



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

VÍAS FÉRREAS

ING. GONZALO MEDINA VELA

P R O L O G O

EN ESTOS APUNTES SE HA TRATADO DE RESUMIR EL EXTENSO TEMA FERROVIARIO, PROPONIENDO EL NOMBRE DE VIAS FERREAS PARA TODOS AQUELLOS TRANSPORTES QUE SE REALIZAN SOBRE RIELES.

PARA REALIZARLOS SE HA CONSULTADO LA BIBLIOGRAFIA SIGUIENTE:

APUNTES DE LOS SEÑORES INGENIEROS:

FRANCISCO M. TOGNO PURON

FEDERICO O'REILLY LLANO

LIBROS PRINCIPALES:

RAILROAD ENGINEERING	WILLIAM W. HAY
ANALYSIS OF RAILROAD OPERATIONS	WHITE
SIMPLIFIED CURVE AND SWITCH WORK	RENCH
ÁLINEAMIENTO DE CURVAS DE FERROCARRIL	H. GUEYARA
EXPLOTACIÓN DE FERROCARRILES	GARCÍA LOMAS
PONENCIAS PRESENTADAS AL XI CONGRESO PANAMERICANO DE FERROCARRILES EN MÉXICO.	

ESPECIFICACIONES:

S.O.P.	A.R.E.A.	FERROCARRILES FRANCESES
FERROCARRILES NACIONALES DE MÉXICO		

ESPERAMOS QUE ESTOS APUNTES SIRVAN DE GUIA A LOS ESTUDIANTES DE ESTA EXTENSA Y ABSORVENTE MATERIA.

ING. GONZALO MEDINA VELA
PROFESOR TITULAR DE
VIAS TERRESTRES.

COLABORACIÓN

ING. ABRAHAM S. DALY HABER

MÉXICO, D.F. OCTUBRE 1965

I N D I C E

Pág.

CAPITULO I

GENERALIDADES	1
Características Esenciales	1
Tipos de líneas	3
Constitución de la vía	4
Características de la vía	8
Terracerías y balasto	10
Durmientes de madera	14
Durmientes metálicos	16
Durmientes de concreto	18
Durmientes pretensados	21
Rieles	22
Fabricación de los rieles	27
Defectos y roturas en rieles	30
Fijación de rieles en durmientes	33
Junta	35

CAPITULO II

GEOMETRIA	39
Peralte	40
Curvas de transición	41
Ampliación del escantillón	46
Velocidades límites	47
Curvas Verticales	48

CAPITULO III

ESFUERZOS QUE ACTUAN EN LA VIA	52
Acción de las cargas fijas. Método estático	57
Acción de las cargas fijas. Método elástico	63
Elasticidad del balasto	63
Resistencia de los durmientes	64
Influencia de balastado	69
Esfuerzos en los rieles	73
Acción de los cargos móviles	83
Influencia de la velocidad	84
Resistencia del riel	87
Resistencia horizontal de la vía	88
Esfuerzos transversales	88
Esfuerzos longitudinales	94
Método Experimental	95
Cálculo de una vía	100

	Pág.
CAPITULO IV	
CONSTRUCCION	104
Plataforma	104
Cuneas	110
Drenes	114
Coletores	116
Sub-balasto y balasto	117
Durmientes de madera	122
Durmientes metálicos	126
Durmientes de concreto armado	127
Durmientes SNCF/RS y Vagneux	131
Durmientes pretensados	132
Rieles	134
Ancho de vía	136
Juego de vía	137
Junta	137
Riel continuo	139
Accesorios	141
Aparatos de vía	146
Clasificación de locomotoras	153
Perfil virtual	161
Tonelaje educacionado	183
Nomas técnicas y económicas para la selección de equipo tractivo	185
CAPITULO V	
CONSERVACION Y REHABILITACION	192
Conservación	192
Rehabilitación	198
Renovación del balasto	199
Renovación del riel	201
CAPITULO VI	
CONDICIONES MINIMAS QUE REQUIERE UNA ESTACION DE PASO	203
Mapa de ferrocarriles en México	204
Operación de una estación de paso en Tepaxpan Gob. de México	206
Estación de paso de 1er orden	211
CAPITULO VII	
CONDICIONES MINIMAS QUE REQUIERE UNA ESTACION TERMINAL	212
Comunicación radioeléctrica y señales	218

1

CAPITULO I
GENERALIDADES

CARACTERISTICAS ESENCIALES.- Indiscutiblemente el progreso de una Nación se debe al desarrollo del transporte y en particular de su red ferroviaria, pues todas las actividades industriales y agrícolas se ligan al intercambio y por ende a los Transportes.

La razón técnica de la preponderancia del ferrocarril sobre otros medios de transporte radica en que con un pequeño gasto de energía podemos desplazar pesos considerables, así con tres o cuatro kilogramos podemos mover una tonelada considerando esta carga sobre carriles o rieles perfectamente rígidos y alineados, en tanto que con transportes de ruedas neumáticas se requieren veinte kilogramos por tonelada. Esta magnífica característica del ferrocarril lo hace preponderante sobre los demás, pero lo obliga a seguir rampas no mayores del 3% con locomotoras de vapor o diesel y no mayores del 6% con locomotoras eléctricas, lo cual los obliga a tener desarrollos mayores o requerir una tracción mayor.

Sin embargo, los ferrocarriles nos permiten mayor seguridad, comodidad y regularidad en los transportes, así como una mayor velocidad de operación, alcanzándose velocidades medias de 100 kms. por hora y velocidades experimentales que alcanzan hasta los 250 kms. por hora, pudiéndose considerar una velocidad media conservadora en nuestras líneas mexicanas de 60 a 80 kms. por hora, ya que la topografía de nuestro territorio nos obliga a trazados y perfiles difíciles, así como a la construcción de numerosos puentes y túneles, por otra parte en las zonas lluviosas el mantenimiento y conservación de las terracerías es muy costoso e impide la construcción de líneas para altas velocidades.

Así mismo los ferrocarriles mexicanos cumplen una labor social

may elevada subsidiando indirectamente a numerosas empresas y prestando un servicio de pasaje y carga entre numerosas poblaciones intermedias, lo cual le impide alcanzar altas velocidades llenándose solamente en algunos tramos largos la función moderna de un ferrocarril de transportar grandes volúmenes a grandes distancias y a gran velocidad.

En nuestro país la carencia de vías férreas que incrementan nuestra red, está produciendo un aumento en los costos que sólo podrá abatirse con el mejoramiento de las líneas existentes y la construcción por prioridad efectiva de las vías nuevas. Pensándose en la construcción de líneas dobles entre aquellos puntos que por su movimiento lo requieran, ya que la explotación en vía única provoca una menor velocidad de operación y la posibilidad de accidentes y destrucción del equipo, lográndose con éllo mayor seguridad y regularidad en los servicios, ya que no solamente los pasajeros requieren lo anterior, sino que determinados tipos de mercancía, primordialmente comestibles les necesitan para llegar a una determinada hora a los mercados. Otros tipos de mercancías como los minerales, maderas y productos semielaborados, requieren el ferrocarril como medio único económico de transporte.

No hay duda alguna que el bajo precio de tracción sobre carriles ha cambiado por completo el panorama de los transportes, ya que hizo desaparecer todos los servicios a base de tracción animal, sin embargo, la hegemonía que los ferrocarriles tuvieron en el Mundo, hizo caer a sus técnicos en un estancamiento que produjo el florecimiento de los transportes neumáticos que obligó a renovar los equipos móviles, así como a las instalaciones fijas principalmente en cuanto a la formación de trenes por mandos y señales eléctricas, haciendo nuevamente de los ferrocarriles transportes e Ingeniería viva que se pensó desaparecería ante el impacto de los carre-

teras y sus equipos autom6viles correspondientes, alcanzando en la actualidad en algunos pa6ses el medio m6s econ6mico y eficaz para transportar pasajeros y carga.

TIPOS DE LINEAS. No ser6a posible hacer una clasificaci6n categorica de las v6as f6rreas, pero la m6s generalmente aceptada es la de "L6neas Principales o Troncales" y "L6neas Secundarias o Ramales". Otra clasificaci6n que va de acuerdo con la amplitud de la v6a es la de "V6a Ancha y de V6a Angosta". En lo tocante a nuestros ferrocarriles la v6a ancha mide 1.435 y la v6a angosta 0.914 m., lo cual nos obliga a consumir el equipo construido en los Estados Unidos de preferencia. En Europa se pretende llegar a una v6a de ancho normal de 1.440 m.

Tambi6n podemos considerar como un tipo especial de v6as las l6neas de explotaci6n de haciendas, ingenio, etc., conocidas con el nombre de Cauville.

Otra clasificaci6n ser6a considerar a las l6neas seg6n la forma de explotaci6n de ellas: R6gimen de empresa privada que se observa en los Estados Unidos, de R6gimen Estatal como el que nosotros tenemos y de R6gimen Mixto empleado en algunos pa6ses Europeos, Francia, Espa6a, Inglaterra, etc.

DESARROLLO DEL FERROCARRIL. Los carriles de piedra, madera y bronce, datan de muchos miles de a6os a esta parte, habi6ndose encontrado de 6stos 6ltimos en las inmediaciones de las grandes pir6mides, lo cual nos indica que todos los pueblos antiguos incluyendo los nuestros emplearon los carriles para sus construcciones y arrastres pesados.

A principios de 1700 nuevamente los carriles de madera comenzaron a ser introducidos para el transporte de minerales en las minas explotadas en Europa, haciendo posteriormente los carriles met6licos y los peque6os

puentes metálicos, por los que circulaban pequeños carros movidos con una tracción animal, ^{la} construcción de la locomotora de vapor a fines del Siglo XVIII ^{dio origen a que} los carriles comenzaron a sufrir una transformación y ya en 1811 se construyeron locomotoras que dieron las características fundamentales en cuanto a tracción de vapor.

Se empleaba carriles poco resistentes y por lo tanto las locomotoras tenían que ser ligeras, por lo que se pensó que era impráctico el sistema, ya que se presentaba un patinaje sobre la vía y se construyeron inclusive rieles a base de cremalleras y ruedas motoras adecuadas a éstas, al construirse mejores tipos de rieles y locomotoras más pesadas, se mejoró también el sistema de tracción y con ellos se destruyó la falsa idea antes citada, siguiéndose una construcción ascendente de rieles cada vez más pesados y locomotoras cada vez más grandes hasta llegar a 140 libras por yarda y locomotoras como las de Santa Fé, las Niágara, etc.

En la actualidad la tracción de vapor va desapareciendo para ser sustituida por diesel o eléctrica y también han disminuido el peso de los rieles, habiendo a este respecto dos criterios diferentes, uno que tiende a hacer la vía más elástica y otro a tenerla lo más rígida posible, variando desde luego los correspondientes equipos de ellas.

En este somero estudio consideramos:

- | | |
|-------------------------|-------------------|
| A).- La Vía. | B).- El Material. |
| C).- Las Instalaciones. | D).- La Tracción. |
| E).- El Transporte. | |

112 -> CONSTITUCION DE LA VIA.- El camino de rodadura de un ferrocarril se compone de dos partes: La infraestructura o terracerías y la superestructura que forma la vía propiamente y que se compone de un material pétreo llamado balasto, que se coloca sobre el acabado de la terracería, de unas vigas de madera, fierro, o concreto que reciben el nombre de durmientes.

tes, de un par de carriles o rieles paralelos entre sí y de una serie de accesorios para la sujeción de los rieles sobre los durmientes y sus uniones entre sí.

El riel recibe las cargas directamente de las ruedas y las transmite a las terracerías así mismo dirige el sentido del movimiento, procurándose en su colocación evitar los rozamientos excesivos con las pestañas de las ruedas.

Los durmientes mantienen el espaciamiento de los rieles o amplitud entre ellos.

El balasto sirve para repartir uniformemente las cargas a la infraestructura y procurar una evacuación rápida de las aguas llevadas para evitar la humedad en los durmientes y el reblandecimiento de las terracerías.

Corona de terrapien en tangente con balasto permeable:



Ancho de vía 1.435 m. usado en México.

Primeramente los rieles eran de madera como hambo dicho, montados sobre durmientes colocados a un metro de distancia y separados entre sí aproximadamente 1.22 m., más tarde se comenzaron a fundir los rieles con longitudes de 1.52 de largo y placas dobladas de 32 mm. de espesor que se colocaban sobre los rieles de madera para protegerlos. poco a poco fué modificándose la sección del riel y en 1790 se hizo cambio radical en el sistema construyéndose la rueda con pestañas a la rueda plana que se

encajaba en el carril en forma de "U", fabricándose así mismo los rieles con la sección, parecida a la que actualmente empleamos.

Estos carriles metálicos fueron montados sobre dados de madera ó de piedra hasta que el peso de las locomotoras exigió que se emplearan los durmientes nuevamente, a partir de 1860 prácticamente se tenía la vía tal como la conocemos a la fecha, con su balasto, durmientes, carriles, juntas de unión y tirantes o bridas para evitar que se abrieran al paso de los trenes, los rieles.

El ancho de la vía fué variando hasta llegar a tener el que actualmente se usa en México, fijado en la Conferencia de Berna en 1907, que es el de 1.435 m. en alineación recta y que corresponde a 1.500 m. entre ejes de rieles. El ancho de la vía sin embargo, es muy variable sobre todo en los Países Europeos.

En cuanto a la vía angosta, su ancho varía entre 0.60 m. y 1.06 m. lo cual permite curvas de menor radio, menor movimiento de tierras, menores secciones y en general una mayor economía, tanto en la vía como en el material rodante, pero tienen menor capacidad de tráfico y menor velocidad, características que aumentan con el ancho de la vía.

→ Por lo anterior, en un sistema ferroviario deben existir los dos tipos de vía proyectándose y construyéndose de acuerdo con las necesidades de la zona.

Las curvas en las vías nos indican las velocidades que pueden obtenerse, ya que éstas, están ligadas a los radios correspondientes y al ancho de la vía, generalmente para vías anchas se emplean en las líneas principales radios no menores de 300 mts. y no menores de 150 mts. en las vías secundarias; para las vías angostas no menores de 100 mts. y 60 mts. en las líneas principales y secundarias respectivamente.

Más adelante estudiaremos la relación que limita la velocidad con el radio de las curvas y que generalmente se acepta, es de la forma:

$v = K \sqrt{\frac{v^2}{R}}$ en la cual se observa que interviene la $a_n = \frac{v^2}{R}$

El coeficiente K varía según las condiciones de vía: ancho, sobre-elevación, radio etc., adoptando como promedio valores K = 3.6 en curvas ligeramente sobre-elevadas.

A continuación tenemos una tabla que nos dá valores R y v

Radio R	Curvas Peraltadas v	Curvas no Peraltadas v
100 metros	46 km/h	30 km/h
200 "	55 "	37 "
300 "	65 "	45 "
400 "	76 "	52 "
500 "	85 "	58 "
600 "	93 "	63 "
700 "	100 "	68 "
800 "	107 "	73 "
900 "	114 "	78 "
1000 "	120 "	82 "

Las pendientes tienen una influencia económica en la vía, pero también quedan limitadas por el tipo de tracción que se emplee, considerándose el límite dado por la pendiente que pueda subir una máquina sola de tracción por vapores el 5%, de tracción eléctrica es el 12%, de tracción diesel es el 6%, dado que en estas pendientes jamás se emplean, salvo en casos especialísimos, poniéndose como pendientes máximas 2.5% y 3.0%, ya que el esfuerzo de tracción queda limitado por la adherencia entre el riel y la llanta que es de valor medio de 0.22, para pendientes mayores de

debe que emplear una tracción y cable. Por otra parte también debemos considerar las pendientes que quedan limitadas por la distancia de frenado de un tren en bajada, que no debe ser mayor de 1000 metros.

CARACTERÍSTICAS DE UNA VÍA.- La vía y los materiales que la forman incluyendo el equipo móvil tienen relaciones estrechas, por lo que cada uno de ellos, debe estudiarse relacionándolo con los otros, con el objeto de evitar golpes entre ellos, durante el movimiento de los trenes, procurando una vía resistente, flexible y continua con el objeto de evitar deformaciones en planta y perfil, que siga los movimientos sin deformarse y evitar choques al paso de los trenes. 4-

En las carreteras el pavimento puede ser rígido, ya que las llantas neumáticas absorben los choques y vibraciones, en tanto que en el ferrocarril con llantas rígidas, la vía debe tener elasticidad suficiente para ser transitable. 4-

Puede notarse que aparecen dos criterios en la construcción de vías, uno que se inclina a hacerlas cada vez más robustas para aumentar su duración, y otro a construirlos lo más elásticos posible con el mismo fin, en el primer caso se podrá transportar mayor carga por eje y en el segundo menor carga, pero a mayor velocidad, el primer criterio prevalece en el sistema norteamericano que llega a admitir cargas por ejes hasta 43.5 toneladas y el segundo es el sistema europeo que admite rieles para 25 toneladas como máximo.

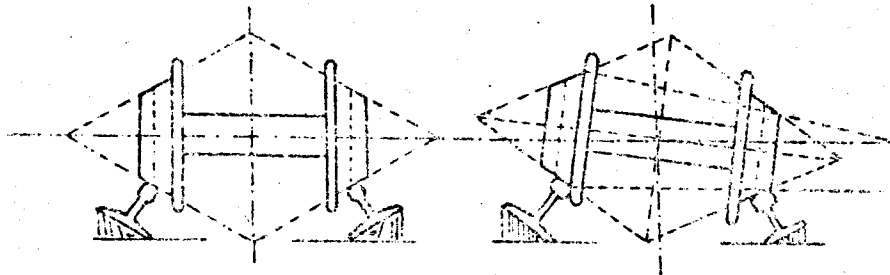
La continuidad de la vía debe de tratar de proseguirse para que los enlaces con curvas horizontales, en planta y curvas verticales en perfil sean lo más suaves posible y al mismo tiempo procurar que la unión entre rieles evite el mayor número de juntas, teniéndose en cuenta no sólo el punto de vista estático, sino también el dinámico, ya que los impactos producidos por los pesos circulantes alcanzan a veces valores tres veces

mayores que ellos.

Mientras el ferrocarril llevó la supremacía en los transportes, siempre se pensó en hacer cada vez más pesado el metro de riel y el material rodante, pero la aparición del autotransporte en carretera ha cambiado este criterio inclinándose en la actualidad al transporte a mayor velocidad, ligándolo en muchos casos con los transportes carreteros.

Sin embargo, la estructura en sí del rodamiento sobre riel obliga a éstos a tener características muy especiales:

1. La rigidez entre ejes y ruedas, que es ventajosa en las tangentes, en las curvas produce un desgaste entre rueda y riel, debido a que una de ellas desliza sobre aquél, para evitar lo anterior, se han ideado llantas ligeramente cóncavas y posiciones del riel sobre el durmiente que permitan mejor circulación en las curvas. (Ver figuras)



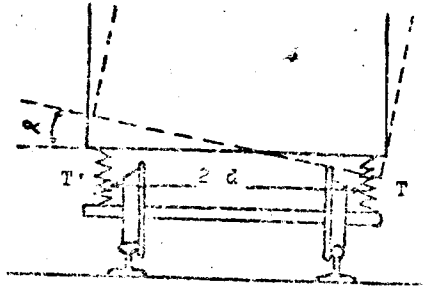
Posición de las pestañas interiores
en tangente

Posición de las pestañas interiores
en curva

El material móvil también debido a la rigidez de los ejes y ruedas queda obligado a tener una suspensión sobre cojinetes exteriores a las ruedas, lo cual hace que en las curvas los carros tiendan a volarse hacia afuera de ellas, como muestra la figura, obteniéndose que el ángulo de tie-

ne un límite dado por la longitud de los resortes y la base elástica o sea la distancia entre ellos duplicada obteniéndose que:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{K \cdot A}{2d^2}$$
 en la que K es una constante que depende del radio y velocidad en la curva $A = (T' - T) d$, que es la



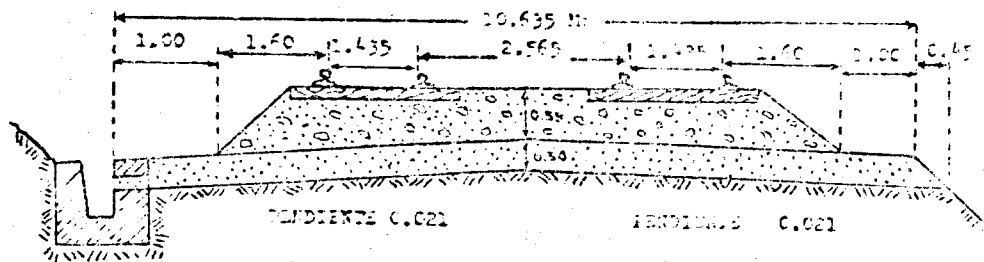
suma de los momentos de las reacciones. Aplicación de las cargas sobre los ejes exteriores a las ruedas. Por lo anterior se ve que la distancia d tiene un límite dado por la magnitud de los resortes y la altura del peso suspendido sobre ella.

También el paralelismo de los ejes impone al material rodante y a la vía en general características que hacen de la vía férrea un transporte definido e invariable en lo relativo a la vía y material rodante.

4. TERRACERIAS Y BALASTO.- Las terracerías han sido estudiadas anteriormente para lograr que tengan las condiciones de resistencia y flexibilidad para soportar cargas hasta de 6 Kgs./cm², en casos especiales, para evitar que la superficie de esta infraestructura sufra deformaciones permanentes al colocarse sobre ella los elementos de una vía, se coloca entre ésta y aquellas una capa de balasto que sirve para repartir las cargas uniformemente evitando así las deformaciones de las terracerías recomendándose un espesor mínimo de 35 cms. abajo de los rielentes, ya que si es insuficiente, los rieles fluyen entre los rielentes y éstos se clavaron en las terracerías, conviniendo en algunos terrenos húmedos una capa de material arenoso entre balasto y superficie de terracería, para hacer más rápido el drenaje del agua de lluvia que se acumula en la vía, en algunas ocasiones, se coloca en vez de arena escoria vitrificada, en líneas para cargas por eje de 30 toneladas es conveniente poner una capa de arena no menor de 30 cms. y otra de balasto no menor de 40 cms., tendiéndose así una magnífica trans-

nición entre carril, durmiente y terracería.

Es conveniente indicar que las vías tipo americano van montadas sobre durmientes a razón de 2000 por kilómetro y las europeas que tienen menos carga por eje de 1,500 a 1,700 por Km. en las vías principales.



Plataforma doble en tangente tipo Americano

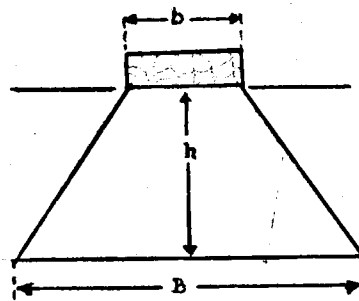
En forma experimental se han realizado plataformas rígidas de apoyo a los carriles construidas de concreto armado, sobre la terracería previamente preparada, obteniéndose que aquella es útil en tramos cortos y a velocidades no mayores de 60 Km/h, ya que como el pavimento rígido sufre agrietamientos rápidamente, que hacen difícil su reparación, siendo recomendable este tipo de plataforma rígida principalmente en los túneles y lugares o sitios que así lo requieran, sobre todo en terrenos en que las cargas tengan que ser menores de los 3 a 4 kgs. por cm^2 que es la frecuencia bajo el durmiente pudiéndose reducir con la plataforma rígida a 0.5 -- kgs/ cm^2 .

EL BALASTO.- El balasto es la base de la vía que transmite la presión dada por los durmientes a la terracería, tanto en el sentido vertical como en el horizontal que provocan las cargas móviles, evitando los choques y trepidaciones ya que absorben todos estos impactos al paso del tren. Por esta razón un buen balasto debe ser resistente a la desagregación, no

producir polvo, presentar superficies adecuadas para la mejor repartición de las cargas sobre las terracerías sin dañar los durmientes y por otra parte permitir un buen calzado de los durmientes ya construida la vía; los balastos más empleados provienen de materiales ligeros, procurándose no emplear aquellos fuertemente atacables por la humedad como la roca sedimentaria, en algunos lugares donde no existe roca cercana adecuada conviene hacer triturados de talique solito para obtener balasto.

El tamaño de las piedras que forman el balasto no debe ser superior a 5 cms. con el objeto de facilitar su manejo debajo de los durmientes o calzado de la vía y también no debe ser inferior a 2 cms. de tamaño.

Se adopta la repartición de la carga en forma general $B = b + 2h$, lo cual en término medio nos indica que se requiere un espesor variable entre 20, 30 y 40 cms. según sea la línea principal ó secundaria adoptándose generalmente por término medio, un espesor de 20 a 30 cms. de arena entre el balasto y la terracería sobre todo en las líneas principales.

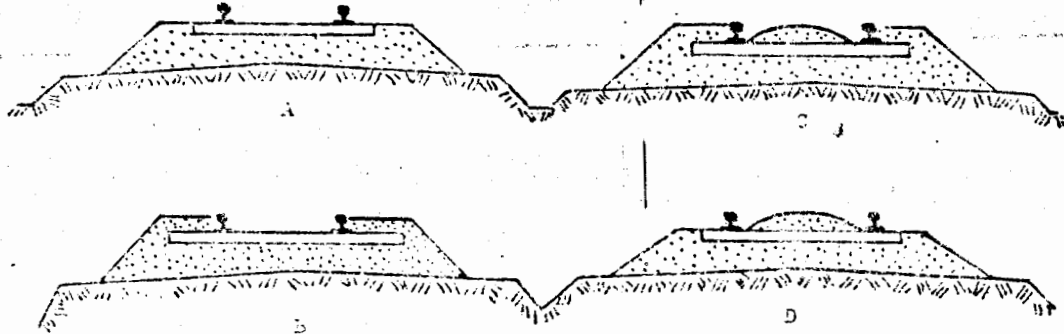


Repartición de presiones en el balasto.

En algunas vías especiales se acostumbra hacer el balastado dosificado, es decir con trozos que varían de 2 a 6 cms. de diámetro aproximados, utilizándose preferentemente la grava gruesa en la parte inferior.

El balasto puede colocarse en las zonas que a continuación se muestran, utilizándose la "B" en nuestra tabla, ya que permite un soporte seguro de los durmientes totalmente, es útil en las líneas en las que transitan locomotoras de vapor que queman los durmientes ó madera.

Generalmente se requiere un volumen poco de balasto entre cada uno de los durmientes de 1,000 m³ a 1,500 m³, por kilómetro de vía, según



Tipos de colocación del balasto.

de hasta 2,000 m³ por km. en las curvas. d-

Cuando se emplean durmientes de concreto o mixtos es decir de fierro y concreto, el volumen de balasto disminuye, ya que se requiere recubrir totalmente los durmientes para su protección contra el agua y el fuego.

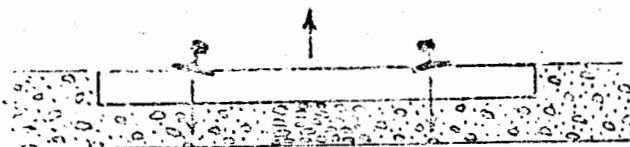
Es siempre necesario tener una buena conservación de la vía, puesto que se obtiene a la larga un ahorro considerable de balasto, ya que de lo contrario se utilizaría un volumen mayor para su rehabilitación, ésta se efectúa cuando la vía presenta ondulaciones tanto en planta como en perfil.

LOS MÓVILES.- Independientemente de su naturaleza sirven para repartir sobre el balasto, lo más uniformemente posible, la presión transmitida a los rieles por los móviles rodantes, sirven también para mantener el escantillón ó amplitud entre rieles, constante.

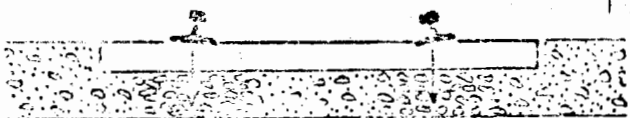
Al paso de los trenes los durmientes golpean sobre el balasto produciéndose un levantamiento y hundimiento de ellos y en los materiales pétreos, por otra parte el balasto tiende con este movimiento a colocarse en el centro de la vía, deformándose los durmientes como lo muestra la figura, por esta razón se requiere una cierta elasticidad de ellos.

Por lo anterior es conveniente y principalmente en durmientes de madera calzar perfectamente éstos debajo de los carriles aproximadamente unos 40 cms. a cada lado.

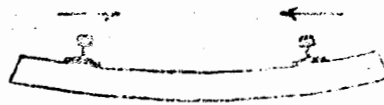
La longitud de los durmientes es función de la anchura de la vía y del material de que están constituidos, madera, fierro o concreto, generalmente tienen una longitud (de 2.40 a 2.70 m. y) en nuestro País (se emplean) de 2.44 m., estando espaciados entre sí de 25 a 30 cms. entre caras contiguas, con el objeto de permitir el calzado del balasto. En vías secundarias pueden espaciarse hasta un metro como máximo teniéndose como criterio actual el aumentar el número de durmientes por kilómetro en vez de aumentar el peso del riel cuando aumenta el tráfico de la línea.]



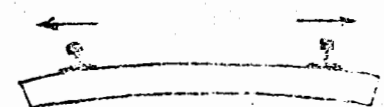
Balastado deficiente provocando deformaciones en los durmientes.



Sobrealastado debajo de los rieles que evita deformaciones en el durmiente.



Deformación a causa de ser el durmiente demasiado largo.



Deformación del durmiente por deficiente balastado.

4. DURMIENTES DE MADERA.- Preferentemente deben obtenerse de árboles vivos cortados en la época de secar o de paralización de la saba, las maderas más empleadas son el roble, el pino y otras de importación que reúnen las condiciones de dureza necesarias para sujetar bien los clavos o tirafondos que en ella se colocan. Hay diferentes formas y dimensiones en cuanto a su sección y largos: secciones de 20 cms. x 17 cms., secciones de 23 x 18 cms., de 26 x 16 cms., y longitudes que varían de 2.40 a 2.70 en vías anchas, con un peso medio de 80 kgs. por término medio considerándose siempre el roble como la longitud menor, en nuestro País, se emplean dur

mientes de 2.44 x 0.20 x 0.17 m

Además de los durmientes de madera se emplean largueros especiales en los cambios y otras conexiones entre vías.

→ La madera empleada deberá ser de fibras rectas preferentemente limpia y secada al sol y al aire, ya que los métodos artificiales por medio de hornos y aceites hirviendo provocan agrietamientos en durmientes, empleándose estos métodos sólo para maderas de muy alta calidad. Otra forma de secado es el vapor y como las anteriores debe ser efectuado con mucho cuidado, para evitar contracciones y agrietamientos de las maderas.

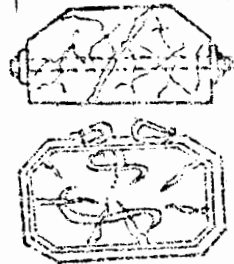
Cuando estos agrietamientos se producen y no alcanzan separaciones mayores de 3 mm., conviene defenderlos por medio de placas, tornillos y cintas sujetadoras.

→ Para preservar los durmientes y principalmente aquellos de maderas blandas de la interperia y de los parásitos, tanto vegetales como animales, conviene tratarlos según los procedimientos siguientes:

10.- La aplicación superficial con una brocha o chorro líquido de algún preservativo desinfectante.

20.- Tratamiento en vaso abierto, remojándose los durmientes en un baño de desinfectante caliente consiguiéndose que se expulse la sabia y penetre en los conductos capilares el desinfectante.

30.- Tratamiento a presión, es el más comúnmente empleado y puede realizarse inyectando aleruro de zinc o sulfuro de cobre, compuestos altamente venenosos que penetran a la madera al hacerse el vacío en en compartimientos especiales y posteriormente inyectar por ellos las sustancias citadas.



Buchado de un durmiente

el

por

El procedimiento más empleado es el creosotado, que está a base de alquitrán de hulla.

Para realizar el creosotado se introducen los vagones con durmientes en hornos especiales y se levanta la presión para expulsar el aire y otros productos contenidos, al penetrar la creosota por los conductos de la madera; por último se hace el vacío para extraer los sobrantes, requiriéndose de 5 a 6 kigs. de creosota por durmientes, es conveniente acompañar el creosotado con ácido fénico y naftalina. Para este proceso como los anteriores se requiere madera completamente seca.

El tratamiento por cloruro de zinc es más económico pero requiere más cuidado en su operación y desgraciadamente ataca todas las piezas metálicas que quedan en contacto con el durmiente, por lo que es siempre más recomendable el creosotado.

Las maderas tratadas y bien creosotadas tienen una vida de un 15% más a las no tratadas, recobrándose en la mayoría de los casos un 35% de durmientes con una duración de 15 a 20 años según el clima de la zona.

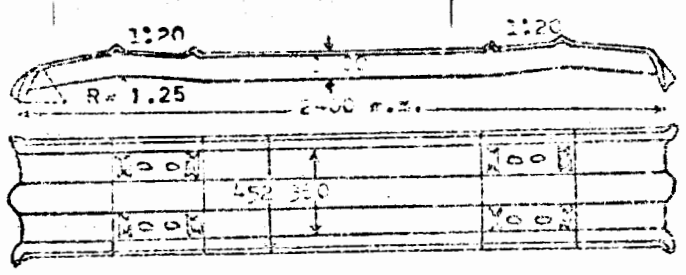
En México tenemos plantas creosotadoras en Durango, Acámbaro, Parí, Chihuahua y otras menores y contamos con maderas de alta dureza como el chicozapote, el huyacán, el álamo, el bálsamo el pino y otras que permiten la obtención de durmientes, trabes, postes y largueros de muy buena calidad, teniéndose penetraciones en la madera hasta de 5 cms. y haciéndose los labrados previamente a este tratamiento.

La característica más importante de la madera para durmientes es su resistencia al desmenuzamiento y a la penetración de los clavos ó tornillos de sujeción del riel al durmiente y su elasticidad.

DURMIENTES METÁLICOS. Las características de los durmientes de madera en cuanto a resistencia mecánica y elástica son difícilmente superables por otro sistema, pero desde el punto de vista dinámico para resistir

choques, golpes, etc., la madera sufre deformaciones permanentes, esta circunstancia y la escasez cada vez más grave de madera han hecho que se trate de suplirla principalmente en las vías, construyéndose durmientes metálicos que puedan llenar las características de durabilidad, flexibilidad y calzado, así como la de sujeción de los rieles a ellos en buenas condiciones.

Los durmientes metálicos, principalmente elaborados en Inglaterra, tienen la forma de un cajón invertido, cerrado por sus extremos con el objeto de contener el balasto y aumentar su estabilidad. Los durmientes metálicos se desarrollan preferentemente en Inglaterra y Alemania que carecen de bosques y tienen fierro y carbón, pero aún así son mucho más caros que los durmientes de madera.



Durmiente metálico de 80 kg.

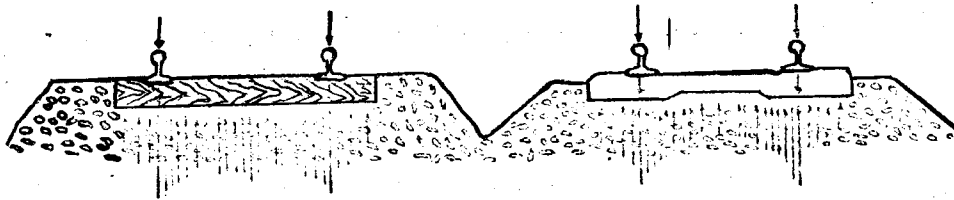
La principal ventaja de los durmientes metálicos, está en su larga duración, limitada por la deformación de los elementos de sujeción del riel, que dependen de las cargas y velocidades de los trenes.

Los durmientes metálicos aumentan también los gastos de conservación de la vía, pero por otra parte su transportación es muchísimo más fácil, ocupan menos espacio y en algunos casos los precios se acercan a los de los durmientes de madera, los inconvenientes que presentan son la dificultad para mantener en ellos el ancho de la vía, el calzado de ella, su

ruidosidad y la dificultad para establecer circuitos eléctricos por no ser aislantes.

DURMIENTES DE CONCRETO.— Los durmientes de concreto tratan de desempeñar las mismas funciones que los anteriores y desde luego están sujetos a las mismas fatigas tanto estáticas como dinámicas, debido a su rigidez, hasta la fecha no han presentado ventajas manifiestas sobre los durmientes de madera, salvo que pueden producirse en el sitio mismo en que se necesitan evitándose así largos transportes.

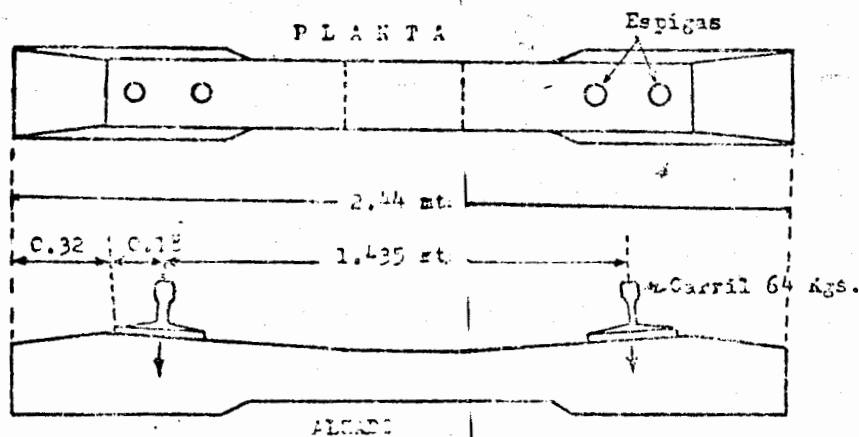
Los primeros durmientes de concreto fueron piezas prismáticas de una longitud de 2.60 m. por lo cual se rompían fácilmente debido a la flexión producida por las cargas, posteriormente se acortaron a 2.40 m. y fueron cambiando su sección haciéndose más angostos en el centro, evitándose así el momento flexionante que se presentaba al correrse el balasto de los extremos a la parte central como hemos estudiado antes.



Acción de los esfuerzos según la forma del durmiente.

Tienen el defecto de su peso excesivo, su fragilidad, su manejo complicado, pero por otra parte tienen mayor estabilidad, requieren menos balasto aunque lo desintegran con facilidad, por lo que es conveniente adaptarlos con grava relativamente pequeña mezclada con arena.

Su rigidez no permite una fijación sencilla del riel, por lo que en este tipo de durmiente se requiere la fijación elástica colocándose entre el patín y el durmiente una placa de caucho especial y tirafondos o tornillos de sujeción por medio de grapas elásticas.



Croquis de un durmiente de concreto.

Los durmientes de concreto se clasifican en:

- A).- Capaces de resistir momentos flexionantes en el centro y bajo los rieles.
- B).- De sección reducida en el centro y
- C).- Mixtos que son los compuestos de dos bloques de concretos ligados entre sí por una trabe metálica, la cual permite tomar momentos flexionantes en el centro del durmiente.

Los durmientes de los primeros grupos son rígidos y no han dado buenos resultados, ya que su difícil armado y manejo eleva notablemente el costo, se han tendido en Estados Unidos y sus dimensiones son de 2.44 x 0.25 x 0.20 m.

Para que se fijen los rieles en ellos se han hecho perforaciones en las que se embuten piñas de madera sobre las cuales se atornillan los tirafondos que ligan el riel con el durmiente. Con el tiempo y las vibraciones el balasto se recorre al centro y aparece el momento flexionante central con el que se desintegra el durmiente, por esta razón se requiere

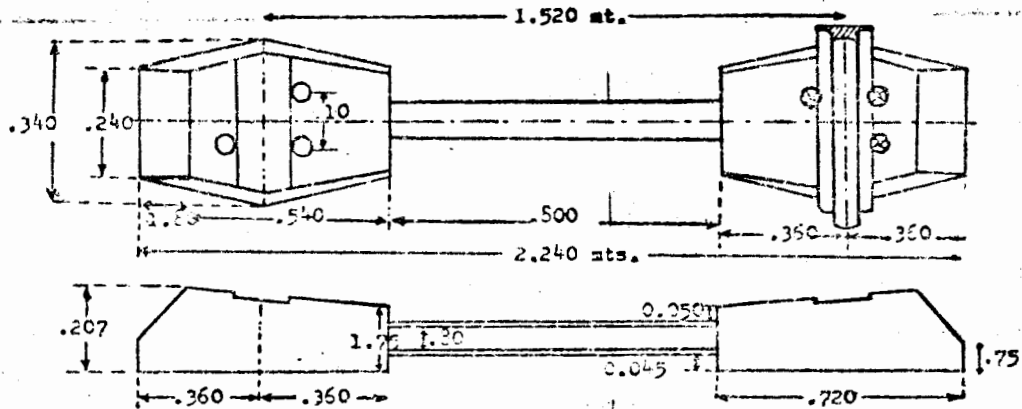
un mantenimiento muy cuidadoso en las vías de este tipo.

DURMIENTES MIXTOS. - En éstos se suprime el concreto de la parte central y se reemplaza por una viga metálica que une los dos bloques de concreto en los cuales se sujetan los rieles, esta construcción permite al durmiente tomar los momentos flexionantes centrales sin agrietarse. La viga metálica o trabe de unión tiene una sección de doble T empotrada por adherencia a las cabezas de concreto armado de aproximadamente 70 cms. de longitud y de 25 a 30 cms. de anchura, teniendo el durmiente una longitud total de 2.24 m. Dada su forma el balastado o calzado del balasto sólo se realiza debajo de las cabezas de concreto y permite un correcto mantenimiento del ancho de la vía, así como la inclinación de los rieles, siendo bastante elástico en el centro para absorber las flexiones que se presentan debidas al irregular calzado de las cabezas, para las juntas se emplea un durmiente doble especialmente diseñado para éllo. En algunos casos esta durmiente mixto de concreto y acero queda articulado en el centro, lo que permite un costo menor de adquisición pero exige un mayor mantenimiento de la vía.

