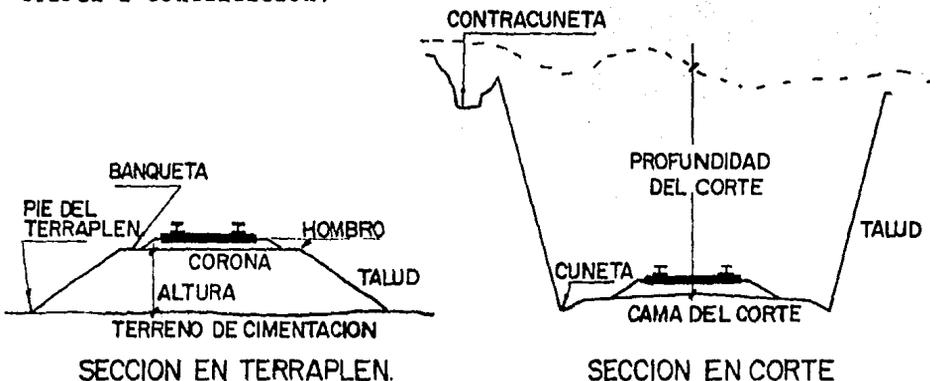
Una vez que se ha desmontado el terreno y que se ha ubicado a las obras de arte en el trazo, se esta en condiciones de realizar los trabajos necesarios para el enrase del terreno hasta la línea de subrasante o perfil del eje de terracerías.

Al tratar de alcanzar esta línea se tienen dos casos: Uno es cuando dicha línea queda sobre el terreno natural, en cuyo caso habrá que rellenar, llamando a la estructura que se forma con esta operación "terraplén".

El segundo caso es cuando la línea subrasante se ubica bajo el terreno natural siendo necesario excavar, por lo que se dice que se trata de un "corte".

El material excavado producto de los cortes se puede emplear para formar los terraplenes más próximos, siempre y cuando sea factible lograr. con su uso, terraplén resistente y máxima compactación, en caso contrario es preferible desperdiciarlo y relevarlo por préstamos con buen material.

Las secciones a las que se debe llegar son las que se describen a continuación.



En la construcción de terracerías es importante conseguir la mayor economía en el movimiento de tierras. La forma de lograrlo es excavando y rellenando solamente lo indispensable dentro de las limitaciones geométricas del trazo y de la rasante y acarreado la menor distancia posible y de preferencia cuesta abajo.

El estudio de las cantidades de excavación y de relleno, su compensación y movimiento, se puede hacer mediante un diagrama llamado Curva Masa, en el cual las ordenadas representan volúmenes acumulativos de las terracerías (cortes (+) y terraplenes (-)) y las abscisas el cadenamamiento correspondiente.

Los objetivos principales del estudio de la curva masa son los siguientes: Compensar volúmenes, fijar el sentido de los movimientos del material, fijar los límites del acarreo libre, calcular los sobre acarreos, controlar prestamos y desperdicios.

El mejor diagrama de C.M. es el más económico, esto es, aquel cuya suma del importe de las excavaciones incluyendo préstamos, más el valor de los sobre acarreos, de el menor precio, siempre y cuando se refiera a un perfil aceptable.

Algunos conceptos importantes para obtener los costos de operación son los siguientes: la longitud de acarreo, que es la distancia que se deben de transportar los materiales para colocar el producto de la excavación en los terraplenes correspondientes.

La distancia de acarreo libre es aquella a la que cada metro cúbico de material puede ser movido sin que se haga, por lo

tanto, un pago adicional o sea que el acarreo de este material se considera dentro del precio de excavación.

El sobre acarreo es el transporte de los materiales ya sea del corte o del préstamo a mayor distancia que la del acarreo libre.

La distancia media de sobre acarreo es la distancia que hay del centro de gravedad del corte (o préstamo) al centro de gravedad del terraplén que se forma con ese material, se le resta la distancia de acarreo libre, se valúa en estaciones de 20m y décimos de estación. El valor del sobre acarreo se obtiene multiplicando esa distancia, por los metros cúbicos de la excavación, y por el precio unitario correspondiente del metro cúbico por estación.

La curva masa, produce un buen índice, pero no con suficiente detalle para diferenciar los costos de excavación distintos según el equipo empleado por lo que para grandes obras de construcción de terracerías, además de la curva masa tradicional, se emplean programas de computadora, en los cuales se analizan los costos usando Bulldozers ( para recorrido corto ), escrepas (para mediano), palas y camiones (para largo recorrido) y hasta trenes de trabajo para grandes recorridos, entre cada banco de préstamo y los terraplenes.

## ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

Para la construcción de una obra vial es necesario definir con aproximación las características propias del suelo, naturaleza propia de la roca típica, depósitos superficiales que generalmente la cubren, así como las condiciones generales del lugar en que se localizará la vía.

En algunos casos bastará con observaciones simples, como ocurre en los suelos duros y afloramientos de roca.

En los suelos blandos y de consistencia media con frecuencia se recurre a excavar pozos a cielo abierto.

El equipo usual es del tipo manual como son cucharas, posteadoras y barrenos helicoidales. El empleo de máquinas de perforación es excepcional.

En el caso de que se tengan cortes demasiado grandes o que se requiera una mayor precisión se puede recurrir a los estudios geofísicos. Los cuales se consideran de mayor utilidad debido a su gran alcance así como facilidad de manejo, sobre todo en terrenos montañosos, estudio de tuneles y cortes de gran altura, con lo que se obtiene mayor economía que si se empleara sondeos directos.

Los métodos geofísicos usados en obras viales son de dos tipos principalmente.

- a) El método eléctrico.- Se basa en el hecho de que diferentes tipos de roca pueden ser identificados por su ca

pacidad de conducir la corriente eléctrica. u oponer re sistencia al paso de ella.

- b) El método sísmico.- Identifica el tipo de suelo debido a la diferencia de velocidades de las ondas sísmicas al propagarse en formaciones con mayor o menor densidad.

A las muestras obtenidas durante el reconocimiento se les hacen pruebas de clasificación petrográfica, granulometría, ca racterísticas plásticas, humedad en el lugar, etc. con las cuales se traza un perfil geológico aproximado de las diversas rutas probables de localización incluyendo datos referentes a rum bos y echados, ejes de plegamiento y sobre todo, la más detalla da información posible sobre fracturas y fallas, así como otros datos que puedan ser útiles al proyecto, tales como prestamos de materiales y agua.

Este estudio hace posible la elección de la alternativa más estable y económica, ya que con él se pueden detectar algunos problemas como: áreas sujetas a movimientos continuos de grandes masas de roca, deslizamientos rápidos ocasionados por el echado desfavorable de diferentes tipos de roca, intemperiza- - ción de grandes masas de suelo y roca expuestas en los cortes por realizar, depósitos altamente compresibles incapaces de soportar las cargas transmitidas por el cuerpo del terraplén, dificultades de los movimientos de tierras, etc.

El conocimiento de los materiales de que se dispone para la construcción de las terracerías es muy importante tanto para los terraplenes como para los cortes.

En el caso de los terraplenes conociendo el tipo de suelo y las condiciones físicas en que se encuentran se puede determinar que equipo es el más indicado para llevarla a cabo y que procedimiento debe seguirse.

En los cortes el conocimiento del material que se va a encontrar es importante por lo siguiente:

Conocer las dificultades que se tendrán al atacar la excavación y definir el procedimiento de construcción a emplear.

El conocimiento del material que se va a emplear en los terraplenes para fijar los coeficientes de abundamiento, o de reducción, y haya compensación.

Estudiar la estabilidad de los cortes para recomendar el mejor talud a emplear y el drenaje necesario.

La clasificación de los suelos de acuerdo con la dificultad que presentan para su extracción y acarreo, se incluye también en los resultados del estudio geotécnico. y es un elemento consistente para establecer una idea del costo del movimiento de tierras.

La clasificación se hace tomando como base los tres tipos siguientes: Materiales A, B y C (terreno suelto, terreno de tránsito, y terreno que exige el empleo de explosivos, respectivamente ).

Material A.- Es aquel que puede ser atacado fácilmente con picos, pala de mano, escrepa o pala mecánica de cualquier capacidad: sin arados o tractores empujadores. Además se incluyen a los suelos poco o nada cementados, con partículas hasta

de 7.5 cm. Los materiales A, son los suelos agrícolas, los limos y las arenas.

Material B.- Es el que por la dificultad de extracción y carga, sólo puede ser excavado eficientemente por tractor de oruga con cuchilla de inclinación variable y potencia de 140 HP a 160 HP, o con pala mecánica de capacidad mínima de  $1 \text{ m}^3$ , con el uso de explosivos ligeros o bien que pueda ser aflojado con arado de 6 ton. jalado con tractor de orugas de 140 HP a 160 HP. Se consideran dentro de esta clasificación a las piedras sueltas menores de 75 cm., y mayores de 7.5 cm. los materiales más comunmente clasificados como materiales B, son las rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetates.

Material C.- Es aquel que por su dificultad de extracción sólo puede ser excavado mediante el empleo de explosivos, utilizándose además para su remoción maquinária de gran capacidad. También se considera como material C, las piedras sueltas con dimensión mayor de 75 cm. Entre los materiales clasificados como material C, se encuentran las rocas basálticas, las areniscas y conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos y endebitas sanas.

Los materiales que presenten dificultades de extracción, que sean intermedios entre los mencionados, se les debe fijar una clasificación tal que, tomando en cuenta los tres tipos de materiales anteriores, se les asigna porcentajes de cada uno de ellos para determinar mas claramente de cual se trata. De est.

modo si se tiene un suelo no cementado, casi blando, con partículas menores de 7.5 cm., se clasificará 100 - 0 - 0; correspondiendo estos porcentajes a material A, B, C respectivamente; un material intermedio entre A y B, se clasificará 50 - 50 - 0, y otro entre B y C, se clasificará 0 - 50 - 50, etc.

Si se dificulta la clasificación por separado de cada uno de los estratos encontrados se deberá fijar al volumen total una clasificación tal, que tome en cuenta las dificultades de extracción y carga, mencionando siempre los tipos de material A, B y C.

En una formación rocosa en que se tenga material C por lo menos en un 75 % del volumen total, se deberá considerar al material de tipo C, pero de ser posible atacar por separado cada estrato, se debe clasificar individualmente.

En la tabla siguiente se indican las clasificaciones más frecuentes.

M A T E R I A L		CLASIFICACION		
LIMOS Y ARENA O SUELOS DONDE PREDOMINAN:		A	B	C
1.-	Muy suelta	100 -	0 -	0
2.-	Suelta	90 -	10 -	0
3.-	Medianamente compactada	80 -	20 -	0
4.-	Compacta	50 -	50 -	0
5.-	Muy compacta	0 -	100 -	0
ARCILLAS Y MATERIALES DONDE PREDOMINA :				
1.-	Muy suave	100 -	0 -	0
2.-	Suave	95 -	5 -	0

3.-	Firme	90 - 10 - 0
4.-	Muy firme	80 - 20 - 0
5.-	Dura	50 - 50 - 0
6.-	Muy dura	0 - 100 - 0

ROCA ( RIOLITA, BASALTO, CONGLOMERADO )

1.-	Sana	0 - 0 - 100
2.-	Fracturada	0 - 20 - 80
3.-	Muy fracturada	0 - 40 - 60
4.-	Toba volcánica	0 - 100 - 0

Metodología Aplicable a la construcción de terraplenes.

En secciones con alturas mayores de 2 m, después de efectuado el despalme se procederá a rellenar los huecos grandes, escarificar y compactar el terreno natural.

Al formar el cuerpo del terraplen su construcción debe hacerse por capas, que serán sensiblemente horizontales y a todo lo ancho de la sección, con espesores uniformes de acuerdo al equipo empleado.

Los materiales no compactables se deberán bandear en capas de espesor mínimo (de acuerdo al tamaño máximo de material indicado en las especificaciones), aplicando en cada lugar 3 pasadas como mínimo de un tractor D - 8 ó similar.

En el caso de que se tengan frentes consecutivos de suelo y fragmentos deberá procurarse disminuir el volumen de vacíos entre los fragmentos con una distribución adecuada del suelo.

Es deseable no colocar ningún material a volteo para lo cual en las depresiones profundas y angostas, se formarán plan-

llas de 6 m con equipo adecuado que bandee o compacte los materiales para impedir colocaciones inestables.

Cuando los terraplenes se alojen en depresiones con pendientes mayores del 40 % o se tenga una capa superficial susceptible de comprimirse o deslizarse, se proyectarán escalones de liga de 2.5 m de plantilla.

Si se trata de secciones en balcón o laderas con pendientes del 25 % se construirán escalones de liga en el área del desplante del terraplén con plantillas de 2.5 m en material clasificable como A o B y de 1.0 m en material C.

En zonas de suelos muy compresibles o de baja capacidad de carga se deberá indicar la construcción previa de los terraplenes con los recargos necesarios para absorber los hundimientos que se pueden presentar.

Construcción de terraplenes empleando diferentes.

#### Clases de equipo

La elección del equipo y el procedimiento de construcción está en función de la calidad de los materiales y de las condiciones físicas en que se encuentren.

Construcción de un terraplén cargando y transportando el material por medio de escrepas mecánicas o por moto escrepas de 12 y 16 yardas cúbicas.

Este procedimiento es adecuado para suelos que presenten características plásticas en diversos grados.

La máquina tiende el material por capas a la vez que lo compacta a través de los neumáticos con su peso propio.

Es claro que la compactación dada al terraplén con este procedimiento, tiene el inconveniente de no ser completa ni uniforme, ya que es difícil hacer pasar la escropa durante el proceso de extendido, sobre toda la superficie de la capa y en el número necesario para dar una alta compactación.

El procedimiento resulta inadecuado en suelos francamente arenosos por clavamiento de las ruedas de tracción en el terreno y en los que tengan una fuerte cantidad de boleos grandes.

Empleando Bulldozers con potencia promedio de 140 HP.

El procedimiento que se sigue es el de empujar el material de los prestamos laterales hacia el cuerpo del terraplén, dejando montones sin más compactación que la que le da su propio peso.

El procedimiento es inadecuado en materiales cohesivos en diverso grado, en cambio es perfectamente adecuado cuando se trata de arenas sin cohesión alguna, ya que en este material su peso propio puede ser suficiente para darle un grado regular de compactación, que se aumenta posteriormente a un porcentaje alto por la vibración del tránsito durante la construcción y más si dicho tránsito es canalizado.

Cuando se trabaja con suelos cohesivos se puede combinar el bulldozer con algún equipo de compactación adecuado.

En este caso los Bulldozers no empujan simplemente el material para formar el cuerpo del terraplén, sino que lo van extendiendo por capas subiendo sobre él. Aunque los tractores estén pasando sobre las capas del material que ellos mismos extienden.

no es esto suficiente para darle compactación adecuada, ya que las orugas reparten la carga en una superficie muy amplia. Se necesita, por lo tanto, que simultáneamente al trabajo de ralleo y extendido hecho por los tractores, se haga el de compactación con las máquinas adecuadas según el tipo de material.

#### Usando excavadora elevadora

Este procedimiento en materiales cohesivos es inadecuado si no se combina con otro equipo que distribuya el material por capas y que lo compacte. En materiales granulares como las arenas de médano, el procedimiento se puede aceptar como bueno, ya que la compactación la adquirirá el material por su propio peso y posteriormente por las vibraciones del tránsito.

#### Pala de arrastre

Se puede seguir este procedimiento cuando se tenga que hacer la construcción del terraplén con prestamos laterales en terrenos que permanecen inundados y cuando el material adyacente al terraplén tiene la calidad adecuada. El equipo indicado es la pala de arrastre, pues otra máquina como las escrapas y el Bulldozer se atascarían en el suelo saturado.

La calidad del terraplén construido con este procedimiento es mala, debido a la baja compactación y a los vacíos que quedan entre los terrones. Su compactación sólo se consigue, de una manera lenta, a través del tiempo en que las cargas del tráfico van aumentando su consolidación.

En este caso se puede combinar la pala de arrastre con otras máquinas que distribuyan el material por capas y lo vayan compactando.