Anticipándonos al capítulo correspondiente, indicaremos que los rieles van sujetos a estos durmientes mixtos por medios elásticos consistentes en una placa de hule, tirafondos y grapa elástica, sistema desarrollado en Francia principalmente y que son los rieles soldados de longitudes hasta de 800 mts. que forman la vía elástica moderna.

Durmientes tipo "VAGNEUX" de Francia fueron empleados en ciertos tramos del Ferrocarril Chihuahua-Pacífico.

Otra modalidad de estos durmientes mixtos son los SNCF / RS que difieren del VAGNEUX principalmente en el sistema de fijación de riel a durmiente, además de algunas características dimensionales que posteriormente enumeraremos.



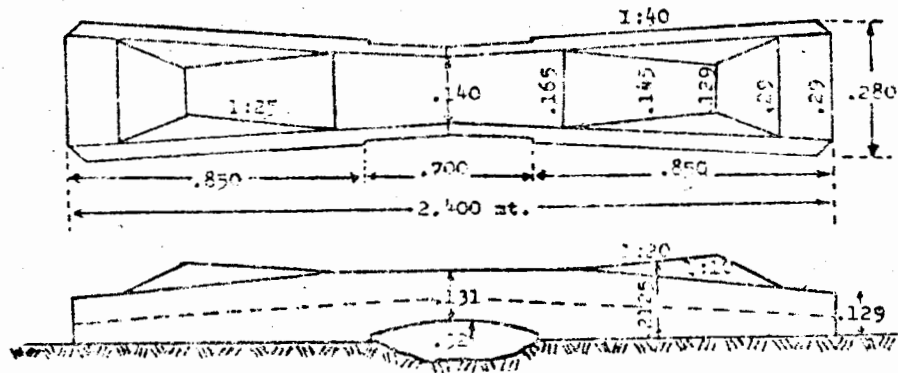
Durmiente mixto tipo Vagneux.

DURMIENTES DE CONCRETO PRETENSADO O PREESFORZADO.— En estos durmientes el estado de compresión permanente del concreto les permite soportar cargas sin que aparezcan en su masa grietas, trabajando toda la sección transversal a la flexión a asemejándose ventajosamente a la madera, pudiendo resistir además las compresiones muy altas.

Se dividen en dos tipos de pretensado, ahogada en el concreto y de armadura preesforzada anclada. En las primeras se emplean alambres de acero de 5 mm., de diámetro a 157 kgs./mm^2 . usándose por lo general 20 hilos estirados por medio de prensas hidráulicas que los sueltan cuando el concreto ha fraguado.

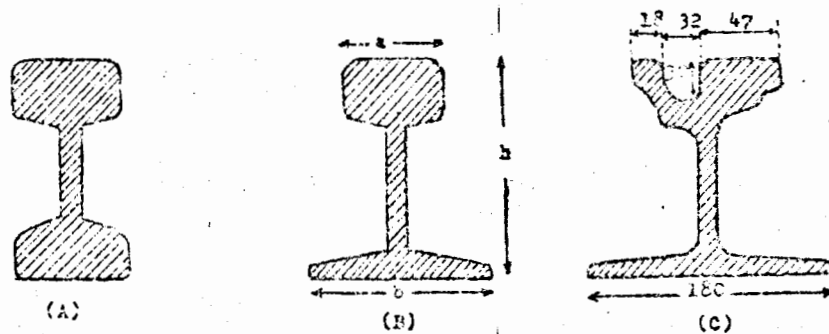
En el segundo tipo los hilos metálicos se engrasan perfectamente, con el objeto de que deslicen sin rozamientos en el interior del concreto. Se emplean cables de 18.3 mm. de diámetro y de $6,500 \text{ kgs/cm}^2$. No requiriéndose armaduras transversales, por regla general el concreto vibrado se fragua artificialmente en cámaras de vapor a una temperatura de 70 grados, con el objeto de emplear los moldes nuevamente, haciéndoseles el primer tensado a 3 toneladas y el definitivo a los dos meses, consiguiéndose de

esta manera un concreto que resista fácilmente las cargas dinámicas que se producen al paso de los móviles. Se colocan sobre el balasto previamente apisonado y el riel se apoya sobre una placa de madera o fieltro que va colocada sobre el durmiente de concreto pretensado, consiguiéndose así el apoyo elástico.



Durmiente de concreto pretensado tipo Karig.

LOS RIELES. - El elemento característico y fundamental de una vía es el riel. Las dimensiones de los rieles son variables según el tipo de vía y material móvil, variando también según el metal empleado.



(A) Riel de dos cabezas. (B) Riel normal. (C) Carril de garganta.

Los tipos más empleados son el riel de base plana o patín y el riel de cabeza doble, principalmente empleado por los ingleses, los primeros se fijan directamente a los durmientes o con interposición de placas metálicas o de caucho que le sirve de asiento, los segundos o de cabeza doble, se fijan por medio de piezas especiales o cojinetes en los que se acuña el riel, este tipo se empleó con la idea de invertirse el riel cuando el desgaste lo indicara, pero no dió resultado porque también se presentó desgaste en la cabeza de apoyo el tipo "C" se emplea en las ciudades, generalmente para tranvías, que ahoga en el pavimento.

El perfil en doble T (al que se acerca las acciones mostradas) es el que más satisface las condiciones elásticas, dinámicas y de desgaste, empleándose en la forma general en todas vías. Se distingue en su sección: la cabeza, el alma y el patín.

La cabeza debe ser resistente al desgaste, tanto en su cara superior como en sus caras laterales, ya que las pestañas de la rueda producen un desgaste lateral y las llantas un desgaste vertical.

Es conveniente que la cabeza tenga una superficie de rodadura ligeramente hombreada, con el objeto de reducir el desgaste entre llanta y riel, ya que en los frenajes y arranques se presenta un reblandecimiento y arrastre del metal superficial.

El alma del riel une al patín con la cabeza, soporta los esfuerzos cortantes y las reacciones laterales de las ruedas al nivel de la cabeza, trabéjandose, como pieza empotrada en el patín, por lo que presenta mayor espesor en la base, siendo conveniente también hacerla más ancha en la unión con la cabeza u hongo, pues en estas partes se producen las principales fallas del alma.

El patín dá la suficiente estabilidad al riel, tanto en los esfuerzos transversales como longitudinales y trasmite la carga a los durmientes.

libras por yarda y en algunos ramales de escaso tráfico se tienen de 40 libras por yarda. En la actual recuperación de nuestra vías se está tratando de tener riel de 90, 100 y 112 libras por yarda, de acuerdo con los volúmenes de carga y las velocidades que se desarrollan en cada línea. En Estados Unidos en líneas de tráfico pesado se coloca rieles de 131 libras por yarda aproximadamente 65 Klbs. por metro lineal, con el objeto de soportar cargas de 36 toneladas por eje y a velocidades máximas de 130 Kms. por hora. Estos rieles se justifican por estar menos afectados por los defectos de fabricación y su duración es mayor principalmente en las curvas de radios menores de 300 m. La técnica norteamericana se caracteriza por la macromanía y así inclusive ha colocado vías de hasta 150 libras por yarda y cargas de 43.5 toneladas por eje.

En las líneas de tipo europeo la inclinación del carril ó riel, es de 1:20 y en las de tipo americano es de 1:40, inclinaciones que van de acuerdo la mayor velocidad o mayor contacto entre llanta y riel para mayores cargas.

Para comparar entre sí varios tipo de rieles, conviene conocer los módulos de flexión W de su perfil y su peso por unidad de longitud p , el coeficiente de utilidad de un riel queda dado por W/p lo cual nos indica que la resistencia mecánica no es siempre mayor a mayor peso, pudiendo ser económicamente inferior a otro riel menos pesado pero mejor diseñado.

-). En cuanto a la longitud de los rieles es obvio y ventajoso que ésta debe ser la mayor posible, pues esto disminuye el número de juntas, que son puntos débiles de la vía, costosos, difíciles de conservar y molestos para el tránsito, por otra parte el corrimiento de los rieles se hace más difícil debido a que éstos se apoyan en mayor número de durmientes y por éste mismo también disminuyen las influencias de esfuerzos laterales.

Los rieles de longitud corta 12 a 20 mts. permiten manejo más sencillo en su transporte y colocación, pero en cambio aumentan el número de juntas y los gastos de conservación, los carriles de longitudes mayores de 20 mts. disminuyen los problemas anteriores pero en cambio aumentan los gastos de manejo y aún requieren medios especiales para la conservación de la vía, ya que al encontrarse un defecto hay que cambiarlo totalmente, -- siendo mayor el costo de la operación y de la barra a mayor longitud.

La idea de dejar entre rieles consecutivos la junta de dilatación para absorber los cambios de longitud debido a la temperatura ha ido evolucionando, ya que nuevas experiencias han demostrado que con medio de sujeción adecuados se puede impedir estas dilataciones o constricciones. En las juntas se produce en tiempo de frío un salto y un desgaste de las puntas de los rieles, en tanto que en tiempo de calor al unirse los extremos puede deformar la vía cuando se deja actuar libremente el riel conviene poner espacio máximo de 2 cms., teniendo en cuenta la máxima construcción, lo cual limita la longitud de un riel a los 20 mts. ya que:

$$d = 0.001 \times l \text{ mm. estando la longitud en milímetros.}$$

En la práctica se ha observado que la dilatación o contracción de los rieles, aún libremente apoyados, queda reducida por el efecto de fricción entre el riel y la placa de agoyo absorbida por el balasto, por lo que con los rieles de gran longitud la dilatación de la parte central de la barra o bien su construcción quedan completamente anulados siendo los extremos los únicos que sufren los efectos de la temperatura. Por lo anterior se ha llegado a la conclusión de emplear rieles cada vez más largos restringidos tan solo por las posibilidades de su fabricación, transporte y mecánica de conservación, llegándose por medio de la soldadura a rieles de longitud mayores de 1000 mts. en los cuales se ha anulado por medio de la sujeción,

la rigidez del durmiente y el correcto balasto, el efecto de contracción y dilatación debido a la temperatura.

Es conveniente recordar que en todas las vías urbanas que se encuentran ahogadas en el pavimento se habían obtenido resultados semejantes al de la vía soldada, es decir carencia de contracciones en el riel debido a que los esfuerzos eran tomados íntegramente por las fricciones longitudinales y laterales.

En México se emplean barras de 12 a 15 mts. de longitud y se han soldado tramos hasta de 800 m., en otros países europeos se emplean barras de 18, 24, y 30 mts., llegándose hasta laminaciones de 60 mts. en Bélgica y Alemania. En Estados Unidos la longitud más usada es la de 12 mts. aún en vías más pesadas.

FABRICACIÓN DE LOS RIELES.— Forman una especialización dentro del campo de la siderurgia con el objeto de producir barras cada vez menos defectuosas y vibraciones así como presiones y rozamientos, por lo tanto el acero deberá ser resistente y duro de 6000 Klg./cm² como mínimo, por otra parte el acero de los rieles deberá ser elástico para evitar una fragilidad excesiva y deformaciones permanentes. El fósforo y el carbono producen aceros duros pero frágiles manganeso y el silíceo, entran en la aleación del acero para rieles con el objeto de completar las características apropiadas observables en los laboratorios al microscopio y por medio de pruebas de resistencia. En la siguiente tabla se observan las proporciones, de los componentes del acero, más aceptable.

Elementos	Aceros Ordinarios	
	Europeos	Americanos
Carbono.....	0.40 a 0.55%	0.53 a 0.82%
Manganeso.....	0.80 a 1.20%	0.70 a 1.00%
Silíceo.....	0.10 a 0.25%	0.15 a 0.30%
Fósforo.....	0.60%	0.30%
Azufre.....	0.60%	0

El acero empleado para la fabricación de rieles tiende por regla general a ser resistente al desgaste y su composición y manufactura son del dominio del Ingeniero Metalurgista, en tanto que el Ingeniero especializado en ferrocarriles debe comparar sus características durante el trabajo de estos rieles.

Durante el trabajo los rieles soportan cargas móviles y dirigen el movimiento, por lo que son desgastados por las cargas verticales y transversales presentando deformaciones muy variadas debido a la tracción, compresión, flexión, torsión y vibraciones, además los deslizamientos en frenado, son absorbidos por rozamientos internos del acero del riel, los esfuerzos que sufre en la cabeza son mayores a mayor carga produciéndose el aplastamiento de sus superficies en algunos casos.

Los esfuerzos laterales ejercidos por las pestañas principalmente en las curvas producen desgastes muy fuertes y rápidos en el riel.

1.-La calidad o composición química del acero de la que dependen su resistencia, tenacidad y dureza, será cuando más fino sea el grano del acero, lo cual se consigue con una cuidadosa fabricación a base de temperaturas de laminado, lo cual aumenta la resistencia y duración de riel.

2.- El tipo de perfil empleado, ya que éste depende la mejor adaptación de la superficie de la llanta y el riel, produciéndose menor desgaste entre ambos.

3.-Las características geométricas planta y perfil de la vía son fundamentales ya que el desgaste crece con la resistencia a la rodadura y frenando, por lo que habrá más desgaste a mayores pendientes y curvas de radio reducido, siendo mayor el desgaste en las curvas, principalmente en el riel riel exterior, por lo que es conveniente colocar contra-rieles del lado interior para procurar un desgaste normal.

4.-El peso, número y velocidad de los trenes o cargas móviles determinando con las características propias del equipo, hay desgastes

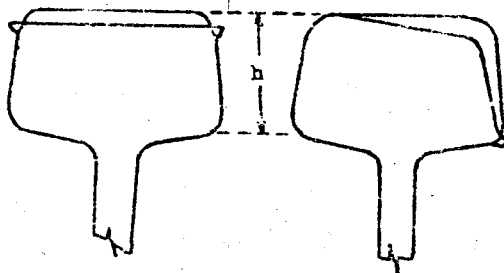
variados en el riel que aumentan con el cuadro del peso y la velocidad del material rodante.

5.-Las condiciones atmosféricas y circunstancias locales producen oxidaciones prematuras en los rieles, pues muchas veces se forma ácido sulfuroso que ataca las superficies y aceleran el desgaste normal.)

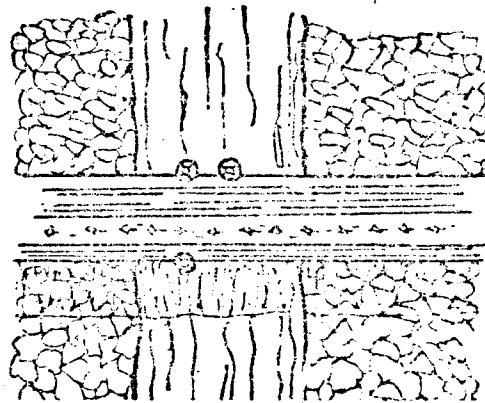
DESGASTE ONDULATORIO.- El continuo choque de la rueda con el riel debido a las oscilaciones de la caja de los vehículos que duran hasta medio segundo y de las vibraciones del riel de un centésimo segundo producen ondulaciones debidas a que la rueda en su movimiento presenta instantes de frenaje y aceleración, lo cual se manifiesta en desgastes distintos que motivan el ondulado de la superficie del riel.

Este efecto se puede observar principalmente en los lugares en donde hay frenajes y arranques continuados. Desgraciadamente iniciando este tipo de desgaste longitudinal se sigue rápidamente alcanzando en algunos casos de 3 a 4 mm.

Se pueden evitar cepillando la superficie del riel o bien por medio de tratamientos térmicos que permiten alisar la superficie, ambos sistemas conviene aplicarlos sin levantar los rieles.



Desgaste en tangente y desgaste en curva.



Desgaste ondulatorio longitudinal salpicado de manchas brillantes.

DURACIÓN: Los rieles conviene retirarlos de la vía cuando presentan desgastes

DIVISION
PROPIEDADES

mayores de los indicados para cada tipo, peso y perfil, así se tolera hasta - 16 mm. de la cabeza, 2 mm. en el patín y desgaste lateral medio de 15 mm. -- para riel de 90 libras por yarda ya que es el de aproximadamente 46 Kgs. -- por metros empleado en Europa. Por otra parte se tolera un 10% del peso en los rieles de 40 a 45 Kgs. por metro lineal, y aún del 20% en los de 46 a - 50 Kgs. también por metro lineal. Estos desgastes se miden comparando la plantilla original con la plantilla obtenida del riel trabajado.

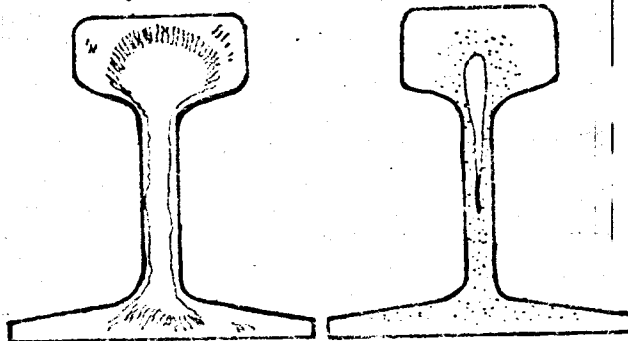
El desgaste se relaciona con el trabajo de la vía en toneladas transportadas y depende de su planta y perfil considerándose como base un - milímetro por cada 20 millones de toneladas en línea horizontales y en tramo recto, por lo que puede preverse un cierto desgaste en una vía consideran- do la tabla siguiente en la que se tendrá igual desgaste para diferentes -- alineaciones y tonelajes.

Pendiente en 1/1000	15 a 25	10 a 15	6 a 10	0 a 6
Radio de las curvas en m.	500 a 200	800 a 500	1000 a 800	1000
Tonelaje en millones de toneladas	1 a 2	4	6 a 7	10 a 20

DEFECTOS Y ROTURAS DE LOS RIELES.- Son de gran importancia ya que directamente incluyen en la conservación de una vía y en la seguridad de -- los móviles y viajeros, pueden clasificarse en dos tipos: defectos de fabri- cación y alteraciones debidas al servicio o a la edad del riel. Durante la - conservación deberá tratarse de descubrirlos con el objeto de evitar roturas

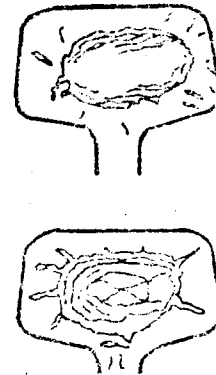
que pudieran provocar accidentes.

Debido a la fabricación se presentan separaciones y grietas principalmente en la cabeza del riel, que con el paso de los trenes producen desgarramientos peligrosos. Durante la fabricación se presentan diferentes tensiones y presiones en el hongo, alma y patín ya que al enfriarse las barras presentan zonas diferentes, por otra parte si el material no es homogéneo quedan inclusiones que provocan la rotura.

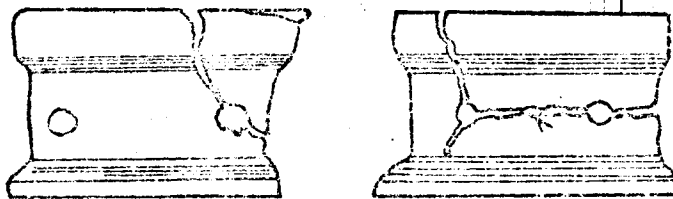


Zonas segregadas de fosfuros y sulfuros de hierro.

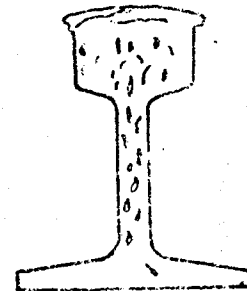
Debido al trabajo de los rieles los choques y flexiones en las juntas, así como los esfuerzos interiores del material sujeto a grandes cargas que iniciadas pueden causar graves daños al riel. El aumento de la temperatura ocasionando por el frenaje de las locomotoras y el enfriamiento inmediato van dañando el temple original formando fisuras y desgarramientos así como aplastamientos de la superficie de rodadura.



Tipos de fisuras transversales.

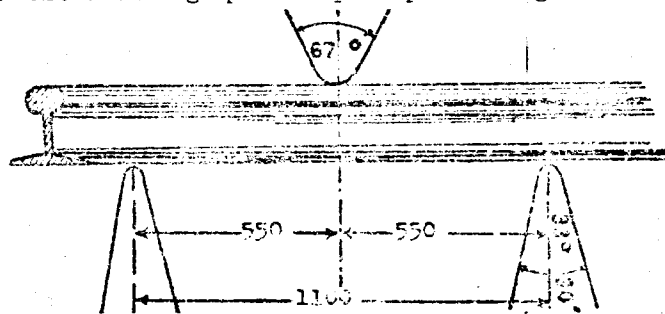


Roturas originadas por el servicio.



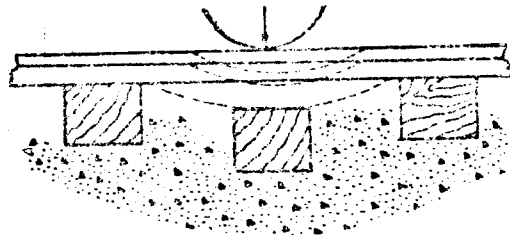
Levantamiento de la superficie de rodadura.

Por todo lo anterior conviene realizar ensayos antes de recibir -- los rieles para su colocación, siendo aquéllos de dos tipos los metalúrgi-- cos y los dinámicos; los primeros se realizan durante la fabricación del -- acero, su laminado y posteriormente en cortes practicados, con el objeto de certificar la textura del acero dada por su posición química y los segundos aplicándoles cargas que provoquen tensiones y compresiones, vibraciones y principalmente choques sobre ellos, siendo esta última prueba la más caracte-- rísticas y se realiza dejando caer un martinete a una altura igual a la décima parte del peso en kilogramos por metro lineal de riel, sobre un tramo de 1.40 m. colocando en viga libremente apoyando de 1.10 hasta hacerle una flecha de 9 cms. con los golpes sin que se presente agrietamiento o rotura.



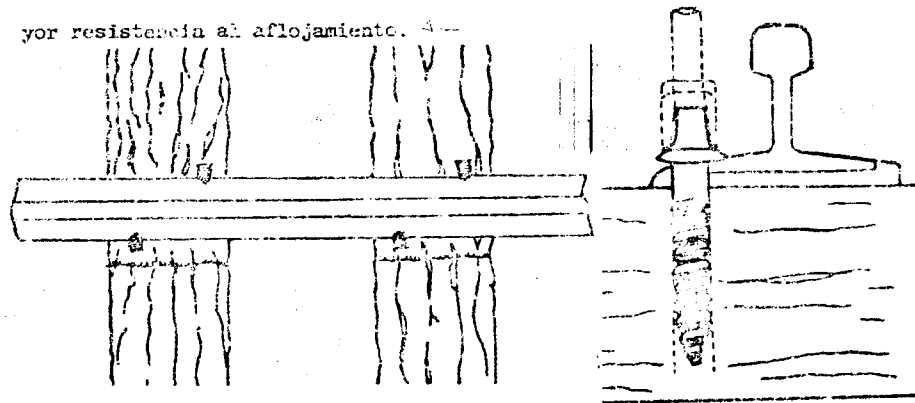
Prueba de choque.

Es conveniente indicar que durante el período de conservación y -- previamente al recibir las partidas de rieles se requiere hacerles una gano-- grafía es decir una inspección a base de rayos gama, con el objeto de acep-- tar o rechazar los rieles antes de su colocación y por otra parte ya en -- servicio, levantar aquéllos defectuosos que pudieran ocasionar algún acci-- dente.



Efecto del impacto producido por una rueda.

FIJACION DE RIELES EN DURMIENTES. El conjunto de clavos, tornillos, placas de asiento, cuñas, etc., reciben el nombre de "accesorios de vía". El tipo de rieles y durmientes es el que define los accesorios a emplearse, en los durmientes de madera pueden utilizarse clavos cuya sección es cuadrada u octagonal terminando en bisel o en punta, colocados en los agujeros preparados en el durmiente y clavados a martillo, sujetando con su cabeza el riel al durmiente. Los tirafondos o tornillos de vía son de acero se colocan por medio de llaves especiales en los agujeros previamente hechos en el durmiente y tienen cuerdas asimétricas con el objeto de dar mayor resistencia al aflojamiento.

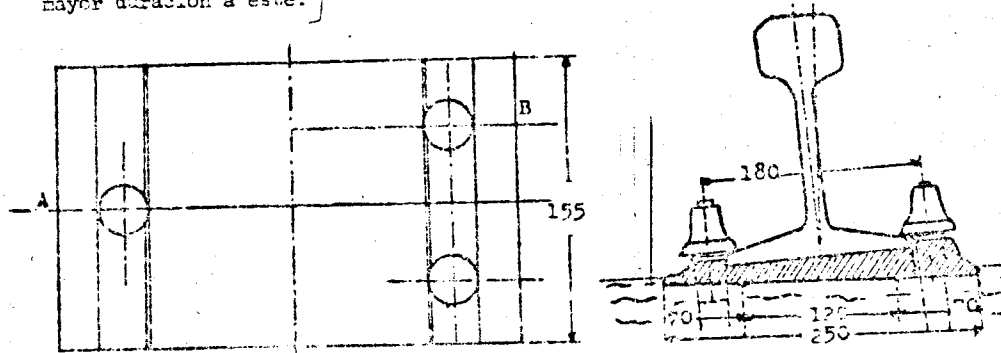


Clavos.

Tirafondo.

En las actualidades se está desechando el uso del clavo, ya que producen agrietamientos en los durmientes y se afloja fácilmente. En muchos casos en los que se agranda el agujero donde van los clavos o tirafondos conviene, para aumentar la vida voltear el durmiente o rellenar los agujeros con estaquillas que permiten dar el apriete necesario que no debe ser inferior a 200 Kígs. al arrancamiento.

El riel puede fijarse al durmiente directamente o bien colocado -- una placa de asiento que sirve para aumentar la superficie de apoyo del riel en el durmiente, disminuyendo por lo tanto la presión unitaria, dando -- mayor duración a éste.

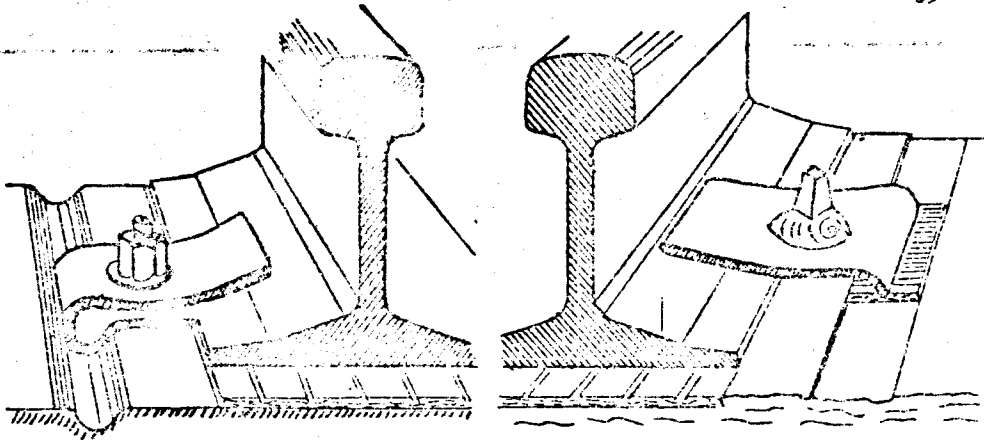


Forma de sujeción de la placa de asiento por medio de tirafondos.

Los clavos y tornillos de vía pueden sujetar a la placa y al riel al mismo tiempo o bien ser independiente esta sujeción, que tiene la ventaja de permitir mayor facilidad en la rectificación de la vía.

En la actualidad para hacer la vía más elástica y evitar el libre desplazamiento del riel sobre el durmiente, se coloca entre éstos una placa de caucho o suela de fieltro que va libremente estirada, en muchos casos esta placa substituye ventajosamente a la placa metálica, el tirafondo en estos casos presiona una grapa elástica que a su vez sujeta al riel, esta fijación recibe el nombre de doblemente elástica y junto con los rieles de gran longitud caracterizan a la vía moderna.

En los durmientes metálicos el riel se puede fijar directamente al durmiente o con placa intermedia, que en muchos casos va soldada al durmiente.



Fijación elástica para durmiente mixto. Fijación elástica para durmiente de madera.

En los durmientes de concreto se colocan vigas de madera que sirven para recibir el tornillo de vía ó bien una forma metálica estriada en su interior que queda ahogada en el concreto y que permite el atornillado del tirafondo; un procedimiento más sencillo consiste en introducir durante el fraguado una pieza espiral perfectamente engrasada que es extraída posteriormente dejando así el orificio preparado para atornillar el tirafondo.

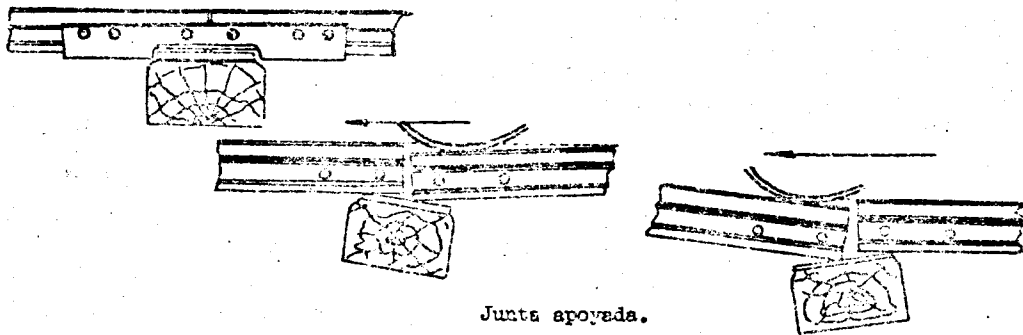
En la vía moderna se está tratando de formar una unidad con durmientes mixtos, sujeción doblemente elástica, rieles de gran longitud, pendientes no mayores del 2% y radios de curvatura no menores de 300 mts.

JUNTAS. - Las juntas en los rieles son los puntos débiles de la vía, principalmente desde el punto de vista dinámico, ya que al paso de los trenes las ruedas producen choques que aumentan la resistencia a la tracción, producen corrimiento de los rieles, presiones extraordinarias en el balasto y deforman el riel.

En las juntas se colocan placas con el objeto de dar la mayor continuidad a la vía, sin embargo bajo el peso de las ruedas las extremidades de los rieles se flexionan y reciben choques que producen un rápido y gran

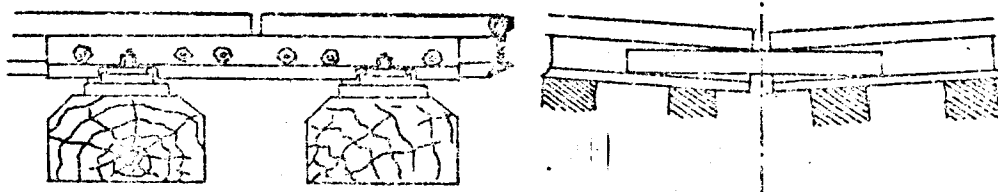
desgaste de los montajes, desgaste de las superficies de asiento y movimiento en el balasto, a medida que el desajuste aumenta el desgaste de las piezas crece rápidamente y el balasto se expulsa hacia el exterior, por esta razón las juntas deben resolverse desde el punto de vista dinámico principalmente, hay dos formas:

1a.- La junta apoyada, en la que empalme de los dos rieles se efectúa sobre el durmiente, los choques hacen mover el durmiente, el balasto desaparece y la junta se hace peligrosa.



Junta apoyada.

2.- La junta suspendida queda entre dos durmientes y por experiencia se ha llegado a considerarla como mejor, ya que los choques son atenuados por la flexión de los rieles, aunque no desaparecen el desgaste y las desarticulaciones de las piezas.

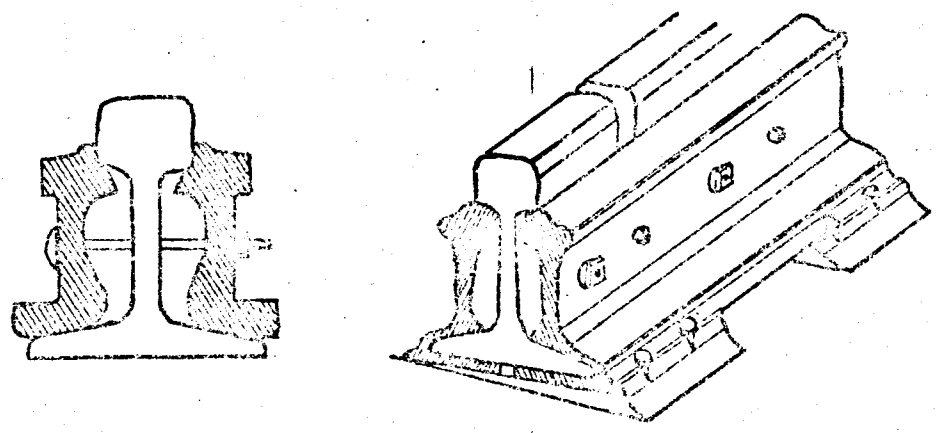


Junta suspendida.

Los diferentes tipos de juntas de unión sirven para atenuar los inconvenientes citados, ya sea aumentando la resistencia de las placas de unión o reduciendo el número de empalmes. Para aumentar la resistencia se hace mayor la sección y la longitud de la placa ó bien disminuyendo la distancia entre durmientes hasta un mínimo que permita su correcto calzado sobre el balasto.

Anteriormente hemos indicado que para reducir el número de juntas se consigue fabricando de gran longitud los rieles, y muchísimo más por los sistemas de soldadura que se aplican durante la colocación, ya que las dilataciones y contracciones por temperatura son absorbidas por el balasto, los durmientes y las sujeciones elásticas consiguiéndose así una vía de rieles de gran longitud con un mínimo de juntas.

A pesar de esto es conveniente el colocar juntas con el objeto de hacer más sencillas las reparaciones y por razón se colocan en diferentes formas.

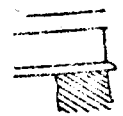


Junta de unión o brida.

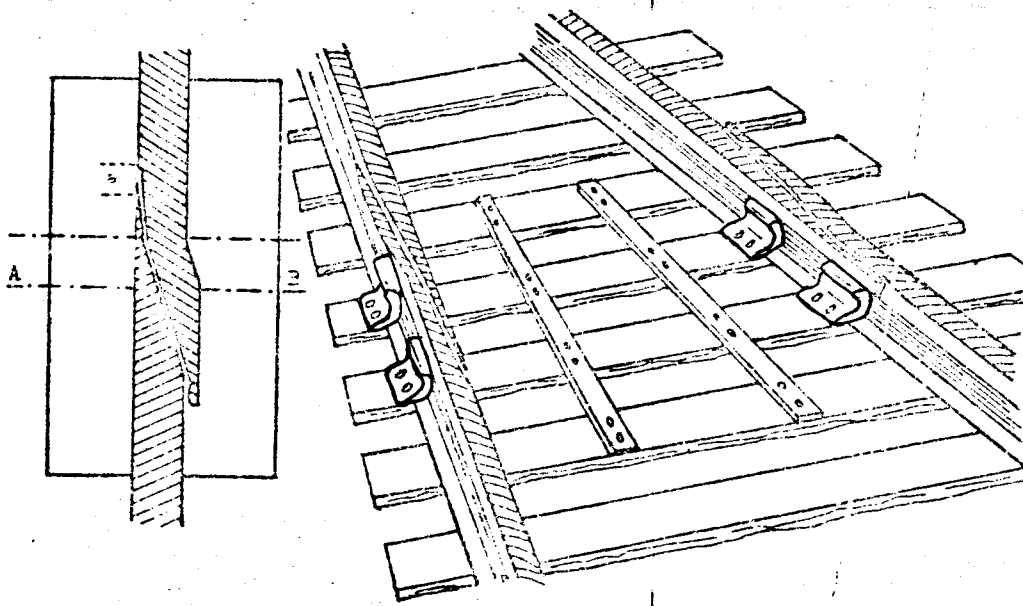
bien-
pie-
sta

sobre
se y

ha -
la
ula



En los puentes en los que se tienen dilataciones se colocan juntas especiales de tipos de bayoneta que permiten absorberlas, así mismo en las vías soldadas se colocan estas juntas teniendo cuidado de poner el contrarriel que sujete varios durmientes para evitarles movimientos longitudinales de arrastre. Todas estas piezas van apretadas a los rieles por medio de tornillos que les permiten los juegos indispensables sin aflojarse para lo cual se han ideado sujeciones mediante arandelas o rondanas que hacen más estable y duradero el apriete. Por último en Europa se procura que los empalmes y juntas de los dos rieles que forman la vía se realicen sobre los mismos durmientes, en tanto que en América se emplea el empalme cuatrapeado es decir que la junta del riel derecho se realiza a la mitad del izquierdo y así alternativamente.



Junta de dilatación en bayoneta .

a la pag. 57

CAPITULO II

GEOMETRIA

TONELAJE ECUACIONADO T R. 3

PENDIENTE 1/1000	TON.	VELOCIDAD
A Nivel	3534	a 60 km/hora.
0.5	1180	" "
1.0	628	" "
1.5	415	" "
2.0	271	" "
2.5	181	" "
3.0	116	" "

Potencia Máxima 2434 H.P.

El cálculo correspondiente al tonelaje ecuacionado se verá posteriormente, la tabla tiene como objeto observar la relación contenida.

La relación entre la capacidad máxima de evaporación de la caldera y la demanda de los cilindros al 100%. Esto nos indica las pendientes y los radios de curvatura que deben regir.

→ En virtud que la topografía del terreno obliga al ferrocarril a subir rampas y bajar pendientes, la ventaja de no tener resistencia a la rodadura se convierte en un inconveniente, así por ejemplo, un camión subiendo una rampa del 1% aumenta su resistencia en un 40%, en tanto que un ferrocarril la aumenta en un 250%, por ésto, las rampas usuales hasta del 8% en carreteras son imposibles para un tren, por éllo las pendientes en los ferrocarriles se miden en tantos al millar, así las líneas de gran velocidad tienen de un 5 a un 10 al millar y las vías en montaña pueden construirse hasta con un 30 al millar. Esto mismo hace que el ferrocarril

presente curvas de gran radio, que tenga estructuras como puentes y túneles que permitan abatir las pendientes con curva de radios mayores de 150 mts., ya que para velocidades de 120 km/h. se requieren radios mínimos de 750 mts.

Debemos recordar que para obtener el radio en función del grado se tiene para cuerdas de 20 m. y siendo $n =$ Grado de la curva.

$$R = \frac{20 \times 360}{2 \pi n} = \frac{7200}{6.28 n} = \frac{1150}{n}$$

PERALTE.- Para obtener el peralte o sobre-elevación en la curva, debemos recordar las deducciones que hicimos para el caso de un móvil partiendo de la fuerza centrífuga y de su peso.

$$F = m \cdot a = \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{R}$$

$e =$ escantillón

teniendo en cuenta que:

$$\tan a' \doteq \sin a' = \frac{h}{e} \text{ y que:}$$

$$\tan a' = \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \frac{1}{P} = \frac{h}{e}$$

quedando después las sustituciones

$$h = \frac{e}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \quad v \text{ en mts/seg.}$$

Si $v =$ en kilómetros por hora se tiene:

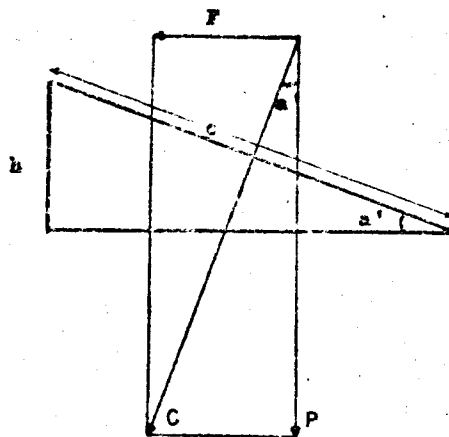
$$v = \frac{v}{3.6} \text{ y } h = \frac{e}{g} \cdot \frac{v^2}{3.6 \times 3.6 \times R}$$

si consideramos el escantillón de la vía ancha normal de 1.435 m. tendremos:

$$h = \frac{1.435}{9.8} \cdot \frac{v^2}{3.6 \times 3.6 \times R} = 0.0118 \frac{v^2}{R}$$

h en metros, v en km/hora.

En cuanto al volteamiento que pudiera ocurrir, hay que considerar



que experimentalmente se ha obtenido que aún a 100 Km/hora se puede circular en curvas de radios de 300, 200 y hasta de 100 m. sin sobreelevación y sin ocurrir volteamiento, sin embargo se da la sobreelevación con los fines siguientes:

- 1o.- Evitar el golpe brusco, que se produciría a la entrada y salida de las curvas, desagradables para los pasajeros y destructivo para la vía y equipo.
- 2o.- Impedir el corrimiento de la vía y el excesivo trabajo de los tirafondos o tornillos de vía del carril exterior.
- 3o.- Obtener el desgaste equivalente en las dos ruedas y así removerlas después del mismo tiempo de trabajo.

Como en realidad sólo podría tenerse un peralte para una velocidad dada y correr trenes rápidos y lentos en la misma vía, conviene calcular el peralte con la velocidad media, es por ésto que se emplean fórmulas empíricas para obtenerlo.

Ejemplo:

$$v = 100 \text{ km/hora}$$

$$R = 1000 \text{ metros}$$

$$K = 825 \text{ para velocidades mayores de } 100 \text{ km/hora}$$

$$h = K \frac{v}{R} \quad h \text{ en milímetros} \quad h = \frac{825 \cdot 100}{1000} = 82.5 \text{ mm.} = 3.2 \text{ cm.}$$

Para velocidades menores conviene emplear la fórmula teórica obtenida.

En general se ha visto en la práctica que es mejor un peralte medio que uno excesivo, ya que con el tiempo el peralte aumenta debido a la acción de los trenes pesados sobre el riel inferior.

CURVAS DE TRANSICION.- La vía, con la sobreelevación originada por las curvas, para ser continua requiere que el carril exterior se eleve

progresivamente desde su nivel de origen hasta alcanzar la sobreelevación

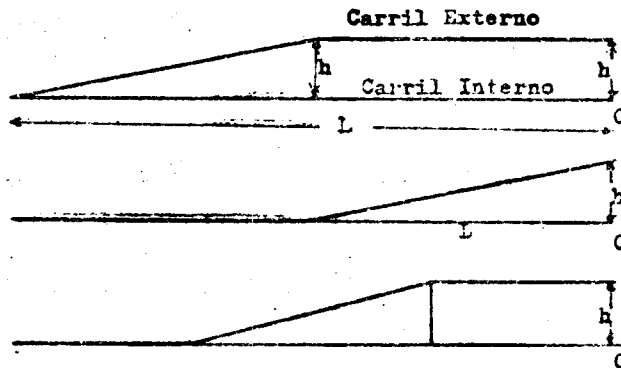
$$h = \frac{e}{g} \cdot \frac{v^2}{R}$$

en una longitud L . resultando así una pendiente media $i = \frac{h}{L}$

El incremento de la sobreelevación varía, según diferentes P.C., de 1 m.m. a 2 m.m. por cada metro de longitud y es más reducido a medida que aumenta la velocidad.

Cuando las curvas son de gran radio y las velocidades pequeñas puede establecerse la vía como sigue:

quedando el punto
C en el centro de
la curva.

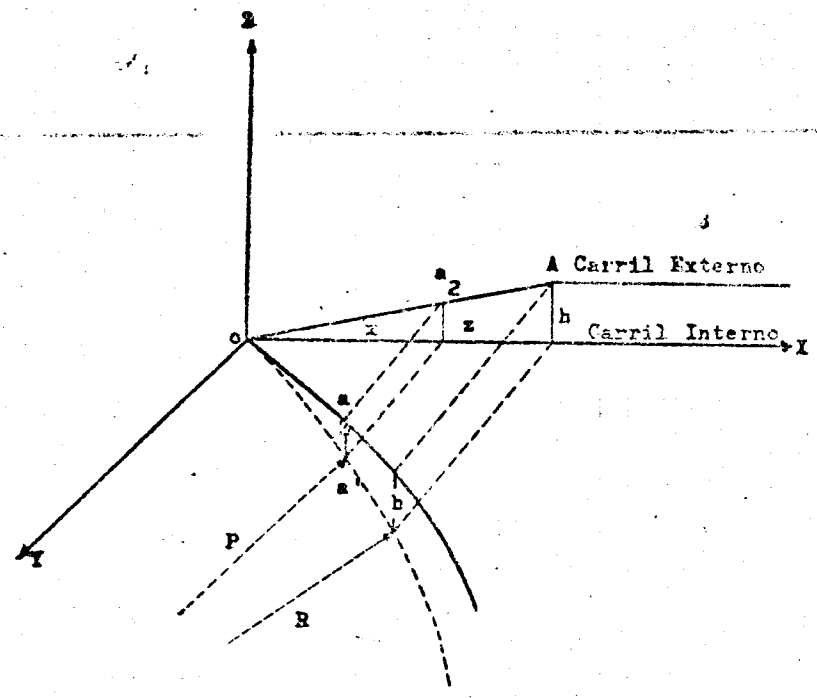


Estas aplicaciones deben evitarse, en lo posible pues producen desgastes y golpes bruscos en los carros y arrastres de las vías. Por esta razón deben emplearse curvas de transición es decir, que varíen continuamente su grado hasta llegar al máximo, conjuntamente con la sobreelevación, produciéndose así la verdadera espiral que debe emplearse en los ferrocarriles.

El estudio de las diferentes ecuaciones que ligan la variación que nos expresa la figura nos conduce a las curvas radioides:

Radiode de abscisas:

$$\frac{x}{c} = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}}$$



Radioid de cuerdas: $\frac{r}{c} = \frac{\frac{d^2 y}{d x^2}}{\left[1 + \left(-\frac{d y}{d x}\right)^2\right]^{3/2}}$

Radioid de arcos: $\frac{s}{c} = \frac{\frac{d^2 y}{d x^2}}{\left[1 + \left(-\frac{d y}{d x}\right)^2\right]^{3/2}}$

La primera es el óvalo, la segunda es la lemniscata y la tercera la espiral o clotoide.

De la ecuación del óvalo se tiene, haciendo las consideraciones siguientes: que $\frac{d y}{d x} = \tan f$, es muy pequeña y que las constantes de integración son cero por empezar la curva en el origen: $\frac{x}{c} = \frac{d y}{d x}^2$

integrando $y = \frac{x^3}{6 c}$ que es la parábola cúbica.

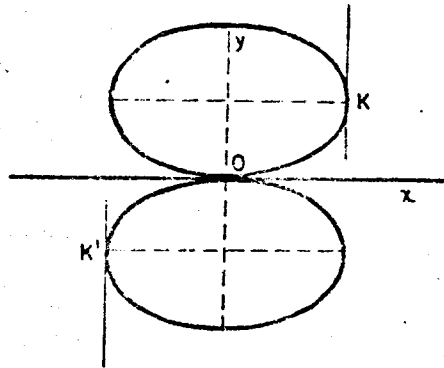
Otra forma de llegar al resultado anterior es:

$$Y = \frac{y}{\sqrt{2c}}, \quad X = \frac{x}{\sqrt{2c}} \quad \text{nos dá:} \quad \frac{dy}{dx} = \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2} = X$$

$$\text{integrando nos queda } X^2 = \frac{dy}{dx} \cdot \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

$$\text{despejando } \frac{dy}{dx} \quad \text{nos dá:} \quad \frac{dy}{dx} = \pm X^2 (1 - X^2)^{1/2}$$

que es la ecuación de los óvalos que pasan por el origen integrando la ecuación anterior y desarrollando el término del paréntesis.



$$Y = \frac{Y^3}{3} \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} X^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{3}{11} X^4 + \dots \right)$$

tomando en cuenta el primer término tenemos:

$$Y = \frac{Y^3}{3} \quad \text{ahora bien} \quad Y = \frac{y}{\sqrt{2c}}, \quad X = \frac{x}{\sqrt{2c}}$$

$$Y = \sqrt{2c} \cdot \frac{x^3}{3 [\sqrt{2c}]^3} = \frac{x^3}{6c} \quad \text{ecuación que se co}$$

noce con el nombre de la parábola cúbica y con la que se trazan los enlaces entre tangentes y curvas circulares en nuestras vías.

El valor de c varía con la velocidad S de travesía media y puede expresarse en función del radio y de la longitud L por lo tanto $c = L \cdot R$,

en general se toma $L = 40$ y por lo tanto $c = 40 R$, sin embargo conviene -
mejor obtener el valor de L como sigue:

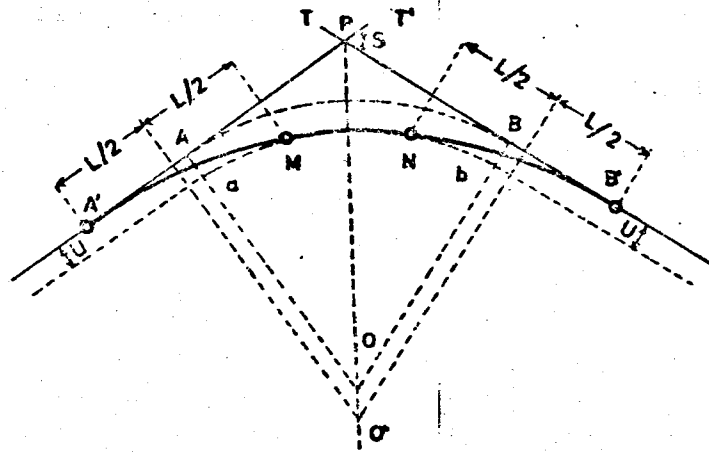
$$L = 10 v \cdot h \quad \text{pero} \quad h = 0.0118 \frac{v^2}{R}$$

$$\text{Si } v = 100 \text{ Km/h.} \quad R = 1000 \text{ m.} \quad L = 118 \text{ m.}$$

$$2c = R \cdot L = 118000$$

En general se hacen tablas de las y y las x de la parábola cúbica para valores de l de 40, 60, 80, 100, 120, 160, y 200 mts. con las correspondientes de R y h .

El trazo de la curva de transición estudiada se efectúa, calculando las ordenadas del comienzo de la curva circular y las intermedias a partir de los valores de L y h , para las velocidades v .



Para enlazar las curvas parabólicas con la curva circular de radio R , conviene emplear el método de radio conservado, desplazándose el centro O a O' . Este método permite emplear las alineaciones primitivas y los elementos de la curva circular original o sobreelevación y escantillón.

De la figura anterior se deduce que el valor $\overline{OO'}$ = $\frac{u}{\cos \frac{S}{2}}$

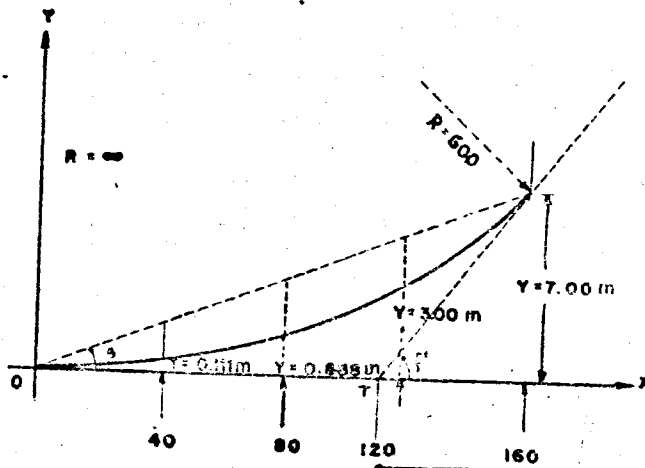
siendo $u = 1/2$ y la subtangente de la curva circular es igual:

$$St = y \cot f' ; \cot f' = \frac{1}{\frac{dy}{dx}} = \frac{x^3}{6C} \cdot \frac{2C}{x^2} = \frac{x}{3}$$

para $x = L$ en el punto B, de comienzo de la curva circular $St = \frac{L}{3}$

Por ejemplo para

- $v = 100 \text{ km/h.}$
- $R = 600 \text{ m.}$
- $h = 0.155 \text{ m. se tiene}$
- $L = 10 \text{ V h} = 160 \text{ m.}$
- $C = R L = 96000$



Obteniéndose para los valores:

$$st = \frac{160}{3} = 53.333 \text{ m}$$

X	$r' = \frac{C}{x}$	$y = \frac{x^3}{6C}$	$\tan f' = \frac{x}{2C}$
0 m.	0 m.	0 m.	0
40 "	2400 "	0.111 "	0.008
80 "	1200 "	0.888 "	0.033
120 "	800 "	3.000 "	0.075
160 "	600 "	7.000 "	0.133

AMPLIACION DEL ESCANTILLON.- Depende del radio de la curva y de la máxima base rígida de los vehículos, por ejemplo la locomotora T R. 3 --

tiene una base rígida de 19' 7" que en metros es de 5.96 m., como puede verse, a pesar de la conicidad de las llantas, si no se diera una ampliación, no podría la base inscribirse en la curva, lo cual a grandes velocidades es peligroso y produce además un desgaste tremendo de llantas y rieles.

La ampliación se hace a base de fórmulas experimentales:

$S = \frac{6}{R} - 0.012$ que da una ampliación $S = 0$ para $R = 500$ m. otra que se emplea es

$$S = \frac{(1000 - R)^2}{2700} \text{ que da } S = 0 \text{ para } R = 1000 \text{ m.}$$

Hay que considerar que S no debe pasar de 20 milímetros, para evitar accidentes, en general conviene hacer ampliación para radios menores de 500 m. Por lo tanto $R \text{ mínimo} = 190 \text{ m.}$

La ampliación deberá hacerse a razón de 1mm. por cada metro de desarrollo en la curva y a partir de su origen y en el carril interior.

VELOCIDADES LIMITES.- De la fórmula teórica de la sobreelevación, se deduce que la velocidad máxima admisible depende del peralte y del radio de curvatura.

$$\frac{v^2}{R} = Kh; \quad v = K \sqrt{R \cdot h}$$

Ahora bien el peralte máximo está fijo por la condición de volteamiento, cuando algún carro o la locomotora misma, esté estacionado en la curva y se considera como el 10% del escantillón. En nuestras vías de $e = 1.435 \text{ m.}$ sería de $14.35 \pm 15 \text{ cm.}$ y mejor aún poner 10 cms. como máximo, por lo que si h es una constante se tiene:

$$v = K \sqrt{R} \text{ incluyendo } K \text{ a la raíz } \sqrt{h}$$

El valor de $K = 4$ se ha tomado experimental así que:

ec. (1) $v = 4 \sqrt{R}$ para una sobreelevación de la $h = 150 \text{ mm.}$

quedando R en metros y v en Km/hora.

Ejemplo: $R = 900$ m.

$$v = 4 \sqrt{900} = 120 \text{ Km/h.}$$

El coeficiente $K = 4$ es conservador y toman en cuenta las condiciones de las vías, equipo y acortamientos.

Para radios inferiores a 300 mts. se aplica la fórmula empírica:

ec.(2) $v_{\text{max.}} = \frac{4R}{\sqrt{R+50}}$ Ejemplo: $R = 175$ m.

$$v_{\text{max.}} = \frac{4 \times 175}{\sqrt{225}} = \frac{700}{15} = 46 \text{ Km/h.}$$

Conviene recordar que en las curvas deberá compensarse la pendiente para que no se aumente la resistencia. Y por último que para elaborar un proyecto dada la velocidad de operación, se despejará el radio de las fórmulas antes propuestas, para obtener las especificaciones límites, quedando:

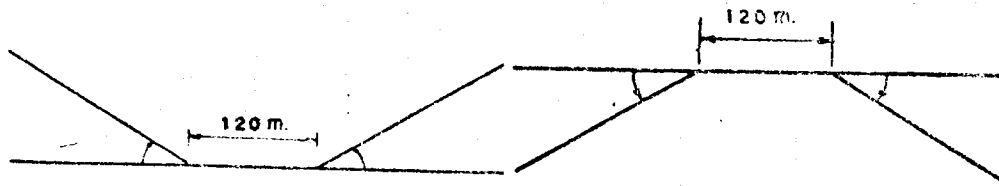
de la ec.(1) $R = \frac{v^2}{16}$ para velocidades mayores de 50 Km/h.

de la ec.(2) $R = \frac{v^2 \pm \sqrt{4v^4 + 3200v^2}}{32}$

para v menores de 50 Km/h.

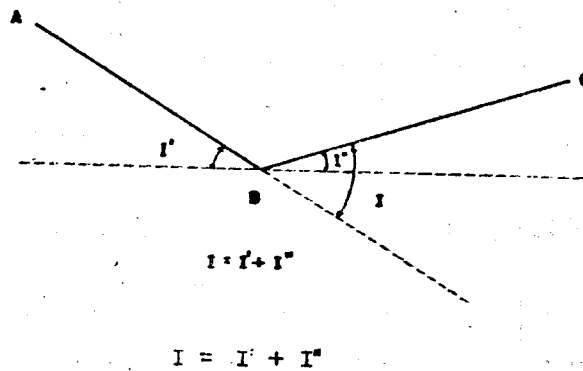
Las fórmulas anteriores consideran un peralte máximo de 150 milímetros en la sobreelevación.

CURVAS VERTICALES.- Cuando el perfil de la subrasante presente pendientes diferentes que deban enlazarse, se emplean curvas verticales que evitan los choques y jalones que se producirían debido a los cambios bruscos de pendientes.

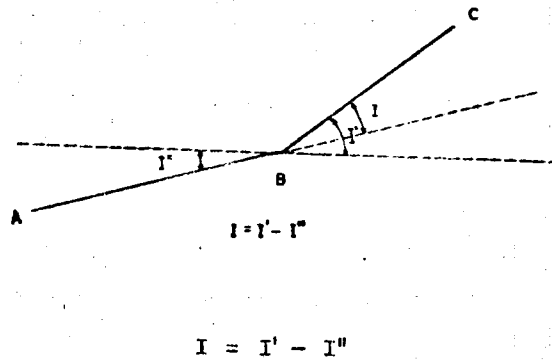


En ferrocarriles los declives de signo contrario deben estar separados por una rama horizontal de 60 m. de longitud mínima, con el objeto de que se alojen normalmente los carros y no se estorben las uniones, en estas condiciones el problema se reduce a ligar una tangente horizontal con una rama o una pendiente. Dadas las pendientes que se emplean en ferrocarriles podemos decir que:

a).-



b).-



Si se invierten las figuras el resultado sería el mismo, por lo que nuestro estudio se limita al caso citado: una horizontal con una rama o una pendiente, ya que se requiere la tangente horizontal entre los cambios de declives.

En forma práctica, para determinar "L" se mide a ambos lados del cambio de pendiente, una longitud igual a diez veces el número que da I en milímetros por cada metro, por lo que L total = $2 \times 10 \times I \times 1000$ y la ecuación queda:

$$z = \frac{I}{40000} \cdot x^2$$

En algunos ferrocarriles se emplea una poligonal con lados de inclinación constante. Si P es la variación para cada riel de longitud L se tiene:

$$* \frac{P}{L} = i$$

También puede substituirse la parábola con un círculo de radio R sobre el eje OZ:

$$x^2 - 2Rz + z^2 = 0 \text{ despejando } z \text{ tendremos}$$

$$z = \frac{x^2}{2R} + \frac{z^2}{2R}, \text{ como } z \text{ es muy pequeña y } R \text{ grande se puede --}$$

despreciar el último término obteniéndose una circunferencia que coincide -- con la parábola y de la forma $z = \frac{x^2}{2R}$ que comparada con la ya estudiada

* $z = \frac{I}{2L} x^2$ nos indica que $R = \frac{L}{I}$ por lo que la ordenada ED valdrá

$$* ED = \frac{L^2}{8R}$$

Ejemplo.- $i = 0.2 \frac{\text{m.m.}}{\text{m}}$

$$i = \frac{I}{L} \therefore R = \frac{L}{I} = \frac{1}{i}$$

$$R = \frac{10000}{2} \quad R = 5000 \text{ m.}$$

Conociendo R conviene aplicar la última fórmula para calcular -- las cotas de la curva:

$$z = \frac{x^2}{2R} \text{ para lo cual previamente debemos determinar la longi--}$$

tud L y la variación total I .

CAPITULO III

ESFUERZOS QUE ACTUAN EN LA VIA.

La vía debe sopotar teóricamente los esfuerzos siguientes:

- 1.- El peso de los móviles.
- 2.- La fuerza centrífuga ejercida por ellos en las curvas.

La acción de estos esfuerzos normales está modificada y en ocasiones sobrepasada por esfuerzos anormales en condiciones constructivas de la resistencia de la vía y de los vehículos que circulan en la misma, como son:

10.- Esfuerzos laterales debidos al espacio entre el ancho normal de la vía y el de las superficies exteriores en las pestañas de la rueda y que se producen por el avance en línea recta y bajo un cierto ángulo variable de los ejes de alineación.

20.- Esfuerzos por irregularidades en planta y perfil que modifican las reacciones normales.

30.- Esfuerzos debidos a los muelles de suspensión con motivo de los movimientos de traslación ó rotación que se transmiten a las ruedas y estas a su vez a los rieles.

Por razón de estos esfuerzos es menester, diseñar la vía para absorber el efecto del esfuerzo resultante, tomando en cuenta para el diseño, no sólo el renglón de seguridad en la explotación, sino además las razones de economía; por lo que debe exigirse a la vía la mayor duración y resistencia posibles, ya que los gastos de renovación constituyen un 10 a 15% del gasto de conservación.

I.- ESFUERZOS VERTICALES.- Los esfuerzos verticales son transmitidos por las ruedas de los vehículos en las siguientes formas:

- A).- Debido a la carga estática de las ruedas.
- B).- Debido a la carga dinámica de las ruedas.

La carga estática se pueda a veces duplicar como consecuencia de

La carga dinámica, si en ella actúan simultáneamente algunos de los siguientes efectos:

1o.- La variación del reparto de peso entre los ejes debidos:

- a).- Desnivelaciones (normales o accidentales) del riel.
- b).- Regularización defectuosa de los muelles de suspensión y los balancines de la locomotora y carros.

2o.- Por sacudidas que producen las irregularidades de la vía en la parte no suspendida de los vehículos.

3o.- Por efecto de oscilaciones de la masa suspendida sobre los resortes de suspensión.

4o.- Por la componente vertical del esfuerzo oblicuo de las bielas de la locomotora.

5o.- Por esfuerzos debidos a la inercia de las piezas ligadas al movimiento de la locomotora.

6o.- Por la desigualdad de repartición del peso de un eje entre ambas ruedas en el recorrido de las curvas.

7o.- Por defectos del material móvil, sobre todo de ruedas que tengan planos u ovalaciones que produzcan martilleos en los rieles.

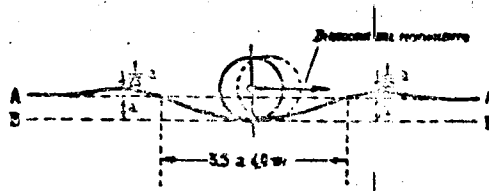
Los rieles generalmente resisten fácilmente estos esfuerzos de flexión bajo cargas verticales, a menos de que hayan un durmiente mal calzado o suelto, juntas flojas o bridas débiles, lo que duplica el claro entre durmientes.

Vemos entonces que la resistencia de la vía no depende únicamente de la sección y calidad del metal empleado, sino además de las características y resistencia de los elementos constitutivos.

En cuanto a los durmientes los esfuerzos dinámicos son fácilmente observados ya que su sección y masa propia permite soportarlos completamente.

En lo que respecta al balasto, que es el elemento más sensitivo a los esfuerzos verticales, su resistencia depende del balastado debajo del durmiente, ya que si éste es deficiente o la capa de balasto insuficiente, causa excesiva compresibilidad que origina ondulamientos en la vía y a su vez produce fuerzas que actúan de abajo hacia arriba, aflojando los puntos de sujeción, produciéndose por consiguiente un aumento de esfuerzos en el balasto que pueden llegar a pulverizarlo.

Además los rieles trabajando como vigas continuas apoyadas sobre soportes aislados, sufren un movimiento ondulatorio al paso de las cargas rodantes, tienden a levantarse a cada lado de la depresión efectuada por la rueda, produciendo un esfuerzo de arranque sobre el tirafondo que eleva al durmiente y acto seguido golpea sobre el balasto. (Ver figura)



Trabajo del riel.

La superestructura no trabaja como un conjunto elástico, porque hay una separación instantánea de los rieles consecutivos en las juntas o del riel y el durmiente, lo que ocasiona choques de gran fuerza al volver a su lugar.

Por eso es más conveniente rigidizar el riel al durmiente y los choques se efectúen entre durmiente y balasto.

El balasto tiene como función repartir lo más uniformemente que se pueda las cargas a la plantilla del terreno.

II.- ESFUERZOS LONGITUDINALES.- Estos esfuerzos son debidos, a:

- A).- Condiciones de construcción de la vía.
 B).- Al movimiento de los vehículos sobre la vía

Estas condiciones producen esfuerzos que finalmente son soportados por los durmientes y el balasto.

Con respecto a la construcción de la vía, tenemos:

1o.- Efecto producido por la temperatura que dilata los rieles, y al no haber holguras libres suficientes se producen esfuerzos longitudinales anormales.

2o.- Se pueden producir esfuerzos longitudinales constructivos al apretar demasiado las bridas contra los rieles, lo que impide por lo tanto el movimiento longitudinal, originando de esta manera pandeos en la vía.

Con respecto al movimiento de los vehículos tenemos, esfuerzos de dos tipos:

- 1o.- En sentido a la marcha del tren.
 2o.- En sentido contrario a la marcha del tren.

Con respecto al movimiento en sentido a la marcha del tren tenemos los siguientes esfuerzos:

1o.- Esfuerzos debidos a golpes de la rueda sobre el desnivel de las cabezas del riel en las juntas, por exceso de juego o rigidez en las bridas.

2o.- Deformaciones elásticas del riel que producen compresiones y dilataciones en la cabeza y patín del mismo y causan modificaciones longitudinales que se traducen en un ondulamiento del riel en el sentido de avance del tren.

3o.- El rozamiento de deslizamiento de ruedas que se produce por el frenado de trenes, que origina corrimientos longitudinales, especialmente en la parte inferior de las pendientes y en las cercanías a las esta-

ciones.

40.- El rozamiento de pestañas de las ruedas contra los rieles, - esfuerzos estos causados por el serpenteo de los trenes.

50.- Por el rozamiento de la rueda interior en la curva, debido a su menor recorrido.

Para contrarrestar estos efectos es necesario el uso de dispositivos especiales que eviten el movimiento del riel con respecto a los durmientes y de un balasto de caras vivas que se incruste en los durmientes, impidiendo así el movimiento longitudinal.

En sentido contrario a la marcha del tren, tenemos:

10.- El esfuerzo de tracción que ejercen las ruedas de la locomotora a causa de la adherencia, (principalmente en los arranques).

20.- La fuerza viva del movimiento giratorio de ruedas no frenadas al frenar otros ejes.

Estos esfuerzos son en realidad pequeños ya que el coeficiente de rozamiento del riel sobre el durmiente es mucho mayor que el de llanta sobre el riel, que es lo que limita el esfuerzo de tracción y frenaje.

III.- ESFUERZOS TRANSVERSALES.- Se producen tanto en las curvas como en rectas. En las curvas son debido a la fuerza centrífuga o al peralte. Los esfuerzos estarán dirigidos hacia el exterior de la curva, si hay exceso de velocidad, y hacia adentro, si no se alcanza la velocidad del peralte establecido. En las rectas se producen los esfuerzos transversales por razón del hazo de vehículos y por defectos de ruedas y rieles. Se logran al contacto del riel y llanta de la rueda ó del riel y la pestaña de la rueda.

Se produce contacto de llanta de rueda y riel cuando tiene como límite el producto μP .

P = Peso de rueda.

μ = Coef. de fricción entre rueda y riel (0.15 a 0.25).

Rebasado este límite se origina el contacto entre la pestaña de la rueda y el riel que puede ser de efectos peligrosos, ya que produce un par de volteo en los rieles que tiende a girarlos y por consiguiente el aflojamiento de sujeción de rieles y durmientes que ocasionan desplazamientos transversales del riel.

Los rieles por lo tanto no sólo transmiten la carga vertical, sino una resultante producida por el desplazamiento horizontal, transversal y la carga vertical.

Es frecuente que cuando no se considera el desplazamiento horizontal, ni el transversal, se origine que el balasto no reparta uniformemente la presiones debidas sobre el terreno, y esto repercute en hundimientos anormales a su basculamiento.

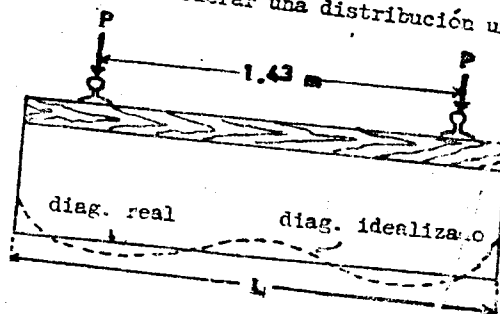
ACCION DE LAS CARGAS FIJAS

METODO ESTATICO

Primeramente mostraremos la secuela del método estático en el cálculo de las cargas fijas, para poder posteriormente ampliar nuestro criterio con el método elástico.

CALCULO DE DURMIENTES. - Veremos para su cálculo las 3 posiciones posibles de apoyo del durmiente, en las que influye el descanso de éste con respecto al balasto.

1o.- Cuando el durmiente está correctamente apoyado en toda su longitud ó sea que se puede considerar una distribución uniforme de esfuerzos. (Ver figura).

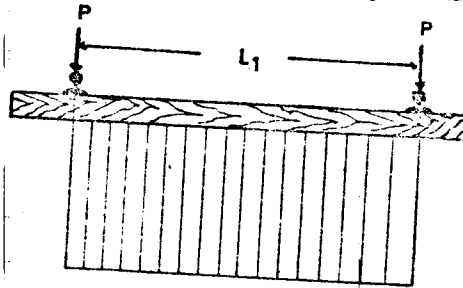


$$w = \frac{2P}{L}$$

$$M = \frac{wL^2}{8}$$

20.- Cuando el balasto de las orillas se pierde, y sólo se apoya en el centro del durmiente, su diagrama de carga es de la forma:

$$w_1 = \frac{2P}{L_1}$$

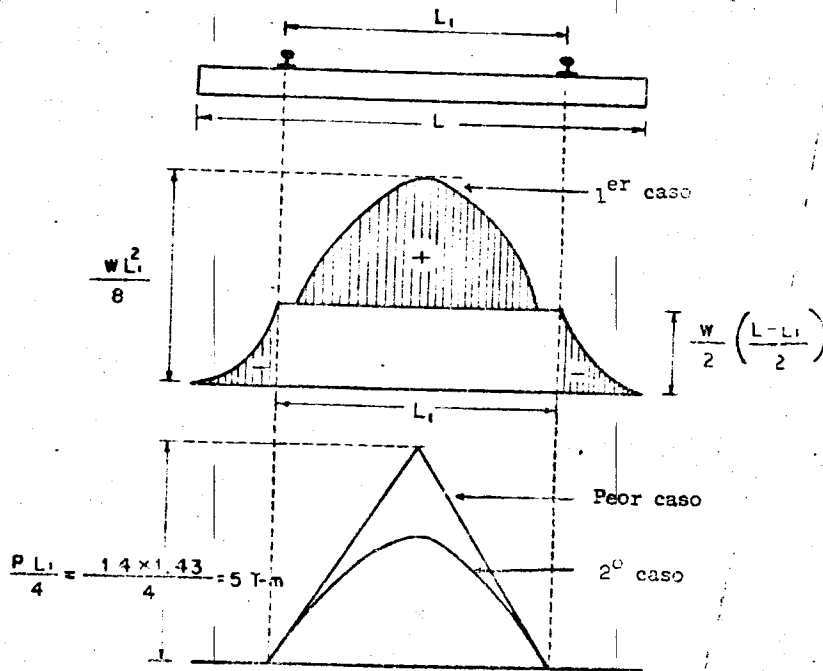


$$M = \frac{w_1 L_1^2}{8}$$

30.- Cuando se tiene la posición crítica en que se pierde todo el balastado y sólo hay un punto de apoyo en el centro del durmiente:

$$f = \frac{M}{I} \text{ y (pues no existe fuerza normal y el cortante es despreciable)}$$

Veámos los tres casos expuestos, y para el diseño usemos, como ejemplo, $P = 7 \text{ Ton/rueda}$.



1o.- Cuando tenemos las condiciones iniciales, el diagrama que se forma, es el correspondiente a una viga de dos voladizos.

2o.- En los casos siguientes, todos los diagramas están contenidos en un triángulo que representa el caso en que el apoyo es un punto. -- (Consideremos el segundo caso como el de condiciones más críticas)

Comprobemos como para trabajos en estos dos últimos casos, el esfuerzo de trabajo es mayor que el permisible, para durmientes comerciales -- de 7" x 8" .

Veamos el diseño en el segundo caso:

$$w_1 = \frac{2P}{L_1} = \frac{14}{1.43} = 9 \text{ Ton/m.}$$

$$M = \frac{w_1 L_1^2}{8} = \frac{9}{8} (1.43)^2 = 2.3 \text{ Ton-m}$$

Observemos que se cumple para la sección comercial de 7" x 8" :

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{20 \times 17.5^3}{12} = 9000 \text{ cm}^4.$$

$$S = \frac{9000}{8.75} = 1000 \text{ cm}^3.$$

Como esta viga no es doblemente apoyada, consideremos el momento de 1 Ton-m:

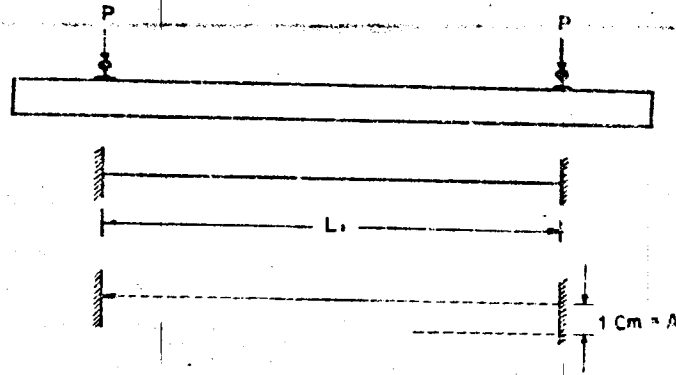
$$f = \frac{M}{S} = \frac{10^5}{10^3} = 10^2 \text{ kg/cm}^2, \text{ por tanto está bien ese durmiente.}$$

Conclusión.- En la realidad, debido a las vibraciones producidas por el tren, se origina un reacondo del balasto en toda la longitud del durmiente y no sólo en los extremos. Esto nos lleva a considerar que la viga es doblemente empotrada.

$$M_2 = \frac{wL^2}{12} = \frac{wL^2}{8} \cdot \frac{2}{3} = 1 \times \frac{2}{3} = 0.66 \text{ Ton-m}$$

$$f_2 = 66 \text{ kg/cm}^2 \doteq f \text{ perm.} = 60 \text{ kg/cm}^2, \text{ por tanto la sección está correcta.}$$

Analicemos ahora el problema, considerando el durmiente como doblemente empotrado y que tiene un desplazamiento de 1 cm. en uno de sus extremos:



Al desplazarse se produce un momento de $M = \frac{6EI}{L_1^2} A$

y suponiendo una $E' = 10^5 \text{ kg/cm}^2$ (madera americana). Para la sección $7" \times 8"$:

$$S = 10^3 \text{ cm}^3; \quad I = 9000 \text{ cm}^4$$

$$M = \frac{6 \times 10^5 \times 9 \times 10^3 \times 1}{143^2} = 26.4 \times 10^4 \text{ kg-cm}$$

$f = 264 \text{ kg/cm}^2 \gg 60 \text{ kg/cm}^2 = f \text{ perm.}$, debido a que falta considerar:

- 1o.- Los empotramientos no son efectivos
- 2o.- El durmiente se hunde de un lado y se levanta de otro
- 3o.- El balasto toma algo de carga

En el caso que consideremos el máximo hundimiento permisible, sea

ría:

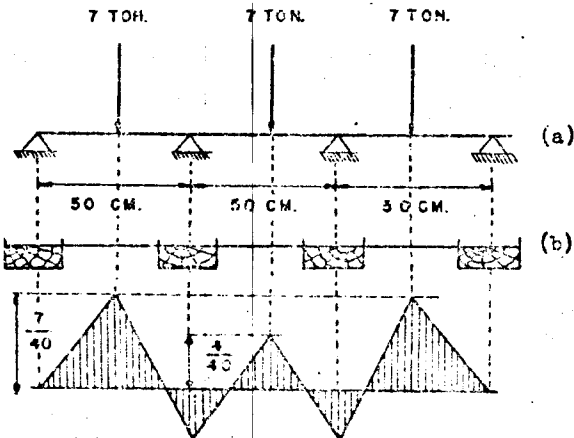
$$A = 0.235 \text{ cm.}$$

CALCULO DEL RIEL.- Cal

culemos un riel para resistir -
cargas de 7 Ton. a 0.5 m. de dis-
tancia entre c. a c. de durmiente

Idealizado... Figura (a)

Real... Figura (b)



Se observa que el caso real es menos crítico, ya que tiene menor claro que el supuesto. Considerando el tramo de vía, aislado: (esto sólo da una idea, pues en realidad la vía es de un número mucho mayor de claros de trabajo).

$$M = cPL = \frac{7}{40} \times 7000 \times 0.5 = 612.5 \text{ kg-m}$$

Suponiendo $f = 700 \text{ kg/cm}^2$, en el manual nos da un riel:

$$\begin{aligned} \text{ASCE - 60} \quad I &= 607.7 \text{ cm}^4 \\ W &= 29.76 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

En realidad la carga de 7 Ton. es baja para locomotoras pesadas, -pues estas pesan hasta 30 Ton. sobre eje.

Por tanto diseñemos con 15 Ton/rueda

$$M = \frac{7}{40} \times 15000 \times 0.50 = 1311.7 \text{ kg-m}$$

$$\text{riel: } S = \frac{M}{F} = \frac{1311.7}{700} = 187 \text{ cm}^3$$

ASCE - 85

$$I = 1259.9 \text{ cm}^4$$

$$W = 42.7 \text{ kg/m} = 85 \text{ kg/yd}$$

En la fabricación de rieles es de fundamental interés saber darles la mayor estabilidad en relación con su peso.

Si se comparan, por ejemplo, los rieles francés y alemán (tipo E), en la tabla se advierte que para un mínimo aumento de peso de éste último - (1%), y una ligera disminución de la estabilidad lateral, representada por la relación b/h , el momento de inercia, I , ha aumentado en 31%; el módulo de flexión, W , ha aumentado en 20%, y el coeficiente de utilidad del carril, W/p , en 19%. Demuestran estas cifras como conservando el mismo peso de metal, se puede modificar la repartición de la materia para aumentar la resistencia vertical manteniendo un límite de desgaste, suficiente, en la cabeza del riel.

(a)

(b)

TIPOS DE RIELES .

Peso p en Kg. por mto.lineal	riel Francés 46.1 Kg.	riel Alemán (forma-2) 45.6 Kg.	riel Alemán (tipo-E) 46.6 Kg.	riel Italiano 46.3 Kg.	riel Español 46.3 Kg.	riel Alemán (tipo-D) 49.4 Kg.	riel Americano standard 65 Kg.
Anchura de la cabeza (mm)....	62	67	66	65	66	70	76
Altura de la cabeza (mm)....	48.2	46	39.3	36	40.5	40.5	44
Anchura del patín b (mm)....	134	125	144	135	130	144	152.5
Altura del carril h (mm)	145	142	160	145	142	160	181
Relación $\frac{b}{h}$	0.92	0.88	0.9	0.93	0.91	0.9	0.84
Superficie total S (cm. ²)....	58.69	56.13	59.35	59.26	57.37	62.89	82.2
Momento de inercia I (cm. ⁴)..	1,650	1,540	2,147	1,664	1,506	2,273	3,704
Módulo de flexión W (cm. ³) ..	222	213	267	217	206	281	389
Rigidez comparada $\frac{I}{p}$	35.8	33.7	46	35.9	33.4	46	57
Resistencia comparada $\frac{W}{p}$..	4.81	4.69	5.73	4.68	4.57	5.69	5.98

NOTA.- Como se vió el cálculo de las cargas fijas por un método estático, no nos conduce a resultados satisfactorios, ya que no considera las condiciones reales de deformación que presenta la vía.

Su función es ser utilizable como una primera aproximación en los cálculos.

METODO ELASTICO

A).- ELASTICIDAD DEL BALASTO.- El balasto al recibir por primera vez la carga del tren sufre una deformación plástica, pero al reiterarse varias veces el paso, sufre una deformación elástica, principalmente en sentido vertical; lo que hace que en vías recién instaladas, éstas sufran una deformación permanente de amplitud decreciente, después transcurrido un lapso de tiempo suficiente, la deformación se transforma en elástica lo que ocasiona que casi no se perciban desnivelaciones en la vía.

La medición del coef. de elasticidad del balasto y también del terreno subyacente, se define por la relación de carga por unidad de superficie y la deformación bajo esa carga o sea que tiene por unidades dimensionales kg/cm^3

$$\text{coef. de elasticidad del balasto } C = \frac{P/A}{z}$$

$$\frac{\text{Carga por unidad de sup.}}{\text{Deformación}} = \frac{\text{kg/cm}^2}{\text{cm}} = \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

Esta constante elástica de Winkler o coef. de balasto, varía según la granulometría del balasto y la calidad de la plataforma sobre la cual está asentado. Ejemplos:

Gravilla sobre terreno arcilloso $C = 3 \text{ kg/cm}^3$

Buen balasto sobre terreno firme $C = 8 \text{ kg/cm}^3$

Buen balasto sobre arena comprimida $C = 14 \text{ a } 20 \text{ kg/cm}^3$

Buen balasto sobre arcilla compacta $C = 40 \text{ a } 60 \text{ kg/cm}^3$

En la práctica también se acostumbra dar a la constante C otra ex

presión en función de una deformación z unitaria de 1 cm.

$$\text{Coef. balasto } C = \frac{P/A}{z} = \frac{P/A}{1} = \frac{P}{A} = \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$P = \text{carga}$
 $A = \text{superficie}$
 $z = \text{deformación}$

o sea que C representa cargas por unidad de superficie con deformaciones -- unitarias de 1 cm.

En E.U. definen la elasticidad de sus vías de acuerdo con la carga soportada por unidad de longitud para una compresión igual a ésta: si la unidad es 1 cm., la constante elástica C varía de 8 a 22 Ton por metro lineal.

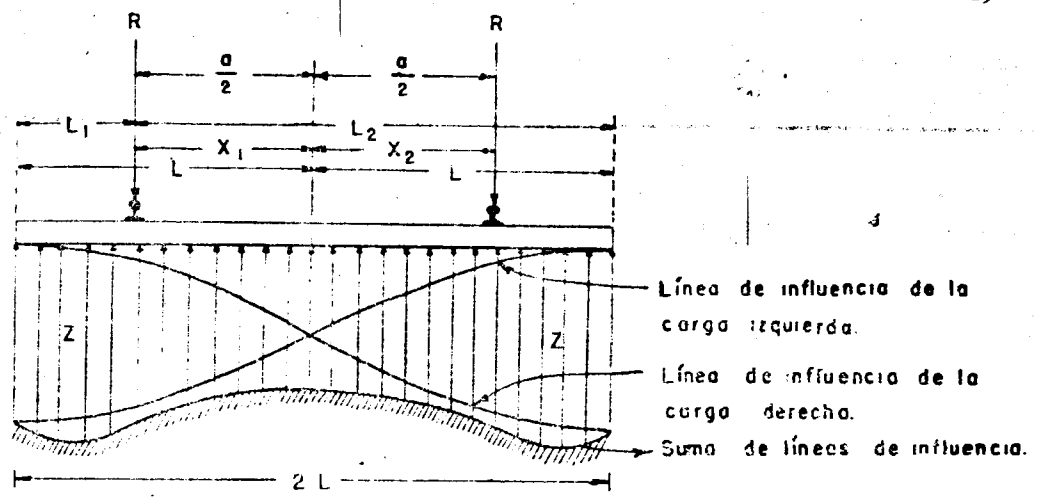
A mayor altura de balasto, la vía es más elástica, lo que origina que se localicen las acciones de los esfuerzos de compresión en las cercanías de las aplicaciones de la carga.