### Cortes.

Son excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, con el objeto de preparar o formar la sección de la vía de acuerdo con lo fijado en el proyecto. Dependiendo del tipo de terreno se tienen los siguientes taludes que deberán respetarse para evitar deslaves:

Talud en tierra	1:1
Talud en tepetate	3/4:1
Talud en roca suelta	1/2:1
Talud en roca fija o volcánica	1/4:1

Cuando la estratigrafía o grado de alteración de la parte superior de una formación rocosa lo amerita, será necesaria la construcción de taludes compuestos.

Algunas ocasiones los materiales que aparecen al formar un corte son deleznales y producen graneos constantes causando azoles en las cunetas, se debe recomendar la construcción de banquetas al nivel de la rasante para que ahí se acumule el material y se retire posteriormente, siempre y cuando la zona sea de baja precipitación pluvial y la altura de corte no sea grande.

### Problemas de taludes de cortes en roca.

Existen algunos factores importantes en el comportamiento mecánico de los taludes de roca como son: la compleja geometría de las juntas normales de las rocas (definidas por su rumbo, "echado" o máxima pendiente y por el ángulo respecto al eje del corte proyectado) complicado por discontinuidades producidas

por fallas o fracturas causadas por movimientos telúricos posteriores a su formación.

El problema se complica considerablemente al considerar la variable dureza o resistencia a la compresión de diversas rocas y su variable humedad por aguas freáticas y por la rugosidad variable en los planos de las juntas.

En este caso la estabilidad de los taludes no se puede juzgar por la simple resistencia de rocas intactas, sino que es necesario considerar el probable comportamiento de la masa rocosa incluyendo las discontinuidades geológicas existentes, definidas por las fallas y fracturas, por los variables echados de los planos, las zonas más débiles de los rellenos o brechas, huecos o cavernas y el agua freática o hielo, desde simple humedad hasta manantiales.

#### Excavación con Bulldozer.

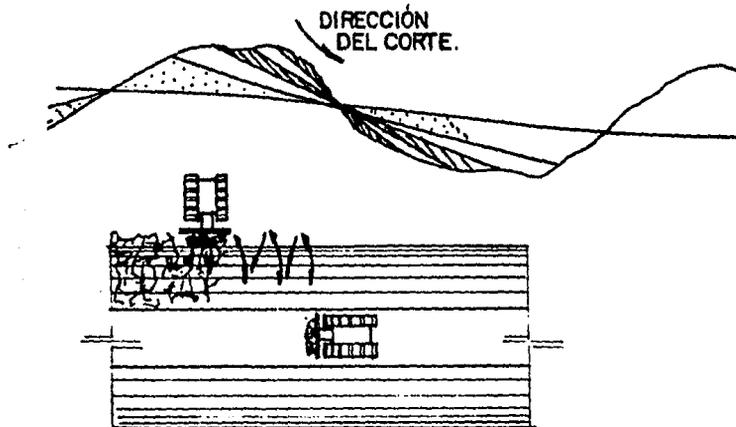
Se emplea principalmente para construir caminos en ladera aunque también puede realizar acarreo cortos, escarificar, o remolcar escrementos, nivelar terreno etc.

La potencia usual varía de 70 a 200 HP la cuchilla generalmente tiene 1.2 X 3.6 y es capaz de empujar un volumen de 3 a 4 m<sup>3</sup> con hoja colmada y al ras del suelo, cuando la potencia lo permite.

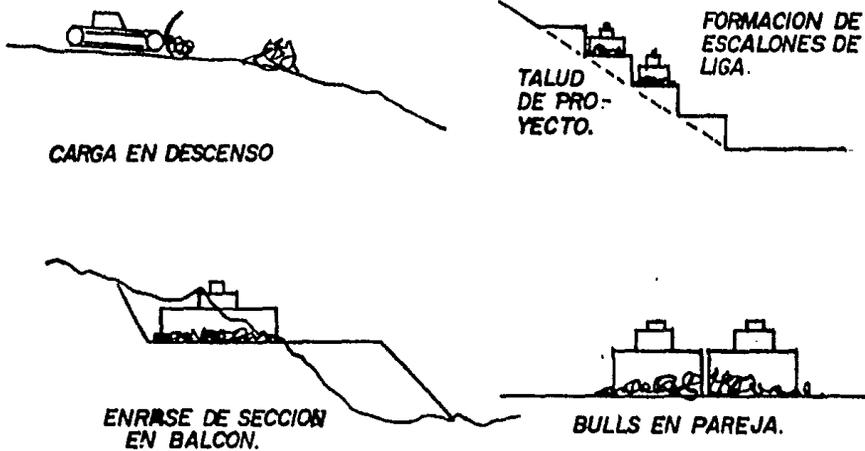
El bulldozer en préstamo lateral o en desperdicio o apertura del corte, empuja a distancias cortas (menores de 20M) en tanto que sus acarreo máximos son de 80 a 100 m.

Los métodos usuales de ataque son:

- a) Trabajo en pareja.- Este procedimiento consiste en colocar las cuchillas de los tractores una al lado de la otra de tal manera que actúen como si solamente fuera una cuchilla evitándose así el desbordamiento de tierra que se juntaría al centro.
- b) Método del canal.- Consiste este procedimiento en aprovechar los montones de tierra que se forman en la primera pasada para que encuadren en la cuchilla y evitar así el desbordamiento lateral del material.
- c) Método del descenso.- Cuando se mueve material en pendientes fuertes hacia un acantilado no es necesario descender en cada viaje sino que puede formarse en el borde un montón debido a varias cargas y después dar un empujón final al material para que llegue hasta el fondo.



FORMACION DE TERRAPLEN CON PRESTAMO LATERAL.



Escrepas o trillas y tornapuls.

La escrepa es una máquina montada en cuatro ruedas, remolcada por un tractor de oruga, que excava, carga, acarrea, descarga y extiende la tierra en un sólo viaje.

La capacidad de carga fluctúa entre 12 y 16 yardas cúbicas.

Es el equipo ideal para los acarreos intermedios y largo, además de excelente compactación y acabado de taludes.

La excavación precisa auxilio de la gravedad (cortar de bajada) y con frecuencia emplea tractores de empuje de 130 HP por lo regular uno por cada 4 escrepas.

Las operaciones principales de la escrepa se efectúan de la siguiente manera:

**La Carga:** Esta es con el delantal levantado, la hoja cerrada y la compuerta se ubica en la parte posterior.

**El Acarreo:** Durante el cual la hoja se levanta y el delantal se cierra.

**El Extendido:** Se lleva a cabo con el delantal levantado,

hoja colocada para dar el espesor deseado, a la vez que la compuerta se empuja hacia adelante para desalojar todo el material.

La eficiencia de la escrepa requiere de que se observen ciertas condiciones como son: Las condiciones de carga, el transporte del material al lugar de descarga y el tendido del material.

Condiciones de carga.- La carga debe tratarse de hacer siempre a la máxima capacidad tolerable y procurando efectuar esta operación a la distancia más corta (30 m o menos). Debe procurarse que el llenado de la escrepa se lleve a cabo en el menor tiempo posible. Generalmente se considera para el llenado un tiempo de uno o dos minutos, dependiendo de la capacidad de la escrepa. Para que estas condiciones de carga se puedan lograr en la forma indicada, la profundidad del corte debe ser de 15 a 20 cm. en tierra común. Una profundidad del corte menor aumenta el tiempo de carga y la distancia de recorrido para llenar, como también una profundidad de corte mayor produce atorones, patinamiento del tractor y pérdida de eficiencia.

Si el material a atacar es duro, conviene escarificarlo previamente para facilitar la carga.

Para aumentar la profundidad del corte, debe emplearse un tractor de empuje.

Sin embargo la utilización del tractor de empuje se justifica cuando hay suficientes escrepas, ya que de otra manera se tendrán muchos tiempos perdidos de esta máquina.

En ciertos tipos de materiales, como arcillas duras y com-

pactas, es preferible usar el tractor para escarificar en vez de dedicarlo a empujar.

Cuando se carga en terreno plano se puede emplear el sistema denominado "carga a caballo" que consiste en dar tres pasadas, dos laterales primeras dejando una franja central de 1.0 a 1.8 m, y luego la tercera pasada que se hará precisamente sobre esta franja que, por presentar menor resistencia que otra pasada cualquiera facilitará la carga.

Si la carga se hace en pendiente hacia abajo, la acción de la gravedad ayuda a que se efectúe la carga más rápidamente y de que sea más colmada. Esta acción puede estimarse en un aumento de la tracción de unos 10 kilos por tonelada de peso y 1 % de pendiente.

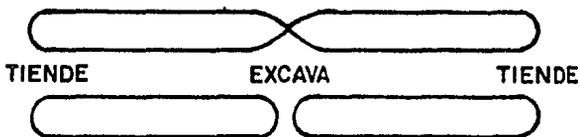
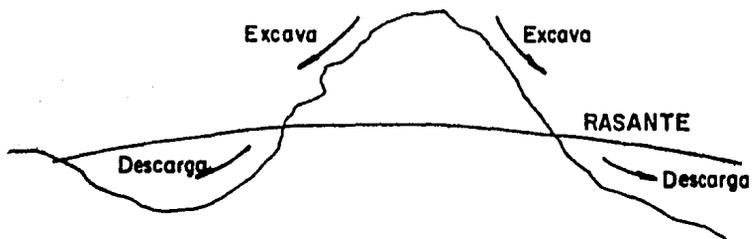
Cuando la carga se hace en laderas, el corte debe hacerse en forma tal que se permita el escurrimiento del agua.

El corte debe empezarse por la parte superior del talud con tinuando hacia abajo.

Cuando se trabaje en cortes es necesario que el tractor se acerque lo más posible al pie del talud empezando por los lados y dejando el centro más alto.

En caso de terraplenes, el centro de ellos debe quedar más bajo que las orillas.

En el movimiento de la máquina, en caso de trabajar en un corte, ella debe voltear del centro hacia el talud, y en los te rraplenes debe girar de la orilla hacia el centro.



**CICLOS DE TRABAJO**



Manteniendo el centro más bajo se evita que el equipo resbale.



El equipo resbata hacia el talud lo que facilita el corte.

Transporte del material.- Con relación al transporte del material hay que mencionar que el estado del camino debe permitir las velocidades máximas, debiéndose por lo tanto arreglar la superficie de rodamiento, ya que una superficie mal nivelada aumenta la resistencia al rodamiento, provoca vibraciones y golpes por lo tanto fatigas al operador lo cual redundará en disminución del rendimiento.

Las pendientes desfavorables deben evitarse al principio, combinando distancias y movimientos.

Las vueltas deben hacerse lo más rápido y en la menor distancia posible.

Las llantas deben inflarse a la presión óptima recomendado en cada equipo para el esfuerzo de tracción de mejor rendimiento.

Tendido del material.- El tendido del material generalmente, se ejecuta mediante la descarga de las excrepas en capas horizontales de igual espesor. A fin de que el rendimiento sea máximo, debe efectuarse la descarga a la mayor velocidad y en la mínima distancia, y haciéndolo por capas de 15 a 20 cm de espesor de acuerdo con el tipo de material.

En la arcilla mojada la descarga debe ser más lenta debido a que la resistencia al rodamiento es mayor.

Palas mecánicas y dragas.

Se emplean en capacidades de  $3/4 \text{ yd}^3$ , hasta  $2 \text{ yd}^3$ . La razón es que los cortes de 6 m de ancho impiden usar las palas más grandes, a menos de emplearlas sólo en la parte superior

del corte, o en los tramos de doble vía.

El ataque al frente de excavación con este equipo se puede hacer en posición frontal o en paralelo.

El ataque frontal tiene lugar cuando se efectúa más o menos en ángulo recto con el frente de excavación.

Este método es el empleado en bancos de préstamo pues tiene la ventaja de que puede cargar dos góndolas colocadas a cada lado de la pala lo que elimina pérdidas de tiempo. Otra ventaja es que el terreno va quedando practicamente nivelado, pues la pala va formando su propio camino a medida que actúa observando límites precisos de inclinación y dándole la configuración deseada a los bordes del corte.

El método de posición en paralelo se lleva a cabo cuando la pala se coloca de manera que se mantenga paralela al frente de trabajo y actúa a lo largo de la superficie excavada. Los vehículos también se moverán más o menos paralelos a la superficie atacada. Esta posición es apropiada para los cortes en caminos.

Por lo que respecta al rendimiento es recomendable operarla en cortes cargando camiones de tal modo que sólo gire 90° para reducir el ciclo de cargadura al mínimo. Al tirar rezaga en desperdicio se tiene el máximo rendimiento al sexto de vuelta.

La eficiencia de estos equipos depende del número de camiones que se le asignen y de la habilidad para quebrar la roca del tamaño adecuado a la cuchara.

La draga se usa en ferrocarriles para cargar sub-balasto de bancos de grava y arena.

#### Barrenación - explosivo.

Las rocas no desgarrables, o las que conviene aflojar previamente, deben barrenarse para colocar explosivos suficientes para quebrarlas del tamaño requerido.

La cantidad de explosivo que puede requerirse varia desde 0.3 kg, hasta  $0.6 \text{ kg/m}^3$  dependiendo del tipo que se emplee pólvora, nitrato de amonio, dinamita 40 %, 60 % gelatinas, etc. para quebrar rocas suaves o duras obteniendo rezaga pequeña o grandes blocks.

#### Colocación de los explosivos.

En general la explosión busca romper según la línea de menor resistencia, lo cual se denomina salida del barreno = S; siendo la distancia o espaciamento entre barrenos = e; y la profundidad o cuele del barreno = h.

Generalmente en las hileras de barrenos verticales, la salida se refiere a la distancia entre hileras (según el orden de disparo).

Es usual barrenar algunos cortes con las siguientes dimensiones:

Salida = s = 0.4 h

espaciamento = e = 0.7 h

Resulta :  $h = 2.5 S = 1.4 e$  cuando se desea quebrar bien y no se emplean secantes del barreno y cuando el orden de los disparos permite garantizar la salida (0.4 h) como premisa básica

de estas dimensiones.

El volumen para un barrenó de altura = h será.

$$V = 0.4 h \times 0.7 h \times h = 0.28 h^3$$

En este caso el rendimiento de la perforación respecto al volumen, aumenta con la profundidad (cuele).

Deben evitarse cargas concentradas para evitar la formación de cráteres alternando con grandes blocks mal fragmentados, esto se logra empleando secantes y respetando las normas para colocar la dinamita, ya sea que esta se reparta a lo largo del barrenó o en el fondo del mismo y variar dentro de ciertos límites el diámetro del barrenó, de acuerdo con los tiempos de la detonación, obligados por la variable más importante: la salida = s.

El cuele es la carga de explosivo por metro de barrenó.

El barrenó debe taquearse en su parte superior en una longitud aprox. de  $t = 0.2 h$  cuando no exista secante y  $0.4 h$  cuando se emplea secante; en consecuencia, cada metro de barrenó sólo admite desde 0.6 kg de dinamita por metro de cuele hasta 2.2, según que el diámetro sea de 1" hasta 2" (cartuchos).

Es deseable minimizar la cantidad de explosivo, (digamos a aproximadamente 0.3 kg por  $m^3$ , de roca dura) lo cual establece dimensiones máximas de los barrenos, su profundidad, separación salida y carga explosiva.

En cuanto a la cuadrilla de barrenos y el orden de disparos. Resulta preferible igualar  $s = e$  y barrenar en cuadrícula, para evitar que las dimensiones menores de (s) puedan provoca

barrenos ahogados al quedar tapados hacia la mayor dimensión (e) por causa de factible error del orden de los disparos. Donde también existen diferencias entre las hileras transversales, de las líneas longitudinales.

Producción de rezaga para palas y camiones.

Se truena por hileras (2 ó 3 transversales, cada una a su tiempo) para dotar de material al frente de ataque de la pala.

Cada hilera debe detonarse con cañuelas iguales, o con estopines instantáneos y con retardos iguales para cada hilera posterior, de modo de volcar hacia la salida abierta por la hilera anterior.

Empleo de bulldozer y escrepa.

Este tipo de equipo demanda tronar de una vez todo el corte, pudiéndose usar estopines milisegundo en toda la cuadrícula, o prender por hileras o por diagonales de iguales tiempos de ignición ya sea que se use cañuelas de diversos largos, o estopines con diferentes retardos de tiempo.