Debemos tomar muy en cuenta para los cálculos, no sólo los esfuerzos estáticos, sino los debidos a las cargas móviles, cuyo valor esta determinado por un coef. dinámico o de impacto, que varía de 1.25 a 2 del valor de las cargas fijas; éstos incrementos son para trenes cuya velocidad oscila entre 50 a 150 km/hora.

B).- RESISTENCIA DE LOS DURMIENTES.- Suponiendo ya conocidas las características de la plataforma y el balasto estudiaremos ahora la acción de las cargas fijas sobre los elementos resistentes para el cálculo de sus dimensiones, es decir, el riel y los durmientes.

CALCULO DE LOS DURMIENTES.- La acción de transmitir las cargas fijas del durmiente al balasto y la reacción del balasto al durmiente es conocida en la mecánica elástica con el nombre de "viga flotante" de Zimmerman".

La ley de repartición de cargas sobre el terreno esta en función de la rigidez del durmiente y la elasticidad del terreno.



DEDUCCION DE LA ECUACION DE DEFORMACION REAL.

- Sea z = Deformación
- C = Constante elástica de la plataforma
- E' = Coef. de la elasticidad del durmiente.
- I = Momento de inercia del durmiente
- b = ancho del durmiente en sentido perpendicular a la figura.

Como b es suficientemente pequeño en relación con la long. $2L$, por lo que consideraremos el durmiente rígido en sentido transversal.

La reacción del terreno r por unidad de longitud, en cualquier punto vale:

$$(1) \quad r = C z b$$

y partiendo de la ecuación diferencial de la elástica:

$$(2) \quad E' I \frac{d^2 z}{dx^2} = - M$$

En la que se considera como positivas las deformaciones descendentes, y siendo M al momento flexionante en un punto cualquiera de abscisa x .

El esfuerzo cortante valdrá en ese punto

$$(3) \quad T = \int r \cdot dx$$

Sabemos que la carga tangencial en función del momento vale

$$T = \frac{dM}{dx} \quad \text{de donde}$$

$$(4) \quad M = \int T \cdot dx$$

Ahora si sustituimos (1) en (3)

$$T = \int C z b \cdot dx$$

Sustituyendo (3) en (4)

$$(5) \quad M = \int \left[\int C z b \cdot dx \right] \cdot dx$$

$$M = \iint C z b \cdot dx^2$$

Sustituyendo (5) en (2)

$$(6) \quad E'I \frac{d^2 z}{dx^2} = - \iint C z b \cdot dx^2 \therefore E'I \frac{d^4 z}{dx^4} = - C z b$$

Para resolver esta ec. diferencial (cuya solución viene en la Mecánica Elástica de A. Peña) tomemos como variable independiente por unidad de longitud, la magnitud:

$$(7) \quad u = \sqrt[4]{\frac{E'I}{C b}} \quad \text{llamada unidad elástica}$$

$$\text{y tenemos (8)} \quad x' = \frac{x}{u}$$

sustituyendo el valor (8) en la ec. diferencial

$$\frac{E'I d^4 z}{d(x'u)^4} = - C z b$$

sust. el valor de u

$$\frac{E'I d^4 z}{dx'^4 \frac{4 E'I}{C b}} = - C z b \therefore z = - \frac{1}{4} \frac{d^4 z}{dx'^4}$$

La integral general de este tipo de ecuaciones de la forma:

$$(I) \quad z = (C_1 e^{x'} + C_2 e^{-x'}) \cos x' + (C_3 e^{x'} + C_4 e^{-x'}) \sin x'$$

Como tenemos 2 cargas concentradas, tendremos para cada carga una línea de influencia, obtenidas estas, las sumaremos y obtendremos la línea de influencia de las cargas simultáneas.

Cada rama de la elástica, ya sea la izquierda o la derecha tiene una ec. de la forma (I), con cuatro constantes; estas constantes se determinan para cada rama por las cuatro condiciones de que para el extremo izquierdo $x' = -\frac{L_1}{u}$ y para el derecho $x' = +\frac{L_2}{u}$ y en donde el momento

flexionante M y la carga tangencial T son nulos.

Además en el punto de actuación de la fuerza $x' = 0$ deben ser iguales los valores de z a la izquierda así como a la derecha, así como también la tangente elástica resultante $\frac{dz}{dx'} = 0$ deberá ser horizontal.

En ese mismo punto son iguales los valores de M en las dos ramas, y los valores de T deben diferir en una y otra rama al valor de R .

O sea que así tendremos ocho condiciones que nos dan el valor de las constantes.

Quedándonos nuestra ec. de deformación de la sig. forma:

$$(II) \quad z = \frac{R}{Cbu} \left[\frac{1}{2} (\eta_1 + \eta_2) + s_\rho \cos h. \xi \cos \xi + v_\rho \operatorname{sen} h. \xi \operatorname{sen} \xi \right]$$

después de haber sustituido

$$x_1 = x - \frac{a}{2} \quad x_2 = \frac{a}{2} - x$$

y haber hecho:

$$\lambda = \frac{L}{u} \quad \rho = \frac{a}{2} \cdot \frac{1}{u} \quad \xi = \frac{x}{u} \quad \xi_1 = \frac{x_1}{u} \quad \xi_2 = \frac{x_2}{u}$$

$$\eta_1 = e^{-\xi_1} (\cos \xi_1 + \operatorname{sen} \xi_1) \quad \eta_2 = e^{-\xi_2} (\cos \xi_2 + \operatorname{sen} \xi_2)$$

$$\omega_1 = e^{-\xi_1} (\cos \xi_1 - \operatorname{sen} \xi_1) \quad \omega_2 = e^{-\xi_2} (\cos \xi_2 - \operatorname{sen} \xi_2)$$

$$S = \frac{2 + \cos 2\lambda - \operatorname{sen} 2\lambda - e^{-2\lambda}}{\operatorname{sen} h. 2\lambda + \operatorname{sen} 2\lambda}$$

$$V = \frac{\cos 2\lambda + \operatorname{sen} 2\lambda - e^{-2\lambda}}{\operatorname{sen} h. 2\lambda + \operatorname{sen} 2\lambda}$$

$$W = \frac{2 - \cos 2\lambda + \operatorname{sen} 2\lambda - e^{-2\lambda}}{\operatorname{sen} h. 2\lambda + \operatorname{sen} 2\lambda}$$

de donde:

$$s_\rho = S \cdot \cos h. \rho \cos \rho + V \operatorname{sen} h. \rho \operatorname{sen} \rho$$

$$v_\rho = V \cdot \cos h. \rho \cos \rho + W \operatorname{sen} h. \rho \operatorname{sen} \rho$$

Nuestra ec. de Momentos nos queda en la sig. forma:

$$(III) \quad M = \frac{R u}{2} \left[\frac{1}{2} (\omega_1 + \omega_2) - v_\rho \cos h. \xi \cos \xi + s_\rho \operatorname{sen} h. \xi \operatorname{sen} \xi \right]$$

Representando por η y ω los términos encerrados en el paréntesis de las ec. (II) y (III), además colocaremos los subíndices o, ρ, λ , a los valores del paréntesis correspondientes al centro del durmiente, a la sección correspondiente al riel y a la extremidad del durmiente; con lo que tendremos:

$$(\eta_o) = \eta_\rho + s_\rho \quad (\omega_o) = \omega_\rho - v_\rho$$

$$(\eta_\rho) = (\omega_o) + \cos h. \rho \cos \rho - (\omega_o) \sin h. \rho \sin \rho$$

$$(\omega_\rho) = (\eta_\rho) + \cos h. \rho \cos \rho + (\eta_\rho) \sin h. \rho \sin \rho$$

$$(\eta_\lambda) = \text{valor de la expresión del paréntesis cuando } \xi = \lambda \text{ ó -}$$

sea $x = L$ pudiendo escribirse las ec. (II) y (III) de la sig. manera:

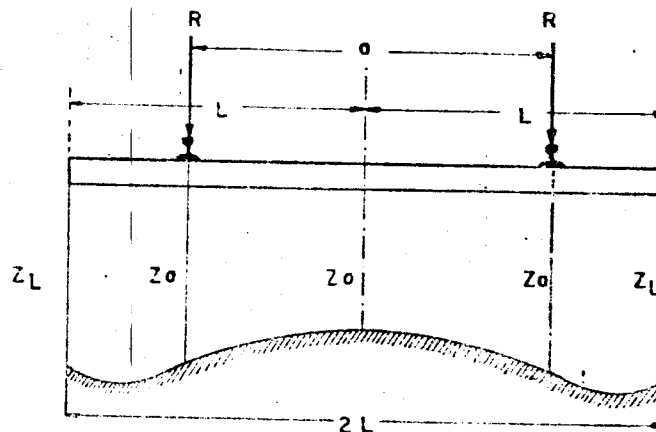
$$(II) \quad z = \frac{R}{Cbu} \left[(\eta_o) \cos h. \xi \cos \xi - (\omega_o) \sin h. \xi \sin \xi \right]$$

$$(III) \quad M = \frac{Ru}{2} \left[(\omega_o) \cos h. \xi \cos \xi + (\eta_o) \sin h. \xi \sin \xi \right]$$

Con lo que quedarán estas ec. para las diferentes secciones:

Sección	Deformación	Reacción del Terreno	Momento
centro durmiente	$z_o = \frac{R}{Cbu} (\eta_o)$	$r_o = \frac{R}{u} (\eta_o)$	$M_o = \frac{Ru}{2} (\eta_o)$
bajo el riel	$z_a = \frac{R}{Cbu} (\eta_\rho)$	$r_a = \frac{R}{u} (\eta_\rho)$	$M_a = \frac{Ru}{2} (\eta_\rho)$
extremos durmiente	$z_L = \frac{R}{Cbu} (\eta_\lambda)$	$r_L = \frac{R}{u} (\eta_\lambda)$	$M_L = 0$

(Ver figura)



Los valores, dentro del paréntesis para calcular la deformación, la reacción del terreno y el momento, son los sig.: (η_0), (η_p) y (η_λ), se pueden obtener fácilmente mediante las tablas previamente establecidas por Zimmermann.

En las expresiones anteriores R representa la carga máxima que el riel transmite al durmiente, debiendo aclarar que R no es la carga P por rueda que éste soporta.

A la relación $\frac{R}{P}$, se le llama rigidez del riel y depende de la separación d entre durmientes y de las características elásticas de éstos y del balasto.

Para conocer R, ya sea debido a una carga aislada o a una serie de cargas es preciso conocer la flexión del riel en donde actúan, además de conocer el valor del coeficiente de balasto C.

R sería igual a P cuando $C = \infty$

R puede encontrarse fácilmente por medio de un estudio analítico gráfico de la flexión del riel, como luego veremos.

En promedio y para cálculos comunes y corrientes $\frac{R}{P} = 0.6$

INFLUENCIA DEL BALASTADO

Las condiciones anteriores corresponde a un balastado uniforme, cosa que no sucede en la práctica, puesto que los durmientes no se balastan en una zona central n. Esto ocasiona que nuestra curva de presiones se deforma; aumentan las deformaciones en el centro del durmiente y en los puntos de aplicación de la carga.

El cálculo de las deformaciones en función del ancho de vía, longitud balastado y dimensiones del durmiente fué establecida por Ast.

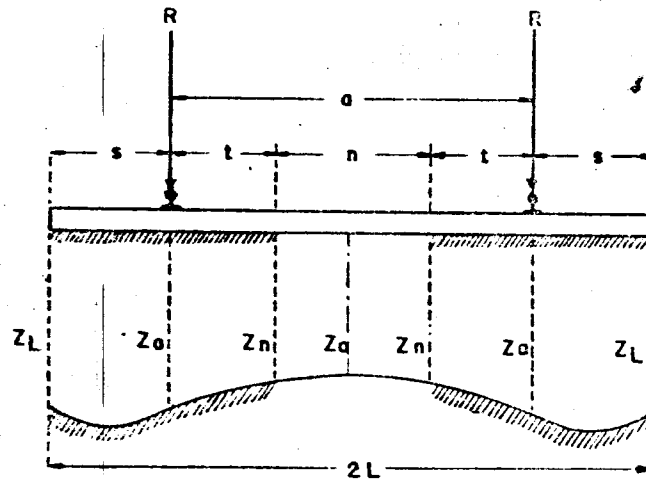
En donde:

a = ancho de la vía

R = presión del riel sobre el durmiente

n = longitud central sin balastar

$2L$ = longitud del durmiente



Tendremos que las deformaciones de la capa de balasto debajo del durmiente en el centro

$$z_0 = z_n + \frac{2}{3} \frac{n}{EI} M_n$$

en el extremo de la zona interior balastada

$$z_n = \frac{2R}{CbH} \left[\alpha_L \beta_a - \beta_L \alpha_a \right]$$

bajo los rieles

$$z_a = \frac{2R}{CbH} \left[\alpha_n \beta_L - \beta_n \alpha_L \right]$$

en los extremos del durmiente

$$z_L = \frac{2R}{CbH} \left[\alpha_n \beta_a - \beta_n \alpha_a \right]$$

de cuyas expresiones.

$$i = \frac{6EI}{Cb}$$

$$R = \alpha_n \left[s\beta_a + (s+t)\beta_L \right] - \alpha_a \left[s\beta_n + t\beta_L \right] - \alpha \left[(s+t)\beta_n - t\beta_a \right]$$

$$\alpha_n = 20i + 16t^4 + 20nt^3$$

$$\alpha_a = 20i + t^2(9t^2 - 10s^2) + 10nt(t^2 - s^2)$$

$$\alpha_L = 20ts^2(n+t)$$

$$\beta_n = 25 t^3 s + 20 t^2 s n$$

$$\beta_a = 20 i - s \left[4 s^3 - 15 t^3 + 20 t s^2 \right] + 10 n s \left[t^2 - s^2 \right]$$

$$\beta_L = 20 i + s^3 \left[11 s + 40 t + 20 n \right]$$

El momento máximo será bajo el apoyo

$$M_a = \frac{C b s^2}{6} \left[2 z_L + z_a \right]$$

además en el centro y en las zonas interiores del balastado

$$M_n = M_o = \frac{C b}{6} \left[- 2 t^2 z_n + (s^2 - t^2) z_a + 2 s^2 z_n \right]$$

La contrapresión del balasto en los diferentes puntos será

$$P_n = C z_n \quad P_a = C z_a \quad P_L = C z_L$$

La presión R (kg) provoca en su aplicación una depresión z_a (cm)

en el balasto, luego para provocar una depresión de 1 cm. se necesitará una fuerza:

$$D \text{ (Kg)} = \frac{R}{z_a} = \frac{C b u}{(\eta \rho)}$$

A D se le conoce como "característica del durmiente", y mide al grado de rigidez del asiento de la vía.

De nuestra definición anterior de coeficiente de balasto C se tiene que $D = C L b$, ésto si el durmiente fuese rígido; pero como no lo es:

$$D = k C L b.$$

k = coef. de Zimmerman

Cuando un balastado es uniforme, hay menores hundimientos y por consiguiente, momentos flexionantes, más reducidos que si el balastado fuese parcial.

Para un balastado uniforme se puede tomar $D = 0.92 C b L$

Para un balastado parcial según las longitudes del durmiente:

para $2L \leq 2.30$ $D = 0.62 C b L$

$2L = 2.50$ $D = 0.76 C b L$

$2L = 2.70$ $D = 0.80 C b L$

β_a

En general se puede tomar $n = t = \frac{1}{3} a$, el valor promedio de E' para madera es aprox. de $100,000 \text{ kg/cm}^2$

Daremos un cuadro para el ancho de vía internacional en donde se supone un balastado parcial y:

$$n = \frac{1}{3} a \quad c = 3 \quad E' = 100,000 \text{ kg/cm}^2$$

Dimensiones del Durmiente cm	Deformación del Balasto cm			Presión Específica Máxima del Balasto kg/cm^2 $10^3 P_a = C z_a \times 10^3$	Valores de $D = \frac{R}{z_a} \text{ kg}$
	$10^{-3} \times z_n$	$10^{-3} \times z_a$	$10^{-3} \times z_L$		
270 x 15.5 x 26	0.1321 R	0.1250 R	0.0869 R	0.377 R	8.000
260 x 15.5 x 26	0.1322 R	0.1284 R	0.1007 R	0.385 R	7.800
250 x 15.5 x 26	0.1324 R	0.1326 R	0.1152 R	0.398 R	7.500
250 x 15.5 x 26	0.1349 R	0.1452 R	0.1460 R	0.436 R	6.900

Observando estos valores vemos que en los durmientes cortos la deformación permanece sensiblemente horizontal, acortando aún mas el durmiente o podrían tener mayores presiones en los extremos que en el punto de aplicación de la carga.

La tensión producida por cargas en reposo en durmientes de madera no debe exceder prácticamente de $1/3$ de límite de Elasticidad o sea:

Maderas Blandas de 72 kg/cm^2

Maderas Duras de 90 kg/cm^2

Promedio de 80 kg/cm^2

La compresión en los durmientes está medida por la presión unitaria que produzca una depresión de 1 mm. y que es de:

Durmientes Duros 15 kg/cm^2

Durmientes Blandos 7 kg/cm^2

En maderas viejas puede descender a 3 kg/cm^2

En cuanto a las presiones admisibles en el balasto

Balastos Buenos $p = 3 \text{ kg/cm}^2$ $C = 3$

Balastos Malos $p = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ $C = 3$

Lo que da en los balastos malos una deformación de 0.5 cm.

(según la fórmula $p = C z$)

RECOMENDACION:

No deberemos además sobrepasar una presión mayor de 2 kg/cm^2 ya que se producirán deformaciones permanentes y no podremos considerar al balasto como elástico, sino como plástico.

ACCION DE LAS CARGAS FIJAS EN LOS ESFUERZOS DE LOS RIELES.

Para el logro de un cálculo exacto, el riel debe considerarse como una pieza prismática continua que descansa sobre innumerables apoyos elásticos, o sea que deberemos aplicar la teoría general del pórtico múltiple y la hipótesis de Winkler, comprobada por la práctica que nos enuncia: "Las reacciones de los apoyos son proporcionales a las deformaciones o flechas correspondientes", esto implica que el coeficiente constante de proporcionalidad en los tramos, es el coeficiente de reacción del durmiente, en donde se incluye la elasticidad de éste. En los apoyos del durmiente sobre el balasto se convierte en el coeficiente de balasto.

Las reacciones de la infraestructura sobre el riel, son por tanto fuerzas aisladas de separación constante e igual a la de los durmientes.

El problema de cálculo de los rieles es bastante complicado, por lo que siempre son muy discutidos; por consiguiente proponemos dar asimilación a la teoría con la práctica y tener así un buen sistema comparativo.

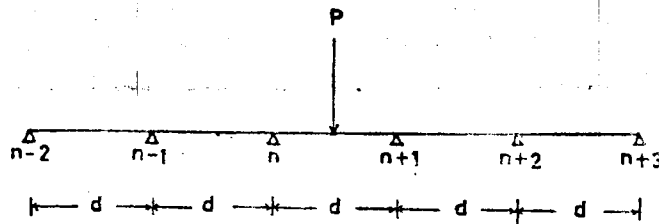
Empezaremos por considerar el Método de Zimmermann, en donde se considera la carga sustentada por apoyos elásticos, y en donde se expresa la influencia del balasto y la plataforma por el coeficiente de balasto.

Si consideramos la influencia de las cargas, los durmientes coloca

dos sobre un lecho elástico, se deforman y tienen por consiguiente hundimientos en el balasto, la inestabilidad de los apoyos ocasiona un aumento del momento flexionante del riel, aumento que está de acuerdo a una mayor importancia cuando menor sea la resistencia que opone el balasto y de la deformabilidad de los durmientes.

Admitido que los hundimientos de los durmientes son proporcionales a la reacción correspondiente y conocido el coeficiente de balasto, podemos conocer los momentos flexionantes del riel y las reacciones de los durmientes para cargas determinadas por medio de la siguiente teoría:

Supongamos un riel apoyado sobre un número indefinido de durmientes y en el que actúa una cierta carga P en el centro de ellos.



En los apoyos $n-1, n$ y $n+1$ los momentos están ligados a los hundimientos (deformaciones) z_{n-1} , z_n y z_{n+1} por la ec. de Clapeyron o teorema de los 3 momentos en 2 tramos contiguos no cargados:

$$M_{n-2} + 4M_{n-1} + M_n = 0$$

Tendremos que emplearla sucesivamente para una serie de grupos de 2 tramos, empezando por un extremo del riel en donde su momento flexionante

es: $M_0 = 0$

luego: $M_1 = -\frac{1}{4}P \cdot d^2$

$$M_2 = -\frac{1}{4}P \cdot d^2 \cdot 3$$

ndi--
 nto -
 por -
 la de
 ona--
 , po-
 os --
 mien-

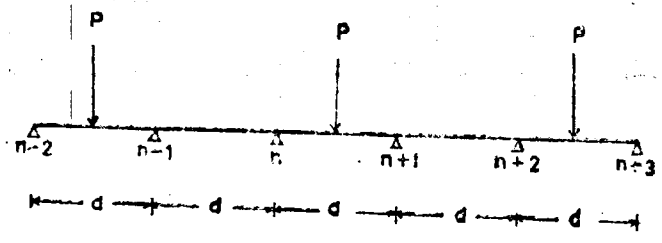
$$M_3 = \frac{1}{1 - \frac{1}{4}} M_4$$

$$M_{n-1} = \frac{1}{4 - \frac{1}{4}} M_n$$

Para $n = \infty$

$$M_{n-1} = \frac{1}{2 + \sqrt{3}} M_n = K M_n \quad \text{en donde } K = \frac{1}{2 + \sqrt{3}}$$

Empleando ahora la fórmula para tramo cargado y otro contiguo des-
 cargado tendremos:



ndi--
 teore-
 pos de
 cnante

Aplicando el teorema de Clapeyron:

$$M_{n-1} + 4 M_n + M_{n+1} = -\frac{3}{8} P.d$$

vemos de la figura que $M_{n+1} = M_n$ y $M_{n-1} = -K \cdot M_n$

donde $M_n = \frac{3}{8} P.d \cdot \frac{1}{5 - K} = -\frac{1}{4} P.d \times 0.317$

En los otros apoyos el momento valdrá:

$$M_{n-1} = M_{n-2} = -K M_n$$

$$M_{n-2} = M_{n-3} = K^2 M_n$$

.....

$$M_1 = M_2 = \pm K^{n-1} M_n$$

Consideremos ahora una serie de grupos de un tramo cargado y el otro contiguo descargado:

$$\sum = M_n (1 - K + K^2 - K^3 + \dots) = M_n \frac{1}{1+K} = \frac{1}{4} P.d \times 0.25$$

Como todas las reacciones son iguales a $\frac{P}{2}$, el momento en el centro del tramo cargado vale:

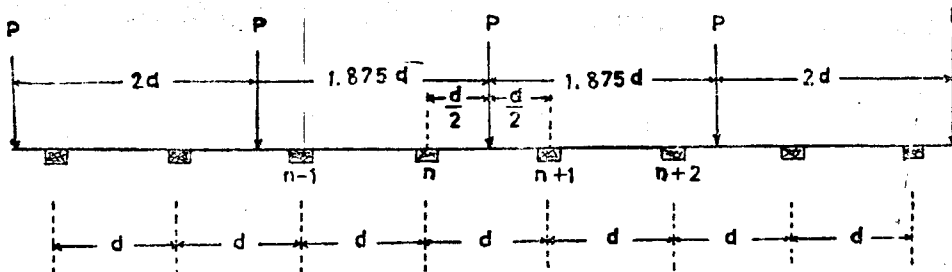
$$M = \frac{1}{4} P.d (1-0.25) = 0.1875 P.d$$

Nota: Como cálculo primario en esta fórmula prescindimos la influencia del balasto y la plataforma.

$$\text{La tensión en el riel valdrá: } \sigma = \frac{0.1875 P.d}{W}$$

W = Módulo de flexión

La posición de las cargas más desfavorables es por tanto:



Consideremos ahora ya las deformaciones z_{n-1} , z_n y z_{n+1} en los apoyos $n-1$, n y $n+1$

$$(A) \quad \therefore M_{n-1} + 4M_n + M_{n+1} = -\frac{6EI}{d^3} (z_{n-1} - 2z_n + z_{n+1}) - \frac{3}{8} P.d$$

E = Módulo de Elasticidad del acero

I = Momento de Inercia de la sección del riel

Las reacciones R_{n-1} , R_n y R_{n+1} valen:

$$R_{n-1} = \frac{1}{d} (M_{n-2} - 2M_{n-1} + M_n)$$

$$R_n = \frac{1}{d} (M_{n-1} - 2M_n + M_{n+1}) + \frac{1}{2} P$$

$$R_{n+1} = \frac{1}{d} (M_n - 2M_{n+1} + M_{n+2}) + \frac{1}{2} P$$

Por otro lado nosotros sabemos que $z_n = \frac{R_n}{D}$

Siendo D la característica del durmiente, que mide la compresibilidad de el durmiente y el balasto y es de la forma:

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2}$$

$D_1 =$ Compresibilidad del balasto y la medimos por $D_1 = \frac{C b u}{(\eta \rho)}$

$D_2 =$ Compresibilidad del durmiente y la

medimos por la carga necesaria para comprimir 1 cm. el durmiente por lo general $D_2 = 40$ tons. para durmientes de madera en la que se aplicó la carga - por medio de una placa de asiento.

Haciendo

$$(B) \quad \gamma = \frac{6 E I}{d^3} \frac{z}{R} = \frac{6 E I}{d^3 D} \quad \text{que es un número abstracto llamado}$$

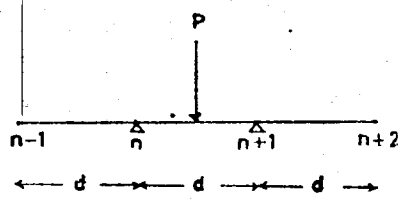
coef. de rigidez del riel o de superestructura.

Sustituyendo en la ec. (A) las deformaciones z_{n-1} y z_{n+1} en función de sus reacciones y del valor γ en (B) antes visto tenemos:

$$(C) \quad M_{n-2} \gamma + M_{n-1} (1-4\gamma) + M_n (4+6\gamma) + M_{n+1} (1-4\gamma) + M_{n+2} \gamma = \frac{3}{8} P.d + \frac{1}{2} P.d \gamma$$

Que es la ecuación que nos establece la relación entre los momentos en cinco apoyos sucesivos.

HIPOTESIS.- Para la simplificación de la ec. anterior consideremos cortado el riel en los apoyos n-1 y n+2 de la fig. , en estos apoyos el momento es nulo teniendo en cuenta que la carga transmitida la absorven los apoyos n y n+1, o sea que la ec. (C) nos queda:



$$M_{n-1} (1-\gamma) + M_n (4+6\gamma) + M_{n+1} (1-4\gamma) + M_{n+2} \gamma = \\ = \frac{3}{8} P.d + \frac{1}{2} P.d$$

y como $M_{n-1} = M_{n+2} = 0$

$$\text{nos quedará } M_n = M_{n+1} = \frac{1}{4} P.d \frac{4\gamma - 3}{4\gamma + 10}$$

y el momento máximo positivo en el tramo (n) a (n+1) será

$$M = \frac{1}{4} P.d + M_n = \frac{1}{4} P.d \cdot \frac{8\gamma + 7}{4\gamma + 10} = P.d \cdot \frac{3\gamma + 7}{16\gamma + 40} = P.d K_e$$

llamando K_e al coeficiente siguiente:

$$K_e = \frac{3\gamma + 7}{16\gamma + 40} = \text{coef. estático}$$

Advertimos que para $\gamma = \frac{3}{4}$ el coef. K_e valdrá $\frac{1}{5}$ o sea que el momento será igual a: $M = \frac{1}{5} P.d$ ó sea, para el valor de $\gamma = \frac{1}{5}$ la carga es igual para una pieza apoyada sobre 2 apoyos de rígidos distantes una longitud, (d = dist. entre durmientes); si disminuye la relación γ aparece el empotramiento y si aumenta, el riel se comporta como una pieza apoyada sobre un claro mayor que d.

Las reacciones en los apoyos valdrán:

$$R_1 = R_4 = P \frac{4\gamma - 3}{16\gamma + 40}; \quad R_2 = R_3 = \frac{1}{2} P - R_1 = P \frac{4\gamma + 23}{16\gamma + 40}$$

Es de notar que la aplicación de las ec. generales del pórtico múltiple para el caso de 5 tramos, teniendo cargados el central y los dos extremos conducirá a la obtención del momento flexionante máximo en el tramo central a la ec.:

$$M = \frac{1}{4} P.d \frac{13 + 45\gamma + 9\gamma^2}{19 + 44\gamma + 3\gamma^2}$$

Si el número de tramos fuera siete y la hipótesis de carga igual a la anterior diremos:

$$M = \frac{1}{4} P.d \frac{27 + 56\gamma + 524\gamma^2 + 32\gamma^3}{142 + 660\gamma + 353\gamma^2 + 8\gamma^3}$$

Las diferencias de M con respecto a 5 y 7 tramos son insignifican

tes entre éstas y en la hipótesis de 3 tramos existe un aumento que nos coloca del lado de la seguridad y que varía del 2 al 10%.

Nota.- La aplicación de la hipótesis de Winkler nos conduce a resultados inferiores a la realidad, mientras que el método de Zimmermann nos da por exceso un error que varía del 5 al 10% del cálculo exacto, por lo que puede utilizarse sin inconvenientes para nuestro objeto.

DISCUSION DE γ .- Los momentos máximos positivos crecen con este coeficiente γ , además que es característico de cada tipo de vía, ya que -- aumenta en razón directa al cuadrado del peso del riel por metro lineal e -- inversamente proporcional al coef. de balasto C y al cubo de la separación de los durmientes.

Por lo tanto, la reducción de la separación del durmiente es un medio eficaz de aumentar la resistencia del riel, esta reducción tiene como límite la distancia a partir de la cual ya no se puede balastar correctamente.

También la mejor calidad del balasto aumenta la rigidez del riel, ya que la carga se repartirá sobre un número mayor de durmientes y por tanto además se reducirá la presión sobre los mismos. Se advierte entonces -- que la mejoría de calidad del balasto debe atacarse antes que cualquier -- otro elemento de la vía.

Si prescindiéramos de la compresibilidad del durmiente D_2 y consideráramos únicamente la compresibilidad del balasto D_1 que es mucho más importante resultaría que de:

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \quad \gamma = \frac{6EI}{d^3 D} = \frac{6EI (\gamma_c)}{d^3 C b u}$$

tendríamos:

$$\gamma = \frac{6EI}{d^3 D_1} = \frac{6EI}{d^3 C b I}$$

que es mucho más im
FACULTAD
DE
INGENIERIA

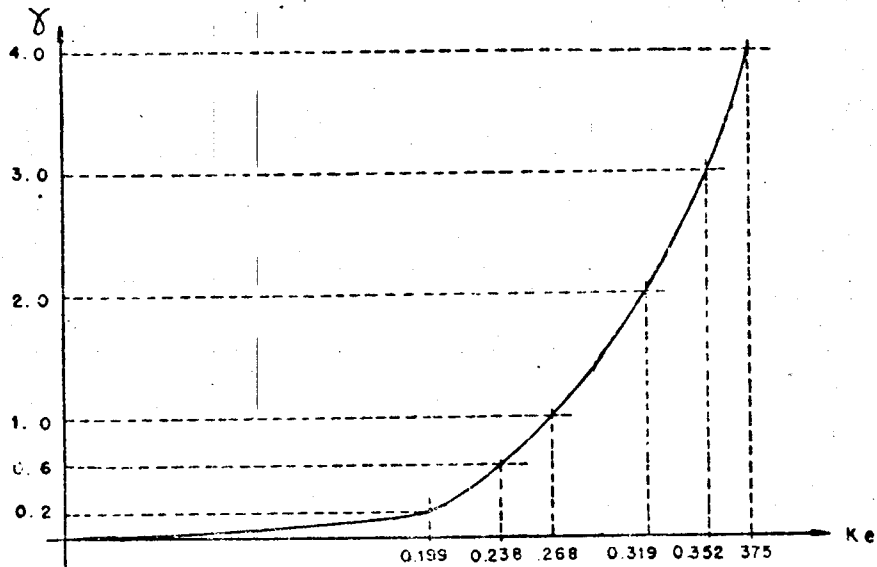
DIVISION
PROFESIONAL

Esta expresión se puede aplicar para resultados prácticos.

En la práctica se ha tratado de aproximar más los cálculos dados por la hipótesis de Zimmermann para la corrección del coeficiente γ , en función del coeficiente estático K_e .

De acuerdo con ello tenemos los siguientes valores que nos conducen a la gráfica posterior.

γ	0.2	0.6	1.0	2.0	3.0	4.0
K_e	0.199	0.238	0.268	0.319	0.352	0.375



La resistencia del riel a las cargas estáticas está expresada por la siguiente fórmula:

$$K_e = \frac{P\delta}{W}$$

en donde W = módulo de flexión.

Por lo general el esfuerzo de trabajo varía de 7.5 a 10 kg/mm^2 para los rieles más usuales.

La máxima tensión admitida en los rieles no debe exceder de 15 kg/mm^2 , o sea se da un coef. de seguridad de 5 para los aceros corrientes.

La fatiga en la cabeza del riel es en general mucho mayor que en el alma y patín, disminuye sensiblemente cuando aumenta el número de durmientes. Diremos que las características de la superestructura no depende solamente de la resistencia del riel, por lo que es conveniente y necesario reforzarlos para que el asiento de la vía trabaje hasta su límite.

Por lo que la sección del riel no sólo debe satisfacer las condiciones de estabilidad elástica, sino además proporcionar a la vía la suficiente rigidez vertical para limitar las deformaciones, cualidad que depende también de la separación de durmientes, fatigas por la velocidad y las cargas aplicadas.

Las deformaciones en el riel pueden ser medidas por la inclinación de la tangente o la elástica en un punto de distancia x de aquel en donde la tangente es horizontal. La expresión de la tangente es la siguiente:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{EI} \int_0^x M dx$$

en donde el momento M es igual a:

$$M = \alpha Pd$$

con lo que resulta:

$$\frac{dy}{dx} = \beta \frac{Pd^2}{EI}$$

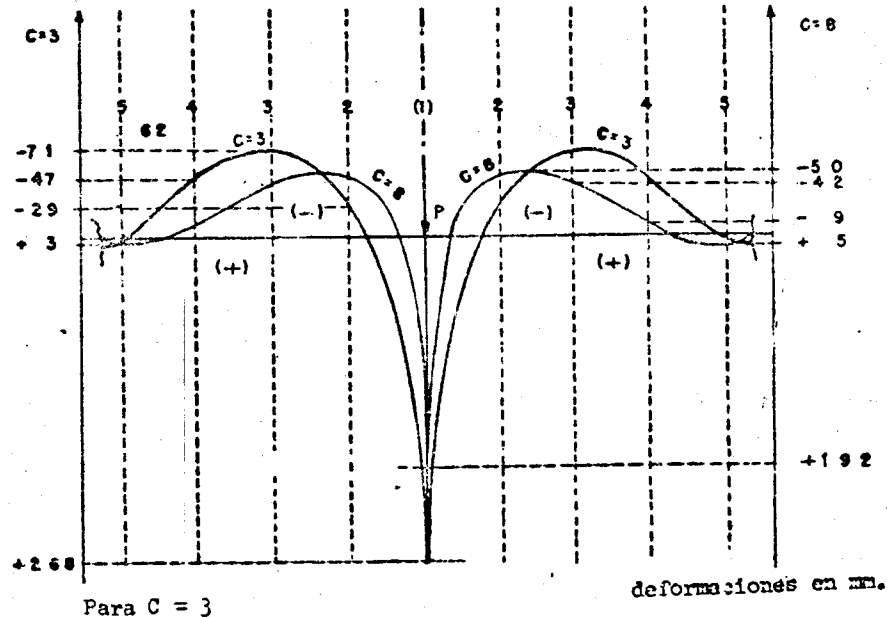
en donde α y β sólo dependen de x , por lo que la rigidez de la vía es proporcional a $\frac{1}{d^2}$.

Empleando la teoría anterior nos permite conocer las ecuaciones de las líneas de influencia de los momentos flexionantes originados por una carga sobre un pórtico de número indefinido de tramos iguales (distancias entre durmientes), mediante una suma de líneas de influencias parciales a causa de las reacciones y a los momentos parciales.

Al estudiar estas líneas de influencia se observa que el trabajo elástico desarrollado en una zona dada decrece rápidamente de acuerdo con el alejamiento, medido en número de tramos desde donde se aplicó la carga o causa y el efecto producido.

Sólo que γ tenga un valor alto (balasto pésimo), cuatro tramos son suficientes para que los momentos a partir del quinto apoyo sean casi nulos.

Daremos a continuación un ejemplo de una línea de influencia para balasto malo ($C = 3 \text{ kg/cm}^3$) y para buen balasto sobre terreno firme ($C = 8 \text{ kg/cm}^3$), con durmientes de 25 cm. de ancho (b), 2.30 mts. de largo (2 L) y distantes 82 cm. de c. a c. (d) para un riel de 46 kg/m.



Para $C = 3$

$$\gamma = \frac{6 E I}{d^3 C L b} = \frac{6 \times 2\,000\,000 \times 1506}{82^3 \times 3 \times 140 \times 25} = 3.43$$

Para $C = 8$

$$\gamma = \frac{6 E I}{d^3 C L b} = \frac{6 \times 2\,000\,000 \times 1506}{82^3 \times 8 \times 140 \times 25} = 1.28$$

Con estos coeficientes de superestructura y entrando en la gráfica $\gamma - K_e$ encontramos su correspondiente coeficiente estático y así determinar su momento estático y suponiendo una carga de 10 ton/eje.

para $C = 3$ $\gamma = 3.43$ $K_e = 0.360$
 para $C = 8$ $\gamma = 1.38$ $K_e = 0.293$ (valores de la gráfica $\gamma - K_e$)

$$M = K_e P d$$

para $C = 3$ $M = 0.360 \times 10\ 000 \times 82 = 29\ 520$ kg-cm

$C = 8$ $M = 0.293 \times 10\ 000 \times 82 = 24\ 026$ kg-cm

Cálculo del esfuerzo producido en el riel, sabiendo que para riel de 46 kg., $W = 222$ cm³.

para $C = 3$ $\sigma = \frac{29\ 520}{222} = 1.330$ kg/cm² (tensión)

$C = 8$ $\sigma = \frac{24\ 026}{222} = 1.080$ kg/cm² (tensión)

ACCION DE LAS CARGAS MOVILES.

La vía no debe calcularse sólo estáticamente, sino además dinámicamente tomando en cuenta los fenómenos vibratorios del vehículo y de la vía en la que debido a los defectos de construcción tanto verticalmente como horizontalmente se producen estos momentos vibratorios.

En vías comunes podemos clasificarlas según su edo. de desnivelación en ondulaciones y juntas:

Buenas: desnivelaciones hasta 4 mm.

Regular: desnivelaciones hasta 10 mm.

Malas: desnivelaciones hasta 20 mm.

Renovación: desnivelaciones mayores de 20 mm.

Con respecto a los vehículos hay movimientos parásitos que se oponen al movimiento principal y son debidos a los elementos constitutivos del propio vehículo como son: la flexibilidad y rozamiento de los resortes, los desplazamientos transversales entre cojinetes y placas de guarda y a la

fuerza centrífuga libre o no compensada de los vehículos.

La influencia ejercida por la velocidad o influencia dinámica está dada por:

$$M_v = M(1+\varphi)$$

M_v = Momento dinámico total,

$$\varphi = \frac{F}{P - F}$$

M = Momento estático

φ = coef. de influencia dinámica que depende de la vel. del tren.

Por tanto la tensión total de trabajo será:

$$\sigma_v = \frac{M_v}{W} = \frac{M(1+\varphi)}{W}$$

en donde W = Momento resistente.

La influencia dinámica no es perjudicial, en tanto que la constitución de vehículos y la vía, permitan transformar el trabajo de los choques exteriores en trabajo interior elástico.

Esta condición puede ser absorbida con mayor facilidad en los vehículos que en la vía. La parte absorbida correspondiente a la vía debe tratarse con sumo cuidado ya que un riel demasiado flexible reparte la carga en pocos durmientes y por tanto aumenta considerablemente la presión sobre los durmientes que a su vez la transmiten al balasto; una vía más robusta es más rígida, lo que implica que no es lo suficiente apta para la transformación de trabajo exterior a trabajo elástico.

INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD.

Se considera que la fatiga del riel depende del cuadrado de la velocidad ya que:

$$(1) \quad F = m.a = m \cdot \frac{v^2}{\rho} = \propto v^2$$

F = Fuerza Centrífuga

Sabiendo que ρ es el radio de curvatura de la elástica que en el punto de aplicación de las cargas vale:

$$(2) \quad \rho = \frac{E I}{M}$$

Sust. (2) en (1)

$$F = m \cdot \frac{v^2}{\frac{E I}{N}} = \frac{P}{g} \cdot M \cdot \frac{v^2}{E E I}$$

$$(3) \quad \therefore \frac{P}{F} = M \cdot \frac{v^2}{g E E I}$$

Además sabemos que $\psi = \frac{F}{P-F}$ que se puede poner en la sig. -

forma:

$$(4) \quad \psi = \frac{1}{1 - \frac{F}{P}} - 1$$

De la fórmula principal

$$M_v = (1 + \psi) M$$

Sust. el valor de (4) de ψ

$$M_v = \left(1 - 1 + \frac{1}{1 - \frac{F}{P}}\right) M = \left(\frac{1}{1 - \frac{F}{P}}\right) M$$

Reemplazamos el valor (3) de $\frac{F}{P}$

$$M_v = \left[\frac{1}{1 - M \frac{v^2}{g E E I}} \right]$$

que es la fórmula de Winkler para calcular el momento flexionante total del riel.