Cada barreno debe quebrar el volumen comprendido entre los colindantes, por lo que basta dividir el volumen total entre los barrenos (o pies de barreno) para obtener la carga individual de explosivo, el que no debe exceder entre 0.3 y 0.6 kg, dinamita por  $m^3$ .

La estratificación afecta los resultados de la tronada y cuando es paralela al frente puede provocar grandes blocks, a menos de tronar el conjunto con máxima dosificación.

En la construcción de terracerías para ferrocarril, es

usual emplear barrenos para cartuchos de 1 1/2" y evitar un constante y fuerte secanteo que puede producir agrietamiento y fugas de explosivo, por lo cual se limita la profundidad (h) de 3 hasta 5 m máximo, con salidas y separaciones iguales o sea con cuadrangular la barrenación, (1.5 X 1.5 hasta 2. X 2. m) máximo.

La siguiente tabla proporciona información de cantidades experimentadas en los ferrocarriles Durango y Chihuahua en promedio de rocas, riolitas, adasitas y granitos, con fragmentado adecuado para Bulldozer D 8 y palas 1 1/2 yd<sup>3</sup>.

Número de cartuchos de 1/2 libra dinamita 40 % (de 1 1/8"), para diversas cuadrículas de barrenaciones para diferentes cueles (h).

CUADRICULA HILERAS DE BARRENOS

PROFUNDIDAD	1.50 X 1.50 m		1.75 X 1.75 m		2.0 X 2.0 m	
( CUELE ) H	0.30	0.35	0.30	0.35	0.30	0.35
2 m	6	7	-	-	-	-
3	9	11	12	14	-	-
4	12	14	16	19	21	25
5	15	18	20	24	27	31
6	18	21	24	28	32	37

Nota: Peso de 1 cartucho de dinamita = 225 gr.

Estos datos están dados para 2 dosificaciones de explosivo: 0.30 kg dinamita por M<sup>3</sup> y 0.35 kg por M<sup>3</sup>.

La densidad de la dinamita empleada se mide por el porcentaje de nitro glicerina que contiene siendo las más usuales las de 15 % hasta 60 %.

También es frecuente mezclar la dinamita con algunas sustancias para aumentar su fuerza explosiva.

Dinamita 40 % + nitrato - sodio 44 % + antacido 2 % + material carbonoso 14 %.

Produce 100 % mayor fuerza que la dinamita 40 % simple.

Una mezcla de dinamita 40 %, nitrato de amonio y material carbonoso, cuadruplican la detonación, con lo que se reduce el costo de dinamita hasta un 50 %.

En estos casos es necesario usar una barrenación sin humedad, precisándose el uso de polvoras o dinamitas de nitroglicerina cebadas como detonantes, los cuales se colocan al fondo del barreno, o preferentemente distribuidos a lo largo de todo el barreno para producir tronada con acción uniforme.

#### Obras de drenaje.

El objetivo fundamental de estas obras es el de eliminar el agua o humedad que en alguna forma pueda perjudicar la vía.

El drenaje deberá preverse desde el inicio de la construcción, tratando de seguir lo mejor que sea posible las indicaciones de proyecto y verificando continuamente que dichas obras sigan el curso natural de los escurrimientos para evitar obras costosas y deficientes.

Se distinguen las siguientes obras:

Cunetas.- Son zanjas que se construyen a ambos lados y a

lo largo de la vía en tramos en corte. Sirven para drenar la mi tad del ancho de la vía o bien todo el ancho en curvas; además de recolectar los escurrimientos de los taludes en los cortes y los de pequeñas áreas adyacentes.

Las cunetas pueden ser de sección triangular, trapezoidal o rectangular.

Las usadas son las triangulares porque son las más fáciles de construir y son menos erosionables que las otras dos.

La cuneta mínima deberá tener 30 cm de ancho en el fondo y estar a 30 cm, bajo la subrasante.

Los taludes más comunes son: 2:1 en el lado de la vía y en el lado opuesto según el ángulo de reposo del material del terreno.

La pendiente de las cunetas no deberá ser menor de 0.3 %.

El recubrimiento puede ser: con césped, con zampeado o bien con concreto.

Contracunetas.- Son zanjas construidas en las laderas del lado de aguas arriba de los cortes de una obra vial. Su objetivo es impedir que el agua que escurra por la ladera del corte alcance a las cunetas, evitando además que erosionen los taludes.

En el caso de que se descubran estratos permeables que tengan echado paralelo al terreno deberán ser impermeabilizadas o revestidas.

Generalmente tienen forma trapesoidal, con base de 50 a 90 cm altura promedio de 1.0 m y taludes 1:1 o verticales depen--

diendo del terreno.

Las cunetas deberán tener una pendiente mínimo de 0.3 % en pendientes mayores deberá pavimentarse.

El desfogue de las cunetas deberá hacerse por medio de la longitud necesaria para llevarlas desde el parteaguas hasta la hondonada más cercana, debiendo quedar lejos del pie de los terraplenes.

Canales: Su objetivo es similar al de las cunetas encausa una corriente, impidiendo que el agua llegue a la vía.

Se construye en terrenos planos donde el terraplén se haya construido de zanjás de prestamo.

Bombeo.- Es la pendiente transversal que se le da a la capa superior de terracerías tanto en corte como en terraplén hacia uno y otro lado de la subrasante. Su función es la de hacer escurrir el agua que cae sobre la vía hacia los lados, para que las cunetas la desalojen.

La pendiente que se da a partir del centro de la sección hacia los lados es de 2 a 4 %.

Alcantarillas de alivio.- Se construyen para dar salida al agua cuando se tienen cunetas demasiado largas.

Muros transversales.- Son muros de mampostería o concreto que se atraviesan a las cunetas aguas arriba de la entrada de la alcantarilla con objeto de producir un embalse y obligar al agua a entrar.

Desarenador.- Se construyen para evitar que las alcantarillas se tapen con facilidad cuando existen muchos azolves, ra--

mas de árbol, basuras, etc.

Son cajones de mampostería o concreto en los cuales el agua escurrida por la cuneta cae para posteriormente entrar a la alcantarilla, dispone de un depósito en el que se depositan los arrastres que acarrea la cuneta.

Pozo de visita.- Es un desarenador lo suficientemente grande y profundo para permitir visitas de inspección y desasolve en la alcantarilla.

Alcantarillas.- Son estructuras que permiten el paso de agua a través del terraplén . Se hacen con el propósito de no interrumpir los cauces naturales de arroyos, riachuelos, pequeños canales de riego, drenaje superficial, etc.

Boquillas.- Son obras de mampostería de piedra, de ladrillo o concreto; que se construyen a la entrada y salida de las alcantarillas se componen de el cordón, los aleros, el lavadero, etc.

El cordón lo mismo que los aleros impiden que el material del terraplén caiga a la entrada de la alcantarilla obstruyendola. Se evita además que el terraplén sea deslavado por la corriente.

El lavadero tiene por objeto que el agua a la entrada y salida de la alcantarilla, la socave y provoque su destrucción.

Por la forma de la alcantarilla, esta se puede clasificar en alcantarilla de tubo, de cajón, de boveda, de losa sobre estribos, etc.

De acuerdo a su dirección se divide en cruces normales y



cruces esviejados.

Drenes subterráneos.- Interceptan y captan el flujo de aguas subterráneas, tales como nivel de aguas freáticas muy superficial, humedad capilar, etc.

Su función es la de evitar que el flujo de agua reduzca el valor de soporte del suelo del corte y lo deslave en especial en suelos cohesivos.

En general mejora las condiciones de estabilidad de cortes y terraplenes por medio de drenes convenientemente colocados, puesto que el comportamiento de los suelos es más satisfactorio mientras menos agua contengan.

Se utiliza en cortes húmedos y terrenos saturados sobre los que descansan los terraplenes.

El subdrenaje puede efectuarse por zanjas excavadas longitudinalmente bajo las cunetas y rellenadas de materiales permeables o bien mediante la colocación de drenes de tubos.

#### Drenes de tubo

En los cortes los tubos principales deben colocarse paralelos a la vía y a unos tres metros de su eje.

En los terraplenes se deben colocar a igual distancia del pie de talud, con pendientes no menores de 0.2 %.

La profundidad a que se coloquen dependerá por completo del nivel de la fuente de agua, pero se recomienda una profundidad mínima de un metro bajo el fondo de la zanja o bien de dos metros bajo la subrasante en los cortes o esa misma distancia bajo el terreno natural en los terraplenes.

El diámetro mínimo de los tubos será de 20 cm y en los cortes de gran longitud deberá irse aumentando este gradualmente hasta su descarga. Para tal objeto puede usarse ya sea tubería de barro vitrificado con unión de macho y campana o bien tubería de hierro corrugado galvanizado con perforaciones de 1/4" - en las depresiones de las corrugaciones en el fondo y espaciadas entre si 1 1/2". El número, dimensiones y distribución de las aberturas deberá ser cuidadosamente elegido para evitar riesgo de azolvamiento.

Las zanjas en que se coloquen deberá tener 40 cm de ancho como mínimo.

El material excavado para formarlas nunca deberá usarse para rellenarlas nuevamente una vez colocado el tubo.

Se deberá colocar en la parte inferior una capa o colchón delgado de alguna clase de material permeable que sirva a la tubería de cemento.

Al tenderse la tubería, se deben dejar los extremos despegados entre tubo y tubo para que el agua penetre dentro de ellos.

La zanja excavada, nuevamente deberá ser rellenada con algún material de tipo permeable seleccionado previamente.

En el caso de los drenes se procede de la misma manera sólo que no se coloca tubo, estos son excavados a lo largo de la vía y rellenos con material permeable y piedras.

### Procedimiento para compactar Subrasante y Sub-balasto.

El procedimiento de compactación de la subrasante y el sub-balasto empleando aplanadoras de rodillo es el siguiente: La motoconformadora deja el material tendido con la humedad adecuada (tendido del material) después de sus operaciones de mezclado tanto en seco como en húmedo con el número necesario de volteadas al material. Sobre la capa de material tendido se procede a dar una pasada a todo el ancho del revestimiento haciéndolo de las orillas al centro y desplazando la máquina al ancho total de ella (a toda máquina), procurando ir borrando la huella de la anterior pasada.

Estas operaciones se hacen a una velocidad baja para ir apretando al material lentamente, pues muchas veces se desplaza el material por estar muy flojo.

Las siguientes pasadas se acostumbra darlas en la misma forma de las anteriores de las orillas al centro, desplazando la máquina un ancho igual a la mitad del ancho del rodillo. Se llama a esta operación pasadas a media máquina y no siempre se efectúa.

En estas dos operaciones y para mantener la humedad superficial e impedir que se evapore el agua de la capa por compactar, se dan riegos superficiales de agua. Las pipas tienen que ir a una velocidad tal que no encharquen el agua en la superficie. Cuando el agua es más de la necesaria, conviene esperar un poco de tiempo para que se evapore, pues si los rodillos entran al tramo en esas condiciones, se les pegan a las ruedas parte del

material que se está compactando y puede dejar la superficie muy irregular.

Terminadas estas operaciones conviene comprobar los niveles y el bombeo, pues es el momento oportuno para hacer cualquier corrección, por defecto del tendido de la motoconformadora.

La siguiente pasada, se hace desplazando la maquinaria una distancia igual al ancho de la rueda trasera del rodillo, procurando que el operador borre la huella de la anterior pasada (pasada a una rueda).

A partir de este momento ya no conviene hacer ningún arreglo a la base con la motoconformadora, ya que cualquiera escarificación o remoción que se haga de la capa, quedará semi-suelta y formará cuencas de encharcamiento que inducen los aguachinados o golpes de vía.

Las siguientes pasadas se efectúan igualmente de las orillas al centro y a una velocidad mayor de la máquina, desplazándola un ancho igual a la mitad del ancho de la rueda trasera (pasadas a media rueda) hasta que se alcance la compacidad requerida.

Las operaciones descritas no son forzosas y se pueden cambiar según la experiencia que se tenga en los materiales que se van compactando.

Generalmente todos los materiales pueden compactarse con las operaciones descritas con un número de pasadas a media rueda que varía entre 2 y 5 pasadas.

Cuando ni con 5 pasadas a media rueda se alcance la compac'

ción deseada, hay que pensar que son otras las causas por las que no se compacta el material, tales como una mala granulometría, una humedad dispareja, mala cementación o poca efectividad del rodillo liso para ese material.

Es muy importante que durante todo el proceso de compactación se mantenga un control del grado de compactación del material y se realicen pruebas del Valor Relativo de Soporte que va adquiriendo la capa.

La relación de compactación generalmente es del 80 al 90 % y se determina en campo dividiendo el peso de la muestra entre el peso máximo de igual material compactado al máximo.

#### EQUIPO DE COMPACTACION

La compactación es un proceso de densificación que depende de las dimensiones de el área cargada, de la compresión ejercida sobre esa área, de la humedad del suelo, y tipo del mismo y del espesor de la capa a compactar.

El espesor de la capa es un factor de verdadera importancia en el porcentaje de compactación. Una gran cantidad de las dificultades encontradas al tratar de obtener determinada compactación se deben a capas con espesores excesivos y no apropiados para el equipo de compactación usado.

No es posible predecir qué espesor de capa de material resulta más económico para los diferentes suelos y tipos de equipo de compactación existentes, sin embargo, si se pueden dar algunas reglas sencillas y generales que puedan ser aplicadas con

facilidad en la práctica. Aunque es recomendable que siempre se verifique el espesor de la capa a compactar durante el proceso inicial del trabajo de compactación:

Deberá procurarse efectuar la compactación siempre a la humedad óptima debido a que facilita el acomodo de las partículas del suelo con el menor trabajo del equipo de compactación. Si se aumenta o disminuye la humedad en forma excesiva, para llegar a obtener el mismo peso volumétrico, sería necesario aumentar el trabajo de las máquinas de compactación, pues pasando la humedad óptima se tienen pesos volumétricos secos que van siendo menores a medida que la humedad aumenta.

El grado de compactación, humedad, espesor, equipo y número de pasadas, debe resolverse experimentalmente en el campo, para ahorrar costos al lograr el grado buscando que representa la relación de resistencias y densidades de la muestra de campo, con valores óptimos teóricos de cada material.

#### Motoconformadora.

Las máquinas de mayor uso en la construcción y mantenimiento de la superestructura ferroviaria son las motoconformadoras de caminos y la conformadora de vía, empujada por locomotoras del tren de trabajo.

Con ella se forman banquetas o cunetas, afinan taludes de corte y terraplén, sirve también para revolver materiales, extenderlos así como hacer zanjas, constituyendo el equipo básico más versátil e indispensable para formar terraplenes con préstamo lateral.

La larga base rígida entre sus ejes les permite reglar rasantes pudiendo variar sus ángulos de ataque (horizontal y verticalmente), dentro de su eje de giro al centro de la máquina, además de poderlo desplazar lateralmente.

Esta máquina en virtud de su forma de trabajo hacia adelante debe voltear en tramos de longitud no menor de 300 m, pues a menores distancias conviene utilizar la reversa para regresar.

#### Rodillo Pata de Cabra

Es recomendable llevar a cabo pruebas para determinar el procedimiento de compactación que resulte más adecuado.

Cuando ya se cuenta con un determinado equipo de pata de cabra, la prueba consistirá en determinar el espesor de la capa de suelo que puede ser compactada de la mejor manera, el número de pasadas requerido por los suelos encontrados y la necesidad de aumentar o disminuir la presión en las patas. El suelo debe tener la humedad óptima. Generalmente tres capas son suficientes para determinar el apisonado mínimo necesario para obtener la compactación deseada. Por ejemplo tres capas sueltas de 15, 20 y 30 cm después de extendidas, se dividen en franjas sobre las que se dan 4, 7 y 10 pasadas de rodillo.

Los resultados de las pruebas de compactación que se hagan indicarán que combinación es la más efectiva.

Este equipo consiste en un cilindro en el cual hay unas piezas soldadas que sobresalen, conocidas con el nombre de "Patas de cabra" que tienen forma piramidal.