En la que M es el mom. estático que puede ser calculado a grosso modo por:

$$M = 0.1875 P d$$

Para calcular M estática de una manera más exacta aplicaremos la obtención dada anteriormente.

Los momentos M de la fórmula crecen según diagramas de ensayo de la Railroad Stresses Commission de acuerdo con una ley de variación lineal de los momentos y tensiones respecto a la velocidad; los momentos posi

tivos crecen a razón de 0.2 a 0.8% por cada km/hora de incremento arriba de los 40 km/hora.

Según esto, la ley de variación de la tensión de trabajo por efecto dinámico se puede tomar por la fórmula:

$$K_v = \frac{A}{e} = 1 + 0.0065 (v - 40)$$

en donde σ_v = tensión máxima dinámica

σ_e = tensión máxima estática

K_v = coef. de velocidad

Una relación de valores de la fórmula anterior con diferentes velocidades es:

Vel km/h.	K_v
90	1.32
100	1.39
120	1.52
150	1.71

Por lo que respecta a la acción de las fuerzas de inercia de las masas propulsoras, originan movimientos anormales en la parte no suspendida de la locomotora. Estos efectos son de mucho mayor magnitud en las locomotoras de vapor que en las diessel.

Para contrarrestar estos efectos se aplican contrapesos a las ruedas motoras para que su fuerza de inercia de su masa sea igual y opuesta a los movimientos engendrados por la propulsión.

De acuerdo con esto además del coeficiente de movimiento K_v se hace indispensable otro coeficiente K_d o dinámico debido a la velocidad de impacto de las ruedas motrices y que oscila de 1.3 a 1.5 del peso de éstas.

Otra expresión más desfavorable de este incremento es tomar el 1% de peso de la rueda por cada aumento de 1 km/hora sobre la de 50 km/hora,

o sea, para estas condiciones con un peso de rueda motriz de 10 000 kg y una vel. de 100 km/hora, igualamos el coef. de $K_d = 1.5$ definido en el parrafo anterior.

Las afirmaciones anteriores son para tramos de vía en tangente ya que en curva hay que agregar la influencia debida a la fracción de fuerza centrífuga en el plano horizontal no equilibrado por el peralte y al momento giroscópico debido a la rotación de los ejes montados.

RESISTENCIA DEL RIEL.

Se puede resumir el esfuerzo máximo en el riel

$$\sigma_{\max} = \frac{K_e \cdot K_v \cdot K_d}{W} Pd \quad \begin{array}{l} P = \text{peso de rueda} \\ W = \text{módulo de flexión} \end{array}$$

Se recomienda que σ_{\max} sea menor de 11 kg/mm^2 . pero en casos -- excepcionales a causa de altas velocidades, los valores K_v y K_d se incrementan grandemente, por lo que se puede admitir σ_{\max} hasta de 25 kg/mm^2 .

Para escoger el peso del riel se puede hacer un primer cálculo -- aproximado usando una modificación de la siguiente expresión:

$$\sigma_{\max} = \frac{K_e \cdot K_v \cdot K_d}{W/P} Pd$$

Sabiendo que la rigidez comparada $\frac{W}{P}$ tiene un valor promedio de 5

$$\frac{W}{P} = 5 \quad W = 5 P \quad \begin{array}{l} P = \text{peso del riel en kg. por} \\ \text{m. l.} \end{array}$$

Sustituyendo

$$P = \frac{K_e \cdot K_v \cdot K_d}{5 \sigma_{\max}} Pd$$

$$\text{si } \sigma_{\max} = 11 \text{ kg/mm}^2 = 1100 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = \frac{K_e \cdot K_v \cdot K_d}{5500} Pd$$

Ejemplo.- Calcular el peso de riel para una carga de 10 ton/rueda y una separación entre durmientes de 60 cm. para una velocidad de 100 km/h.

Para 100 km/hora tenemos: $K_v = 1.39$

$$K_d = 1.50$$

suponiendo que las condiciones de balasto, ancho y long. de los durmientes nos resulte una $\gamma = 3.00$ que según nuestra gráfica corresponde a un $K_e = 0.352$.

Por lo tanto:

$$p = \frac{0.352 \times 1.39 \times 1.50}{5500} \times 10\,000 \times 60$$

$$p = \frac{60\,000}{13\,400} = 45 \text{ kg}$$

Usaremos por lo tanto riel de 45 kg por m. l.

La influencia de las juntas puede aumentar la carga estática de un 50 a 120% para velocidades de 50 km/hora a 120 km/hora en vía mala, por lo que se ve sería de efectos nocivos para la resistencia del riel. Esta es otra de las necesidades para mantener la vía en buen estado y procurar que este efecto sea lo menor posible.

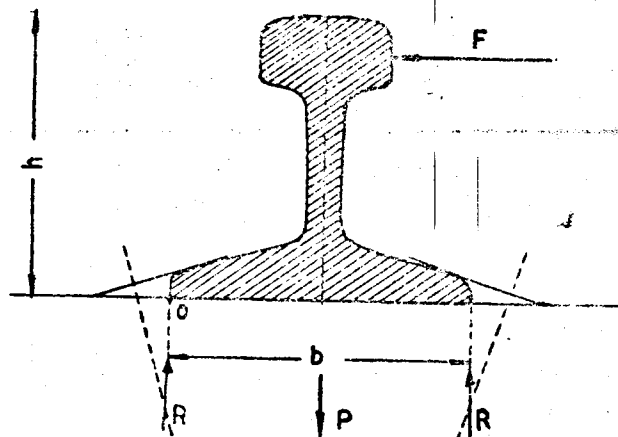
RESISTENCIA HORIZONTAL DE LA VIA.

Los empujes en este plano pueden ser transversal y longitudinalmente y son producidos por razón del lazo de vehículos y defectos de ruedas y rieles

(A) ESFUERZOS TRANSVERSALES.

Los esfuerzos transversales se accionan sobre la cabeza del riel y tienden a:

- 1.- Producir un volteo de la vía que tiende a deformar transversalmente el riel.
- 2.- Desplazar el conjunto de durmientes y vía (Ripado).
- 3.- Choque lateral entre eje y riel.
- 4.- Movimiento lateral de los ejes debido a la concavidad de las llantas.



1.- VOLTEO.- El volteo se puede calcular, encontrando el valor crítico de empuje horizontal F, que depende del peso P de la rueda y de la resistencia al arrancamiento R de los clavos y tirafondos.

De la figura anterior:

tomando Momentos con respecto a o.

$$\sum M_o = 0 \quad - F \times h + P \times \frac{b}{2} - R \times b = 0$$

$$\text{ec. (A) } \dots F = \frac{b}{h} \left(\frac{P}{2} - R \right)$$

El valor de R suele ser valuado en 3800 kg para madera buena, que proviene de hacer una sustitución de valores en la fórmula $R = f A$, en don de f es el esfuerzo permisible para el acero y A el área del tirafondo.

La colocación mas frecuente de los tirafondos es de 3 por riel y durmiente, alternándolos 2 exteriores y uno interior, uno interior y 2 exteriores.

Para dar una idea de los valores de este esfuerzo tenemos el siguiente ejemplo:

De la fórmula (A) y tomando un valor promedio (ver tabla) de $b/h = 0.9$ vemos que para una máq. de 10 ton/eje

$$F = 0.9 (5.0 - 3.8) = 1.08 \text{ ton.}$$

La fórmula anterior corresponde para tramos rectos.

En las curvas influye más el esfuerzo horizontal actuando con ma-

por intensidad entre la sujeción del riel y el durmiente.

Su valor es:

$$F = ma = \frac{P}{g} \frac{v^2}{r}$$

r = radio de la curva

P = peso locomotora

v = velocidad m/seg

g = gravedad = 9.81 m/seg²

Para la misma locomotora de 10 ton/eje y una vel. de 30 m/seg
108 km/hora y un radio de curva de 300 mts.

$$F = \frac{10}{9.81} \cdot \frac{(30)^2}{300} = 3.06 \text{ tons.}$$

El coef. de arrancamiento en la madera es de 400 kg/cm² para la acción del clavo y de 1000 kg/cm² para tornillos.

En lo que corresponde al frenaje.

Consideremos un frenaje de emergencia en 50 mts. y a una vel. de 30 m/seg. Lo más importante es el frenaje de la locomotora en el eje más pesado.

$$F = \frac{P}{g} \frac{v^2}{2d}$$

Supongamos P = 10 ton/eje

$$F = \frac{10}{9.81} \frac{(30)^2}{2 \times 500} = .92 \text{ tons.}$$

Suponiendo que tengamos una superficie de contacto de 20 cm x 14 cm. entre el riel y durmiente, su esfuerzo de fricción valdrá:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{920}{280} = 3.3 \text{ kg/cm}^2$$

Vemos que es un esfuerzo sumamente bajo y podría despreciarse.

Sin embargo el corrimiento del riel se presenta en las estaciones y en las pendientes pronunciadas.

2.- El PADO. - Este mov. transversal se estima de una manera experimental, ya que se lo mide por medio de gatos hidráulicos. Teniéndose el inconveniente que no tiene estáticamente o sea que la locomotora no está en -

movimiento, en consecuencia hay que multiplicar este resultado por un coef. dinámico.

Según experiencias realizadas en ferrocarriles franceses en vía con riel de 46 kg, durmientes a cada 60 cm. y cargada con una locomotora de 76 toneladas (4 ejes de 19 tons.). La vía empieza a desplazarse débilmente cuando aplicamos una carga de 1.5 tons. transversalmente, a partir de una carga de 20 tons. se acelera rápidamente el desplazamiento.

Carga	Desplazamiento
1.5 tons.	0.4 mm.
18 tons.	5 mm.
20 tons.	8 mm.
27.5 tons.	40 mm.

Además a medida que el peso sobre la vía es menor, es más pequeño el esfuerzo para moverla transversalmente, ya que para una vía descargada se pueden alcanzar los 40 mm. con sólo una carga de 4 toneladas.

Al descarga la vía de la deformación producida:

1/3 se recupera de la deformación

1/3 se recupera al abandonar la máquina el trazo deformado y

1/3 se traduce en deformación permanente.

La acción del ripado se extiende a 3 ó 4 mts. de su punto de aplicación.

Por lo tanto para encontrar el esfuerzo de desplazamiento transversal es necesario afectar a la carga vertical (peso locomotora + peso de vía en 6 mts.) sobre la vía por un coef. de rozamiento de vía sobre durmiente, más la resistencia al desplazamiento transversal del balasto.

3.- Choque lateral entre eje de la locomotora y el riel.

Se distingue el choque propiamente dicho y el empuje lateral a consecuencia de éste.

A lo primero la vía reacciona elásticamente, produciendo una deformación permanente inapreciable que tiene una magnitud de una cuarta parte de la originada en el choque; a lo segundo la vía reacciona plásticamente, lo que se traduce en una gran deformación permanente.

La duración de estas acciones es distinta. Según las experiencias tomando en cuenta un eje de 20 ton que aborda al riel con una vel. transversal de 30 cm/seg = 10 km/hora, lo que corresponde a un mov. de lazo violento; se produce una deformación elástica de 0.5mm. en un lapso de 1/300 seg. Si el tren circula a una vel. de 120 km/hora vemos que el tren solo ha avanzado 11 cm. en ese tiempo.

En cambio la deformación plástica se produce en un lapso de 1/10 seg. o sea que el tren ha circulado 3.30 mts., dejando así deformación permanente a lo largo de casi todo este tramo y cuya magnitud depende del esfuerzo lateral comparado con el peso vertical.

Esfuerzo lateral máx. en % del peso del eje.	Deformación del riel en mm.
15 %	1
30 %	2 a 3
45 a 50 %	10 a 15

En nuestro caso para eje de 20 tons.

$$F = 0.9 (10 - 3.8) = 5.58 \text{ tons.}$$

$$\frac{5.58}{20.00} = 27.9\% \therefore \text{tiene una def. de 2 a 3 mm. en un tramo de 3.30 mts.}$$

4.- Esfuerzos transversales por el mov. lateral de los ejes debido a la conicidad de las llantas.

La conicidad de las llantas entra en juego, cuando al no ocupar el eje su posición normal se desplaza lateralmente, o accionando de esta manera un esfuerzo de retorno que trata de hacer desaparecer el mov., de esta manera el eje no se desplazará según el eje de la vía, sino describirá una

línea sinuosa. A este mov. de serpeteo suele llamarse mov. de lazo.

La longitud del período de oscilación de un eje libre viene dado -
por la fórmula:

$$L = 2\pi \sqrt{\frac{r a}{2 \operatorname{sen} \alpha}}$$

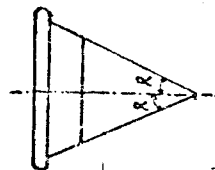
r = radio de la rueda

a = ancho de la vía

$\operatorname{sen} \alpha$ = conicidad de la llanta

Si tenemos $a = 1.435 \text{ mm}$ $r = 0.53 \text{ m}$ $\operatorname{sen} \alpha = \frac{1}{20}$

$$L = \sqrt{\frac{.53 \times 1.435}{2 \cdot \frac{1}{20}}} = 16.8 \text{ m}$$



Con ello podemos encontrar la frecuencia de las vibraciones trans-
versales en los rieles.

La vel. propagación de las vibraciones transversales en el acero -
es de 5 000 m/seg.

$$e = v t$$

$$e = v \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{v}{e}$$

$$f = \frac{5\,000}{17} = 295 \text{ vibraciones/seg}$$

Como se ve la frecuencia de las vibraciones son independientes de
la vel. del tren; el período de estas vibraciones si es en función de la ve-
locidad.

$$\text{período} = \frac{2\pi}{v} \sqrt{\frac{r a}{2 \operatorname{sen} \alpha}}$$

v = vel. del tren.

De ser cilíndricas las llantas, el eje no poseería este esfuerzo
lateral y al chocar el flanco de la pestaña con el riel se originaría un --
choque elástico que la haría rebotar en sentido contrario, es esta la razón
de la conicidad de las llantas de vías en tangente. Con el uso éstas tien-
den a ser cilíndricas y a acanalarse.

Este esfuerzo lateral sobre el riel vale en:

Locomotoras eléctricas	1 000 kg.
Locomotoras diessel	1 500 kg.
Locomotoras de vapor	2 000 kg.
Wagones y coches de pasajeros	500 kg.

(B) ESFUERZOS LONGITUDINALES.

Al avance de las ruedas motrices que se apoyan sobre los rieles, éstos tienden a retroceder según el avance de aquéllas, este mov. es esencialmente elástico, ya que los esfuerzos tangenciales engendrados son muy inferiores a los necesarios para hacer deslizar la vía longitudinalmente.

A diferencia de éstos, existen esfuerzos contrarios que tienden a desplazar los rieles en dirección al mov. y son ocasionados a consecuencia de los esfuerzos resistentes que tienen lugar en los ejes libres de tracción, ya sea de los vehículos remolcados o de la locomotora.

Entre estos esfuerzos habría una compensación, que sería de orden parcial para el caso de rieles continuos; además la locomotora por acción de sus ruedas motrices absorbe para impulsarse de un tercio a la mitad de su potencia.

A causa de la estructura generalmente descontínua en la vía, se ocasionan deformaciones elásticas longitudinales que absorben las juntas entre rieles. Si se producen deformaciones plásticas (permanentes) se ocasiona un corrimiento en el riel.

Cuando los rieles se desplazan arrastran con ellos a los durmientes, ocupando éstos últimos posiciones anormales con respecto a su debida separación, efecto que tiene lugar especialmente cuando el balasto es malo y la madera de aquéllos débil.

Los corrimientos repercuten haciendo que los tirafondos se tuerzan, las placas se levanten y penetren en las bridas y las holguras de dilatación.

tación se aumenten en un sitio y se anulen en otros.

Según las pruebas que se han hecho a esta resistencia, el corrimiento de una vía descargada y normalmente guarnecida con balasto $C = 8 \text{ kg/cm}^3$, es de 600 kg/m para durmientes de madera y de 800 a 1 000 kg/m para los durmientes metálicos.

Otra de las razones principales de este fenómeno es debida a las cargas verticales que producen flexiones ondulatorias y una tendencia a estirar los rieles delante de las ruedas al paso de éstas.

los cambios de temperatura sólo producen corrimientos en el mismo sentido.

La acción del frenaje tiende a hacer avanzar los rieles en sentido al movimiento, pero sus repercusiones no son importantes como condición de presión dinámica en esa dirección del movimiento.

Para combatir estos corrimientos se usan aditamentos que ofrecen resistencia al deslizamiento entre durmientes y balasto.

En el capítulo de construcción de la vía, describiremos éstos, así como las holguras correctas para diversos tipos de rieles a diferentes temperaturas.

METODO EXPERIMENTAL.

Con experiencias prácticas se han podido comprobar en un menor o mayor grado las fórmulas anteriores.

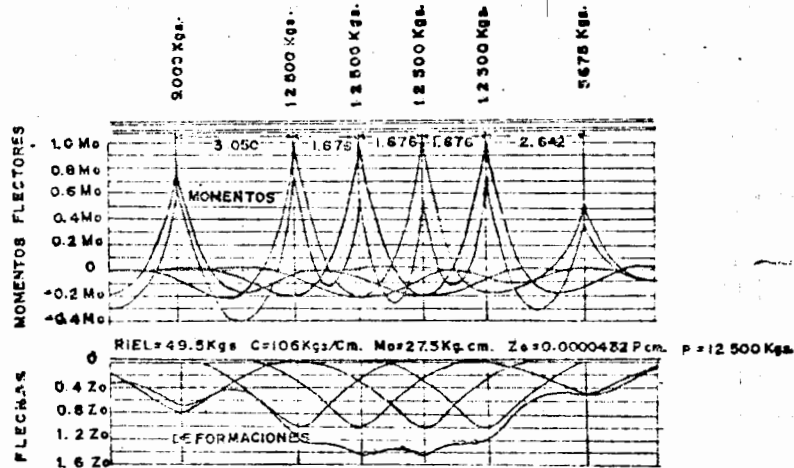
Para un estudio detallado de un proyecto, deberemos tomar en cuenta no sólo los resultados teóricos, sino además los prácticos y hacer entre ellos un proceso comparativo.

Destacan entre todas las mediciones y observaciones experimentales, las que viene realizando la "Railroad Stresses Comisión" por espacio de cuarenta años en diferentes ferrocarriles y con aparatos de gran precisión.

Veremos a continuación varios diagramas que representan diversas pruebas.

10.- Prueba para representar la ley de variación de momentos y deformaciones, producidas bajo una carga estática.

En este caso tomaremos una locomotora Mikado de 12.5 ton/eje.



Se puede observar la variación de momentos positivos que se producen bajo las ruedas. El mayor momento negativo se produce entre la primera y segunda ruedas, mientras que el mayor positivo se produce bajo las cargas más pesadas.

$$M \text{ max positivo} = 27.5 P \text{ kg-cm} = 27.5 \times 12\,500 \times 1.0 = 357\,000 \text{ kg-cm}$$

$$M \text{ max negativo} = 27.5 P \text{ kg-cm} = 27.5 \times 12\,500 \times -0.4 = -144\,000 \text{ kg-cm}$$

Deformaciones.

- a) Compresión del durmiente bajo el apoyo del riel y flexión de aquel para hacer contacto con el balasto 1.28 mm.
 - b) Compresión del espesor de balasto de 61 cm. 3.68 mm.
 - c) Compresión de plataforma de tierra 3.68 mm.
- deformación total 8.64 mm.

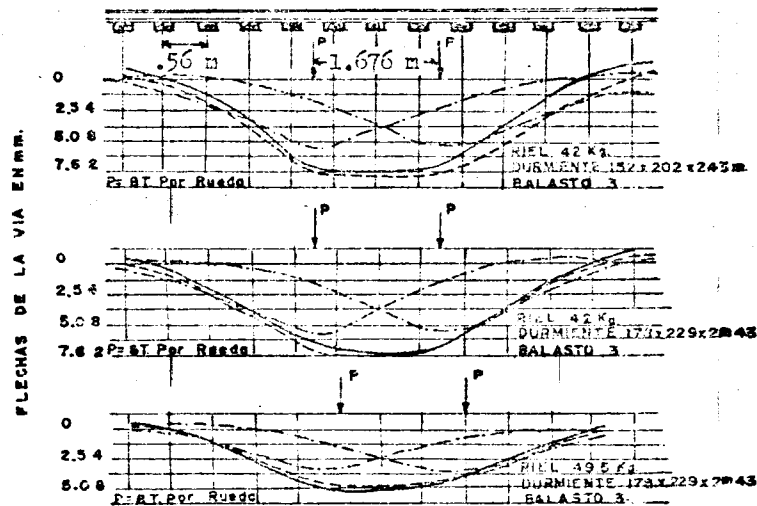
$$\text{De la figura } z_0 = 0.000\,0432 P \text{ cm} = 0.000\,0432 \times 12\,500 \times 1.0 =$$

por lo tanto $z_0 = .864$ mm.

Vemos que se comprueban estos valores.

20.- Prueba de flexión del riel al aplicar dos cargas consecutivas.

Las deformaciones son proporcionales a las cargas aplicadas en una vía bien balastada y conservada. En vías mal balastadas, la primera parte de la deformación sirve para absorber las descompensaciones producto del mal asentamiento; pero la deformación elástica subsiguiente, siempre es proporcional a la carga.



Se ve que si las cargas están aplicadas entre los durmientes se produce una deformación un poco más grande que en el caso de estar ejercidas sobre los apoyos.

Es obvio que la influencia del riel es mayor en la deformación que la acción ejercida por la sección del durmiente; sobre todo si el riel es de un peso ligero. Se achata la curva de deformación al aumentar la sección del riel.

Las líneas de punto y raya corresponden a pruebas hechas para cargas aisladas, las de trazo intermitente a la suma de las anteriores y las

de línea continua al efecto simultáneo de las dos cargas.

30.- Prueba de influencia de repartición de la carga a uno y otro lado de su aplicación y las deformaciones ocasionadas por ese concepto antes y después de balastar la vía.

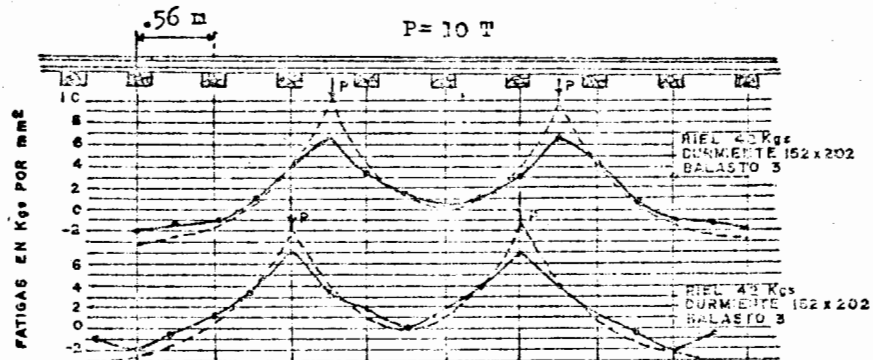
PESO DEL RIEL	DURMIENTE	ALTURA DEL BALASTO	ANTES DEL BALASTADO									
			.56 m					1.676 m				
42	152x202	305	0.035	0.126	0.228	0.293	0.317	0.317	0.293	0.228	0.126	0.035
42	178x229	305	0.037	0.113	0.215	0.306	0.328	0.328	0.306	0.215	0.113	0.037
62	152x202	610	0.024	0.108	0.227	0.311	0.330	0.330	0.311	0.227	0.108	0.024
			DESPUES DEL BALASTADO									
42	152x202	305	0.070	0.162	0.271	0.332	0.332	0.332	0.271	0.162	0.070	
42	178x229	305	0.012	0.061	0.171	0.262	0.314	0.320	0.314	0.262	0.171	0.061
62	152x202	610	0.043	0.157	0.281	0.342	0.352	0.342	0.281	0.157	0.043	

Un examen de los datos proporcionados muestra, que para un mayor espesor de balasto, los esfuerzos producidos se acentúan con mayor intensidad en las inmediaciones de la aplicación de las cargas, produciendo lógicamente mayores deformaciones, pero éstas no logran propagarse sino a 2 mts. más allá del sitio en donde se aplicaron.

40.-En el diagrama siguiente podemos apreciar que cuando la carga está entre durmientes la tensión es un poco mayor que si se localizara sobre un durmiente. El edo. de la vía contribuye a proporcionar en un mayor o menor grado a la existencia de tensiones. En una vía balastada recientemente y la carga es casi prácticamente proporcional a la tensión.

En la gráfica podemos apreciar una comparación entre un diagrama teórico (líneas puntadas), con un diagrama experimental (línea continua), de donde podemos sacar ya sea un promedio, o tomar los valores mayores, sean positivos o negativos.

Se comprueba que además la tensión es menor con dos cargas que



con una sola, ya que según lo suficientemente próximas, la una ejerce sobre la otra un efecto sustractivo.

Para lograr encontrar estos esfuerzos experimentalmente se usan los siguientes aparatos.

A).-Registrador de tensiones Duoley, que obtiene las mismas en el patín del riel bajo cargas móviles a velocidades grandes.

Su funcionamiento es mecánico.

B).-Telémetro eléctrico de los ferrocarriles japoneses, se usa para obtener las deflexiones y tensiones en el riel, se aplica una corriente y ésta varía proporcionalmente a aquellas, registrándose los datos por medio de un oscilógrafo.

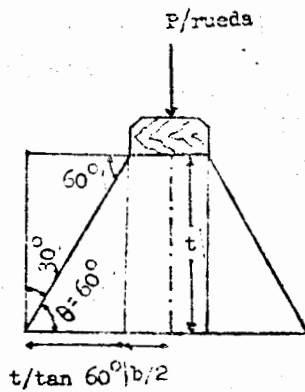
C).-Indicador magnético Westinghouse. Desempeña las mismas funciones dadas anteriormente, pero para su utilización, requiere corrientes de alta tensión, por lo que no es cómodo para trabajos de campo.

CALCULO DE UNA VIA.

Ejemplo para una locomotora de 10 ton/rueda.

1o.-CALCULO DEL ESPESOR DE BALASTO.

Supongamos una transmisión de cargas de tipo prismático trapezoidal. Eligiendo un balasto de $C = 3 \text{ Kg/cm}^3$ y considerando un ángulo de transmisión de cargas de $\theta = 60^\circ$ y longitud de durmiente $2L = 2,50$ y de sección transversal de $26 \text{ cm.} \times 15,5 \text{ cm.}$



$$\left(\frac{2t}{\tan 60^\circ} + b + b \right) \cdot \frac{t}{2} \cdot L = \text{Vol.}$$

$$C = \frac{P}{\text{Vol.}}$$

$$\frac{P}{C} = \left(\frac{t^2}{\tan 60^\circ} + bt \right) \cdot L$$

$$t = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 + \frac{4P}{C \tan 60^\circ L}}}{\frac{2}{\tan 60^\circ}}$$

Sustituyendo valores en la fórmula anterior:

$$t = \frac{-26 \pm \sqrt{(26)^2 + 4 \left(\frac{10000}{3 \times 1.72 \times 125} \right)}}{\frac{2}{1.72}}$$

$$t = \frac{-26 \pm 27.5}{1.16} = \frac{53.5}{1.16} = 46 \text{ cm.}$$

Esta dimensión se mide debajo del durmiente. Daremos la siguiente repartición: Espesor de balasto = 30 cms. y sub-balasto = 20 cms.

20.-CALCULO DEL DURMIENTE.

Consideremos un balastado parcial, para así utilizar nuestro cuadro dado anteriormente.

Supondremos un durmiente de 15.5 x 26 x 250 y separación c. a. c. entre éstos de 65 cms. o sea de 49.5 cms. entre caras interiores.

Datos: $P = 10$ Tons./rueda
 $C = 3$ Kg/cm³. $E = 100\ 000$ Kg/cm². $d = 65$ cms.
 $2L = 250$ cms. $b = 26$ cms. $h = 15.5$ cms.

a).- Cálculo de γ

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{26 \times (15.5)^3}{12} = 8\ 070 \text{ cm}^4.$$

$$\gamma = \frac{6 E I}{d^3 C L b} = \frac{6 \times 100\ 000 \times 8\ 070}{(65)^3 \times 3 \times 125 \times 26} = \frac{48.42}{26.6} = 1.82$$

b).- Cálculo de R.

$$\frac{R}{P} = \frac{4\gamma + 23}{16\gamma + 40} = \frac{4 \times 1.82 + 23}{16 \times 1.82 + 40} = .438$$

Por lo tanto $R = 10\ 000 \times .438 = 4\ 380$ Kg.

c).-Cálculo de deformaciones:

En la zona interior del balastado $z_n = 0.1324 \times 10^{-3} R$

$$z_n = 0.1324 \times 10^{-3} \times 4\ 380 = .580 \text{ cm.}$$

Bajo el apoyo $z_a = 0.1326 \times 10^{-3} R$

$$z_a = 0.1326 \times 10^{-3} \times 4\ 380 = .581 \text{ cm.}$$

En el extremo del durmiente $z_L = 0.1152 \times 10^{-3} R$

$$z_L = 0.1152 \times 10^{-3} \times 4\ 380 = .505 \text{ cm.}$$

d).-Cálculo del momento máximo (será bajo el apoyo).

$$M_a = M_{\text{máx}} = \frac{C b s^2}{6} (2z_L + z_a)$$

Para vía de un ancho de 143.5 cm. y durmientes de 250 cms., ---
s valdrá 50 cms.

$$M_{\text{máx}} = \frac{3 \times 26 \times (50)^2}{6} \times (2 \times .505 + .581) = 61\ 800 \text{ kg-cm.}$$

e).-Cálculo del trabajo de la madera en el durmiente.

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad W = \text{módulo de flexión del durmiente.}$$

$$W = \frac{I}{h_c} = \frac{8\ 070}{7.77} = 1\ 018 \text{ cm}^3.$$

$$\sigma = \frac{61\ 800}{1\ 018} = 59.5 \text{ Kg/cm}^2 < 80 \text{ kg/cm}^2$$

Revisando este esfuerzo vemos que es menor que el permisible promedio.

3c.-CALCULO DEL RIEL.

Consideremos una velocidad de tren de 100 km/hora.

a).-Cálculo del momento.

$$M = K_e \cdot K_v \cdot K_d \times P.d$$

$$\text{El coeficiente estático vale: } K_e = \frac{8\lambda + 7}{16\lambda + 40} = \frac{8 \times 1.82 + 7}{16 \times 1.82 + 40} = .312$$

El coeficiente de velocidad para $v = 100 \text{ km/h.}$, vale: $K_v = 1.39$

El coeficiente dinámico para $v = 100 \text{ km/h.}$, vale: $K_d = 1.50$

$$\therefore M = K_e \times K_v \times K_d \times P.d = .312 \times 1.39 \times 1.50 \times 10\ 000 \times 65$$

$$M = 424\ 000 \text{ Kg-cm.}$$

El riel deberá satisfacer las condiciones siguientes:

- 1).-Límite aparente de elasticidad = 3 500 kg/cm².
- 2).-Límite de ruptura de 7 500 a 8 500 kg/cm².

b).-Cálculo del trabajo del riel.

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Escogeremos un riel francés de 46.1 Kg. por metro lineal, que satisfaga las condiciones requeridas para el módulo de flexión y el momento, para que de ello nos resulte una relación de esfuerzos menor a la permisible.

∴ W = 222 cm³ (de tabla dada anteriormente, donde se especifican diferentes valores para diferentes tipos de rieles).

Por lo tanto:

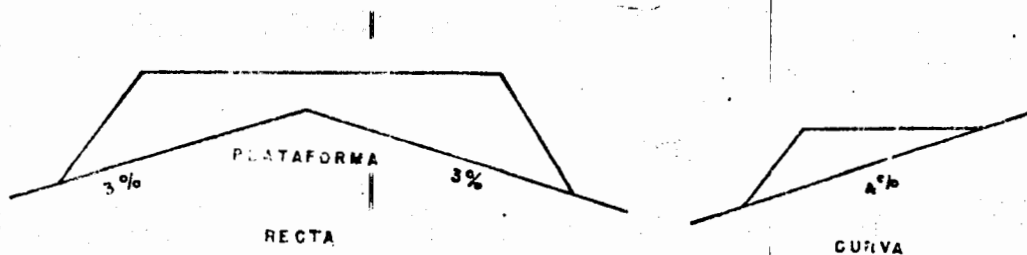
$$\sigma = \frac{424\ 000}{222} = 1\ 890\ \text{Kg/cm}^2 < 3\ 500\ \text{Kg/cm}^2$$

CAPITULO IV.-
CONSTRUCCION.

PLATAFORMA.- La plataforma es la parte de la infraestructura de una vía que forma el terreno, nivelado éste por medio de rellenos ó cortes, según sea el caso que se eleve o se hunda, para de esta manera no tener pendientes, ni curvas pronunciadas con el objeto de presentar menor resistencia al momento. Su otro objeto es el de ser el elemento resistente de la superestructura (rieles, durmientes y balasto) o sea recibir los esfuerzos debidos a las cargas fijas y móviles transmitidas por el balasto lo más uniformemente posible. Por ello, la razón constructiva más importante de la plataforma es proporcionar las mejores condiciones de resistencia y flexibilidad.

Para asegurar una estabilidad de la plataforma, que involucra la estabilidad de la vía, es menester que se halle debidamente diseñada, para asegurar un correcto escurrimiento de las aguas pluviales.

Cuando el terreno es de buena calidad bastará darle a la plataforma una doble pendiente del 3%. En tramos rectos el vértice del bombeo corresponde generalmente al eje de la plataforma; en curvas el vértice es desplazado hacia el lado exterior de los mismos, con el propósito de evitar la colocación de un mayor espesor de balasto o bien el bombeo se hace con una pendiente hacia el lado interior de la curva.



1).- Plataforma a cielo abierto: En este caso las condiciones de resistencia y flexibilidad dependerán de la naturaleza del terreno y de su disposición, como terraplén, trincheras y ladera.

Para evitar en terrenos de consistencia dudosa que la plataforma sufra deformaciones permanentes se aconseja colocar una capa de balasto de mayor espesor, con el objeto de repartir más uniformemente las cargas. El empleo de una capa de balasto de mayor espesor resulta a la postre más económica, ya que la rehabilitación resultaría más costosa.

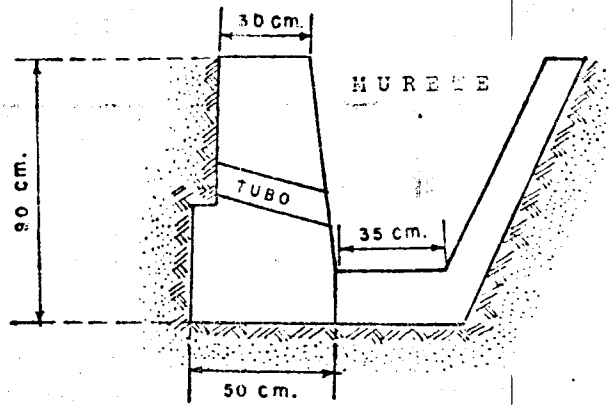
En plataformas arcillosas y donde el balasto es insuficiente es de imperiosa necesidad conservar la arcilla seca, pues de esta manera tiene una resistencia media a la compresión, pues en estado húmedo no ofrece cohesión alguna, acabando por aplastarse y fluir por el balasto, en ocasiones hasta el punto de que los durmientes pierdan su calzado y reposen sobre la arcilla, y además se formen enormes bolsas de agua de una profundidad tal que no pueden ser evacuados por el sistema de drenaje.

Al paso de los trenes en estas condiciones los rieles sufren ondulamientos peligrosos que pueden llegar a romperse en forma súbita. La arcilla húmeda también ayuda al no haber suficiente fricción o corrimientos longitudinales y transversales de la vía.

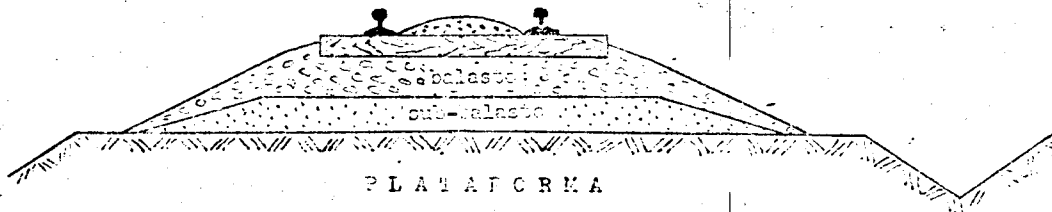
Para evitar estas inconvenientes se han tratado de utilizar plataformas de hormigón, pero hasta la fecha no producen los resultados apetecidos porque se fisuran y la arcilla fluye por ellas.

En algunas vías se han limitado estos efectos, colocando muretes que ayudan a la estabilización de la plataforma y a su vez ofrecen un buen sistema de drenaje.

Además de una capa de escorias o de arena fina entre la plataforma y el balasto, designando a esta capa de un espesor generalmente de 30 cm con el nombre de Sub-balasto.



La arena o escoria, puesto que la capa superior de arcilla se mezcla con la inferior de arena formando así un mortero impermeable que impide aumentar al reblandecimiento y reparte las presiones locales en una mayor superficie.



La anchura media de las plataformas americanas para doble vía es de 10.50 mts. y de 19.20 mts. para cuatro vías, más las fosas o cunetas laterales; la separación entre ejes es de 4 mts. lo que nos da una entrevía de 2.50 m. distancia a la que se añade un sobre ancho en las curvas.

Los europeos emplean menores anchuras de plataforma y sus entrevías no son mayores de 2 mts.

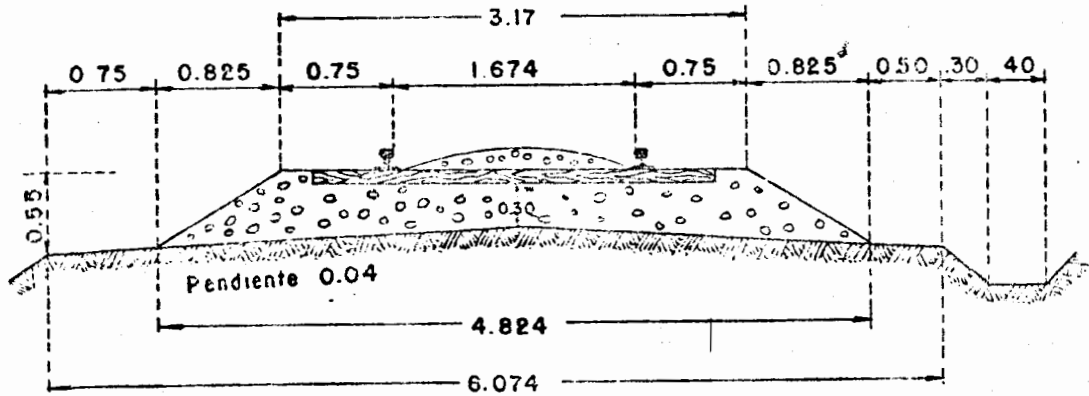
0.55

TALUD

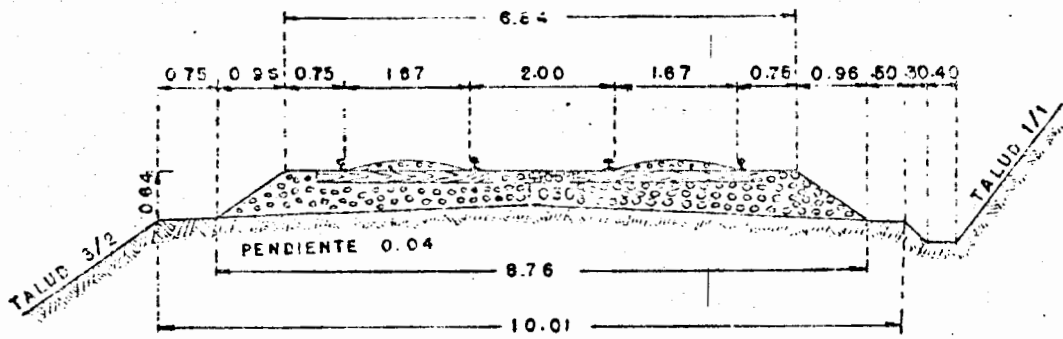
TALUD

En las estaciones las entrevías varían de 2.50 mts a 3 mts.

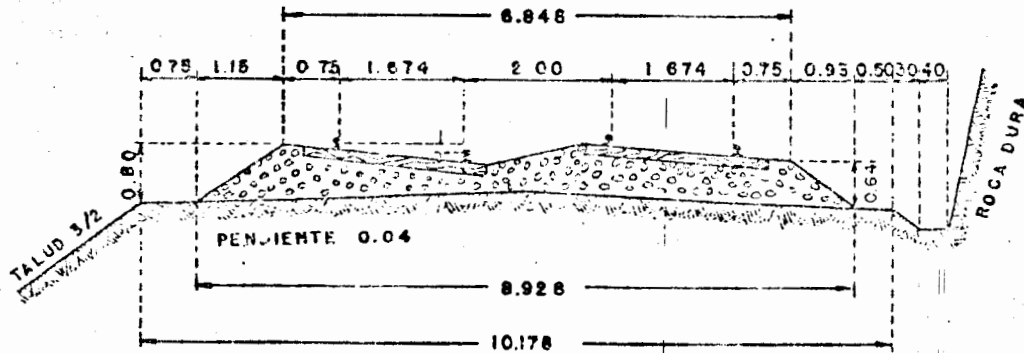
En vía única la plataforma es de 6.07 mts.



Veamos ahora la plataforma para doble vía (ancho de vía 1.674 mts) para locomoción de vapor.



Y por último una plataforma para tracción eléctrica.



mez
ide
r -

ces
s la
la -
tre--

2).- Plataforma rígida: Se han hecho ensayos en E. U. acerca de plataformas rígidas de concreto armado y constituidas en secciones de 6 mts. de longitud, 2.65 mts de ancho y .45 mts. de espesor.

Sus deformaciones máximas en sentido vertical han sido de poca importancia ya que son de 3 ó 4 cm. y que pueden ser rescatables.

La construcción de estas plataformas como la "tipo Forestier" que presentamos en la figura, está formada por dos partes, una inferior hecha de concreto ordinario o alguna preparación del suelo cuando éste es firme y la superior prefabricada que se coloca por medio de gatos hidráulicos que se apoyan en la parte inferior; entre ellos se coloca una capa de arena fina de la más incompresible, para así restar un poco la excesiva rigidez.

Este tipo tiene como ventajas en su construcción:

a) Las cargas pueden ser repartidas más uniformemente hacia la plataforma, de modo que los ejes más pesados al pasar sólo produzcan fatigas al terreno del orden de 0.5 a 0.6 kg/cm^2 en vez de las convencionales de 2 a 3 kg/cm^2 . que se localizan debajo de los durmientes.

b) La estabilidad de la vía es mucho mayor porque la solera de cemento ofrece resistencia en todos sentidos.

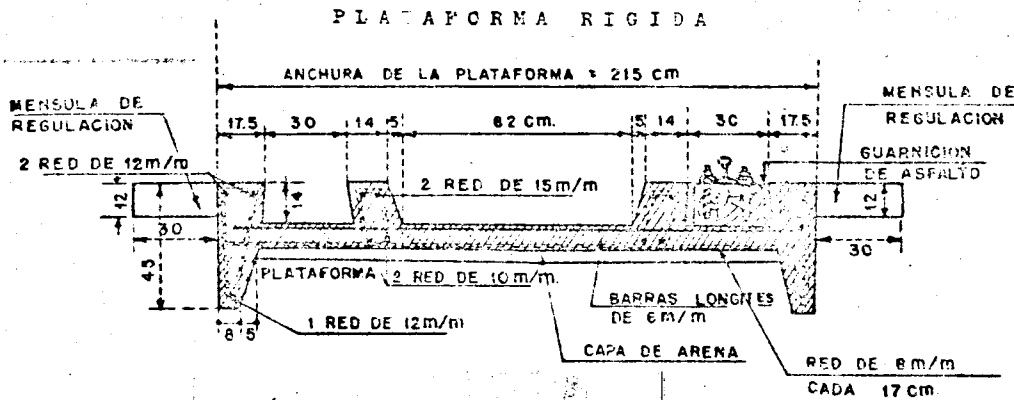
c) Los rieles no trabajan como vigas en 2 apoyos, sino que soportan uniformemente su carga a todo lo largo.

d) A su paso el ruido de las juntas no se percibe, pero a su vez es más metálico debido a la rigidez.

El principal incremento de este tipo de construcción es su elevado costo.

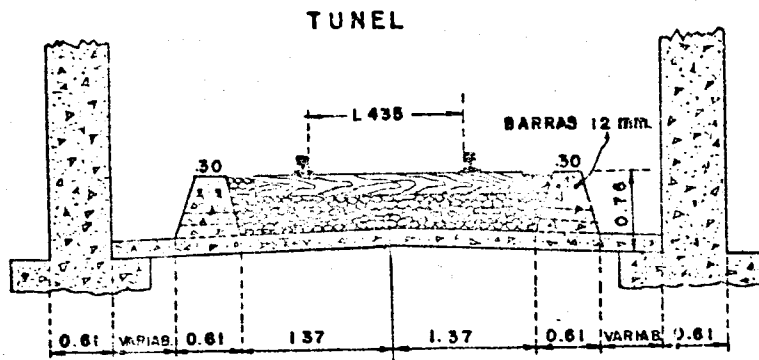
3).- Plataforma en túneles.- Lo más común de la plataforma en túneles es construir si es posible la misma constitución y perfil de la vía de la plataforma seguida.

A veces resulta mas conveniente el empleo en los túneles de una -



plataforma de concreto que acusa las ventajas dadas por las plataformas rígidas, las de un menor gasto de conservación y la construcción de la estructura rígida del túnel.

Otras veces se prefiere colocar una capa de balasto sobre la losa de concreto de la parte inferior del túnel y continuar el mismo perfil de la vía como se ve en la fig.



B).- DRENAGE.- La humedad que se conserva en la vía es el principal agente para perjudicar y alterar la buena conservación de las plataformas y terracerías y durmientes.

Nunca serán demasiadas las obras realizadas para asegurar una bu

na evacuación del agua.

Repetiremos que, de no ser así se forman bolsas de agua y se desnivela la vía, haciendo difícil su conservación en buen estado, dando cabida a costosas y frecuentes intervenciones.

Los dispositivos de drenaje más usuales son las siguientes:

1).- Las Cunetas.- Son obras que permiten una fácil inspección y limpieza, pudiendo ser éstas abiertas o cubiertas con tapas removibles.

2).- Los Drenos.- Estas obras aseguran el secado de las plataformas y terracerías, pero no permiten su inspección y resulta demasiado difícil su limpieza.

3).- Los Drenos Colectores.- Obras que tienen como objeto secar los terrenos encajonados, colectando y evacuando las aguas, no presentando problemas para su limpieza.

4).- Los Colectores.- Son obras que permiten la colecta y evacuación de aguas provenientes de drenes o drenes colectores. Su limpieza no presenta dificultades.

I).- LAS CUNETAS.- Las normas que rigen para la construcción se pueden expresar en los siguientes puntos:

a) Las cunetas deberán asegurar un rápido escurrimiento de las plataformas y taludes

b) Su trazo, sección, perfil longitudinal y tipo estarán dados por la configuración y calidad del terreno, además del gasto por desalojar.

c) La plantilla b no debe ser demasiado ancha, con objeto de evitar la pérdida de velocidad que tiene como consecuencias estancamientos y una deficiente autolimpieza.

d) Si la cuneta desemboca directa o indirectamente a una corriente, la altura de caída debe determinarse en relación con el nivel de aguas máximas (N.A.M.).

e) De acuerdo al tipo de cuneta se escoge la pendiente longitudinal mínima.

f) Entre el pie de la punta y la cuesta de la cuneta deberá haber una berma a mínima de 10 cm., a fin de que el balasto o el material de la pista no se desprenda y caiga a la cuneta, si ésta está desahogada.

Dadas estas condiciones pasemos a las formas y especificaciones de los diferentes tipos de cunetas.

CUNETAS NO REVESTIDAS:

Perfil transversal : variables, dependiendo de la naturaleza del terreno, pendiente y gasto.

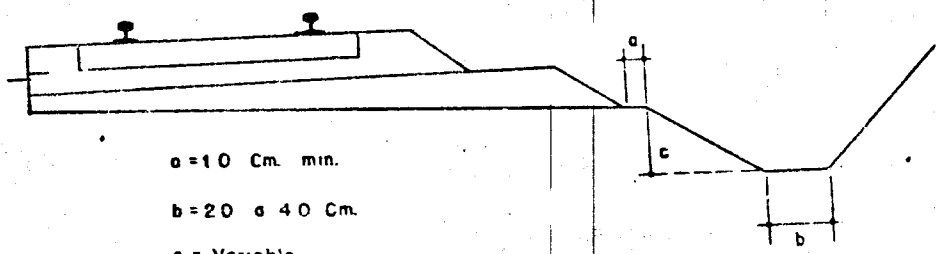
Berma a : 10 cm. mínimo.

Ancho de plantilla b : entre 20 y 40 cm, pero de haber mayor gasto puede ser mayor.

Altura c : si la cuneta sigue la pendiente longitudinal de la plataforma la altura varía de 20 a 40 cms.

Inclinación de talud : Roca fija 2 : 1 y arcilla 3 : 2

Pendiente longitudinal : Siempre mayor de 5 mm por metro.



- a = 10 Cm. min.
- b = 20 a 40 Cm.
- c = Variable

CUNETEA DE MAMPOSTERIA O CONCRETO CICLOPEO.

Berma a : de 15 cm. de mampostería o concreto y situada en la parte inferior de la cañería.

Ancho de plantilla b : de 25 a 40 cm.

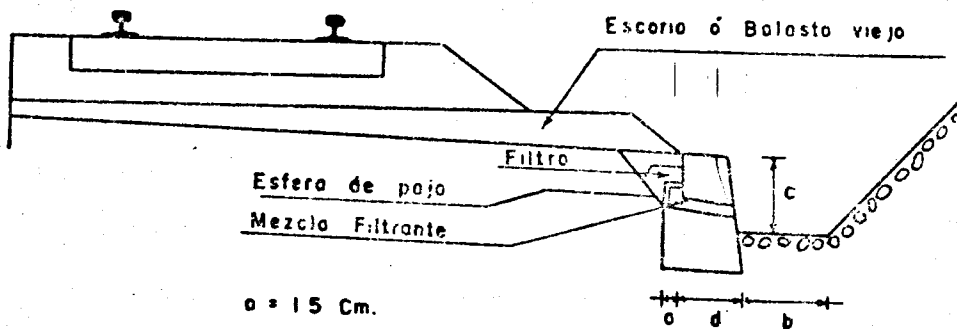
Altura c : varía entre 20 a 40 cm., y de 0 al 1:1 de pendiente

Inclinación del talud : de 1:1.5, si la pared que da al lado de la vía -- sirve de murete.

Pendiente longitudinal : ideal si el costo lo permite de 3 mm. por metro.

Las paredes de esta cuneta van atravesadas por caños situados a 15 cm. debajo del nivel de la plataforma y con una pendiente de 10 cm. por metro.

Este tipo de cunetas se construye cuando la naturaleza del terreno no permite tenerlas de tierra y es imposible darles una pendiente longitudinal suficiente.



$a = 15$ Cm.

$b = 25$ a 40 Cm. $c =$ Variable

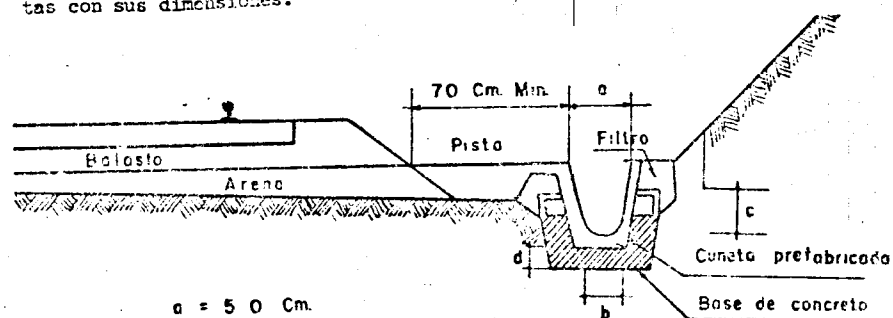
CUNETEA PREFABRICADA DE CONCRETO ARMADO.

Se fabrican muy distintos tipos de estas cunetas, siendo su principal diferencia entre las de mampostería, la altura, que varía de 30 a 75 cm.. Su fabricación es en tramos de 75 cm. de longitud. Se emplea en las mismas condiciones que los de mampostería, pero cuidando que no existan es-

fuerzas laterales de importancia.

Su principal ventaja sobre los de mampostería es la de poder concluir con una anchura menor, una area de escurrimiento mayor, debido a esto al menor coeficiente de rugosidad y al mejor acabado.

A continuación damos la sección transversal de esta clase de cunetas con sus dimensiones.



- $a = 50 \text{ Cm.}$
 $b = 30 \text{ Cm.}$
 $c = 50 \text{ Cm.}$
 $d = 10 \text{ Cm.}$

CONTRA CUNETAS.

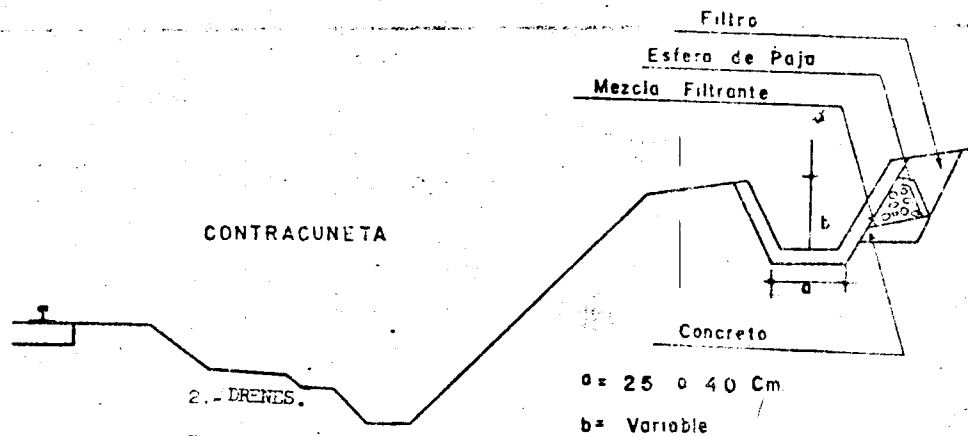
Se construyen en las cunetas de los taludes de corte con objeto de recibir aguas de escurrimiento o de filtración de la capa superficial.

Su presencia evita revenimiento y desmoronamiento superficial.

Pueden ser revestidas o no, de mampostería o de concreto prefabricado.

Las normas generales para su construcción son las siguientes:

- Proporcionarles una pendiente adecuada para desalojar rápidamente el agua.
- Construirlas a una distancia adecuada a la cresta del talud.
- Construir suficiente número o en su defecto aumentar el número de bajadas que deberán estar perfectamente conectadas a las cunetas para descargar en las alcantarillas.



Estos pueden ser por su situación lateral axiales o transversales

Las reglas generales para su construcción son las que siguen:

- a) Se debe tender una red de drenes a una profundidad tal que permita dar a las canalizaciones una pendiente mayor de 2 mm por metro.
- b) No se necesita dar una sección grande de evacuación, ya que no se requiere evacuar volúmenes grandes, y si podría producir una falta de consolidación a las vías vecinas de existir éstas.
- c) Es conveniente construir tubos respiradores, ya que necesitan una circulación adecuada de aire. En caso de grandes precipitaciones que lo inundan, trabajará como evaporador.

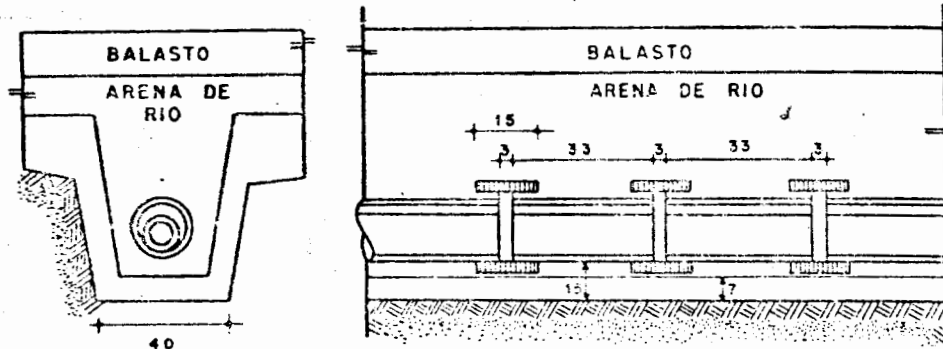
d) Se deben evitar los azolves en el tubo por medio de filtros permitiendo sólo la entrada de agua alejando las de arcilla otros materiales.

Los drenes son de 2 tipos: de superficie y de pendiente continua.

DRENES DE SUPERFICIE.

Tienen cortas longitudes y se colocan al nivel de la plataforma.

Se construyen con tubos de barro vitrificado de 6 a 8 cm de diámetro interior y una longitud de 33 cm. acoplando las juntas como se ve en la figura.



DRENES DE PENDIENTE CONTINUA. - Se construyen con un diámetro interior de 10 cm, pudiendo ser de barro vitrificado que viene en longitudes de 33 cm. o tubos de cemento en largos de 50 cm; en las juntas será el tubo de 14 cm de diámetro interior y la base del filtro de 45 cm.

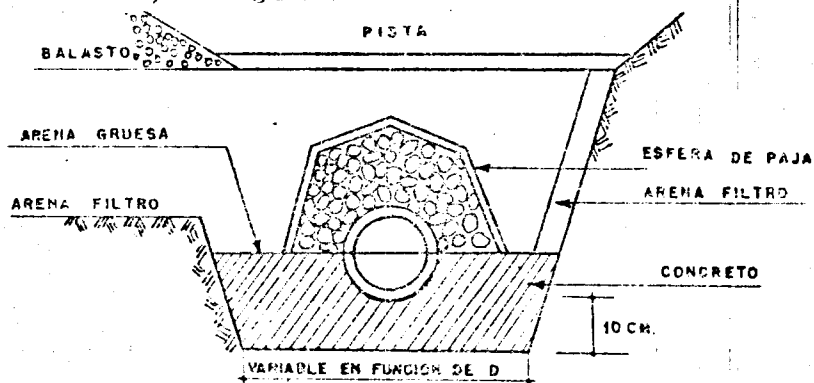
La arena de los filtros son de parte esencial para la buena construcción de ellos y su funcionamiento, por lo que la arena que se utilice debe ser: muy dura de aristas vivas y tener magníficas cualidades de absorción, y evaporación y capilaridad.

Debe tenerse en cuenta cuando la plataforma por drenar está a nivel se coloquen los drenes a poca profundidad y con un perfil en forma de diente de sierra, es decir con pendiente y contrapendientes sucesivos, desembocando sus puntos bajos a un dren colector lateral o axial que tenga pendientes normales continuas. Esto se hace con el fin de no profundizarse mucho de la pendiente establecida y que de haber un espesor grande de materiales saturados que lo separen de la vía, resultaría ineficaz.

DREN COLECTOR. - Se construyen con el fin primordial de auxiliar a las cunetas y se localizan por lo regular debajo de los postes.

Son de tubos de cemento que van rebagados hasta la mitad en materiales impermeables o una base de concreto.

Las juntas entre tubos son abiertas, pero las de la mitad inferior van cerradas por medio de mortero de cemento y la superior protegida por medio de un semi-tubo de 20 cm de largo (en este caso la junta es de 5 cm) o por medio de una camisa de piedra en seco, hecha de material en tamaño de creciente, ver figura.



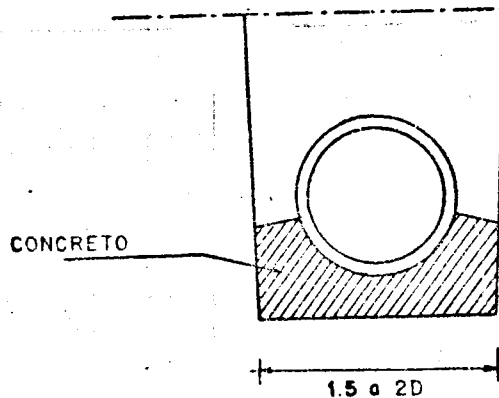
Cuando el terreno es de naturaleza inestable el dren colector necesitará una base de concreto armado.

No hay límite de longitud para ellos, pero es conveniente cortarlos cada 20 ó 30 mts para construir un pozo de visita. Es conveniente en estos pozos dejar un desnivel de 2 a 5 cm, para ver si el desague se efectúa correctamente en la entrada del siguiente.

Los pozos de visita tienen usualmente como dimensiones: 0.50 m. x 0.80 m. con profundidad variable y estar tapados con losas de escaso peso. COLECTORES.- Están construídas con tubos de cemento de un diámetro adecuado al gasto por evacuar, pero no menor de 20 cm., usualmente es de 30 cm.

Si el terreno que atraviesa el colector es firme el tubo estará colocado directamente sobre la excavación, de lo contrario si el terreno es poco o nada firme se hará necesario el uso de una base de concreto o de concreto armado según sea el caso.

Sus juntas van guarnecidas con mortero de cemento, la pendiente usual es de 2 mm por metro.



C).- SUB-BALASTO Y BALASTO.- El balasto es un material para la construcción de la vía que desempeña las siguientes funciones:

1.-Tratar de repartir de una forma uniforme las presiones transmitidas por los durmientes a la plataforma; estas presiones son producto de las cargas rolantes y del mismo peso de los materiales que constituyen la vía.

2.- Resistir la tendencia de la vía al desplazamiento causada por los esfuerzos transversales, agarrando los durmientes y por consiguiente la vía.

3.-Proteger a las plataformas y a los durmientes contra la humedad, puesto que sus cualidades permeables aseguran una rápida evacuación del agua pluvial y por otro lado la evaporación de aguas que por capilaridad suelen a la superficie de la plataforma.

4.-En vías de tracción por vapor el balasto colocado arriba de los durmientes, evita que las cenizas producto de los materiales para la combustión las quemen.

Por las diferentes funciones que realiza el balasto, este no tiene que ser de la misma naturaleza y calidad en todo espesor.

Se le divide en dos partes: la capa superior, llamada balasto, la inferior o sub-balasto.

La capa superior tiene la misión de permitir un buen calzado de los durmientes, por lo que debe ser de preferencia de material duro, resistente y de caras angulosas, para que las aristas se acunen entre sí y den al durmiente una fricción elevada que evita los deslizamientos tanto longitudinales como transversales de la vía.

La capa inferior tiene como función repartir lo más uniformemente las presiones recibidas de la plataforma, el drenaje de las aguas y evitar el flujo ascendente de arcilla que pudiera ocurrir. Deberá estar construida por materiales finos. Debe tener una capa mínima en terrenos buenos de 20 cm., pero en los precarios y malos sería recomendable rebajarlos 20 cm., adicionales por lo menos y sustituir el material excavado por arena fina.

De una manera general las condiciones que debe poseer el balasto para una buena construcción, son las siguientes:

- a).- No ser demasiado grueso a fin de elevar la vía lo necesario a fin de efectuar una buena nivelación.
- b).- No ser demasiado fino con el objeto de evitar que el viento lo levante y la lluvia lo arrastre.
- c).- Ser manejable para la utilización de los calzadores.
- d).- Ser lo suficiente duro para evitar que se pulverice o se rompa por la acción de las cargas rodantes o el golpeteo de los calzadores.
- e).- No contener arcillas, puesto que esto absorberá agua, ablandando así las puntas de apoyo de los durmientes, con lo que se verá afectada la nivelación de la vía.

f).- Ser permeable y evitar que contenga materiales que absorban agua, como tierra y puzo que contribuyen a la putrefacción de los durmientes.

Para que el balasto logre reunir las cualidades anteriores se utilizan diferentes materiales como son:

a).- Arena o grava de mina. Se procura que no tengan los cantos rodados y ser graduado, o sea que está dosificado en diferentes tamaños. Los elementos grandes deben ser triturados a fin de tener bastantes aristas

b).- Arena o grava de río. Se procurará que los granos sean gruesos y lo más uniforme posible.

c).- Piedra quebrada previamente de cantera, de ser posible de naturaleza granítica, silicosa o calcárea, cuando se utilice esta última comprobar que este dura y no afectable por las heladas, ni poseer grietas ni vacíos.

d).- Guijarros, si son de cantos rodados, es necesario quebrarlos en un 75% cuando menos.

e).- Escoria de fundición, proviene desde luego de desechos de los altos hornos y es un producto ventajoso. Su empleo queda restringido a tramos cercanos a las fundiciones. Posee la ventaja de evitar el crecimiento de la hierba casi totalmente.

El tamaño máximo de balasto para evitar que los durmientes se apoyen sólo en unas cuantas aristas de piedras gruesas se recomienda que sea de 60 mm y como tamaño mínimo de 20 mm, con objeto que los elementos demasiado finos no atrofien la permeabilidad de la vía y en consecuencia se produzca un debilitamiento de ella.

Para el control de la calidad del balasto en caso de piedra quebrada es recomendable la siguiente fórmula:

$$C = \frac{400}{D}$$

C = coef. de resistencia al desgaste natural, choques moderados y al frotamiento.

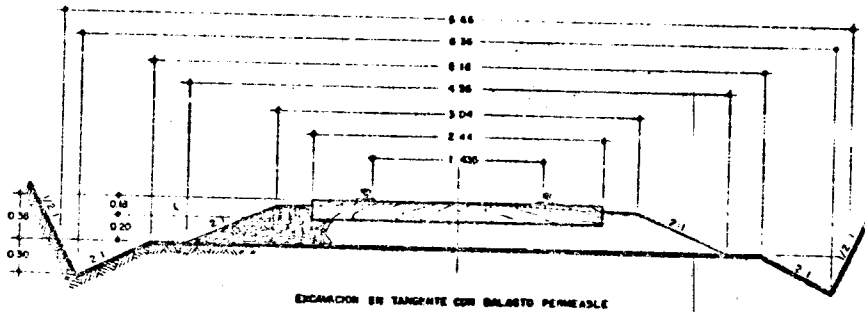
Depeso de los detritus expresado en gramos por kg de material. Se determina con un aparato DEVAL, que es un separador centrífugo.

El coeficiente C sera de 14 ó mayor para piedras duras, como granito y porfido y de 12 ó menos para piedras calcáreas.

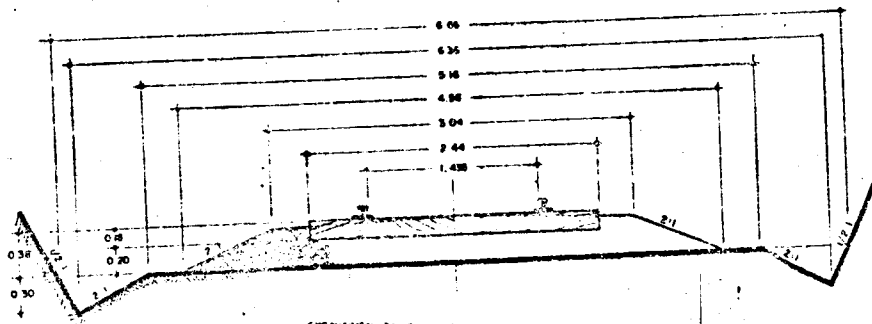
Es conveniente decir que antiguamente la colocación de balasto se enrazaba hasta el nivel superior del durmiente, dejando un vacío longitudinal por el lado interior del riel, hoy debe colocarse hasta 5 cm. abajo del patín del riel para tener las siguientes ventajas:

a).- Economía de balasto, desde la colocación hasta en su conservación.

b).- Facilita una perfecta inspección de los sistemas de fijación
A continuación para concluir lo referente al balasto, daremos los diagramas de los 5 tipos de balastado más utilizados en México.

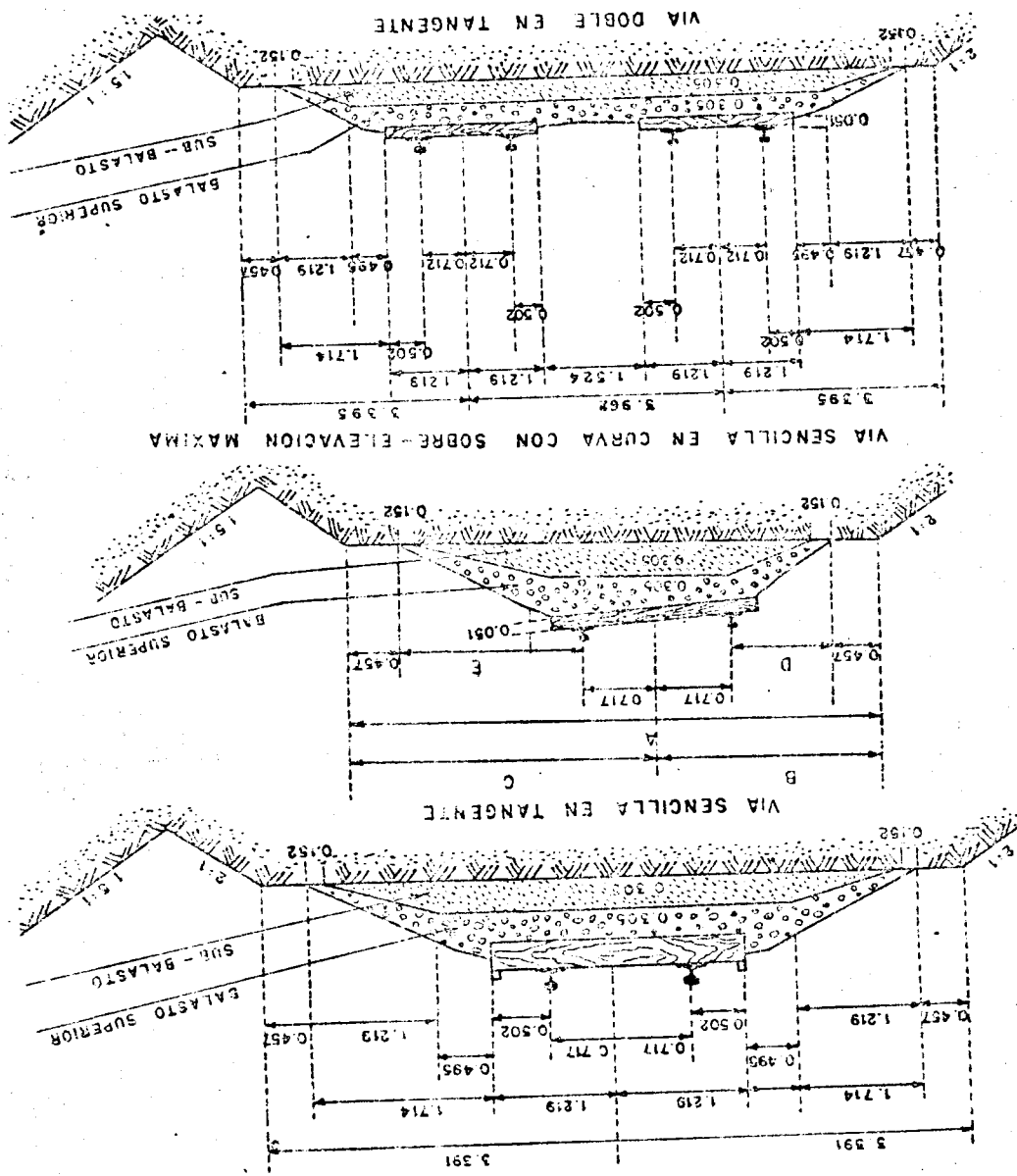


EXCAVACION EN TANGENTE CON BALASTO PERMEABLE



EXCAVACION EN CURVA CON BALASTO PERMEABLE

SECCIONES TRANSVERSALES DE BALASTO REGLAMENTARIAS
EN LOS F.C.C. NACIONALES DE MEXICO



DURMIENTES.

Las funciones del durmiente comprenden los siguientes 3 aspectos.

- 1.- Sujetar los rieles con ayuda de los dispositivos correspondientes, manteniéndolos en su posición correcta.
- 2.- Soportan las cargas estáticas y dinámicas originadas por el tráfico ferroviario, por intermedio de los rieles y sus dispositivos de sujeción.
- 3.- Transmiten esas cargas al balasto, por todas sus superficies de apoyo.

Este elemento puede ser de madera, concreto o metálico. Deben ser suficientemente anchos para permitir un buen asiento del riel o de su placa para durmiente y para repartir mejor las presiones.

La vida de los durmientes de dos factores principales como son:

- 1.- La acción de los agentes naturales que los atacan.
- 2.- La acción mecánica originada por las cargas rodantes que abran sobre ellos.

Los agentes naturales tienden a destruir con mayor facilidad a la madera que a los materiales prefabricados, como el acero y el concreto, sobre todo si la madera esta es cruda y no creosotada.

La acción mecánica, sobre todo las vibraciones, el impacto y la abrasión del balasto, destruyen más activamente el concreto reforzado o preesforzado, que a la madera, si no se proveen de dispositivos elásticos de sujeción que las libren de la exposición directa a esas fuerzas.

Los factores comunes en la vida de unos y otros son: la calidad de la vía en sí, incluyendo el calibre del riel empleado, los dispositivos de sujeción, la clase de balasto y la naturaleza del terreno; la manera de efectuar la conservación; las condiciones del tráfico abarcando su densidad, velocidad de operación, cargas axiales y energía tractiva, condiciones del tiempo y del clima.

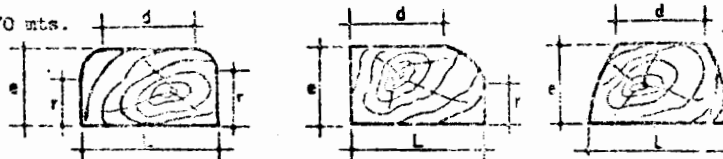
Los factores propios de la madera son: clase y calidad de los materiales utilizados para sus tratamientos y cuidado al colocarlos.

Los E. U. con sus 531 500 km de vía, representando el 30% de la extensión mundial y el 50% en capacidad mundial, utilizan en su mayor parte madera creosotada, obteniendo como promedio de la vida media es para durmientes de madera creosotada 24 años, mientras en México, obtenemos en los climas húmedos 12 años. Para madera cruda logran 12 años y aquí sólo 6 años

Como se ve debemos tener más cuidado en su tratamiento colocación y sobre todo en la conservación, ya que ello repercute negativamente en nuestras económicas.

Las maderas duras que se utilizan para la elaboración de durmientes ofrecen una resistencia apropiada de 150 kg/cm^2 a los esfuerzos de compresión perpendicular a las fibras y de 5.6 ton. al arrancamiento de los tirafondos.

Las secciones transversales más usuales para madera se indican en las cargas siguientes y se muestra además una tabla de clasificación con las correspondientes dimensiones. Las longitudes pueden variar de 2.40 a 2.70 mts.



GRUPO	L	e	d		
			FORMAS I, III	FORMA II	FORMAS I, IV
1	26	18	16	20	8
2	26	15	17	20	8
3	26	13	13	17	6
4	24	13	16	13	7
5	24	14	16	14	7
6	24	13	13	17	5
7	22	13	13	16	6

Dentro de las dimensiones anteriores, se anotan las tolerancias:

Para la longitud : de 3 cm en más o menos y que la curvatura que tengan en el plano horizontal no sea mayor de 5 cm y en el plano vertical de 0.5 cm.

Para el ancho : de 0.0 cm en menos dentro de la zona de apoyo del riel o placa para durmiente; de 2cm en menos de la zona aterior.

Para el espesor : de 0. 0 cm en menos dentro de la zona de apoyo y de 1 cm en menos fuera de esta zona.

En ningún caso el ancho debe sobrepasar los 30 cm y el espesor de los 17 cm.

Resumiendo las condiciones constructivas recomendables que deben poseer los durmientes de madera tenemos que son los siguientes.

- 1.- Densidad comprendida entre 750 y 800 kg/cm³.
- 2.-Dureza para resistir los choques sin desintegración local.
- 3.-Resistencia al arranque de clavos y tirafondos.
- 4.- Suficiente elasticidad para garantizar un buen movimiento.
- 5.-Coeficiente de contracción pequeño.
- 6.-Conservación económica.
- 7.-Absorción adecuada a las sustancias para prolongar su vida.

A lo largo de la vida del durmiente, éste sufre deterioros mecánicos, metereológicos, y biológicos.

1.- Mecánicos. El riel va penetrando y cortando paulatinamente las fibras de la madera cuando aquel descansa directamente sobre el durmiente. La presión ejercida es alrededor de 100 kg/cm² al paso de los cargas, en curvas esta presión es mayor y sin una distribución uniforme, lo que hace desgarrar y gastar las fibras de la madera.

Para evitar estas inconvenientes, se ha generalizado el uso de placas de apoyo o sistemas de fijación elásticas en los que se emplean placas de hule entre patín y durmiente.

2.- Meteorológicos. La madera se va rajando a causa de los períodos alternados de sequedad y humedad; de frío y calor, con lo que presenta agrietamientos que pueden ser peligrosos.

Para reducir este inconveniente se acostumbra colocar grapas metálicas antirrajantes en forma de S y flejes de acero, puestos alrededor de las extremidades utilizando lámina de acero galvanizado de 15/10 mm. de espesor y 2.5 cm. de ancho fijados con broches y por medio de una flejadora.

Se pueden colocar estos dispositivos; en el caso de grapas a durmientes con grietas mayores de 3 mm. en el lugar de su reparación y en el caso de flejes a la totalidad de ellos en taller, para evitar posteriores rajaduras.

3.- Biológicos. Por la acción de hongos y bacterias procreados a causa de la humedad y condiciones propicias y desarrollados en las grietas principalmente.

Para lograr que la madera expulse la savia y la humedad que pudieran subsistir, se seca la madera al aire libre que es mucho más conveniente, o en hornos y se sigue el procedimiento dado en generalidades.

Después de haber ensayado numerosos productos, se ha llegado a la conclusión que ninguno ha reunido las cualidades de la creosota, y que deben ser las siguientes.

- 1.- Poser un alto valor tóxico, fungicida e insecticida.
- 2.- Constante a pesar de los deslaves y lluvias.
- 3.- Ser fácil de introducir en la madera y de penetración homogénea en todo el durmiente.
- 4.- Que no produzca reacción en las propiedades mecánicas de la madera.
- 5.- Que no ataque a las partes metálicas que están en contacto, como placas de asiento, rieles, placas correderas, tirafon--

dos, flejes, etc.

- 6.- Que no sea tóxico para el personal.
- 7.- Conservar a la madera una resistibilidad eléctrica suficiente.
- 8.- Aprovechamiento fácil y económico en el mercado.

DURMIENTES METALICOS.

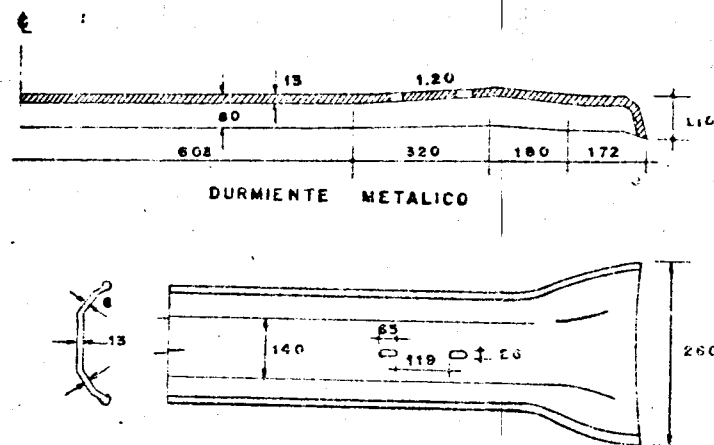
Son construidos principalmente con lámina de acero de grano fino, compacto y homogéneo. Su laminado en perfil tiene la forma de una "U" invertida y con poca altura para facilitar su calzado y nivelación.

La cantidad de balasto utilizada es mayor, puesto que se debe tener el relleno del durmiente y un colchón con más espesor, para evitar que por un exceso de rigidez, tengamos esfuerzos para romper el durmiente al paso de las cargas móviles.

Sus extremos tienen forma de azada para lograr una penetración en el balasto, impidiendo de esta manera corrimientos transversales, sus caras laterales son casi verticales con el objeto de facilitar la colocación de anclas para evitar corrimientos del riel. El lugar que más se debe cuidar es el del asiento del riel o sea el punto de impacto, por lo que debe ser especialmente reforzado y protegido.

Sus longitudes varían de 2.40 m a 2.70 m y son relativamente ligeros, pues su peso varía de 50 a 75 kg. por su misma ligereza no pueden ser empleados en vías de tonelaje mediano han dado buenos resultados técnicos, a pesar de ser ruidosos y ser conductores de electricidad ya que difícilmente permiten el aislamiento de un riel a otro.

Económicamente son mas costosos en comparación con los durmientes de madera, pero su ventaja está en su larga duración, que evita gastos de rehabilitación. Además de poderse retirar de vías principales y colocarse en secundarias cuando ya tengan un desgaste inicial, lo que es imposible en durmientes de madera.



Se calcula que tienen una vida mínima de 30 años.

El desgaste debido a oxidación es muy reducido, salvo en regiones húmedas o túneles, o con el empleo de balasto de escoria; son poco empleados para el asiento de aparatos de vía.

DURMIENTES DE CONCRETO ARMADO

En los durmientes de concreto se debe cuidar primordialmente para su construcción los siguientes puntos:

- 1.- Suficiente resistencia para soportar sin romperse o fisurarse los momentos flexionantes que se producen bajo los apoyos y en el centro.
- 2.- Ausencia de fragilidad, para no ser deteriorados durante el balastado y los sistemas de corrección de la vía en la conservación.
- 3.- Tener suficiente dureza en la sección de apoyo de los rieles para evitar posteriores disgregaciones.
- 4.- Utilización de un sistema sólido y sencillo para la sujeción del riel que no se afloje a consecuencia de las vibraciones.
- 5.- Una rigidez adecuada para transmitir uniformemente las presiones al balasto.
- 6.- La cara inferior debe ser rugosa, para evitar deslizamientos

longitudinales y transversales.

- 7.- Su fabricación debe ser próxima a los lugares de su utilización.

Las ventajas que se obtienen son las siguientes:

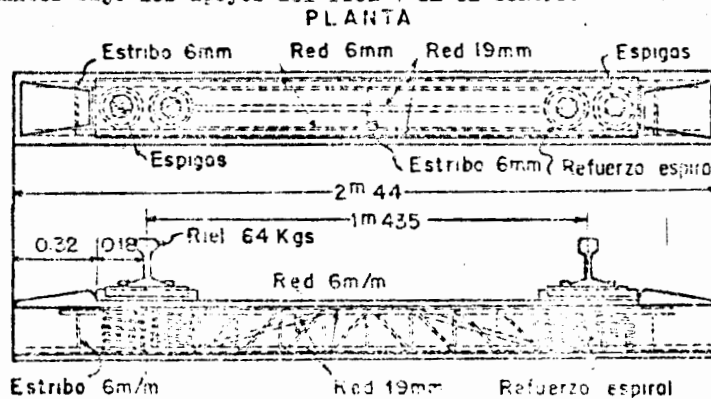
- 1.- Su duración es teóricamente indefinida ya que el concreto armado es casi insensible a los agentes atmosféricos.
- 2.- Gastos de conservación muy reducidos.
- 3.- Fabricación en zonas próximas a su empleo, con el consiguiente ahorro por transporte.
- 4.- Fácil reparación de los durmientes averiados.
- 5.- Incombustibilidad.

Sus principales defectos son:

1).- Tendencia a rupturas debidas a la fragilidad bajo el efecto de una carga aplicada bruscamente, repercutiendo en la formación de grietas en el concreto, zonas de apoyo del riel y en las inmediaciones de los puntos de fijación.