El cilindro de la pata de cabra esta hueco y puede llenarse

con agua, arena o ambas para aumentar su peso, las patas son de una longitud que varía de 18 a 23 cm y están distribuidas sobre el tambor, según resultados experimentales. El número máximo de patas por metro cuadrado de área de tambor, es de 12, la forma de las patas varía con los diferentes modelos de rodillos, buscando sobre todo evitar que las patas, al salir del terreno durante la compactación, lo aflojen.

Produce la compactación requerida por suelos cohesivos, pudiendo producir de 180 a 120 m<sup>3</sup> por hora.

Las presiones recomendadas son las siguientes:

Material	Presión
Arcilla	200 lbs/pie <sup>3</sup>
Suelos de baja	150 lbs/pie <sup>3</sup>
Arenosos	100 lbs/pie <sup>3</sup>

Cada rodillo compacta 150 cm, de ancho y un tractor grande puede jalar 2 rodillos en paralelo.

Reglas prácticas recomendables para compactar con patas de cabra.

a) El material, con la humedad óptima se extiende en la capa de espesor especificado (aproximadamente 1.5 veces la longitud de la pata). En la primera pasada la pata penetra totalmente. Cada pasada sucesiva sobre el material lo compacta hasta que las patas del rodillo quedan sin entrar, indicando la densificación. El apisonado posterior no aumenta la compactación.

b) Es necesario durante la compactación, translapar unos 30 cm a cada lado del área para mejores resultados.

c) Se afina la superficie compactada para borrar las huellas de las patas y se le da una recompactada superficial con planchela de rodillo liso metálico.

#### Aplanadora de Neumáticos.

Este equipo de compactación emplea ruedas provistas de neumáticos las cuales, generalmente, se encuentran montadas en dos ejes, adelante y atrás de la unidad. Los neumáticos se colocan de tal manera que las del eje posterior cubran las huellas dejadas por las de eje delantero. Este equipo se puede lastrar con arena, grava, piedras, trozos metálicos, etc. ya que cuenta con una caja para tal fin.

Los modernos rodillos, generalmente los rodillos grandes, llevan cuatro o cinco ruedas en cada lado, en ejes independientes articulados de tal manera que se mueven verticalmente adaptándose a las irregularidades del terreno.

La eficacia de este equipo depende de el área de la presión de contacto, del número de pasadas, del tipo de suelo y el espesor de la capa que se esté compactando.

El espesor suelto de la capa a compactar puede determinarse multiplicando el tonelaje total por 0.9 dando así un resultado que será el espesor de la capa en cm. sueltos.

Por ejemplo:

Rodillo neumático de 20 ton. métricas de peso.

Podrá compactar  $20 \times 0.9 = 18$  cm sueltos de material.

Este es un equipo usual para compactar cualquier suelo granular o cohesivo, puede afinar subrasante con 6 o más llantas car

gadas entre 10 y 30 ton. con posible vibración para compactar arena, empleando velocidades de 15 Kmph y siendo posible variar las presiones de compactación, variando de 30 Psi, hasta 100 Psi el inflado de lso neumáticos, modificando el área de contacto de  $1150 \text{ cm}^2$  a  $570 \text{ cm}^2$ , lo cual puede realizarse en la misma obra.

#### Aplanadoras de Rodillos Metálicos.

Las aplanadoras de este tipo se dividen en dos clases, aplanadoras de tres ruedas y aplanadoras tandem. Los dos tipos se fabrican en pesos variados. Las aplanadoras o planchas de tres ruedas se fabrican con rodillos huecos que pueden llenarse con agua para obtener el peso por unidad de ancho que se desee o puede ser de rodillos con rayos.

Las ruedas traseras son motrices, éstas ruedas están colocadas con su borde interno alineado con el borde externo del rodillo delantero de manera que pasan por las orillas de las huellas dejadas por el rodillo delantero, que es direccional.

Este equipo es ideal para acabado de subrasante y planchado de riegos asfálticos, pero carece de aplicación para cualquier suelo o balasto de arena.

Cabe hacer mención que el ferrocarril no precisa una compactación tan rigurosa como la carretera pavimentada, dado la gran facilidad para renivelar la vía calzando el balasto.

El espesor aproximado de la capa por compactar, con la humedad óptima y con rodillos lisos, es el peso total en toneladas más 25 % de ese peso en ton. expresado en centímetros sueltos

Por ejemplo:

Una aplanadora de 12 Ton. puede compactar eficientemente una capa suelta de  $12 + 3 = 15 \text{ cm}'$

La presión recomendada para diferentes tipos de suelo:

Tipos de suelo	Ton. por centímetro lineal de ancho.
Cieno suelto y suelos de arcilla y arena que dependen sus características friccionantes para desarrollar resistencia.	0.9 a 1.1
Cienos arcillosos y suelos arcillosos con baja plasticidad (menor de 10)	1.27 a 1.63
Arenas bien graduadas con la cantidad suficiente de finos para actuar como relleno y como aglutinante.	1.8 a 2.2
Suelos arcillosos con mediana o alta plasticidad.	" " "

#### Rodillos Vibratorios.

Entre los rodillos vibratorios, se tienen varias clases de ellos, los hay con ruedas metálicas o con llantas neumáticas y, además, los hay con auto-propulsión o de remolque. El rodillo vibra a frecuencia relativamente baja mediante la acción de un

motor independiente. Este tipo de equipo produce una compactación muy buena en materiales arenosos. Por lo tanto ideales para compactar balasto antiguo antes del cambio de vía completa por tramos, permite compactar los deslaves, los refuerzos de banquetta y la preparación de bases antes del tendido de vía.

#### MANEJO DEL BALASTO

El balasto preparado deberá manejarse en la planta de producción de tal manera que se conserve limpio y libre de segregación.

Unicamente será cargado en góndolas que estén en buenas condiciones, lo suficientemente bien ajustadas para evitar mermas y desperdicios de material, y que estén limpias y libres de basura o cualquier sustancia que pueda alterar o dañar al balasto.

Se tomarán muestras de cada 200 ton. del material y servirán para determinar la granulometría y otras pruebas requeridas. La muestra deberá ser representativa y deberá pesar no menos de 50 kg.

#### COLOCACION DEL BALASTO

La colocación del balasto se hace después de haber armado la vía y colocado en el eje correspondiente de la corona preparada el sub-balasto, la maniobra mecánica se hace de la siguiente manera:

Se distribuye el balasto a lo largo de la vía mediante góndolas o tolvas con compuerta inferior y en los costados, permiti-

tiendo esto esparcir el balasto en los extremos de los durmientes y en el centro de la vía, en forma simultánea. También es usual el empleo de plataformas y carros con inclinación lateral de descarga para la transportación del balasto.

Se procede a la descarga directamente sobre la vía por balagtar, en cantidades previamente calculadas, para conseguir levantes uniformes de 10 cm aproximadamente.

En cada operación la vía se levanta a la altura prevista y se calza distribuyendo el balasto uniformemente bajo los durmientes. Esta operación se lleva a cabo empleando gatos calzadores y multicalzadores, efectuándose en algunas ocasiones con herramientas de mano.

El ancho del balasto está en función de la longitud de los durmientes, los cuales miden 8' (244 cm), si son de madera, (aunque los demás existentes varían poco en longitud); de los taludes en corte o terraplén y del propio espesor proyectado, también se toma en cuenta si la vía es principal o secundaria, condiciones económicas, etc.

Las especificaciones marcadas por la (A.R.E.A.) American Rail way Engineering Association para la subrasante son del rango de 427 cm a 792 cm para vía única y de 792 a 1158 cm para vía doble.

El espesor de la capa de balasto se mide de la cara inferior del durmiente a la cota de la subrasante (incluyendo el sub-balasto).

En las curvas el espesor se mide debajo del carril interior

y aumentándose en el riel exterior para proporcionarse la sobre-  
elevación adecuada a las curvas.

Al construirse el lecho de la vía, se debe dar un ligero bom  
beo de 4 % en la parte superior que garantiza el buen drenaje  
 del balasto.

La porción de la sección comprendida entre el extremo de los  
 durmientes y el extremo inferior del talud se la conoce como  
 banqueta del balasto, cuya parte superior cercana al extremo de  
 los durmientes debe redondearse y los taludes están en función  
 del ángulo de reposo del material utilizado como balasto. De 2  
 a 1 para piedra triturada y escoria y de 3 a 1 para o tres mate  
 riales más ligeros.

Los cajones llenos y las banquetas completas deben preferir-  
 se, puesto que mantienen a la vía a su nivel y alineamientos co  
rrectos; evitándose en gran parte el deslizamiento de la vía  
 (especialmente en las curvas).

En nuestro país se utiliza aproximadamente  $1.20 \text{ m}^3$  de balas-  
 to por metro lineal de vías, dependiendo esta capacidad de la  
 sección transversal, de la calidad del balasto utilizado y del  
 tipo de vía.

La bondad de una vía depende en gran parte del buen estado  
 del balasto, por lo que debe cuidarse que se conserve en buenas  
 condiciones, para prolongar la vida del durmiente, rieles y  
 equipo ferroviario, así como para transmitir la carga uniforme-  
 mente a las terracerías y facilitar el escurrimiento del agua.

## TENDIDO DE VIA

El método tradicional utilizado en el tendido de la vía clavada se caracteriza por el empleo de una abundante mano de obra y una escasa mecanización.

El proceso se realiza de la siguiente manera: El tren de trabajo (retrocediendo) llega hasta el extremo de la vía de las plataformas o gondolas. Se descargan los durmientes, operación que puede ser realizada mecánicamente o bien a mano, la madera se distribuye de atrás hacia adelante, alineando el lado izquierdo (lado de ojo) y espaciando las traviestas entre sí a 50 cm.

A continuación se procede a distribuir las placas de apoyo, y se colocan sobre la superficie que servirá de soporte a los rieles, donde previamente se han barrenado los taladros de gufa para hincar los clavos de fijación.

En este punto el tren de trabajo regresa con una grua para realizar la descarga del riel, es necesario recordar que el riel se puede dañar con facilidad y por lo tanto deberá tenerse mucho cuidado cuando se efectuen las maniobras de carga y descarga y colocación de vía.

Cuando se haga uso de la grua para cualesquiera de estas operaciones se deberá tener cuidado de que la grua levante al riel por el centro y que al momento de la descarga se evite que el mismo se golpee con superficies duras. Cuando los rieles se descargan a mano deberán colocarse rieles engrasados en forma

de rampa apoyados sobre la plataforma y se deberán bajar con precaución deslizándolos y tratando de no golpearlos. En el caso de que no se vaya a utilizar los rieles de inmediato en la vía, deberán almacenarse en pilas, las que deberán de ser clasificadas, procurando que la primera capa se apoye en rieles viejos.

En el caso de que se acomoden a los lados de la vía y en las banquetas, se deben de asegurar debidamente para que no vayan a resbalarse, por los taludes del terraplén, pues de ocurrir esto, habrá necesidad de subirlos nuevamente a la vía, con lo que se causarían pérdidas de tiempo y se expondría al personal a tener algún accidente.

Los rieles se colocan a partir del lado de ojo, que recibe una alineación esmerada. La vía se presenta y se va armando y atornillando, las juntas de expansión. Se colocan sólo los clavos necesarios para afirmar al riel en las llantas (puntos de los rieles) y centros dejando el resto del clavado para realizarse a máquina una vez alineado y asegurado al escantillón.

El tren avanza sobre el tendido provicional continuado la distribución de durmientes usando vía sin balasto, esto es sólo durante el avance de un día de labor, el último viaje de el tren de trabajo se destina a distribuir balasto enrasando los rieles con un volumen aproximado de  $500 \text{ m}^3$  por KM. correspondiente a un 40 % de la dotación final.

El uso de tractores y remolques tipo forestal ha hecho posible una mejora en la velocidad de tendido de vía, aunque se v

rfan las operaciones anteriores pues la distribución de los durmientes se hace de adelante hacia atrás, una vez que se han distribuido los rieles, los cuales se almacenan a lo largo de la banqueta y cunetas, transportados desde las estaciones próximas por los automotores.

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

Cuando se efectúa cambio de riel, el riel nuevo soldado se descarga a un lado o al centro de la vía y se desclava a máquina el riel viejo, retirando las placas y demás accesorios de un sólo riel, para permitir el apoyo de la máquina entalladora, la cual alisa el asiento de los durmientes en buen estado, acción que complementa al taqueteo de los orificios de los clavos viejos, usando taquetes de madera cretosada y asfalto para alargar la vida del durmiente usado.

Primero se cambia el riel izquierdo y luego el riel del lado opuesto (Escantillón), debiéndose alinear el hongo del riel con tránsito y con precisión al milímetro.

El cambio del riel debe complementarse con refuerzo de durmiente (Eliminando los que ya estén marcados como defectuosos) así como un alineado y nivelación con refuerzo de balasto fresco por lo menos con 3" de levante de los niveles.

Una vez que se tiene tendido el riel nuevo o que se ha cam-

biado se procede a unir las juntas o a soldar las puntas de los rieles entre si, se inicia la colocación de anclas de fijación y se observa cuidadosamente los niveles al paso de los primeros trenes, para poder corregir los asentamientos con balasto y calzado adicional, hasta obtener la nivelación definitiva.

#### ALINEAR Y NIVELAR

La distribución de los durmientes puede ser realizada tomando como base las estacas de centro, pero el riel debe ser alineado con mayor precisión, para lo cual se preparan bases bien compactadas y niveladas al centímetro sobre las que se apoyan los niveles.

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 un cabezal de madera de puente que es empujado por los trucks del tren (acción muy semejante a la que realiza la hoja de un bulldozer).

Es muy necesario el uso de una máquina reguladora de balasto la cual es muy útil para sacar 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 (espacios entre durmientes) y colocado el balasto lateral (cubriendo las cabezas) se debe dar el primer levante lo cual resulta económico y rápido usando máquinas niveladoras o gatos de escalera 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, que permite disponer de 20 cm. de balasto compactado bajo el durmiente, lo cual ya admite afinar la nivelación y mejorar el alineamiento, para iniciar la operación de trenes con velocidades moderadas hasta compactar y alisar la vía.

Es frecuente el uso de rieles usados en el tendido de vías nuevas. En estos casos la nivelación y el alineado resultan en cierto modo difíciles. El tipo de riel que comunmente se usa en estas vías es el proveniente de las vías troncales.

Si las puntas están vencidas o dañadas es necesario cortarlas y soldar tramos de dos rieles y taladrar nuevamente sus extremos.

Aunque el riel tuviese juntas aceptables de todos modos el tendido se efectúa con rieles que no son rigurosamente rectos en planta ni perfil, debido a casi imperceptibles deformaciones difíciles de corregir con gatos para curvas. Este tipo de línea no debe tenderse alineando el hongo geoméricamente con tránsito pues no se lograría nunca la alineación deseada, en la práctica lo único que se puede hacer es aceptar una vía con moderadas ondulaciones, poniendo como única condición que no se admitan fuertes deflexiones o codos entre dos rieles consecutivos, ello obliga a escoger los rieles uno por uno hasta colocarlos de modo que no provoquen golpes de línea y para ello el me-

El mejor aparato es el ojo clínico de algún viejo rielero, que alineando un riel tras otro, observa su colocación aceptando sólo ondulaciones largas y suaves y evitando deflexiones bruscas entre rieles consecutivos.

### MÉTODOS MODERNOS DE TENDIDO

Empleados principalmente para riel largo soldado.

Es necesario hacer notar que la vía soldada en grandes longitudes, precisa de materiales de primera calidad (rieles, fijaciones, durmientes, etc.) y una base y conservación perfectas, la vía soldada es una vía nueva, que soporta grandes esfuerzos y que debe permanecer estable, no se adapta ni soporta defectos de trazado ni una conservación insuficiente.

Si se va a efectuar el tendido de vía sobre terracerías de una línea nueva, los durmientes se ponen directamente sobre la terracería con rasante correcta y cuya base fué previamente compactada e inclusive en ocasiones es necesario el empleo de un riego de impregnación.

En los casos en que la nueva vía se vaya a colocar sobre durmientes de madera, frecuentemente se recurre a la colocación enteramente manual, los durmientes, los largos rieles soldados y el pequeño material se descargan previamente sobre las banquetas de las vías. Una vez que los rieles han sido aceptados e inspeccionados cuidadosamente, se cargan en plataformas y se envían a las divisiones de cada frente.