2).- Resistencia muy débil a fatigas, lo que se traduce en deslizamientos, después que la tensión por efectos de la tracción sobrepase de 400 kg/cm², continuándose en fisuras.

Los durmientes del tipo I o sea los que pueden resistir momentos flexionantes bajo los apoyos del riel y en el centro.



En la práctica han resultado mediocres, pues se disgregan y fisuran. En sus extremos posee un reborde que sirve para fijar sobre el riel por medio de una placa de asiento. En las cabezas se tienen dos perforaciones octagonales para introducir taquetes de roble creosotado de 7.5 cm de diámetro, destinados a recibir los tirafondos para sujetar el riel.

Además del armado longitudinal y vertical, tiene uno en forma de espiral que ayuda a recibir las presiones recibidas por conducto de los tirafondos.

Este tipo de durmientes está calculado para soportar cargas de 57.5 toneladas, incluido el importe.

Con respecto a los durmientes del tipo II, o sea de durmientes de sección reducida en el centro (ver dibujo en generalidades) o sea que es incapaz de resistir momentos flexionantes normales, por lo que su función es evitarlos. Estos momentos son en su mayoría a causa de un balastado excesivo en la zona central en relación a los extremos, esto es debido al demasiado martilleo por el continuo paso de trenes, ocasionando un desbalastado en las zonas externas y un sobrebalastado en la zona central. Después de uno o dos años el durmiente trabaja en su mayor parte por el centro. Para evitar este inconveniente es reducido en su parte central.

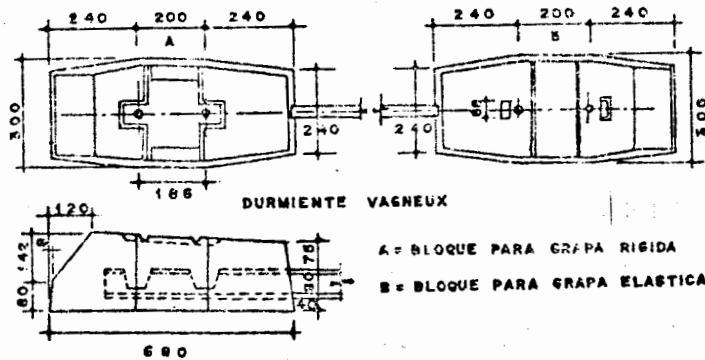
En la práctica a pesar de ser un todo rígido homogéneo no ha dado resultados favorables, ya que se rompen en su zona central a causa de su escasa sección.

Esta es la razón que en los durmientes del tipo III o mixtos, se sustituyen la parte central por una viga metálica, ya que esta no se rompe y da a la armadura la resistencia necesaria para soportar las acciones laterales, sin deformarse, a fin de conservar el escastillón.

Los durmientes de este tipo mas comunes son los VAGNFUY.

Este tipo tiene una viga de arena suficiente para mantener el al-

cho de la vía y la inclinación de los rieles, es además lo necesariamente — elástica para absorber efectos de torsión y flexión, debidos a la desigualdad del balastado bajo las cabezas de concreto.



Este tipo de durmientes se empieza a usar de una manera extensiva en líneas principales y soldadas.

Su longitud total suele ser de 2.24 mts, variando las dimensiones transversales de sus dos bloques de 70 cm por 25 a 35 cm de ancho y 20 a 23 cm de altura. Se hace indispensable protegerlo en su parte superior por medio de una placa de hule de 5mm de espesor o en su defecto por una de madera dura de 6 mm con el fin de evitar el contacto directo entre riel y durmiente. Su peso aproximado varía de 160 a 180 kg.

Puede sujetarse el riel por dos medios; con bloque para grapa rígida y con bloque para grapa elástica.

El perno-tiraafondo del sistema de fijación va atornillado en una funda metálica llamada. Garnición THIOLLIER y que se coloca al calor los bloques, teniéndose así una magnífica resistencia al arrancamiento que es de 15 ó 16ton. obtenidas estas mediciones por medio de un aparato llamado extractómetro.

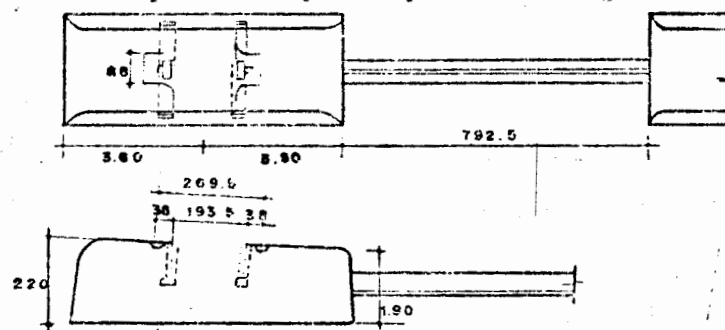
Una de las ventajas enormes de estos durmientes, es que se pueden

adaptar a diferentes tipos de rieles, con sólo cambiar las grapas.

Además el estado de compresión permanente a que están sujetos, -- permiten soportar cargas grandes. La flexión está fácilmente absorbida por la sección transversal las deformaciones son más pequeñas que en los durmientes comunes debido a la elasticidad de la zona central. Se evitan las grietas en las masas exteriores de concreto.

DURMIENTES DE CONCRETO SNCF/RS.

Estos durmientes son del tipo más usado dentro de los ferrocarriles franceses, de gran parecido con el tipo Vagnoux, continuados por dos bloques de concreto armado unidos entre sí por una viga T invertida con las dos alas curvas del patín con objeto de que escurra el agua.



DURMIENTE SNCF/RS

Las principales diferencias con el durmiente Vagnoux, son las siguientes.

- a).- Las dimensiones de los bloques extremos son 4 cm más largas y proporcionalmente 1 cm menos ancho y 2 cm menos alto.
- b).- Forma de la barra de unión de bloques.
- c).- Tiene parrillas de refuerzo tanto en la parte superior como en la inferior, con el objeto de absorber las tensiones provocadas al peso de los trenes.
- d).- Un mayor peso, puesto que llegan a ser hasta de 200 kg.

e).- El sistema de fijación ofrece una excelente ventaja ya que el perno se coloca prácticamente libre al introducirse en las cavidades que aparecen en los bloques de concreto, se hace girar 90° y con ello se engancha en unas estocaduras de la barra de unión. En cualquier otro tipo de durmiente prefabricado el perno va atornillado en una guarnición metálica que es más susceptible a aflojarse a causa de las trepidaciones.

En la práctica y a pesar de los buenos resultados obtenidos, su empleo no se ha generalizado y queda solamente limitado a los siguientes casos:

- 1.- A vías de trenes con una velocidad menor de 120 km/hora.
- 2.- A líneas cuyo radio de curvatura sea mayor de 800 m. de radio ($1^{\circ}25'$) y riel de gran longitud; para curvas menores hasta 500 mts de radio ($2^{\circ}17'$) deberán usarse con protectores elásticos.

DURMIENTES DE CONCRETO PRENSADO O PREESFORZADO.

Las ventajas constructivas que ofrecen estos durmientes son:

1.- Una mayor resistencia a esfuerzos producidos por la acción dinámica y que son de carácter alternativo. Esto se debe a que el durmiente siempre está sujeto a compresión.

2.- Ahorro de refuerzo puesto que en estos durmientes sólo se necesita 7 kg en lugar de 21 kg.

3.- Un menor espesor de durmiente, especialmente en el centro, lo que se traduce en ahorro de concreto, la razón es que en concreto prensado no hay necesidad de alejar lo más posible el refuerzo del eje neutro.

4.- Un menor peso del durmiente pues suele ser de 140 kg.

5.- Soporta las cargas sin que sufran grietas en su estructura.

Los durmientes de armadura preesforzada anclada tienen alambres gruesos de 5 mm a 7 mm. en una cantidad de 20 kilos, tensados por medio de

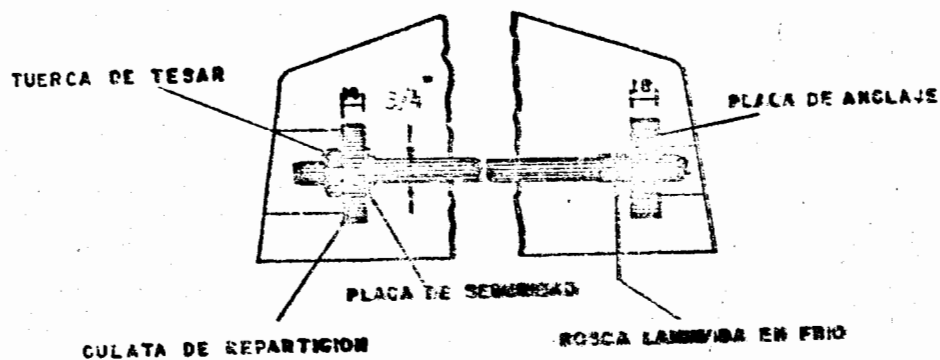
tensores de tornillos o de prensas hidráulicas. La tensión a que se sujeta se varía de 150 a 160 kg/cm^2 . Para lograr la adherencia requerida por medio de un anclaje simple se procede a cruzar los hilos de dos en dos en cada extremo cerrando este cruzamiento por medio de un alambre doblado en forma de "U", y se colocan estribos fabricados de acero dulce alrededor del refuerzo longitudinal ya que de esta manera protegen eficazmente al durmiente contra el agrietamiento.

Los pernos-tirafondos van atornillados en una guarnición metálica se emplean además las placas de hule entre durmientes y rieles.

El concreto utilizado es de alta resistencia (300 a 400 kg/cm^2) vibrándolo a velocidades de 7000 rev/min.

En el caso del preesforzado embebido, en lo que se emplean por lo general dos varillas de $3/4"$ de diámetro.

El durmiente es de sección trapecoidal, con un ligero vaciado en el centro. Su peso prometido es de 230 kg y se construye en longitudes de 2.30 m. y 2.40 m. Las cargas de tensión aplicadas son de 15 ton por varilla lo que proporciona al durmiente la suficiente capacidad para resistir en vías principales grandes cargas a velocidades altas.



No es necesario colocar refuerzo transversal ya que el cortante - puede ser absorbido con un concreto hasta de $f'_c = 180 \text{ kg/cm}^2$.

Los elementos adicionales a la varilla para lograr un buen tensado se pueden apreciar en el siguientes croquis.

La cantidad normal de durmiente por km en cualquier tipo es:

- 1).- 1722 para vías de primera categoría.
- 2).- 1666 para vías de segunda categoría.
- 3).- 1613 para vías de tercera categoría.

Con respecto al radio de curvatura:

Para vías de primera categoría:

- a).- 1722 para radios de curvatura mayores de 800 mts.

Para vías de segunda categoría

- a).- 1722 para radios de curvatura de 500 a 800 mts.
- b).- 1666 para radios de curvatura mayores de 800 mts.

Para vías de tercera categoría:

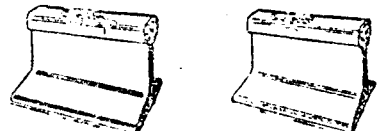
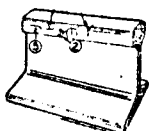
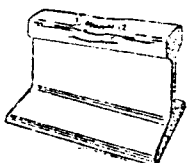
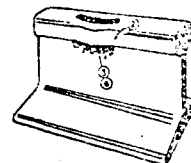
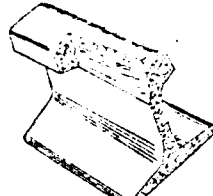
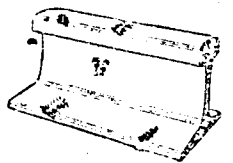

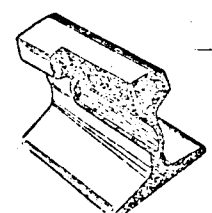
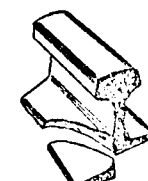
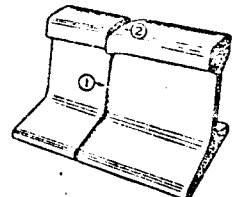
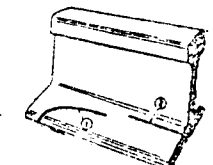
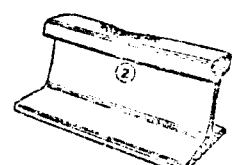
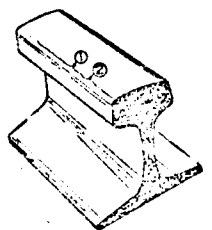
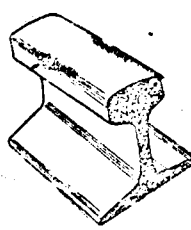
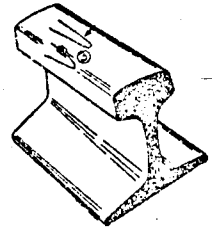
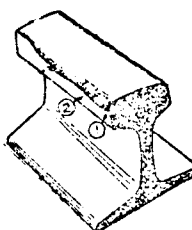
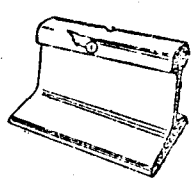
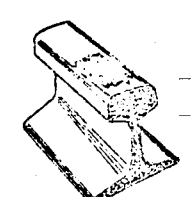
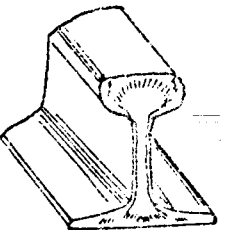
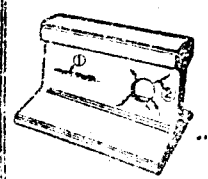
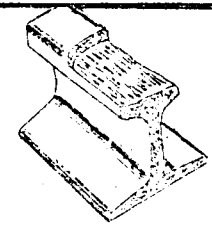
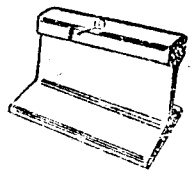
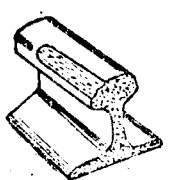
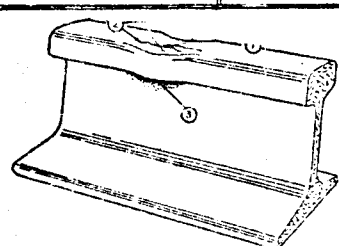
- a).- 1666 para radios de curvatura de 500 a 800 mts.
- b).- 1613 para radios de curvatura mayores de 800 mts.

RIELES.

El riel, cuya principal función es guiar y sostener el equipo de - transportación ha venido variando la longitud de acuerdo con estudios e investigaciones hechas recientemente. Se han logrado tramos de 800 mts. por medio de soldadura de aluminio térmica ejecutada por la vía.

En el capítulo I hemos explicado detalladamente el proceso de - fabricación del riel, pesos y dimensiones, su duración, pruebas a que esta sometido y defectos sufridos, deseando únicamente puntualizar los diferentes trastornos ocasionados en el riel ya sea por defectos de laminado o -- por haberlos sufrido en servicio.

La teoría relativa a dichas fallas es ocasionada por el efecto -

 <p>Lado de Encastillón. Lado Exterior. Apariencia de una fractura debida a una grieta de calor.</p>	 <p>Apariencia de los defectos transversales en el riel tendido.</p>	 <p>Falla horizontal en el riel.</p>	 <p>Apariencia exagerada de una grieta vertical del hongo en etapa avanzada.</p>	 <p>Apariencia General de una grieta vertical del hongo.</p>	 <p>Apariencia del ensaqueado de un riel en servicio.</p>	
 <p>Apariencia de una separación del hongo y el alma en un riel tendido.</p>	 <p>Apariencia del riel entubado.</p>	 <p>Apariencia general de una patia roto en servicio.</p>	 <p>Apariencia de una rotura angular o en angulo recto en el riel en servicio.</p>	 <p>Apariencia de un petio roto en el riel en servicio.</p>	 <p>Apariencia de un riel torcido en el riel en servicio.</p>	
 <p>Apariencia del desconche en el riel en servicio.</p>	 <p>Apariencia del descascarillado en el riel en servicio.</p>	 <p>Apariencia de los flecos en el riel en servicio.</p>	 <p>Apariencia del escurrimiento en el riel en servicio.</p>	 <p>Apariencia de los defectos de laminado en el riel en servicio.</p>	 <p>Apariencia de una muesca en el riel en servicio.</p>	 <p>Figura transversal en el riel.</p>
 <p>Apariencia del alma por estaca del riel.</p>	 <p>Apariencia de una grieta horizontal de un riel.</p>	 <p>Apariencia de una soldadura defectuosa en el riel.</p>	 <p>Apariencia del desconchado de un riel.</p>	 <p>Apariencia de su hongo aplastado en servicio.</p>	<p>FALLAS Y DEFECTOS EN RIELES</p>	

de aplastamiento de las cargas móviles, lo que da lugar a que se produzcan esfuerzos cortantes, sobre todo en el hongo del riel que sobrepasen la resistencia del metal y provoquen fisuras y agrietamientos.

Las principales fallas las podemos agrupar: en el hongo, alma y patines.

A continuación daremos una descripción de defectos, partes donde se localizan y clase de fallas. En el dibujo anexo se pueden apreciar claramente.

1.- Defectos transversales en el hongo.

a).- Fisura transversal

b).- Fisura compuesta

c).- Fractura de desconchado

d).- Fractura de escurrimiento

e).- Fractura por grieta de calor

2.- Defectos longitudinales en el hongo.

a).- Grietas horizontales

b).- Grietas verticales

3.- Defectos en el alma

a).- Separación del alma

b).- Alma agrietada

c).- Riel estufado

4.- Defectos del patín

a).- Patines rotos

5.- Riel dañado

a).- Rotura en el ángulo recto

b).- Riel torcido

c).- Riel empujado.

6.- Defectos en la superficie del hongo

- a).- Desconchado
- b).- Flecos
- c).- Riel quemado
- d).- Descarchado
- e).- Riel escurrido
- f).- Hongo aplastado
- e).- Defectos de laminado
- 7.- Defectos por soldadura
 - a).- Por personal no especializado
 - b).- Por material empleado

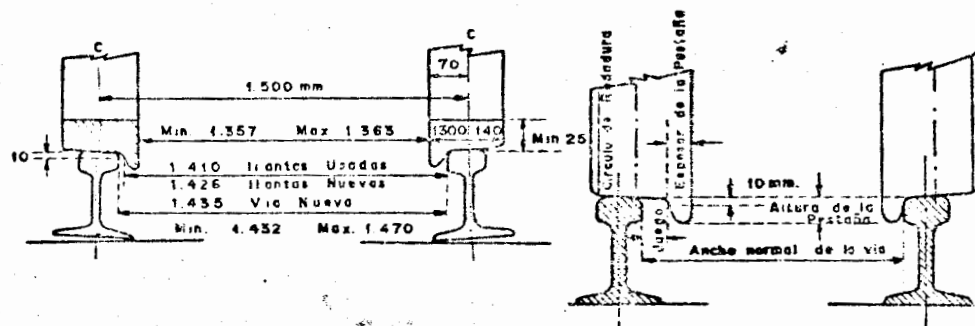
ANCHO DE VÍA.- En la construcción de la vía, el ancho normal de la misma debe conservarse en el tendido de tramos rectos, en las curvas debe aumentar el sobreaancho necesario.

Los rieles deben tener una cierta inclinación con respecto a la vertical que generalmente es de $\frac{1}{20}$, los americanos e ingleses adaptan $\frac{1}{40}$; la colocación vertical, según la experiencia ocasiona un desgaste oblicuo en el hongo del riel, aplastamientos en la zona interior de la cabeza del riel y un desgaste anormal de la llanta de la rueda. Los rieles por la razón --- antes vista tienden a tener un par de volteo que representa en el empuje de los tirafondos, y durmientes, éste efecto es aún más grave en las curvas.

Se tiene que dar una cierta tolerancia al ancho normal de la vía, puesto en la práctica no puede ser constante, surgen sobreaanchos, que provienen de desgastes del riel en su parte interior, torceduras de los tirafondos, o deslizamientos de durmientes; los estrechamientos de la vía suelen efectuarse por una inclinación anormal del riel o a la concidida de las llantas de las ruedas.

La tolerancia para el ancho de la vía, se mide en un plano inferior en 10 mm. al plano de rodadura.

Las tolerancias admitidas en línea recta son de 3 mm a 6 mm; en curvas suelen ser de 5 mm a 10 mm; en aparatos de vía son reducidos de 2 mm a 4 mm.



JUEGO DE VIA .- Además la separación entre rieles deberá contener un "juego de vías" que en cierta manera es independiente al ancho de vía, puesto que mide la distancia entre el plano exterior de las pestañas de las ruedas y el plano interior de los hongos del riel, medido en un plano a 10 mm abajo el plano de rodadura.

Su tolerancia oscila de 20 mm a 32 mm correspondiendo en primer termino a pestaña nueva y pestaña desgastada. Este juego es vital para la seguridad y suavidad en la marcha, si fuera demasiado grande, el movimiento senoidal del eje da lugar a un avance inestable y peligroso debido al ángulo de ataque entre pestaña y hongo de riel, si por el contrario fuera más pequeña la pestaña y el riel estarían con una presión constante que ocasionaría ruidos y podría dar lugar a un descarrilamiento.

En la figura anterior damos un ejemplo de las tolerancias admitidas para una vía de 1.435 m.

JUNTAS.- En lo referente a las juntas estas desempeñan una función vital en los cambios de temperatura, ya que los rieles varían de longitud al oscilar aquella al aumento de temperatura la longitud del riel crece, al disminuir

— aquella, ésta decrece, por lo que necesita poseer un correcto intervalo, ya que es el primer caso al quedar la junta pequeña, se produce al contacto de riel con riel una compresión exagerada, que propiciaría el corrimiento de la vía e irregularidades en el trazado de la misma; con respecto al segundo caso, siendo la junta más grande de lo debido, durante las bajas temperaturas se produce una contracción del riel que ocasionaría choques y saltos demasiado violentos de las ruedas, dando lugar a desnivelaciones en la vía.

Las temperaturas se toman con termómetros especiales que se adaptan a los rieles.

A continuación damos un cuadro de las juntas adaptadas por los ferrocarriles franceses para diferentes temperaturas y longitudes de rieles

TEMPERATURAS: °C	JUNTAS EN M.M. PARA LONGITUDES DE RIELES					
	6 m	8 m	10 m	12 m	18 m	24 m .
- 20 a - 10	5	7	8	10	15	21
- 10 a - 0	5	6	7	9	14	18
0 a 10	4	5	6	8	12	16
10 a 20	3	5	5	7	10	13
20 a 30	2	4	4	5	8	11
30 a 40	2	3	3	4	6	8
40 a 50	1	2	2	3	4	6
50 a 60	1	1	1	2	2	3
más de 60	0	0	0	0	0	0

Los ferrocarriles en México usan las siguientes juntas.

TEMPERATURA °C	99 juntas cmm por km rieles de 10.06 m	84 juntas por km rieles de 11.88 m.
17.8 a 3.9	4.8	6.4
3.3 a 10.0	3.2	4.8
10.6 a 23.9	3.2	3.2
24.5 a 37.8	1.6	1.6
mas de 37.8	0	0

Ya hemos dicho que la junta puede ser apoyada o suspendida en el aire, en el primer caso se apoya en un durmiente y en el segundo caso se lo caliza entre dos durmientes, siendo esta última la más empleada.

También pueden ser colaterales en los rieles, o cuatrapiadas.

Para aumentar la resistencia en las juntas que son los puntos débiles, se pueden hacer los siguientes procedimientos:

10.- Colocar bridas, o placas de unión entre rieles. Si es posible con una sección y longitud sobrada para obtener óptimos resultados.

20.- Reduciendo el espaciamiento de los durmientes inmediatos a los extremos del riel; llamados durmientes de juntas y si es posible también el de los durmientes siguientes, denominados durmiente de contra junta.

30.- Emplear los dos procedimientos anteriores simultáneamente.

RIEL CONTINUO.- La vía sin juntas tiene grandes ventajas en lo referente al ahorro de durmientes, bridas y materias de vía en general, así como en gastos de conservación.

Si la vía es eléctrica el empleo de rieles largos permite suprimir las juntas eléctricas entre rieles proporcionando una excelente conducción.

Las juntas siempre han sido el punto inicial de la destrucción de la vía, por lo tanto una vía sin juntas tendrá mucha mayor protección y duración.

Rebasado el límite normal en la longitud del riel se hace necesario la soldadura de los mismos, pudiendo ser ésta por fusión o a presión.

En la soldadura por fusión se colocan los extremos del riel a -- distancia de 10 cm., encerrando esa junta con un molde de arena especial para recibir el metal líquido a base de termita, pudiendose agregar para mejorar la aleación, silicio, manganeso, cromo, etc.

La resistencia de la junta así formada es de 60 a 90 kg/mm², o sea que rebasa la resistencia de los aceros normales para rieles comunes. Este procedimiento se usa principalmente en rieles de alta proporción de -- carbono y en los usados; ésta soldadura sin embargo se pueden formar fisuras como producto de los choques al trabajar un acero extraño, por lo que se aconseja el si proceso.

La soldadura a presión en prensa se utiliza de preferencia cuando pueden acercarse libremente los rieles; el metal fusionado se introduce por la parte inferior del riel, colocando sobre la cabeza una lámina de acero dulce de 2 a 3 mm de espesor que se sujeta con una prensa. El hierro líquido solda así el patín y alma; rellenando despues la junta entre ambos -- rieles, las escorias líquidas que flotan envuelven las cabezas de los rieles y elevan su temperatura así como la placa intermedia a la de la punta roja blanco; oprimiendose los rieles uno contra otro por medio de una prensa de mordazas se logra así la soldadura.

Las ventajas constructivas que se logran son:

- 1.- Un movimiento más suave, que se traduce en comodidad para -- vehículo de pasajeros.

2.- Mucha mejor conservación del equipo móvil; al reducirse las trepidaciones se evitan desgastes que significan economía, especialmente en equipos eléctricos.

3.- Economía en rehabilitación, ya que pueden ser utilizados los rieles usados.

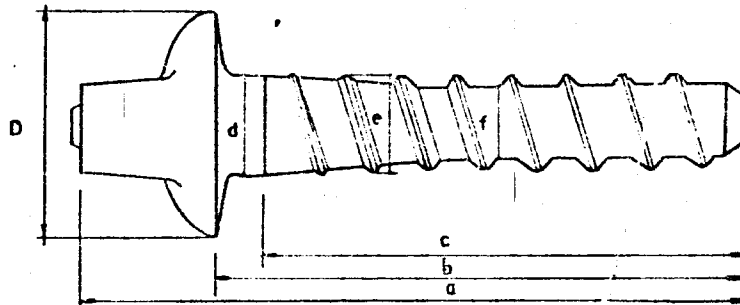
4.- Economía por obtenerse una mejor vida media para el riel, como consecuencia de anular las juntas.

5.- Mayor conductibilidad del riel con menor consumo de energía.

6.- Un más fácil y seguro uso de señales.

ACCESORIOS.- Se les da el nombre de accesorios de vía de los elementos que sirven para su fijación, funcionamiento y conservación.

FIJACION DEL RIEL.- Este es uno de los problemas más serios que afronta la técnica. En nuestro país para durmientes de madera, se utilizan la mayoría de las veces clavos que deberían ser sustituidos por tornillos a los que se les da el nombre de tirafondos; tienen forma cónica y logran un apriete desde las fibras inferiores hasta las superiores, siendo que el clavo sólo proporciona un apriete imperfecto entre el patín del riel y durmiente, aunque conservan por su rigidez lateral el escantillón de la vía.



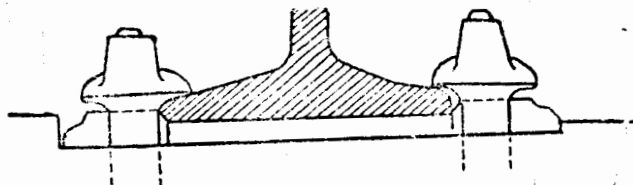
Los tirafondos por su apriete energético presentan una sólida resistencia a los corrimientos, choques y frenajes violentos sobre todo en pendientes, en las cuales se necesitaba además del clavo unas anclas.

A continuación damos una tabla con sus dimensiones más usuales, en mm.

TIPO	a	b	c	d	e	f	D
21 x 135	166	135	155	23	21	14	52
23 x 115	146	115	105	23	23	16	47
23 x 135	166	135	115	23	23	16	52
26 x 115	146	115	110	26	26	13	52
26 x 140	171	140	110	26	26	13	52
23 x 135	166	135	95	23	23	varia	52
26 x 115	146	115	95	26	26	varia	52
26 x 130	161	130	95	26	26	varia	52

El tirafondo se puede emplear directa e indirectamente.

Una forma directa, en la cual el riel reposa sobre el durmiente es practicando un entalle en éste para encuadrar perfectamente y evitar la inclinación de los tirafondos.

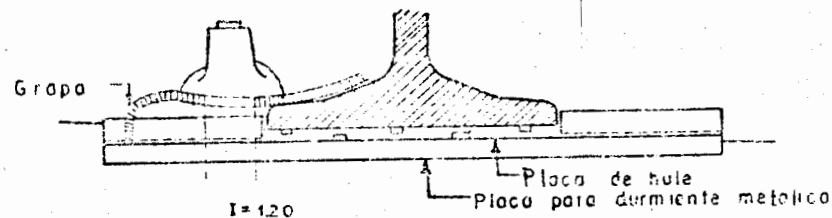


INCLINACION 1:20

Una de las formas que se emplean indirectamente, es reposar el riel sobre una placa elástica interpuesta entre aquel y el durmiente con el objeto de repartir uniformemente las cargas y evitar la destrucción del entalle.

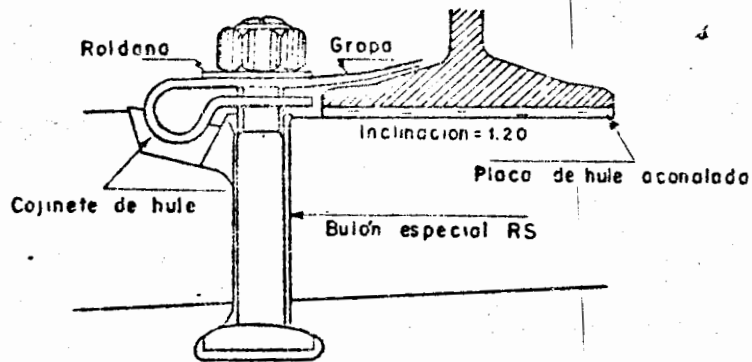
Las formas anteriores son de fijación rígida, ahora mostraremos otros empleos indirectos, pero elásticos.

Cuando se trata de colocar el riel sin placa metálica, para sustituirla por una de hule se hace necesario una grapa elástica, apoyada en uno de sus extremos en el patín del riel y el otro en una ranura de una plaqueta metálica empotrada en el durmiente o en una ranura que posee la misma placa elástica.



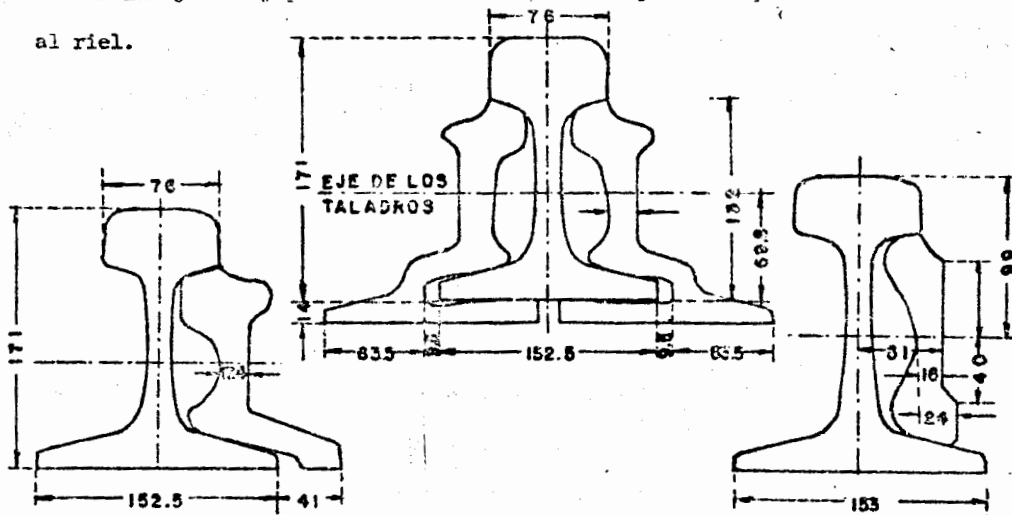
En los durmientes SNCF-RS, VAGNEUX o PRETENSADOS se utiliza una grapa especial constituida por una lámina de acero de resorte y con dos alas recurvadas, la más grande de éstas queda apoyada en dos puntos del patín haciendo presión. La diferencia entre los sistemas PRETENSADO y VAGNEUX del SNCF-RS estriba en el perno tirafondo.

A continuación damos un diagrama del sistema SNCF-RS que es más práctico.



Para el buen funcionamiento del riel se utilizan las planchuelas y los juegos de dilatación como accesorios.

Las planchuelas como hemos dicho anteriormente sirven para reforzar las juntas y pueden tener los siguientes perfiles que van simétricos al riel.



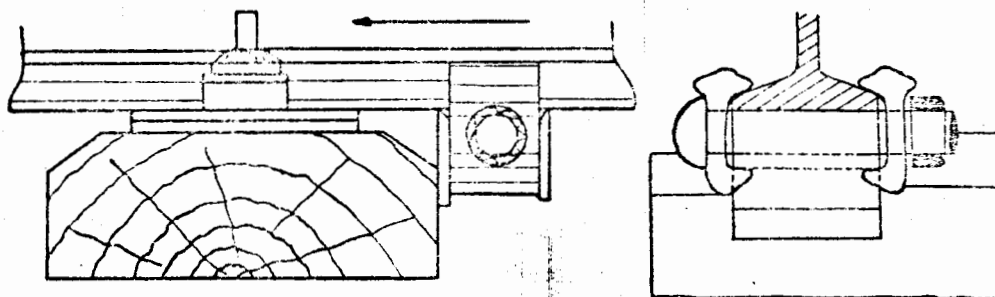
Los juegos de dilatación especiales se colocan a cada extremo de los puentes, túneles y viaductos a distancias de 20 mts. en el primero y a 100 mts. en los últimos, una figura ilustrativa se observa en la pag. 30.

Para la conservación de la vía correctamente nivelada y se evi-

ten corrimientos que pueden ser del orden de 20 a 25 cm., se utiliza el siguiente accesorio.

El evitarlo puede acarrear gastos elevados.

Su colocación sencilla esta dispuesto de acuerdo para vías en un sólo sentido y la doble para vías en ambos sentidos.



Por último haremos mención que para conservar engrasados los rielos y pestañas de ruedas es conveniente utilizar una caja lubricadora automática que protege aproximadamente 1 km. de vía.

Aplica el lubricante al peso del tren y de su aplicación derivan las siguientes ventajas:

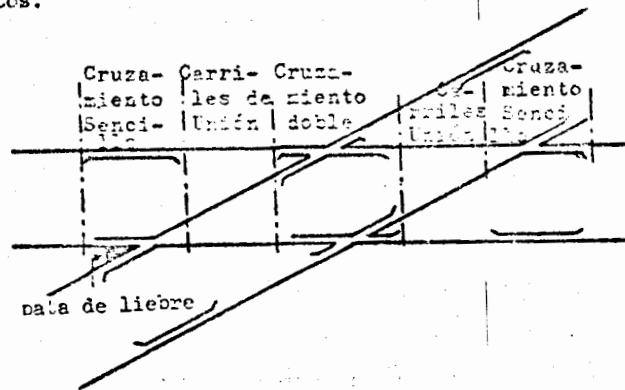
- a).- Reducción de los desgastes de llantas y rielos.
- b).- Reducción de la resistencia a la tracción en curvas, lo que aumenta la carga remolcada.
- c).- Reduce el peligro de descarrilamiento a elevadas velocidades, debido al existido desgaste de las pestañas.
- d).- Reduce las rectificaciones del escantillón.
- e).- Reducción de rectificaciones en las curvas se instalan a 20 ó 30 mts. de la entrada de la curva.

APARATOS DE VIA.- Tienen como objeto realizar ya sea cruces o desvíos, aún cuando adquieren formas diversas se pueden clasificar en dos aparatos fundamentalmente.

1.- El desvío sirve para salir o entrar de una vía a otra.

2.- El cruce sirve para realizar el cruzamiento de vías.

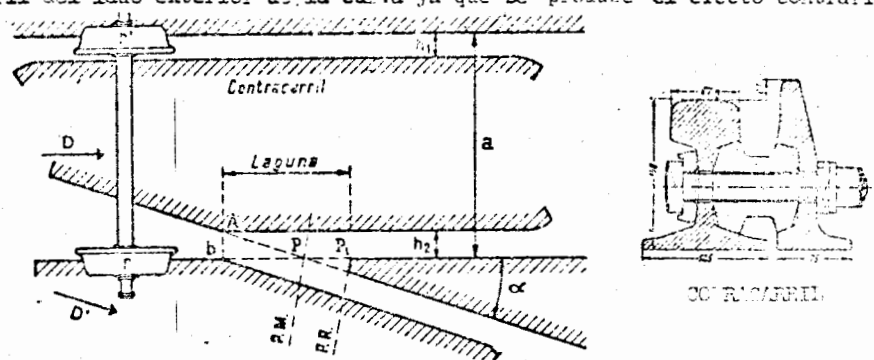
Para efectuar los movimientos anteriores se emplean los cambios y los cruzamientos.



De la figura anterior podemos ver que los cruzamientos pueden ser sencillos o dobles, presentándose en ellos las llamadas lagunas entre las puntas del cruce y los extremos de los rieles cortados, las cuales se evitan por medio de piezas especiales que reciben el nombre de "patas de liebre" y "sapos" y los contracarriles correspondientes. Estas piezas pueden fabricarse, principalmente las que tienen puntas en aceros especiales, ya que son las partes más débiles del cruzamiento sujetas a impactos de las ruedas durante la travesía.

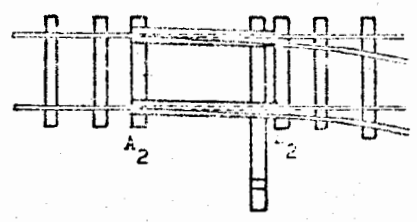
CONTRACARRILES.- Sirven principalmente para reforzar a la vía en las curvas, en los cruzamientos y en los desvíos, se construyen generalmente con rieles ordinarios y se colocan a una distancia del riel principal, necesaria para evitar rozamientos y al mismo tiempo asegurar el escantillón de la vía. En las curvas en las que la sobreelevación ha sido calculada para una velocidad media, los trenes rápidos tienden a apoyarse en el

riel exterior, por lo que conviene colocar un contracarril del lado interior de la curva y para los trenes pesados conviene colocar el contracarril del lado exterior de la curva ya que se produce el efecto contrario.



CAMBIOS.- Sirven para separar de una vía otra, también se llama a los cambios agujas. Los cambios sencillos son los más empleados durante la construcción de la vía.

Constan como muestra la figura, de dos juntas libres que se pueden separar de la vía principal y ponerse en contacto con los nuevos rielos, tienen el defecto de que cualquier circulación en la vía principal descarrilaría el tren, por este motivo sólo se emplean en vías secundarias.



C A M B I O

AGUJAS Y CONTRA-AGUJAS.- Las agujas son piezas que rectifican libremente hasta adaptarse a sus contra-agujas correspondientes para hacer el camino continuo, pueden construirse con riel ordinario lo cual no es muy recomendable porque forman piezas muy débiles, o bien con aceros especiales en los casos de tráfico intenso.

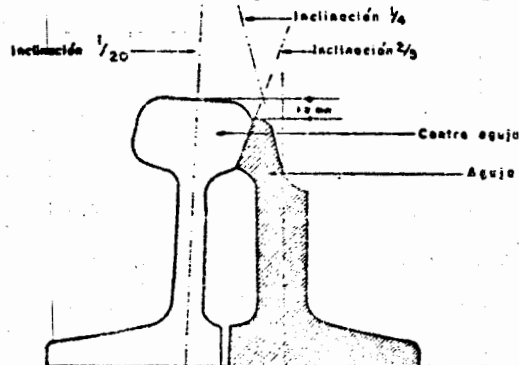
Existen agujas rectas y curvas, siendo recomendable el empleo de agujas con ángulos de desviación β de 25' a 40' para las líneas de gran ve-

locidad y hasta de 1.5° para las de menor tráfico.

(1) Las agujas suelen ser de dos tipos: articuladas y flexibles.

Siendo las primeras de una longitud entre 3 y 5 mts y - las segundas entre 7 y 17 mts.

Las agujas se construyen generalmente con perfiles especiales de menor altura y mayor robustez lateral y en aceros al manganeso.



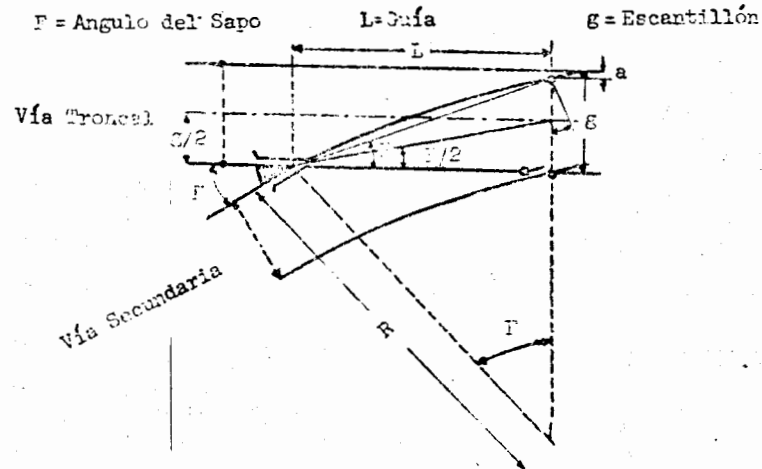
El escantillón entre las agujas debe de estar de acuerdo con el radio de curvatura de los ruelos guías, pero en general se somete a las siguientes cifras.