Cuando se trata de una colocación sobre durmientes de cor

creto armado, los durmientes previamente almacenados en las estaciones cercanas al campamento, se levantan y se llevan a éste usando trenes "lorry" y se colocan en sus lugares definitivos empleando máquinas de rendimiento bastante lento, que a menudo son adaptaciones de las anteriormente usadas para la colocación de tramos de vía preensamblados.

La longitud de los rieles ordinarios generalmente es de 12 m. los rieles largos de 24 ó 36 m están formados por dos o tres rieles ordinarios soldados entre si con soldadura eléctrica o aluminotérmica. Pudiendo con ventaja efectuar esta operación antes de colocarlos en la vía, ya que uno y otro procedimiento son complementarios.

Un riel de gran longitud se obtiene al soldar entre si varios rieles largos después de haberlos colocado en la vía convenientemente provista de balasto.

Cualquiera que sea su longitud total, provisional o definitiva requiere en cada caso, en cada uno de sus extremos, un dispositivo especial para absorber las dilataciones (J-D). La longitud total de un riel de gran longitud entre dos juntas de dilataciones especiales depende principalmente de las características peculiares del trazo de la línea, teniendo en cuenta: grados de curvatura, pendientes, así como la situación de los puentes y tuneles. Esta longitud que habitualmente oscilla entre los 800 y 1600 m., puede ser prácticamente ilimitada cuando se reunan condiciones favorables, como cuando se haga uso de durmientes de madera de muy buena calidad estando la vía perfecta-

mente balastada, o, mejor aún, cuando dicha vía se tienda sobre durmientes de concreto que por su peso y características de máxima calidad y seguridad los tornillos donde se fijan las grapas elásticas, ofrecen la mayor resistencia a los esfuerzos laterales y verticales, asegurando además la facilidad de dar un mantenimiento permanente y uniforme del conjunto, doblemente elástico. La vía armada utilizando durmientes tipo RS en un caso necesario, aún sin balasto permite en forma provicional el paso de trenes de trabajo sin sufrir deformaciones ni perder su alineamiento. De lo anterior se deduce que la longitud total del riel de gran longitud puede alcanzar varios kilómetros, esto supone un considerable ahorro en la junta de dilatación especial.

Estas juntas de dilatación se colocan en la vía, preferentemente al mismo tiempo que se van colocando los rieles en los sitios que fueron designados al hacerse el estudio previo de los alineamientos horizontales y verticales de la línea y en los tramos de los puentes y viaductos que en él se encuentren. Procediendo de esta forma se evitará el tener que recortar y desarmar los rieles ya colocados. En el caso de la construcción de una vía nueva, resultará más fácil armar las juntas de dilatación especiales, en los sitios previamente elegidos.

Teniendo la primera junta de dilatación ya instalada en la vía, los rieles de 12, 24 ó 36 m se colocan sobre los durmientes y se fijan a estos junto con las galletas; placas de asiento y las de hula acanaladas, mediante grapas elásticas (mue-

lles) que no deberán apretarse demasiado con las tirafondeadoras y procurando que el juego, al segundo contacto del muelle con el patín del riel, sea como máximo de 2 mm aproximadamente.

En el caso de que se empleen durmientes de concreto armado tipo R. S., bastará con apretar las tuercas de tornillos especiales, cada 5 durmientes, aumentando notablemente el avance del tendido de vía y permitiendo, en caso necesario, efectuar al mismo tiempo la circulación sobre la misma de trenes de trabajo a velocidades reducidas, siendo conveniente completar el trabajo apretando las tuercas de los cuatro durmientes saltados.

En el tendido de la vía se van colocando los rieles largos de 24 a 36 m uniendolos entre sí provisionalmente por medio de planchuelas con los tornillos normalmente apretados. Las aberturas que se deben dejar entre las juntas de los rieles deberá ser la correspondiente a la calculada para la temperatura ambiente en el momento de la colocación. Esta abertura tiene relativamente poca importancia ya que el emplanchuelado es provisional. Lógicamente es de recomendarse que se efectúen las soldaduras lo antes posible después de la colocación de los rieles largos y que se haga la distribución de balasto, levantamiento y calzado mecánico así como las preparaciones de alineamiento y nivelación de la vía.

En esta forma se evita la formación de golpes en la vía y la deformación de los rieles en los extremos que provienen de los impactos frecuentes que reciben por el choque de las ruedas

de la locomotora y carros aún a velocidades reducidas.

Es necesario recordar algunas normas importantes que deben ser rigurosamente observadas al realizar las operaciones de soldadura.

La temperatura debe observarse siempre en el interior del riel y comprobarse con tres termómetros utilizando para el efecto el riel muestreador de temperatura de 25 a 30 cm de longi-tud.

La temperatura media es la obtenida al tomar en cuenta las temperaturas máxima y mínima conocidas en la región donde van a tenderse los rieles.

Cada equipo de soldadores debe estar provisto de un soplete de gas que le permita cortar las extremidades de los rieles y obtener las aberturas necesarias, de 15 mm aproximadamente, para realizar buenas soldaduras.

Para eliminar las fuerzas térmicas en los rieles de gran longitud o en los extremos de más de 36 m es necesario hacer una compensación para dejarlos en equilibrio térmico.

Para realizar esta operación, después de desemplanchar se hace lo siguiente: comenzando con los extremos se aflojan todos los tirafondos colocando entre el patín del riel y el dur-miente rodillos (pudiendo utilizarse en ésta operación pedazos de varilla redonda de 20 mm mínimo.) siendo suficiente un rodillo cada diez durmientes y se procede a golpear ligeramente con un martillo de vía el alma del riel para hacer formar a este posición de equilibrio térmico y su longitud a la temperatura r

dia y se verificará también la posición de las placas de hule acanaladas y si se hubiesen resbalado se las colocará de nuevo en su sitio. Luego se aprietan de nuevo los tirafondos comenzando a la mitad del riel de gran longitud, continuando la operación hacia los extremos. En el caso de que no alcance el tiempo para terminar la compensación térmica de un riel de gran longitud, por estar próximo el fin de las horas de temperatura media o de la jornada de trabajo de la cuadrilla deben dejarse fijos 50 m centrales del riel y apretar los muelles o grapas elásticas hasta el extremo de una junta de dilatación especial y continuar al día siguiente con la misma operación en el extremo opuesto faltante.

En cuanto la vía este bien alineada y nivelada, debe completarse la dotación normal de balasto entre los durmientes y en las cabezas de los mismos, perfilándolo debidamente.

#### Condiciones para construir 2"L.R.S."

Los requisitos necesarios de la superestructura para garantizar en los L.R.S., la seguridad del servicio a las velocidades máximas admisibles y con los máximos pesos son los siguientes:

A) Plataformas a terracerías estables o consolidadas, es decir, no sujetas a deformarse; ni tramos de extensiones importantes en que la arcilla fluya entre el balasto.

b) Balasto permeable y sección completa del mismo consolidado hasta las cabezas de los durmientes.

c) En la vía, curvas de 4° o de menor grado.

d) Durmientes de concreto armado, postensado, pretensado, o durmientes de madera o acero, en buen estado de conservación correctamente espaciados.

e) Cuidadosa neutralización o liberación de las tensiones internas, consiste en liberar los rieles por aflojamiento de las fijaciones, con objeto de que se dilaten libremente y se aprieten después a las temperaturas prescritas. Procediendo de esta manera, se eliminan los esfuerzos de compresión o tracción que se originen en las barras. En los períodos de máximos calores o fríos, quedando dentro de los esfuerzos admisibles.

g) Control periódico de las temperaturas de los rieles mediante termómetro y de las tensiones de neutralización o liberación mediante apropiadas referencias de posición.

### Soldadura de rieles

Su finalidad es la de unir rieles de longitud normal, hasta lograr largos rieles soldados (L. R. S.), con lo que se elimina el uso de juntas emplanchueladas y los problemas que estas generan.

Se emplean diversos métodos de soldadura de rieles, como son: Aluminio - térmica, eléctrica al arco, presión - eléctrica por gas a presión, etc.

La mejor calidad y menor precio se obtienen usando métodos de taller, producción en serie, usando energía eléctrica del servicio público, etc.

Este tipo de soldadura, sólo podría instalarse en las laminadoras de riel, pero los tramos soldados resultarían de 7 a 8 rieles máximo, a causa de problemas de transporte sobre la plataforma a grandes distancias.

Una solución intermedia (para tamaño industrial con económicos costos) consiste en fábricas portátiles de soldadura eléctrica montadas en carros de ferrocarril, pudiendo usar corriente pública o generando su propia energía.

Finalmente, el menor tamaño individual de soldadura es el proceso aluminotérmico aplicable en la vía, que resulta indispensable para labores aisladas y para conectar los tramos soldados en el taller exclusivamente, a menos de realizarse obras aisladas y de pequeña cuantía.

### Procedimiento aluminio - térmico.

El proceso aluminotérmico es el único de los sistemas de soldadura a fusión que aprovecha una reacción química para la obtención del material de aporte líquido de alta temperatura.

Esta reacción descubierta y desarrollada en Alemania por el profesor Hans Goldschmit en el año de 1896, aprovecha la afinidad del aluminio hacia el oxígeno, la reducción de óxidos de metales pesados, preferentemente óxido de hierro.

Actualmente se usa esta reacción con pequeñas variantes según el proceso alemán (Thermit) y el francés (Boutet) con excelentes resultados por su menor costo y bajo porcentaje de fallas no mayor de 2 al millar cuando se dispone de personal experimentado.

El proceso se puede describir como sigue:

Oxido de metal + Aluminio + Energía →  
pesado

Metal pesado + Oxido de aluminio + Calor

El procedimiento se basa en que la combinación de óxido de hierro, aluminio y una pequeña energía calorífica genera hierro y óxido de aluminio en adición a un gran desprendimiento de calor que eleva la temperatura a unos 2 600°C.

Al terminar la reacción, los productos resultantes hierro y alumina, se encuentran en estado líquido muy fluido y perfectamente separados el acero de la alumina o escoria que se concentra en la superficie sobre nadando por su menor densidad.

Con la gran cantidad de calor producido se logra fundir hasta donde es necesario, los extremos de los rieles que se van a unir, obteniéndose así una sola pieza soldada.

Es posible variar la composición del metal de aportación de acuerdo a las características del acero de los rieles por soldar adicionando los componentes apropiados a la mezcla original de óxido de hierro y aluminio. Con lo que se obtiene un metal fundido que solda los rieles y al enfriarse resulta de calidad similar a la del propio riel.

#### Fases de ejecución.

Los extremos de los rieles que van a ser soldados, deben limpiarse con cepillo metálico para eliminar todo rastro de óxido o suciedad.

Los rieles se presentan cuidadosamente uno frente al otro, se alinean y nivelan dejando una pequeña separación entre ambos

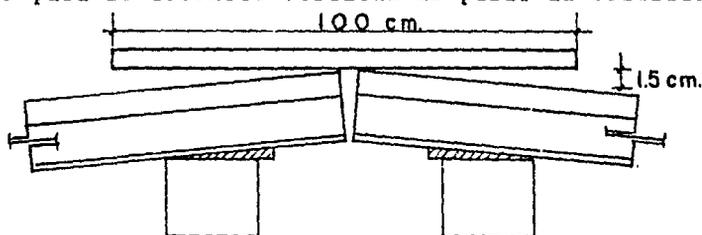
Para la alineación en planta se aplica una regla metálica de 1 m contra la superficie lateral del hongo de ambos rieles, de forma que el centro de la regla coincida con el plano medio de la junta, la flecha ha de ser nula.

En lo que se refiere a la alineación en elevación, las superficies extremas de los rieles que limitan la separación, han de ser verticales y paralelas, la falta de paralelismo o verticalidad puede dar lugar a una soldadura defectuosa.

Cuando se suelda en vfa, es necesario aflojar las fijaciones de varios durmientes para lograr una buena alineación.

Las superficies de rodamiento de ambos rieles, se colocan

de tal manera que formen pequeño ángulo entre si, esto se puede hacer levantando un poco los dos rieles en el lugar de la junta hincando cuñas de madera a golpe de martillo entre el patín del riel y el durmiente sobre el que descansa dicho ángulo será tal que aplicada sobre las superficies de rodamiento de los rieles por unir una regla metálica de 1 m. de forma, que el centro de la regla coincida con el plano medio de la junta, la flecha sea de 1.5 m.m. Este levante es necesario para compensar el descenso producido a la vez por la contracción de la soldadura y lo necesario para el desbaste vertical al pulir la soldadura.



Posición de los extremos de los rieles antes de soldar.

La separación entre los extremos de los rieles concurrentes en la junta debe estar comprendida entre 20 a 22 m. m. sea cual fuere el calibre del riel. Para fijar esta separación, se empleará un separador o cuña metálica en forma de Z con una rama corta que fija la separación.

Para lograr que entre los extremos de los rieles exista la separación conveniente, se puede recurrir a: hacer deslizar longitudinalmente a uno de ellos. O realizar el corte de un segmento de riel de la longitud requerida, con segueta mecánica o con

soplete cortador de oxiacetiléno, debiendo quedar este corte en posición vertical y a 90° (a escuadra), para lo cual se emplearán las plantillas de corte con el soplete correspondiente; terminando el corte, se limpian las rebabas con cincel o cepillo de alambre, según sea necesario.

Si existe una separación mayor de 22 m.m. no debe recurrirse a suplementar la carga, lo que procede, es correr los rieles hasta lograr la separación conveniente.

Una vez colocados los rieles en su posición correcta se sujetan fuertemente por medio de un sargento, el cual es un dispositivo formado por tornillos prensa y topes que mantendrá sujetos a los rieles hasta terminar el proceso.

#### Preparación del molde

Al tratarse de una soldadura por fusión, es necesario moldear la zona de la soldadura.

El molde se fabrica de arena sílica, silicato de sódio y óxido de hierro y puede ser prefabricado o moldeado en el lugar y se compone de dos piezas idénticas, simétricamente dispuestas respecto al plano longitudinal de simetría del riel, las que al presentarse a uno y otro lado de la junta y centrarse perfectamente a esta, proporcionan el recipiente para depositar en el la soldadura en estado líquido. Antes de proceder a colocar las mitades del molde, debe verificarse que las mismas sean las correspondientes al perfil y calibre de los rieles por soldar. Se presenta primero una de las mitades; si contiene algunas rebabas que no permitan que esta se ajuste a los rieles, se recorre

varia veces hacia uno y otro lado en el riel para que esta desprenda las rebabas poco a poco y esa mitad quede así ajustada. Lo mismo se hace con la otra mitad para lograr su ajuste.

En la ranura inferior de las dos mitades del molde, se pone arena húmeda de moldeo (85 % de arena y 15 % de arcilla) a la cual se le agrega un 10 % de agua aprox., colocando en seguida las dos mitades en el riel en posición de colado. Debe comprobarse la ausencia de cualquier obstrucción parcial o total en los orificios de colada y de evacuación de gases. A continuación se aplica contra este el soportamolde metálico que también está en dos mitades y por medio de ajuste y apriete a mano de los brazos de que está provisto el soporte múltiple, las dos mitades del molde se sostendrán en su posición correcta. Deberá comprobarse que el soportamolde queda bien asentado al molde y que la posición de este sea vertical y centrada a la junta; en esta forma, esas mitades ajustarán en todo su perímetro, dejando una junta casi sin separación. El apriete de los brazos contra el soportamolde, debe ser simultáneo y moderado, es decir, deben apretarse los tornillos al mismo tiempo para evitar que el dispositivo se incline para cualquier lado y no deben apretarse en exceso pues pudiera romperse el molde.

La junta que se establece al colocar las dos mitades del molde, deja un intersticio pequeño (abertura) en la línea de contacto de estas, por lo que para evitar que la soldadura fundida se escurra hacia afuera del molde, es necesario empacar perfectamente esa junta, así como el contorno entre molde y

riel. Lo anterior se logra empacando con los dedos arena refractoria de moldeo humeda (10 % de agua) empujando con fuerza para que la arena selle perfectamente la junta, sobre todo, es muy importante que la base del molde quede totalmente sellada y que el empaque de arena no vaya a desprenderse, pues en ocasiones - en que esto sucede, se ha tirado totalmente el metal fundido quedando la junta sin ser soldada. Para comprobar que la junta este bien sellada, deberá observarse inmediatamente después de colocar el soplete de precalentamiento encendido, si la llama no escapa por ninguna parte, si esto ocurriera, se deberá quitar el soplete y la abertura de escape, se sellará perfectamente con arena de moldeo como antes se indicó.

Una vez colocado el molde y antes de efectuar la colada, los extremos de los rieles cuya soldadura se va a efectuar, se calientan hasta lograr que su temperatura sea de 900 °C (rojo cereza claro). El precalentamiento tiene el doble propósito, uno es el de aportar un número inicial de calorías que faciliten la fusión del riel al entrar en contacto con el metal de aportación y el segundo es secar la arcilla que envuelve al molde para evitar escurridos del material de aportación.

El precalentamiento se lleva a cabo por convección, quemando en el interior de una cámara formada por las superficies extremas de los rieles y la interior del molde, una mezcla íntima de aire a baja presión y combustible. La mezcla aire - combustible se logra en el interior de un quemador que la inyecta por la parte superior del molde en la cámara de combustión, de

acuerdo con las presiones que se mencionan adelante.

El precalentamiento rápido (5 min.) utiliza sopletes de oxígeno - gasolina y el método lento requiere 8 min. y usa propano y aire.

Durante el precalentamiento, el quemador descanza sobre un soporte acoplado al cuerpo central de la prensa que sostiene el molde. Un sistema de tornillos de aproximación, le permite pequeños desplazamientos en sentido longitudinal o transversal. El quemador debe quedar perfectamente centrado respecto al plano de simetría del riel y al plano medio del espacio entre rieles, su altura sobre la superficie de rodadura será de 25 mm. El mal emplazamiento del quemador sobre el molde, descentra la inyección y influye perjudicialmente en la duración y regularidad del precalentamiento.

Iniciada la inyección se procede al encendido de la mezcla.

#### Presiones para el precalentamiento

PROPANO	1.5	Kg/cm <sup>2</sup>	BOQUILLA DE 42 ORIFICIOS
OXIGENO	5.0	Kg/cm <sup>2</sup>	
PROPANO	1.0	Kg/cm <sup>2</sup>	BOQUILLA DE 22 ORIFICIOS
Oxígeno	4.5	Kg/cm <sup>2</sup>	

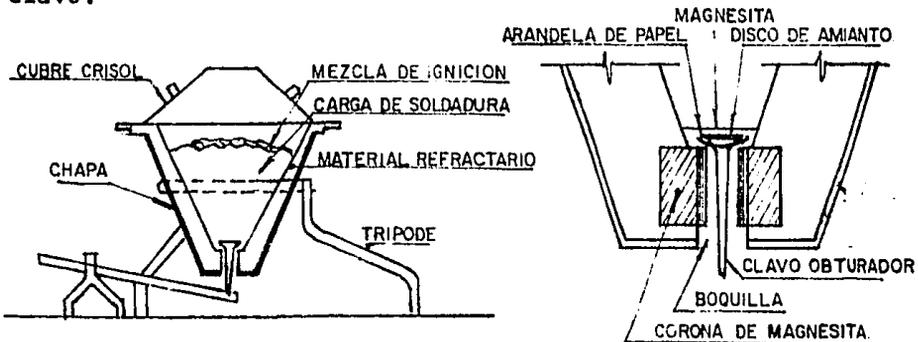
Cuando la mezcla se inyecta a una presión superior a la establecida, la arena que constituye el molde se desintegra y es expulsada en granos incandescentes a través de los bebederos de evacuación de gases. La obstrucción de alguno de ellos puede dar lugar a una soldadura defectuosa.

La altura a que debe situarse el quemador sobre la superficie de rodamiento del riel es variable para cada tipo de riel y clase de molde.

Unos segundos antes de acabar el precalentamiento, debe comprobarse que el molde continúa estando perfectamente sellado. La aparición de llamas en la superficie exterior del molde, en especial a través de las juntas de unión, denota la existencia de una futura fuga.

El crisol cónico donde se ejecuta la fusión del acero consta de una envoltura de chapa de acero revestida de un forro interior de material refractario. En el fondo del crisol existe una pieza intercambiable (boquilla) de magnesita perforada longitudinalmente, a través de la cual se efectúa la colada. Una válvula de acero en forma de clavo, permite mantener cerrado el agujero hasta el momento de la colada.

El aislamiento térmico de la válvula, se logra con unos discos de amianto y magnesita en polvo, así como una pequeña porción de arena refractoria para cubrir el disco de amianto y el clavo.



CRISOL CONICO

El crisol se coloca sobre un soporte capaz de girar alrededor de un vástago vertical unidos al cuerpo central de la prensa de sujeción del molde. Antes de verter la carga en el crisol conviene centrarlo, de forma que al girarlo, el agujero quede sobre el bebedero del molde.

El tope con tornillo que tiene el vástago de sostén del crisol, se fijará a la elevación que permita al metal caer desde una altura aprox. de 7 cm medida del fondo del crisol al borde de la cazoleta, altura que también permite al extremo del clavo pasar libremente sobre el borde de la cazoleta al girar el crisol. Por las mañanas, antes de iniciar la primera colada, debe secarse el crisol con el soplete de precalentamiento para evitar formación de vapor de agua que provoca pequeñas oquedades dentro de la soldadura.

Colocación de la porción de soldadura en el crisol.

Los metales de fierro y aluminio, se vierten a granel, de las porciones cuantificadas y dosificadas por el fabricante, las cuales vienen en bolsas de plástico o de lona protegidas con forro de polietileno para evitar que se altere la mezcla con la humedad. Dichos paquetes son etiquetados con fecha y clase de proporción empaquetada.

Los pesos de las proporciones de soldadura para diferentes calibres de rieles con los perfiles más comunmente empleados son los siguientes:

Rielas de				Peso de la proporción	
34.72	kg/m	70	lbs/yd	5.58	Kg.
39.68	kg/m	80	lbs/yd	6.20	Kg.
44.64	kg/m	90	lbs/yd	6.82	Kg.
49.61	kg/m	100	lbs/yd	7.44	Kg.
55.56	kg/m	112	lbs/yd	8.05	Kg.

Se coloca el pasador de sangría (clavo) en el fondo del crisol, quedando colgado de la cabeza en la boquilla. Se comprobará que el pasador puede levantarse fácilmente; se cubre la cabeza del pasador con el asbesto que viene en una bolsita de papel, desmenuzándolo previamente con los dedos y arriba de este, se coloca arena refractoria de cierre, la que también viene en el mismo paquete de la porción.

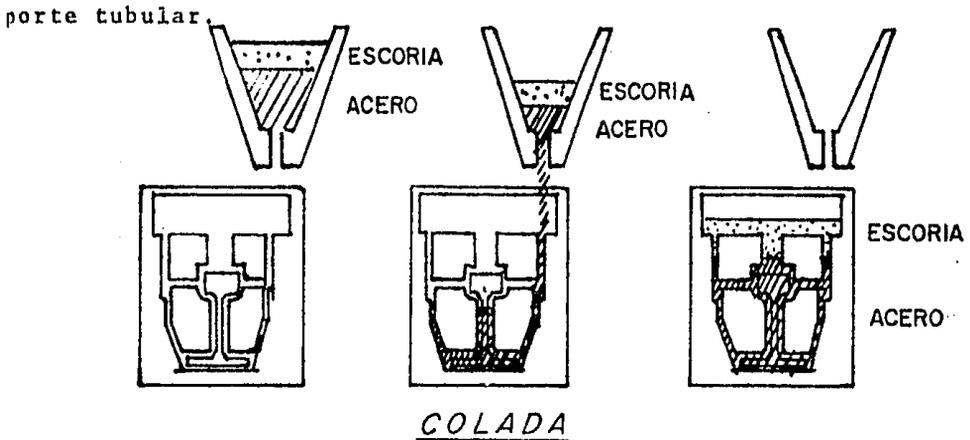
El asbesto y la arena se oprimen ligeramente con un mango de madera seco de cabeza plana. A continuación, se vacía la porción de soldadura por entre los dedos de una de las manos, para que esta no caiga de golpe y mueve el asbesto y la arena de cierre. Al final se agrega un fósforo (sin encender) o mezcla de ignición antes de colocar la tapa del arisol. De esta manera queda preparado.

#### Reacción y vaciado de la soldadura.

Segundos antes de terminado el precalentamiento, se enciende la mezcla de ignición o fósforo según sea el caso. La mezcla está constituida por peróxido de bario, aluminio y magnesia y al arder desarrolla una elevada temperatura que provoca la reacción en cadena entre el óxido de hierro y de aluminio. La reac-

ción de la carga suele durar de 20 a 25 segundos, pudiendo considerarse como terminada cuando se aprecia una disminución en la humareda y cesan las vibraciones del crisol.

De inmediato al encendido, se colocará la tapa del crisol sobre éste para evitar salpicaduras inconvenientes. Con ayuda de los anteojos oscuros, que siempre deben usarse, se mira por el claro de la tapa para cerciorarse de que la reacción es completa. Inmediatamente, antes de girar el crisol para que escurre el metal fundido a la cazoleta, se retira el soplete, cerrando para apagarlo, primero el gas combustible y después el oxígeno; si se procede al contrario, seguirá encendido el gas con una flama grande que puede ocasionar quemaduras. De inmediato gira el crisol hasta que el clavo quede centrado a la cazoleta, y con la varilla de destapado, se empuja el clavo hacia arriba iniciándose el vaciado del metal dentro de la cazoleta y escurriendo hacia el molde, el que es poco a poco llenado de abajo hacia arriba. La escoria que va flotando en el acero fundido escurre hacia la charola, quedando parte de esta depositada sobre la junta, observando por la abertura circular de la tapa del crisol y cuando prácticamente se terminó el vaciado, se mete con cuidado en la boquilla la varilla de tapado quedando cerrado el crisol. Lo anterior es necesario para que el orificio de salida en la boquilla no quede obstruido por la última parte del metal y se eche a perder esta. En seguida se quita el crisol y se desengancha la charola y el soporte de la cazoleta, poniéndolas fuera de la zona de trabajo y luego se retira el sc



Terminada la colada, se deja enfriar el molde de 3 a 4 minutos antes de efectuar cualquier otra manipulación. Esto es para dar tiempo al metal vertido de que solidifique. Transcurrido este tiempo, se desprenden con cuidado las partes superiores del molde con ayuda del marro, luego con la tajadera se levanta la tapa de escoria que cubre la junta, si el metal está solidificado y por tanto no hay peligro de que éste escurra, se siguen desprendiendo las mitades de los moldes hacia abajo golpeando con el marro siempre con cuidado, en los laterales y en la parte superior, se van desprendiendo a ambos lados de la junta las llamadas "colas", o sean los dos castillos a cada lado de los refuerzos del alma, que dejan los conductos verticales que tiene el molde y por los cuales éste es llenado, hasta que éstas quedan dobladas y sólo ligeramente adheridas al patín del riel. Se limpian con un cepillo de alambre la arena de moldeo en las laterales de la soldadura. Con la tapadera, y golpeando con el marro, se procede a recortar los sobrantes de soldadura de ambos costados del hongo; luego, colocando la tajadera casi horizontal sobre el hongo de uno y otro lado de la soldadura, se

golpea enérgicamente con el marro, ya que el metal depositado ha endurecido más y para recortar ese sobrante de soldadura; se requiere mayor impacto. Debe observarse la posición de la tajadera e inclinarla más o menos para lograr un recorte lo más atrás posible y no tener que esmerilar demasiado al configurar el hongo o que tampoco quede una socavación, lo que puede ocurrir al enderezar demasiado la tajadera. Como esta herramienta se calienta bastante, es necesario intercambiarla con otras que estarán metidas en un bote con agua para ser enfriadas. A continuación, con el martillo de bola, se golpea el perfil del hongo en la soldadura para asentarla aún más.

Ya prácticamente fría la junta recién soldada, se limpia la junta con el cepillo de alambre. Con la máquina esmeriladora o con el esmeril de chicote y en ocasiones con la lima de dos manos, se procede al pulido del hongo, cuidando que quede una superficie de rodamiento continua, o sea, que en todo el perfil del hongo, tanto en la superficie superior como en las laterales, no haya rebordes ni concavidades.

Es necesario proteger la junta recién soldada evitando que le llegue a caer agua, ya sea en forma accidental o por lluvia. Por lo que ésta se cubrirá con un canal en forma de u de lámina durante una hora, la canal tendrá por sección ramas y fondo de 25 cm y longitud de 1.0 m, la canal deberá quedar centrada a la junta.

### Aspecto de la soldadura

Antes del examen visual de la soldadura, se limpiarán éstas con cepillo metálico para eliminar la arena de los moldes que ha quedado adherida.

La soldadura no deberá presentar ningún defecto en la unión del acero fundido y laminado así como tampoco defectos en las uniones del alma con el hongo y el patín.

Ninguna incrustación de escoria - corindón o de arena vitrificada en el hongo del riel.

Ninguna grieta, ni poro en toda la superficie del acero fundido.

La apariencia que tendrá la junta soldada una vez esmerilada, será la que presenta un riel pulido en buen estado y con continuidad de forma y apariencia.

Una vez esmerilada la junta soldada, se procederá a comprobar que su alineamiento esté dentro de las tolerancias especificadas.

Se procederá a verificar la dureza Brinell con el dispositivo correspondiente, la que deberá ser de  $250 \pm 10 \text{ Kg/mm}^2$  en soldadura. En el riel esta dureza es de  $280 \text{ Kg/mm}^2$ .

En el caso de que no cumpla con los requisitos descritos la soldadura se considerará como defectuosa y será necesario sustituirla, en este caso se intercalará un riel corto no menor de 4 m de longitud, efectuándose el corte del riel con soplete de oxiacetileno. Las nuevas soldaduras se harán en forma sucesiva, nunca simultáneamente.

### Tolerancias.

Las soldaduras se realizarán del modo más perfecto, debiendo esforzarse para reducir las flechas verticales y laterales a los límites más bajos posibles.

Las tolerancias a admitir serán las siguientes:

a) En el sentido vertical:

Una flecha de 0.5 MM medidos para una cuerda de 1.5 M

Una flecha de 0.3 MM medidos para una cuerda de 0.2 M

b) En el sentido lateral:

Una flecha de 0.75 MM medidos para una cuerda de 1.5 M

Una flecha de 0.5 MM medidos para una cuerda de 1.0 M

Si en el caso excepcional se alcanzase en las flechas valores superiores a los arriba indicados, pero inferiores a 1 mm puede admitirse la soldadura, siempre que la flecha se anule paulatinamente en una longitud igual a 500 veces el valor de la flecha.

La medición de las flechas se efectúa por medio de una regla metálica, de las medidas indicadas y un calibrador. La regla se aplica sobre la superficie de rodadura y las caras laterales del riel, de modo que coincida con la soldadura en el punto medio de la regla.

### Soldadura presión - eléctrica.

Este tipo de soldadura se produce por medio de una corriente de alta intensidad, que se hace circular entre los dos rieles por soldar, la cual calienta las puntas de dichos rieles a la temperatura de fusión, en ese punto mediante la aplicación

de presión mecánica se unen las dos puntas, es decir las partes se sueldan por calor y presión. Generalmente, se emplea corriente de 50'000 a 70'000 amperios, con una tensión de 5 a 10 voltios, proporcionada por un transformador y en la proximidad de la junta por dos pares de electrodos de tenaza.

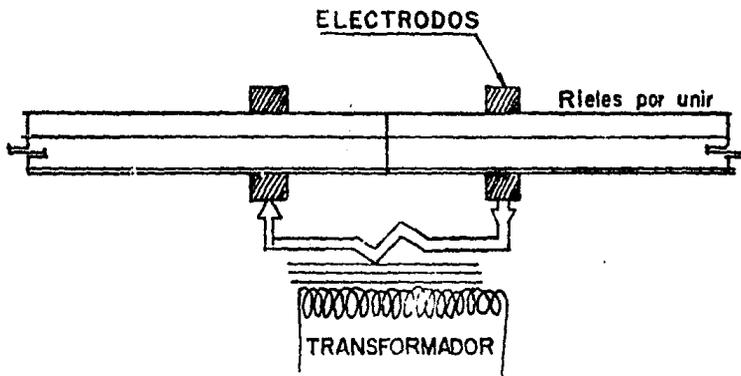


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA  
SOLDADURA POR RESISTENCIA

El precalentamiento que se da a las puntas de los rieles por unir no se proporciona con continuidad, sino en intervalos rápidos, lo que se logra con un movimiento de péndulo del patín de empuje, que alternativamente cierra y abre el circuito. El fin que se persigue, es que los cantos salientes, por medio de la concentración de corriente, se fundan y formen superficies térmicas lo más paralelas posibles, de manera que se calienten uniformemente hasta una temperatura suficientemente alta para comenzar el proceso de fusión que es continuo.

Durante la fusión, no se forma contacto permanente entre

las puntas de los rieles debido a que, las puntas que se tocan y forman el puente para la corriente, se calientan a la temperatura de fusión inmediatamente. Cuando esto ocurre las partículas de metal fundido saltan con un chisporroteo muy vivo, impidiendo la entrada del oxígeno de la atmósfera al lugar de la unión. La escoria y óxido formados durante el precalentamiento también saltan del lugar de la soldadura. Cuando se ha fundido una cantidad de material previamente determinada, las puntas de los rieles se juntan a golpe con una presión de 30 a 50 toneladas y la corriente se interrumpe. Con esto se termina la soldadura.

La razón del creciente uso de la soldadura eléctrica por resistencia en la manufactura de los rieles de gran longitud, se debe al desarrollo y perfeccionamiento de las soldaduras totalmente automáticas, capaces de funcionar satisfactoriamente, aún con operarios sin mucha experiencia.

El número de fallas no llega a 1/2 por cada millar.

El consumo por soldadura es de 4 KW hora y la mano de obra es mínima, produciéndose bajos costos para grandes producciones.

Las máquinas del tipo presión eléctrica pueden ser estacionarias para ser usadas en los talleres y en lugares fijos de trabajo o móviles para ser empleados en la vía.

Al usar las máquinas estacionarias, el largo de los rieles fabricados está limitado por las posibilidades del transporte al lugar de uso.

Los Ferrocarriles Nacionales de México cuentan con una planta de soldadura de rieles en San Luis Potosí, S. L. P.

El proceso consta de las siguientes operaciones.

a) Selección de los rieles en las tongas, de acuerdo con un programa previamente elaborado conforme a las necesidades del frente de cambio de riel o construcción de nuevas vías y colocación de los mismos en la mesa de transferencia.

b) Determinación de la dureza en grados Brinel y de la calidad estructural del acero.

c) Esmerilado o pulido de los extremos de los rieles, tanto en su sección transversal como en la parte superior del hombro e inferior del patín, para eliminar el óxido y obtener un buen contacto de los electrodos de la máquina soldadora.

d) Alimentación de los rieles de la mesa de transferencia a los rodillos impulsores.

e) Movimiento longitudinal de los rieles sobre los rodillos motrices o impulsores hasta colocarlos en la posición de soldado.

f) Alineación de los rieles por soldar

g) Proceso de soldado

h) Corte de la rebaba y extracción de la misma

i) Rectificación del alineamiento de los rieles ya soldados por medio de una regla metálica y verificación de la calidad de la soldada.

j) Movimiento longitudinal del riel soldado por medio del empujador para llevarlo a la posición de esmerilado.

k) Esmerilado de la parte inferior y cantos laterales del patín.

l) Esmerilado de la superficie de rodamiento y caras laterales del hongo.

m) Acomodo del riel soldado en las plataformas del tren de transporte.

A pesar de que el número de operaciones que es necesario ejecutar para cada una de las soldaduras es relativamente grande (12 operaciones en total), el tiempo empleado en su ejecución es corto, ya que dichas operaciones se llevan a cabo simultáneamente pero en diferente posición, es decir, se trata de un procedimiento típico de producción en serie.

#### Soldadura eléctrica en plantas móviles.

El equipo consta de 3 carros caja. Estos carros tienen un doble objetivo, el de guardar el equipo y el de transportarlo rápida y practicamente.

Carro No. 1.- Una planta que genera la potencia eléctrica necesaria para el proceso y la potencia adicional requerida para operar los motores y el alumbrado (generador, transformador)

Carro No. 2.- La unidad soldadora, una compresora de aire y la unidad enfriadora que funciona empleando agua como material de enfriamiento y que sirve para proteger los electrodos del calor excesivo.

Carro No. 3.- Las pulidoras y un malacate para mover el riel soldado.

El equipo de soldadura se coloca en dos vías. Los carros de soldadura y pulidoras en una vía y el carro - generador de fuerza paralelo al carro de soldadura.

El tipo de soldadura empleado es el de resistencia, en el cual las partes se sueldan por calor y presión.

La potencia diesel genera 560 KW con 640 Volts. a 40 ciclos

La preparación, soldadura, acabado y chequeo de la soldadura se lleva a cabo en seis puestos localizados a lo largo de la línea de operación. Dichos puestos están igualmente espaciados con objeto de que varias operaciones puedan ser llevadas a cabo al mismo tiempo.

El proceso que se sigue es el siguiente:

Una grúa mueve al riel de las plataformas a una mesa inclinada de acero, situada al frente del carro caja que contiene la unidad de soldadura. Cuando cada riel llega a la parte más baja de la mesa, unos rodillos neumáticos lo levantan y colocan sobre otros rodillos que lo mueven dentro del carro de soldar.

Para asegurar un adecuado contacto eléctrico los extremos de cada riel son esmerilados y pulidos cerca del extremo, tanto en la parte superior como en la inferior, para quitarles las escamas de laminación y cualquier otro material indeseable.

Conforme se va terminando cada soldadura, el cordón de rieles se desplaza 12 M de tal manera que la siguiente junta quede lista en la máquina; para evitar soldaduras desviadas o torcidas, el operador debe ajustar los extremos del riel cuidadosamente usando para alinearlos una regla y colocando placas inter-

medias bajo los electrodos, según se necesiten. Cuando las cabezas del riel están perfectamente alineados se sujetan con fuerza y se aprietan entre sí.

Al efectuarse la soldadura la penetración de cada riel es de 10 mm por lo que es necesario recortar el material excedente que se acumula en el contorno. Una vez colocada la cuchilla en su lugar y sujeta entre los electrodos del extremo móvil de la máquina soldadora, la rebaba producida en el hongo, parte inferior del patín y lados del riel, se cortan cuando la temperatura es todavía alta.

Un malacate colocado en el segundo carro avanza el riel cada vez que se termina una soldadura.

La junta soldada se mueve directamente de la máquina soldadora al carro de esmerilado, para su acabado. Puesto que el riel se calienta sólo una corta distancia a ambos lados de la soldadura, no es necesaria una liberación de esfuerzo y, por lo tanto, no se necesita ninguna máquina normalizadora.

La primera etapa en el carro de esmerilado, es la muela esmeril primaria que pule la soldadura en la parte inferior y a cada lado del patín.

La muela esmeril primaria se compone de tres muelas, una de las cuales está montada horizontalmente al riel y las otras dos en posición vertical al mismo.

Posteriormente, una esmeriladora semiautomática pule la soldadura en el hongo del riel. La posición de las muelas esmeriladoras se regula por dos guías o levaas. Estas guías sujetan al

riel a cada lado de la soldadura y siguen el perímetro del hongo durante la operación de esmerilado. El riel avanza hasta la última estación de esmerilado en donde es quitado el exceso del metal fundido del alma y de la parte superior del patín.

El último paso del riel soldado antes de ser cargado, es una segunda caseta metálica de 3 X 3 M, en la cual el riel se prueba por medio de equipo de radiografía Magna flux que prácticamente no deja pasar fallas.

Cuando la soldadura ha pasado por su revisión final de alineamiento, el riel se lleva al tren de plataformas deslizándolo sobre una serie de rodillos.

Un operario guía cada riel a su posición adecuada; una vez cargado, el tren de plataformas se envía al lugar de tendido. Otro tren de plataformas es inmediatamente colocado en posición en el taller de soldadura.

## COMENTARIOS

En general la vía está constituida por rieles, durmientes, balasto, terracerías y accesorios de vía. Cada uno de estos elementos tiene una función específica; Los rieles sirven de soporte y guía al equipo móvil; los durmientes sirven de base a los rieles y transmiten los esfuerzos al balasto; El balasto descarga dichos esfuerzos a la terracería de manera uniforme y además asegura el drenaje de la vía.

La vía es una estructura que está sujeta a grandes esfuerzos por una parte el equipo móvil que provoca desgaste y desalineado y por otra los agentes atmosféricos que perjudican y provocan la destrucción de sus elementos.

Para contener tales acciones se requiere que la resistencia del riel sea la debida, que los durmientes ofrezcan buena superficie de apoyo y estén bien asentados sobre el balasto y que la capa de éste sea suficiente. De hecho la resistencia no depende de algún elemento en particular, sino de la de todos los elementos que la constituyen y de la relación de unos con otros.

Las terracerías normalmente se forman con los materiales propios del lugar de construcción por lo que es necesario conocer los resultados del estudio de mecánica de suelos.

El estudio de mecánica nos define con cierta aproximación las características propias del terreno de cimentación, naturaleza propia de la roca típica, depósitos superficiales que

generalmente la cubren, así como las condiciones generales del lugar.

A las muestras obtenidas durante el reconocimiento se les hacen pruebas de clasificación petrográfica, granulometría, características plásticas, humedad en el lugar, etc. Con los cuales se traza un perfil geológico.

Entre estos datos se incluye información sobre rumbos y echados, ejes de plegamiento y sobre todo, la más detallada información posible sobre fracturas y fallas, así como otros datos que puedan ser útiles al proyecto, tales como prestamos de materiales y agua.

En este sentido los problemas más frecuentes son: áreas sujetas a movimientos continuos de grandes masas de roca, deslizamientos rápidos ocasionados por el estado desfavorable de diferentes tipos de roca, intemperización de grandes masas de suelo y roca expuestas en los cortes por realizar, depósitos altamente comprensibles incapaces de soportar las cargas transmitidas por el cuerpo del terraplen, dificultades de los movimientos de tierra.

Conocer los materiales de que se dispone para la construcción de las terracerías es importante tanto para los terraplenes como para los cortes.

En el caso de los terraplenes conociendo el tipo de suelo las condiciones físicas en que se encuentran se puede determinar que equipo es el más indicado para llevarla a cabo y que procedimiento debe seguirse.

En los cortes se pueden prever las dificultades que se tendrán al atacar la excavación y definir el procedimiento de construcción a emplear.

Estudiar la estabilidad de los cortes para recomendar el mejor talud a emplear y el drenaje necesario.

En la construcción de terracerías es importante conseguir la mayor economía en el movimiento de tierras. La forma de lograrlo es excavando y rellenando solamente lo indispensable dentro de las limitaciones geométricas del trazo y de la razante y acarreado la menor distancia posible y de preferencia cuesta abajo.

El estudio de los movimientos de tierra se puede hacer mediante un diagrama llamado curva masa.

Cuyos objetivos son los sig: Compensar volúmenes, fijar el sentido de los movimientos del material, fijar los límites del acarreo libre, calcular los sobre acarreos, controlar los prestamos y desperdicios.

La construcción del cuerpo de terraplén debe hacerse por capas, que serán sensiblemente horizontales y a todo lo ancho de la sección, con espesores uniformes de acuerdo al equipo empleado.

Los materiales no compactables se deberán bandear en capas de espesor mínimo de acuerdo al tamaño máximo de material indicado en las especificaciones.

Es deseable no colocar ningún material a volteo para lo cual en las depresiones profundas y angostas, se formarán plantillas de 6 m con equipo adecuado que bandeé o compacte los materiales para impedir colocaciones inestables.

Cuando los terraplenes se alojen en depresiones con pendientes mayores del 40% o se tenga una capa superficial susceptible de comprimirse o deslizarse, se proyectarán escalones de liga de 2.5 m de plantilla.

Si se trata de secciones en balcón o laderas con pendientes del 25% se construirán escalones de liga en el área del desplante del terraplén con plantillas de 2.5 m en material clasificable como A ó B y de 1.0 m en material C.

En zonas de suelos muy compresibles o de baja capacidad de carga se deberá indicar la construcción previa de los terraplenes con los recargos necesarios para absorber los hundimientos que se pueden presentar.

Los cortes son excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural. El procedimiento que se sigue es el de desbastar el terreno por capas hasta por forma a la sección proyectada. El equipo usual son los Bulldozers, Escrepas, Palos mecánicas y Drágas.

En el caso de que el corte se efectue en roca no desgranable o que sea conveniente aflojarla previamente al ataque del equipo. Debe barrenarse para colocar explosivos suficientes para quebradas del tamaño requerido.

La cantidad de explosivo que puede requerirse varía desde 0.3 Kg hasta  $0.6 \text{ Kg/m}^3$  dependiendo del tipo que se emplee pol--vora, nitrato de amonio, dinamita 40%, 60% gelatinas, etc. para quebrar rocas suaves o duras obteniendo rezaga pequeña o grandes blocks.

Las capas superiores de la subestructura deben poseer ciertas características de resistencia e impermeabilidad que les permitan cumplir con sus funciones estructurales y drenantes (cama o corona de terracerías). Para lograr esto se recurre a procedimientos físicos o químicos llamados estabilizaciones.

La estabilización de un suelo es el proceso al que se someten los suelos naturales, consistente en la aplicación de ciertos tratamientos para aprovechar mejor sus cualidades, de tal manera que las estructuras que con ellos se formen resistan satisfactoriamente los ataques del intemperismo y las presiones que le son transmitidas por el tráfico del equipo rodante.

Estos métodos tienen como principio desarrollar la cohesión y fricción interna necesaria para aumentar el valor de soporte de cada tipo de suelo de que se disponga y garantizar una relativa permanencia de dicho valor en todo tiempo resistiendo la acción de los agentes atmosféricos.

Uno de estos métodos es la compactación la cual es un procedimiento de uso general en la construcción.

En si la compactación es el mejoramiento artificial de las propiedades mecánicas de un suelo por medios mecánicos. Prac-

ticamente esto se logra reduciendo su % de vacíos, mediante presión o vibrado al tiempo que se agrega agua hasta el grado óptimo.

Aunque este procedimiento mejora la calidad de los suelos, por sí solo no proporciona la resistencia y durabilidad que requiere la subrasante y el sub-balasto, pues aún los suelos bien compactados son seriamente afectados por los cambios de humedad y por el desgaste del tránsito si no poseen otras cualidades indispensables.

Es por esto que en la ingeniería de terracerías se utiliza la estabilización mecánica que es a grandes rasgos la mezcla de suelos, la estabilización con Cal, Cemento y la estabilización con Riego Asfáltico.

La estabilización Mecánica aprovecha la cohesión y la fricción interna que pueda desarrollarse mezclando adecuadamente distintos tipos de suelo.

Los suelos de grano grueso, como las gravas y arenas, poseen fricción interna relativamente alta, mientras que los suelos de partículas finas, como las arcillas, tienen escasa fricción interna, excepto cuando secos.

La fricción interna por sí sola no imparte toda la estabilidad que es necesaria en un camino, ya que si las partículas pueden moverse libremente, se separarán de la mezcla y se reducirá la magnitud de la fricción interna que pudiera desarrollar, por lo tanto es necesario agregar un agente aglutinante que mantenga firmemente unidas a las partículas gruesas.

Los suelos arcillosos poseen bastante cohesión cuando su contenido de humedad se encuentra dentro de ciertos límites y por lo tanto pueden emplearse como aglutinantes para mantener unidas las gravas y arenas.

La estabilización con Cal, Cemento se utiliza cuando se tienen suelos arcillosos que presentan problemas de estabilidad extremos, en tales casos la subrasante debe mejorarse mediante la inyección de lechadas de cal o de mortero de cemento.

La aplicación de los riegos asfálticos tiene como funciones la de evitar que el agua de lluvia se introduzca en el cuerpo del terraplén y para impedir que los suelos cohesivos puedan subir por capilaridad, agua de inundación o freática (hasta 2 ó más metros). Siendo necesario según el caso, el proceso de aplicar una o varias capas de sello intercaladas en capas aisladas del terraplén y hasta puede resultar necesario asfaltar sobre los durmientes y el contorno exterior del balasto.

El sub-balasto es aquel material que se coloca entre la terracería terminada y el balasto, con el propósito de dotar al balasto de una superficie de apoyo más firme que la que podría proporcionarle la subrasante, facilitando además el escurrimiento de el agua de lluvia que drena a través del balasto sin que se introduzca en el cuerpo del terraplén.

El uso del sub-balasto tiene su origen en la necesidad de reducir el costo de la vía férrea y mejorar las cualidades estructurales de las capas superiores de la terracería. Se empl

en los casos en que el material que compone el hecho de la vía es de escasa resistencia, el cual al humedecerse pierde su compasidad dando lugar a asentamientos, que provocan los golpes de vía, al incrustarse el balasto en el material soportante.

En una vía de primera clase el espesor necesario de balasto es fuerte, pues debe ser lo suficientemente resistente para soportar satisfactoriamente las pesadas cargas a que son sometidas dichas vías. Si se emplea en todo el espesor un material con las mejores cualidades de balasto resultaría caro, en cambio si se forma la mitad del espesor total requerido con alguna clase de balasto más barata, que cubra la cama de la vía en todo su ancho, se reduce el costo además de que se da un mejor drenaje y soporte a la vía que utilizando un material de primera categoría en toda la zona de balasto.

La capa de sub-balasto esta constituida por material granular selecto procedente de los cortes, depósitos naturales o rocas alteradas, generalmente sin ningún tratamiento previo a su utilización. En si puede usarse cualquier material que al compactarse adquiera mayor resistencia e impermeabilidad que el material que forme la subrasante.

Normalmente se exige que los materiales propuestos tengan buena granulometría, contracción lineal reducida, alto valor cementante y un valor relativo de soporte estandar mínimo de 30%, también se considera que el material que forme el sub-balasto debe impedir la incrustación del balasto, así como el ascenso del barro ó lodo hacia la capa del balasto al paso de los tre--

nes.

Los terraplenes de suelos granulares contruidos por capas y compactados con equipos adecuados, generalmente proporcionan una resistencia suficiente para reaccionar las cargas de la vía con tráfico, precisando tan sólo un espesor mínimo de balasto (20 cm), bajo el durmiente.

Los suelos cohesivos son los que pueden ser hendidos o cortados por los durmientes y al hundirse éstos y saturarse de humedad (de lluvia o freática) se reduce se escaso valor inicial de soporte y se produce la destrucción del terraplén, 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 permisible por la corona de terracerías.

Un aspecto importante de la construcción de terracerías son las obras de drenaje. Cuyo objetivo fundamental es el de eliminar el agua o humedad que en alguna forma pueda perjudicar la vía.

El drenaje deberá preverse desde el inicio de la construcción, tratando de seguir lo mejor que sea posible las indicaciones de proyecto y verificando continuamente que dichas obras sigan el curso natural de los escurrimientos para evitar obras costosas y deficientes.

### Compactación de la subrasante y el sub-balasto.

La compactación es un proceso de densificación que depende de las dimensiones del área cargada, de la compresión ejercida sobre esta área, de la humedad del suelo, y tipo del mismo y del espesor de la capa a compactar.

El espesor de la capa es un factor de verdadera importancia en el porcentaje de compactación. Una gran cantidad de las dificultades encontradas al tratar de obtener determinada compactación se deben a capas con espesores excesivos y no apropiados para el equipo de compactación usado.

No es posible predecir que espesor de capa de material resulte más económico para los diferentes suelos y tipos de equipos de compactación existentes.

Deberá procurarse efectuar la compactación siempre a la humedad óptima debido a que facilita el acomodo de las partículas del suelo con el menor trabajo del equipo de compactación.

El grado de compactación, humedad, espesor equipo y número de pasadas, debe resolverse experimentalmente en el campo, para ahorrar costos al lograr el grado buscado que representa la relación de resistencias y densidades de la muestra de campo, con valores óptimos teóricos de cada material.

El equipo empleado en la compactación son los rodillos metálicos lisos, Motoconformadoras para enrasar el material, rodillo pata de cabra, aplanadora de neumáticos, rodillos vibratorios.

El balasto siempre será de la mejor calidad y deberá manejarse de tal manera que se conserve limpio y libre de segregaciones.

La colocación del balasto se hace después de haber armado la vía y colocado en el eje correspondiente de la corona preparada el sub-balasto.

La descarga se hace en cantidades previamente calculadas, para conseguir levantes uniformes de 10 cm aprox.

El espesor de la capa de balasto se mide de la cara inferior del durmiente a la cota de la subrasante (incluyendo el sub-balasto).

Los taludes de la bazqueta del balasto esta en función del ángulo de reposo del material utilizado como balasto, y es de 2 a 1 para piedra trifurada y escoria y de 3 a 1 para otros materiales más ligeros.

El método tradicional utilizado en el tendido de la vía clavada se caracteriza por el empleo de abundante mano de obra y una escasa mecanización.

El proceso se realiza de la siguiente manera. El tren de trabajo (retrocediendo) llega hasta el extremo de la vía, de las plataformas se descargan los durmientes, operación que puede ser realizada mecánicamente o bien a mano, la madera se distribuye de atrás hacia adelante, alineando el lado izquierdo (lado de ojo) y espaciando las traviesas entre sí a 50 cm.

A continuación se procede a distribuir las placas de apoyo y se colocan sobre la superficie que servirá de soporte a los rieles, donde previamente se han barrenado los taladros de gufa para hincar los clavos de fijación.

En este punto el tren de trabajo regresa con una grua para realizar la descarga del riel, operación que se debe efectuar con gran cuidado para no dañar el riel.

Los rieles se colocan a partir del lado de ojo, que recibe una alineación esmerada. La vía se presenta y se va armando y atornillando, las juntas de expansión, se colocan sólo los clavos necesarios para afirmar al riel en las llantas (puntas de los rieles) y centros dejando el resto del clavado para realizarse a máquina una vez alineado y asegurado el escantillón.

El tren avanza sobre el tendido provicional continuando la distribución de durmientes usando vía sin balasto, esto es solo durante el avance de un día de labor, el último viaje de el tren de trabajo se destina a distribuir balasto enrasando los

rieles con un volumen aproximado de  $500 \text{ m}^3$  por Km correspondiente a un 40% de la dotación final.

El uso de tractores y remolques tipo forestal hace posible una mejora en la velocidad de tendido de vía, aunque se varían las operaciones anteriores pues la distribución de los durmientes se hace de adelante hacia atrás.

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

Una vez armada la vía se procede a alinear y nivelar.

La distribución de los durmientes se hace tomando como base las estacas de centro, lo cual no es valido para el riel el cual debe ser alineado con mayor precisión, para lo cual se preparan bases bien compactadas y niveladas al centímetro sobre las que se apoyan los niveles.

Después del tendido del primer balasto es decir cuando están llenas las cajas (espacios entre durmientes) y colocado el balasto lateral (cubriendo las cabezas) se debe dar el primer levante empleando en esta operación máquinas niveladoras o gatos de escalera colocados por pareja.

El balasto precisa de un bateo apropiado para obtener calidad uniforme y máxima compactación, esto se puede hacer compactando con presión y vibrado a máquina o a mano con calzadores.

El primer levante se considera provicional y es hasta el segundo, que permite disponer de 20 cm de balasto compactado bajo el durmiente, con el cual se puede afinar la nivelación y mejorar el alineamiento, para iniciar la operación de trenes con velocidades moderadas hasta compactar y alisar la vía.

El tendido de la vía elástica se efectúa de la manera siguiente: los durmientes se ponen directamente sobre la terrace-ría compactada y con rasante correcta.

La longitud de los rieles ordinarios generalmente es de 12 m los rieles largos de 24 ó 36 m están formados por dos o tres rieles ordinarios soldados entre sí con soldadura eléctrica o aluminotérmica.

Un riel de gran longitud es el que se obtiene al soldar varios rieles largos después de haberlos colocado en la vía convenientemente provista de balasto.

Cualquiera que sea su longitud total, provicional o definitiva requiere en cada caso, en cada uno de sus extremos, un dispositivo especial para absorber las dilataciones llamado Junta de dilatación. La longitud de un riel entre dos juntas de dilatación especiales depende principalmente de las características peculiares del trazo de la línea, teniendo en cuenta: grados de curvatura, pendientes, así como la ubicación de puentes y túneles.

La longitud de un riel soladado puede alcanzar varios kilómetros con el consiguiente ahorro en juntas de dilatación espe-

cial cuando se reúnan condiciones favorables, como cuando se ha ga uso de durmientes de madera de buena calidad estando la vía perfectamente balastada, o mejor aún, cuando dicha vía se tien- da sobre durmientes de concreto que por su peso y característi- cas de máxima calidad y seguridad hacen que los tornillos que mantienen fijas las grapas elásticas ofrescan la mayor resisten cia a los esfuerzos laterales y verticales, asegurando además la facilidad de dar un mantenimiento permanente y uniforme al conjunto.

Las juntas de dilatación se colocan en la vía, preferente-- mente al mismo tiempo que se van colocando los rieles en los si tios en que fueron ubicadas al hacerse el estudio previo de los alineamientos horizontales y verticales de la línea y en los puentes y túneles que en el se encuentren.

Teniendo la primera junta de dilatación ya instalada en la vía, se colocan los rieles sobre los durmientes y se fijan a es tos junto con las galletas; placas de asiento y las de hule aca naladas, mediante grapas elásticas, que no deben apretarse dema siado procurando que el juego, al segundo contacto del muelle con el patín del riel, sea como máximo de 2 mm aprox.

En el caso de que se empleen durmientes de concreto armado tipo R. S., bastará con apretar las tuercas de tornillos a cada 5 durmientes, con lo que se aumenta notablemente el avance del tendido de vía permitiendo además en caso necesario, efectuar al mismo tiempo la circulación sobre la misma de trenes de tra- bajo a velocidades reducidas, en este caso es conveniente com -

plementar con el apretado de las tuercas de los cuatro durmientes restantes en forma salteada.

Los rieles se unen entre si provisionalmente con prensas de tornillo. Las cuales los mantienen firmemente sujetos y con la separación apropiada.

Las aberturas que se deben dejar entre las juntas de los rieles deberá ser la correspondiente a la calculada para la temperatura ambiente en el momento de la colocación. Esta separación tiene relativamente poca importancia ya que el emplanchado es provisional. logicamente es de recomendarse que se efectúen las soldaduras lo antes posible después de la colocación de los rieles largos y que se haga la distribución de balasto, levantamiento y calzado mecánico así como las preparaciones de alineamiento y nivelación de la vía.

En esta forma se evita la formación de golpes en la vía y la deformación de los rieles en los extremos que provienen de los impactos frecuentes que reciben por el choque de las ruedas de la locomotora y carros aún a velocidades reducidas.

Al realizar las operaciones de soldadura se deben seguir rigurosamente las siguientes observaciones.

Los rieles se presentan cuidadosamente uno frente al otro, se alinean y nivelan dejando una pequeña separación entre ambos

En el caso de que se suelde en vía, es necesario aflojar las fijaciones de varios durmientes para lograr una buena alineación.

Las superficies de rodamiento de ambos rieles, se colocan de tal manera que formen un pequeño ángulo entre si, esto se hace levantando un poco los dos rieles en el lugar de la junta. Este levante es necesario para compensar el descenso producido a la vez por la contracción de la soldadura y lo necesario para el desgaste vertical al pulir la soldadura.

Cuando la separación entre los rieles no sea la adecuada es necesario hacer deslizar longitudinalmente a uno de ellos o realizar el corte de un segmento de la longitud requerida, con segueta mecánica, debiendo quedar este corte en posición vertical y a 20°.

Debido a que los daños ocasionados por la dilatación de los rieles pueden ser considerables se debe tomar como la regla más importante en el tendido de una vía de ejecución continua el mantenimiento más exacto posible de la temperatura nominal o de lo contrario se expondrá a la vía a sufrir graves deformaciones o a su rotura, en general no se debe mover el riel cuando existan temperaturas extremas.

Las soldaduras deben de realizarse rigurosamente a la temperatura media con una variación de  $\pm 11^{\circ}$  C.

Antes de soldar los rieles de gran longitud es necesario eliminar antes las fuerzas térmicas haciendo una compensación para dejarlos en equilibrio térmico.

Para realizar esta operación, después de desenplanchuelarse hace lo siguiente: comenzando con los extremos se aflojan todos los tirafondos colocando entre el patín del riel y el dur--

miente rodillos de 20 mm de diámetro a cada diez durmientes y se procede a golpear ligeramente con un martillo de vía el alma del riel para hacer tomar a este la posición de equilibrio térmico y su longitud a la temperatura media. Realizado esto se verifica la posición de las placas de hule acanaladas y si se hubiesen resbalado se las colocará de nuevo en su sitio. Luego se aprietan de nuevo los tirafondos comenzando a la mitad del riel de gran longitud, continuando la operación hacia los extremos.

En cuanto la vía esté bien alineada y nivelada debe complementarse la dotación normal de balasto entre los durmientes y en las cabezas de los mismos, perfilándolos debidamente.

Una vez realizado lo anterior la vía esta en condiciones de operación.

La importancia de estudiar los aspectos constructivos de la vía férrea es la de estar capacitados para realizarla de acuerdo al proyecto, con el mejor aprovechamiento y optimización de los recursos disponibles. De nada serviría que un proyecto determinado fuera cuidadosamente elaborado si, por alguna circunstancia, se descuidara los procedimientos de construcción del mismo.

El avance moderno de la mecanización, ha ido obligando al ingeniero de ferrocarriles a comparar y seleccionar procedimientos de construcción, que están íntimamente relacionados con los mecanismos de producción en serie.

Actualmente existen métodos y procedimientos altamente mecanizados en la construcción de vías férreas y que en muchas oca-

ciones son tan sofisticados que requieren verdaderos grupos de técnicos para su mantenimiento y operación, por los dispositivos electrónicos, hidroneumáticos, hidráulicos, mecánicos, ultrasonido, rayo laser, etc.

Es por esto que al hacer la elección de algún equipo debe hacerse una comparación justa y apreciar la posibilidad de resolver el problema en forma sencilla y práctica, sin el temor de tomar decisiones que signifiquen compromisos de inversión a largo plazo, o que produzcan fallas que pongan en evidencia la bondad de un procedimiento.

En cualquier caso el ingeniero constructor debe enfocar su atención en el costo inmediato por supuesto pero también y más importantemente en el costo futuro que puede resultar de su presente actividad.

Es claro que la respuesta final no ha sido encontrada en ninguna fase de la actividad ferroviaria, la ingeniería de la vía férrea es dinámica. El ingeniero debe encontrar soluciones nuevas y mejores a problemas viejos y nuevos; los viejos sistemas y métodos necesitan constantemente ser sujetos a un cuestionamiento crítico.

Es decir que la experiencia del pasado debe ser una guía y una inspiración pero no por fuerza una receta para el futuro.

**Bibliografía****Ferrocarriles**

Francisco M. Togno

Representaciones y servicios de ingeniería,

S. A. 1982.

**Vías de comunicación**

Carlos Crespo Villalaz

Limusa, 1982.

**Apuntes de vías férreas**

Medina Vela

Facultad de Ingeniería

**Terracerías y Superestructura del ferrocarril**

Clemente Sergio Lara Cortés

Tesis. Facultad de Ingeniería, 1983.

**Aspectos técnico y Económicos, relacionados**

con el empleo de rieles largos en los F.N. de M.

Cuauhtemoc D. Lobato Castañón.

Tesis. Facultad de Ingeniería, 1967.

**Railroad Engineering**

William W. Hay.

Manual of. Recommended Practice.

A.R.E.A.

Publicaciones del Instituto de Capacitación  
de los Ferrocarriles Nacionales de México.

Topografía

Montes de Oca

R y S de I.S.A., 1980.