Escantillón	Radio
1.437 m.	≥ 300 m.
1.445 m.	300 a 175 m.
1.455 m.	≤ 175 m.

Además el siguiente cuadro nos señala las relaciones que deben existir entre radio de curvatura, longitudinal de agujas y número del sapo como se emplea en Europa (dado por la tangente del ángulo de cruzamiento) y la velocidad permisible para su cruce.

Desviación	Radio m.	Long. Aguja m.	No. del Sapo	Vel. Perm. km/h.
1°	190	9	8	30
25'	190 a 250	9	8 a 10	40 a 50
	600	12	12	70
	2000	15	20	100
1'	3000	16	300	130

CALCULO DEL NUMERO DEL SAPO.- Partiremos del caso más general o sea cuando de una vía en tangente, se desprende otra, que comienza con una curva circular.



Por definición tenemos lo siguiente:

$$\cot F/2 = \frac{L}{g/2} = 2n \quad L = \cot F/2 \cdot g/2$$

n = No. del sape

$$a = g/2 - R/2 \cdot \cos F$$

$$g = a + R - R \cdot \cos F$$

$$g = g/2 - g/2 \cos F + R - R \cdot \cos F$$

$$g = g/2 \cdot (1 - \cos F) + R (1 - \cos F)$$

sabiendo que:

$$\text{sen vers } F = 1 - \cos F$$

nos resulta :

$$g = \text{sen vers } F \cdot (g/2 + R)$$

$$\therefore R = \frac{g}{\text{sen vers } F} - g/2$$

Para realizar el cambio, la parte móvil se desplaza un espacio - hacia abajo en el interior de la línea secundaria.

NOTA: - Para fines prácticos conviene considerar:

$$R = \frac{E}{1 - \cos F}$$

de donde podemos obtener el radio del sapo.

Ejemplo:

Si $n = 10$, se dice que el sapo es número 10 y también que el cambio es número 10. Emplearemos escantillón de 1.435 m.

$$\cot F/2 = 2n = 20$$

$$\therefore F = 5^{\circ} 42' 30''$$

aplicando entonces la fórmula correspondiente tenemos:

$$R = \frac{E}{\text{sen vers } F} - \frac{E}{2}$$

sustituyendo valores:

$$R = \frac{1.435}{\text{sen vers } 5^{\circ} 43' 30''} - 0.717$$

\therefore el radio $R = 286.543$ M.

Cuando se sale de una vía troncal en recta, como en este caso, es sencillo como hemos visto, conocer los elementos de la curva teniendo el número del sapo.

En los cambios nunca se ponen espirales ni se dan sobre-elevaciones, porque cuando un tren entra por el cambio, pasa a velocidad muy reducida.

La siguiente figura muestra los elementos numéricos y geométricos de un cambio número 10 de vía ancha, con los cuales se traza el cambio, para lo cual se emplea una curva simple, se intercala una pequeña tangente y luego otra curva simple en sentido contrario. La curva simple teóricamente comienza en el PC pero por razones prácticas la nueva vía no puede comenzar exactamente en ese punto debido al espesor que tienen las puntas de las

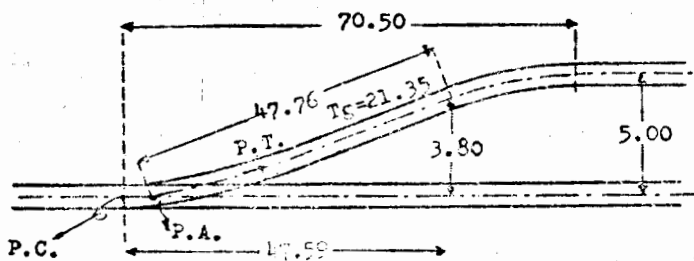
agujas.

El punto donde comienza materialmente la nueva vía, se llama : "punto de agujas", a la abeccion mínima que se dá entre 2 vías en la parte del cambio se le llama "punto de libraje" y señala el punto desde donde pueden dejarse los carros en la vía secundaria.

La distancia mínima reglamentaria en nuestros ferrocarriles para vías paralelas es de 5 mts. entre ejes.

Los cambios más empleados en nuestro país, son el número 10 cuando se sale de una vía troncal; el número 9 cuando se sale de una vía de menor importancia y el número 8 que son los usados en los patios.

Daremos a continuación las dimensiones de esos cambios:



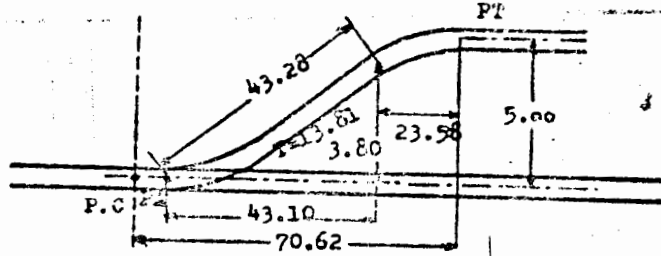
CAMBIO No. 10

$R = 285.54$

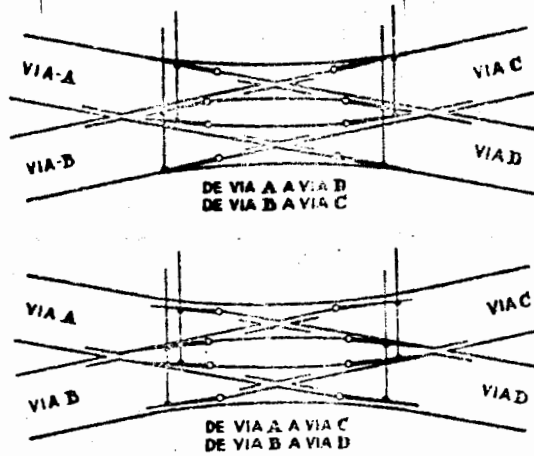
CAMBIOS		No. 10	No. 9	No. 8
Angulo de sape	F	5°43' 29"	6°21' 35"	7°09' 10"
Angulo de agujas		1°45' 03"	1°45' 03"	1°45' 03"
Dist.de punta de aguja a puntas práctica del sape.		23.546 m.	22.00 m.	20.260 m.
Dist.de punta de agujas a punto de libramiento por la vía principal.		17.59 m.	43.10 m.	38.98 m.
Dist.de punta de agujas a punto de libramiento por el lado.		77.76 m.	43.23 m.	39.17 m.

es
nú
io
a-
cos
pa
y
ite
n--
las

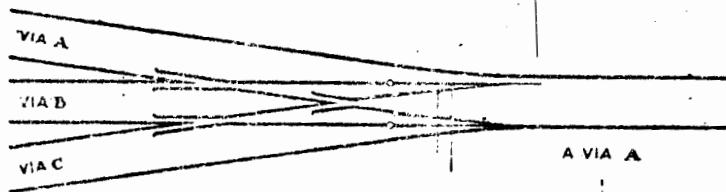
Damos ahora el esquema de un cambio Núm. 9 .



Además de los enlaces para vías paralelas que hemos visto, existen otros aparatos como las travesías, sirven para dar paso a dos vías que se cortan transversal o perpendicularmente, y puede ser en recta o curva, según la configuración de las vías que se cruzan.



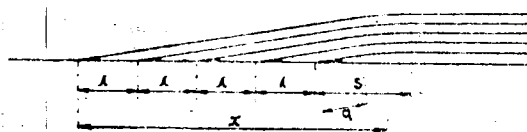
Otro tipo de aparato muy utilizado es el cambio de tres vías, que se utiliza en estaciones con espacio reducido, lo cual impide colocar los cambios derivados de una vía, unos a continuación de otros, por lo que hay necesidad de efectuarlos con un sólo aparato, este cambio de tres vías, da 3 direcciones diferentes con sólo dos cambios.



En estaciones ya sea para empalme, clasificación o formación de trenes, las vías se ramifican formando haces de vías o peines, generalmente paralelas, esenciales para realizar maniobras, formación o descomposición, carga o descarga, recepción o expedición de trenes.

Estos haces o peines, se dotan de los accesorios necesarios para el paso de unas vías a otras del mismo haz, el cruzamiento de todos o parte de ellos y el enlace con otros peines próximos o con las vías de maniobra, de entrada o salida de la estación.

Su desarrollo se debe basar en la superficie disponible y ver que el paso de unas a otras vías sea del menor recorrido posible, para reducir su tiempo y costo. Su disposición puede ser de dos tipos: empleando una transversal recta o una transversal curva. (Ver figura).

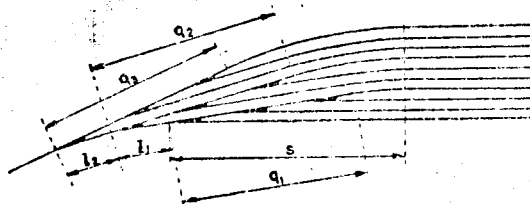


PEINE SOBRE TRANSVERSAL RECTA



PEINE SOBRE TRANSVERSAL CURVA

También se pueden lograr combinaciones entre transversales rectas y curvas. (Ver figura).

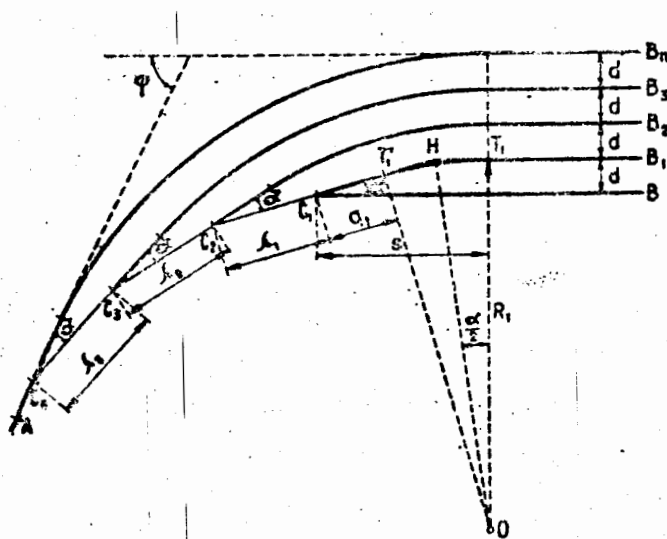


PEINE DE COMBINACION SOBRE UNA TRANSVERSAL CURVA

Calcularemos ahora un peine curvo. Sea una vía en curva $A B_n$ de radio R_n , sobre la que se desea construir un haz formado por dicha curva y n vías desviadas, cuyo centro sea la curva $A B_1$.

Descubriendo n arcos de círculo de radios decrecientes y distantes d entre ejes, el valor del último radio, será:

$$R_1 = R_n - (n-1) \cdot d$$



La construcción se reduce a trazar las rectas $C_n C_3$, $C_3 C_2$, $C_2 C_1$, etc., que forman con las tangentes a dichos círculos un ángulo α constante.

Si λ = distancia entre agujas de dos cambios sucesivos y si R , es el radio del círculo tangente a las vías directas de los tres primeros cambios tenemos que λ es prácticamente la longitud L de uso de los cambios y tenemos finalmente:

$$L = \lambda \quad \therefore L = R_1 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$R \text{ mín.} = \frac{L}{2} \left(\operatorname{cotg.} \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$S = d \operatorname{cotg.} \alpha + R_1 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$a_1 = \frac{d}{\operatorname{Sen} \alpha} - R_1 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

CLASIFICACION DE LAS LOCOMOTORAS.

POR SU TRACCION:-

1.- LOCOMOTORAS DE VAPOR, con quemadores para leña, carbón o petróleo.

Las primeras están desapareciendo rápidamente, quedando en servicio las de quemadores de petróleo inyectado a presión, en algunos países europeos aún existen locomotoras que queman carbón pulverizado.

Las locomotoras de vapor que nos dan la impresión de clásica potencia son las más antieconómicas.

2.- LOCOMOTORAS DIESEL ELECTRICAS.

Constan de un motor de combustión interno tipo Diesel, que sirve para generar energía eléctrica, con la cual se accionan motores también eléctricos adosados a las ruedas tractivas, son con las que cuenta en su mayor parte nuestra red de ferrocarriles.

3.- LOCOMOTORAS DIESEL HIDRAULICAS.

Se diferencian de las anteriores por su sistema de transmisión más efectiva y de menos peso, su empleo comienza a generalizarse.

4.- LOCOMOTORAS ELECTRICAS.

Son las más potentes y económicas, así como las más veloces, por lo cual marcan el futuro de la técnica ferroviaria ya que pueden tener potencia hasta de 5000 H.P, y alcanzar velocidades en operación de 250 Kms. por hora, con un peso propio que es el más bajo de las locomotras antes enumeradas.

POR SU TRABAJO:-

1.- LAS LOCOMOTORAS DE PATIO, que tienen carretillas traseras y delanteras, con el objeto de tomar fácilmente los cambios en un sentido o en otro, con potencia adecuada para mover carros y formar trenes.

Potencia 1000 H.P. aproximadamente.

2.- LOCOMOTORAS DE PATIO-CAMINO, también tienen carretillas delanteras y traseras y permiten la formación de los trenes y su arrastre entre poblaciones y tráfico medio.

Potencia 1500 H.P. aproximadamente.

3.- LAS LOCOMOTORAS DE CAMINO, que se emplean para jalar trenes pesados y sólo tienen marcha hacia adelante.

Potencia 2000 H.P. en adelante.

Esta clasificación incluye a las locomotoras de vapor y Diesel, en tanto que la clasificación por ruedas generalmente se aplica a las de vapor, ya que las Diesel no tienen carretillas delanteras ni traseras por lo que su clasificación sería así:

Ejemplo.-

0-4-4-0

0-6-6-0 que explicaremos enseguida:

POR SUS RUEDAS:-

Emplearemos el sistema WBYTE en el que la primera cifra representa el número de ruedas en la carretilla de guía, la intermedia el número de ruedas motrices y la última el número de ruedas de la carretilla trasera.

Ejemplo: 4-6-2 que nos indican que la locomotora "Tipo Pacific" tiene:

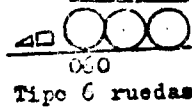
4 ruedas pequeñas que forman su carretilla delantera.

6 ruedas motrices colocadas en tren de eje o pares y por último

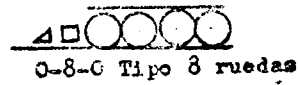
2 ruedas pequeñas que forman carretilla trasera.

TIPOS DE LOCOMOTORAS DE VAPOR

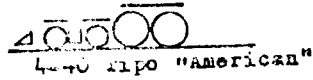
Clase "B"



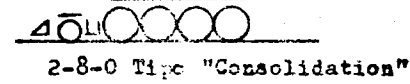
Clase "C"



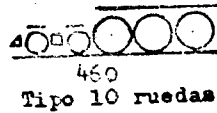
Clase "D"



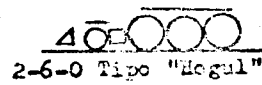
Clase "G"



Clase "F"



Clase "E"



Clase "H"



En este tipo los dos trucks de motrices son independientes, pueden formar un ángulo sobre la vía.

Clase "I"



Clase "K"



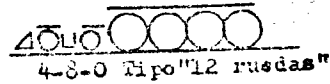
Clase "L"



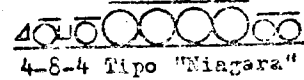
Clase "N"



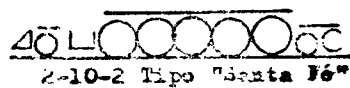
Clase "P"



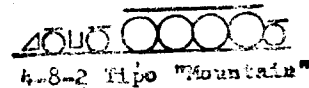
Clase "Q"

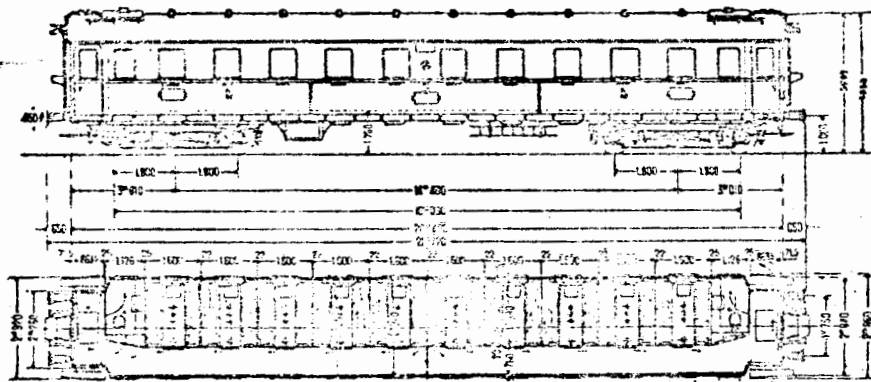


Clase "S"

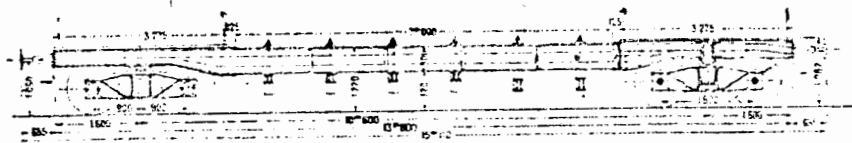


Clase "T"

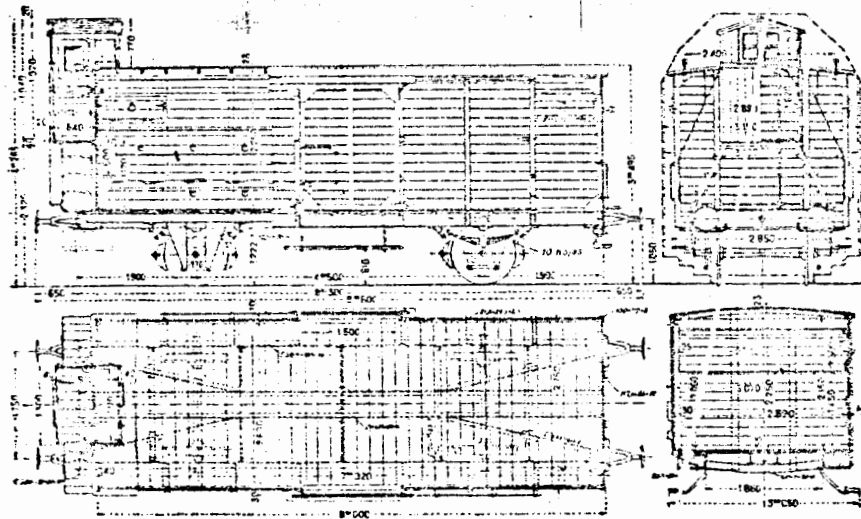




COCHE DE PASAJEROS FRANCES 80 plazas 80 tons.



VAGON DE GRAN CAPACIDAD (30 a 50 tons) PARA TRANSPORTE MONTADO SOBRE CARRETONES.

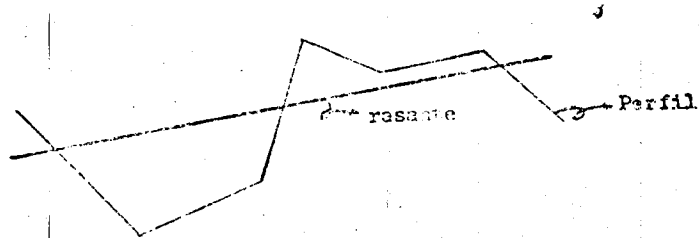


VAGON CERRADO CON GARRITA.

PERFIL VIRTUAL

En el proyecto de una vía férrea podemos considerar tres tipos de perfiles:

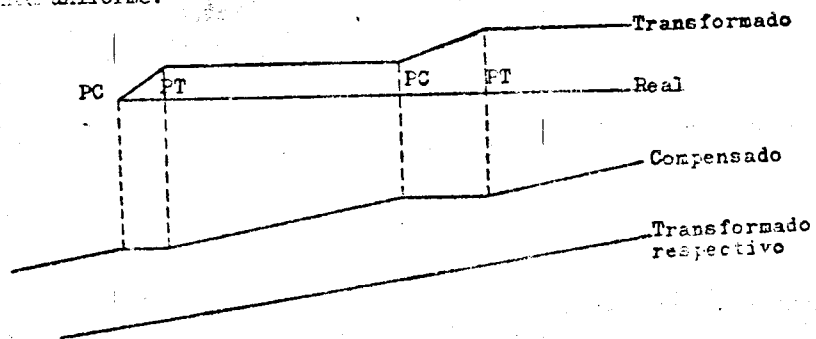
A).- El perfil Real o Topográfico dado por la rasante.



B).- El Perfil Transformado, que se obtiene sumando a la pendiente topográfica dada por el Perfil Real, el resultado de multiplicar 0.05 -- por el grado de curvatura de la curva circular central. Lo anterior se debe a que en las curvas la fricción aumenta entre rieles y ruedas, que son -- rígidas entre sí y por lo tanto la rueda exterior en una curva va resbalando mientras la rueda interior gira apoyada a la vía.

El Perfil Transformado por lo tanto mostrará rampas en un perfil Real horizontal.

Para construir una línea de perfil compensado se traza en el terreno un perfil que deberá ser abatido en la cantidad de 0.05 mC, con el objeto de que cuando se trace el perfil Transformado se tenga una línea de pendiente uniforme.



* C).- Perfil Virtual ó Perfil de Velocidades.- Es un diagrama que se construye sobre el perfil Transformado, llevando a cadenamientos prefijados y a partir del perfil Transformado ordenadas de longitud proporcional a la carga de velocidad..

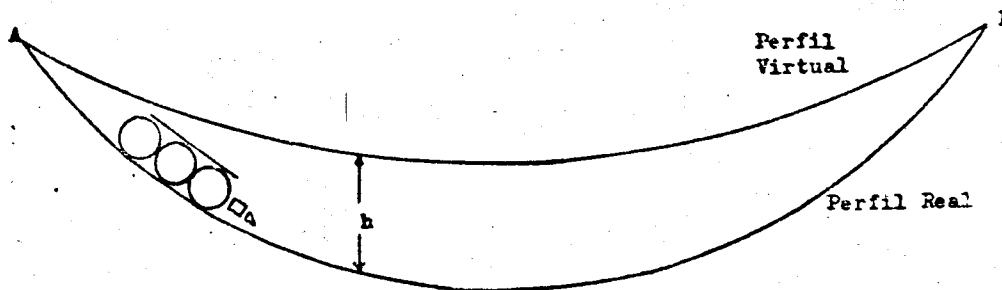
$$h = v^2 / 2g$$

correspondientes a un tren en movimiento.

El Perfil Virtual depende del tipo de locomotora y tren de arrastre, por lo tanto una misma locomotora podrá trazarnos diferentes perfiles virtuales para distintos tonelajes movidos. El Perfil Virtual también depende del punto de donde arranque un tren y así no será el mismo para el arranque de un tren en subida que para el mismo en bajada. *

En resumen cada tren tiene un perfil Virtual propio y distinto a los demás porque se mueve en condiciones diversas.

Estudiemos un tramo de Perfil Real.-



Vamos a suponer que el tren se arranca en "a", el maquinista habre su regulador, los cilindros admiten vapor y la fuerza tractiva hace que el tren se ponga en movimiento venciendo la inercia del conjunto. La gravedad ayuda al tren y este comienza a incrementar su velocidad.

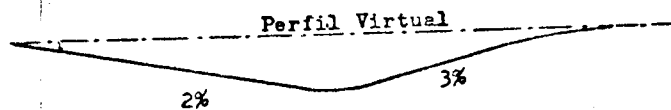
De la definición de Perfil Virtual se concluye que éste se irá separando del perfil Real. Si se frenara y disminuiría y el Perfil se acer-

caría al real. Si y permanece constante, el Perfil Virtual se hace paralelo al Real ya que la carga h es constante. Si el tren se detiene, el Perfil Virtual tocará al Perfil Real, ya que h será igual a 0.

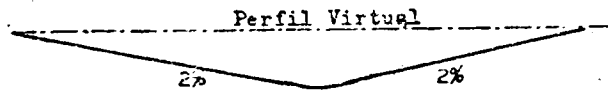
De lo anterior podemos concluir que la pendiente que limita el tonelaje de un tren, no es aquella numéricamente mayor, sino la que haga mínimo el Perfil Virtual.

Estudiaremos los casos:

CASO "A".- En este vamos bajando con el 2% y luego subimos con el 3% en un tramo corto. Debido a la carga de velocidad el Perfil Virtual no llega a tocar el Perfil Real y por lo tanto el tren logra ascender la rampa total y pasar la cima.



CASO "B".- LA rampa de subida es del 2% menor a la anterior, pero más larga, por lo que la carga de velocidad va disminuyendo y los perfiles se tocan, lo cual indica que el tren se detendrá sin subir la cuesta.



Por lo anterior se concluye que una locomotora dada con su tren puede perfectamente vencer una pendiente numéricamente fuerte, si su longitud es corta. Esto es importante para el localizador y proyectista, que deberán considerar que lo limitativo de una pendiente radica no solamente en su valor numérico, sino también en su longitud, pudiéndose construir tramos

que excedan a la pendiente gobernadora, si en ellos el Perfil Virtual pasa la cima, lográndose reducir las terracerías y acortar los desarrollos por medio de este artificio.

CALCULO DEL PERFIL VIRTUAL

Para realizarse estudiaremos las fuerzas que intervienen:

- 1.- Fuerzas pasivas o Resistencias y
- 2.- Fuerzas activas o Tractivas.

RESISTENCIAS PRINCIPALES

- a).- Al movimiento
- b).- Por pendiente
- c).- Del aire
- d).- De la vía en curva.

a.- AL MOVIMIENTO. - Esta resistencia tiene un valor de 1 kg. por cada 250 kgs. de peso, es decir que una tonelada puede ser movida con una fuerza tractiva de tan sólo 4 kgs. en una vía horizontal correcta y con un equipo normal. Este mínimo de fuerza tractiva por tonelada pone al ferrocarril en magníficas condiciones de economía ya que si se transporta sobre llantas neumáticas y pavimento se requiere una fuerza tractiva cinco veces mayor, es decir de 20 kgs., por cada tonelada movida.

Ejemplo: Un tren de 20 carros de 50 toneladas cada uno requeriría una fuerza tractiva en el arranque de f_1 para los carros más f_2 para la locomotora, de un peso de 241.8 tons.

$$f_1 = \frac{50,000 \times 20}{250} = 4,000 \text{ kgs. } \approx 10,000 \text{ lbs.}$$

$$f_2 = \frac{241,800}{250} = 967 \text{ kgs. } \approx 2,000 \text{ lbs.}$$

TOTAL12,000 lbs. (4967 kg.)

Una locomotora de vapor T. R.-3 4-8-2 con una fuerza tractiva

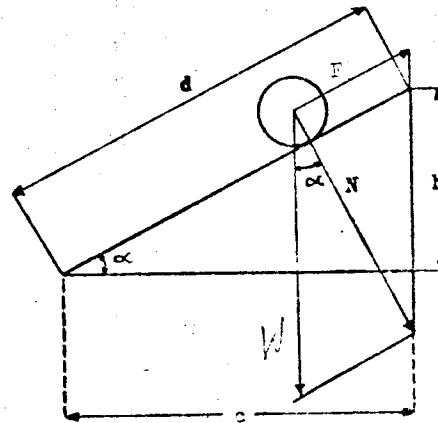
en el arranque de 44,079 lbs. tendremos fuerza suficiente para vencer la resistencia movimiento, poner en marcha el tren y propiciar su aceleración.

b. - POR PENDIENTE. - Mejor dicho por rampa, se presenta esta resistencia en las subidas.

W = peso

N = Presión normal contra el riel.

F = Fuerza requerida para mantener en equilibrio la mancuerna o hacerla subir con velocidad uniforme, considerando que la resistencia al rodamiento es nula se tiene:



$$\frac{F}{W} = \frac{h}{d} \therefore F = W \frac{h}{d}$$

Teniendo en cuenta que en ferrocarriles las pendientes son menores del 10%, podemos considerar $d \approx c$, con un error numérico de un centésimo, por lo tanto:

$$F = \frac{Wh}{c} = W \times \text{Pendiente}$$

Si la pendiente es del 1% se tendrá:

$$F = W \times \frac{1}{100}$$

En el caso de los ferrocarriles se da W en toneladas de 2,000 lbs de ahí que $F = 20$ lbs. por cada 1% de pendiente y por toneladas inglesas, dando el resultado en libras.

$$F = 20 \times \text{Pendiente en por ciento} \times \frac{\text{peso en libras}}{\text{Ton (2,000) lbs.}}$$

F (Lb); P (en %); W (Ton. Inglesa)

Para tonelaje en Kgs. se tendrá:

$$F \text{ en kgs} = 10 \times \text{Pendiente en por ciento} \times \text{toneladas.}$$

Conviene recordar en forma práctica que la resistencia en kg. por pendiente, es de 0.01 del peso del móvil en toneladas por cada 1% de pendiente.

Ejemplo: Paso del tren y locomotora 2241 Ton. resistencia por pendiente para una subida del 2%, $R = 44820$ kgs.

Si el peso total se diera en lbs. o en toneladas inglesas de 2000 lbs. el caso sería exactamente igual, por ejemplo:

$$P = 4482000 \text{ lbs} = 2241 \text{ Toneladas inglesas,}$$

$$R = 44.82 \text{ Toneladas inglesas para una rampa del } 2\%, \text{ por lo tanto}$$

$$R = 89640 \text{ lbs.}$$

Si nuevamente recordamos que la T.R.-3 ya citada tiene 44079 lbs. de fuerza tractiva en el arranque, notaremos que no podría mover su tren completo si se parara en una cuesta del 2%. Por esta razón se deben localizar y construir las estaciones de parada, en tramos mínimos de 2 kms., con pendiente máxima del 1%.

c.- DEL AIRE.- Se produce en todo móvil un contacto con el aire y crece en el cuadrado de la velocidad, los coeficientes que se emplean son experimentales. Aplicaremos las fórmulas de la A.R.E.A., para locomotoras y carros.

Para locomotoras:

$$R = 1.3 + \frac{29}{W} + 0.03 V + \frac{0.0024 AV^2}{W.n.}$$

Para carros:

$$R = 1.3 - \frac{29}{W} + 0.045 V + \frac{0.0005 AV^2}{W.n.}$$

Fórmulas en las que:

R = Resistencia a la tracción en lbs. en tangente y a nivel.

A = Area de la sección transversal de la locomotora o del carro.

Para las locomotoras A varía entre 105 ft^2 y 120 ft^2 . Cuando el

peso varía de 50 a 100 toneladas.

Para carros $A = 90 \text{ ft}^2$

V = Velocidad en millas/hora.

n = Número de ejes en la locomotora o en el carro.

W = peso medio por eje en toneladas de 2000 Lbs.

Wn = Peso total de la locomotora y del carro.

Resistencia de la locomotora T.R.3 incluyendo el tender

$Wn = 483\ 750 \text{ lbs} = 241.85 \text{ tons}$

Podemos considerar en promedio esta carga sobre sus once ejes y -
por lo tanto:

$W = 22 \text{ Ton./eje}$

Para la resistencia del riel se deberá considerar los ejes más -
cargados que son los de las ruedas motrices por regla general.

RESISTENCIA DE LA LOCOMOTORA POR AIRE

VELOCIDAD	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$1.3 + \frac{29}{V}$	2.620	2.620								
0.03V	0.150	0.300	0.450	0.600	0.750	0.900	1.050	1.200	1.350	1.500
$0.0024 \frac{29^2}{V}$	0.029	0.116	0.263	0.475	0.475	1.070	1.450	1.91	2.42	2.97
R	2.779	3.039	3.338	3.575	4.115	4.590	5.12	5.73	6.39	7.09
R_1	678	735	805	895	995	1110	1240	1390	1545	1710

RESISTENCIA DE LOS CARROS POR AIRE

VELOCIDAD	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$1.3 + \frac{29}{V}$	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
$\frac{0.045}{V}$	0.225	0.450	0.675	0.900	1.125	1.350	1.575	1.800	2.025	2.250
$\frac{0.0005 Av^2}{W_r}$	0.056	0.225	0.508	0.900	1.410	2.02	2.745	3.600	4.550	5.620
R	7.381	7.775	8.283	8.400	9.635	10.47	11.42	12.50	13.67	14.970
R ₁	6620	7000	7450	8000	8700	9450	10300	11250	12300	13450

Consideremos un carro de 4 ejes como los que corren en nuestras - líneas y con sus mismas características en cuanto a dimensiones.

Tren de 45 carros y 20 toneladas cada uno.

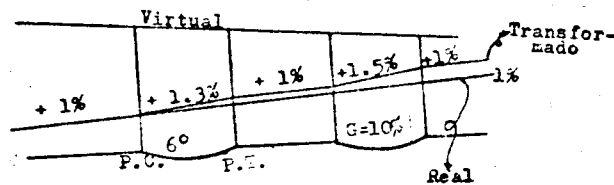
d).- RESISTENCIA DE LA VIA EN CURVA.- En una vía, como estudiaremos en el capítulo correspondiente, con un tren en movimiento, se originan diversas fuerzas pasivas que se oponen a la fuerza tractiva: el rozamiento de los ejes en las chumaceras, las pestañas y el riel tienen fricciones debidas a las cargas verticales y transversales que obran, estas últimas son máximas en las curvas en que la fuerza centrífuga aparece teniendo un efecto manifiesto, debido a que las sobreelevaciones se calculan para una velocidad media. Por otra parte la base rígida de las locomotoras, que es la distancia entre los ejes más alejados, de las ruedas motrices en la TR.3, es de 19 pies 7 pulgadas y la rigidez de las ruedas y ejes que forman las mancuernas de ruedas de carros y locomotoras, provocan un patinaje de las ruedas exteriores en las curvas, que se traduce en un frenaje que aumenta con el grado de la curva y el número de carros, (dentro de la curva) En la práctica no se ha considerado este factor .

Podemos considerar que esta fricción, originada en las curvas, -- puede considerarse como una rampa que se opone al movimiento, experimental-

mente se ha valuado como el aumento de un 0.05% de la pendiente por cada curvatura.

Así por ejemplo, si un tren toma una curva de 6 grados en un terreno horizontal, tendrá una resistencia equivalente a subir una rampa del de $R = 0.05 \times 6 = 0.3\%$. Si el tren está subiendo con el 1% se tendría que aumentar esta resistencia en 0.3 quedando $P = 1.3\%$. Por lo tanto hay una pérdida de carga de velocidad que se mide entre el perfil real y el perfil aumentado o transformado por la curva. Este artificio nos permite considerar la vía en tangente y con las pendientes modificadas por las curvas.

Como dijimos anteriormente puede trazarse en el terreno mismo un perfil compensado de manera que no se tenga en las curvas una pérdida de velocidad por su grado, se consigue abatiendo la pendiente en 0.05 Gr. Por ejemplo, si estamos subiendo con el 2% y entramos a una curva de 6°, debemos proyectar en el tramo en la curva un perfil de:



$2 - 0.3 = 1.7\%$, para que no disminuya la carga de velocidad del tren.

FUERZAS TRACTIVAS

Para el caso de una locomotora de vapor se tiene:

D = Diámetro de las ruedas motrices en pulgadas.

d = Diámetro de los pistones en pulgadas.

P = Presión del vapor en libras por pulgada cuadrada.

L = Carrera del pistón en pulgadas.

F = Fuerza tractiva de la locomotora en Lbs.

Consideraremos el trabajo del pistón y de las ruedas motrices.

$T_p = \frac{P_i \cdot d^2}{4} \times P \times 4L$, ya que son dos pistones y trabajan de ida y vuelta.

Trabajo de las ruedas

$T_r = P_i \cdot D \cdot F$ igualando y despejando la fuerza tractiva se tiene:

$F = \frac{L \cdot d^2}{D} \cdot P$, este valor no considera pérdidas mecánicas y térmicas, por lo que para hacerlo aplicable, conviene ponerle un coeficiente de rendimiento de 0.85 por lo que:

$$F = 0.85 \frac{L \cdot d^2 \cdot P}{D}$$

Ejemplo: Máquina T.R. 3

$$P = 200 \text{ lbs/pulg.}^2$$

$$d = 26 \text{ pulg.}$$

$$L = 28 \text{ pulg.}$$

$D = 69 \text{ pulg.}$ Diámetro de las motrices, más 4 pulg. que es el diámetro de las llantas = 73 pulg.

$$F = 0.85 \frac{28 \times 26^2 \times 200}{73} = 44079 \text{ Lbs.}$$

Ahora bien, esta fuerza tractiva se consigue cuando la locomotora está parada y sus pistones trabajan lentamente. Cuando la locomotora arranca y sus pistones aceleran su ritmo, baja el rendimiento general de acuerdo con el incremento de la velocidad.

Para valorar la pérdida de fuerza tractiva a diferentes velocidades se ha construido una tabla experimental, en ella se ha tomado en cuenta tanto los factores térmicos como los mecánicos.

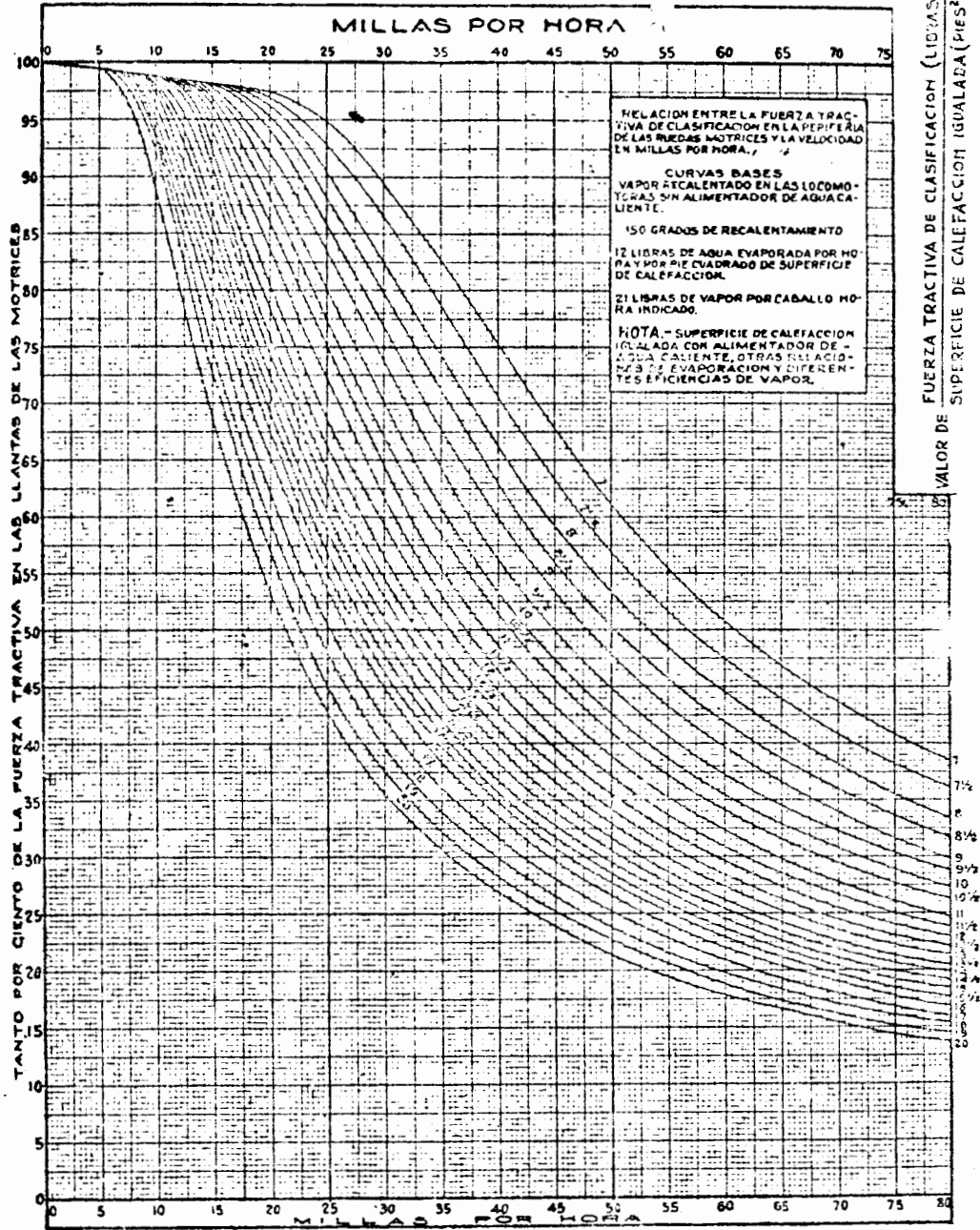
Analicemos los datos de la T.R.3:

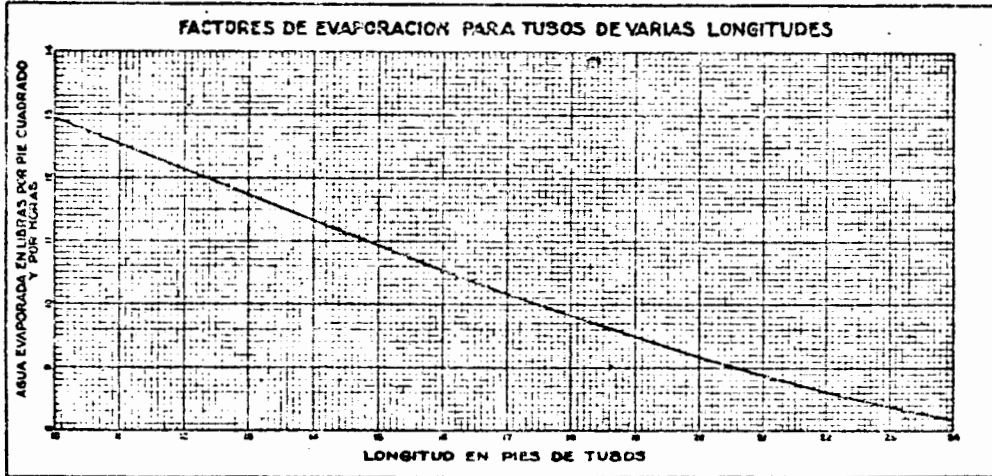
Presión del vapor 200 Lbs./pulgada cuadrada.

Superficie de calefacción:

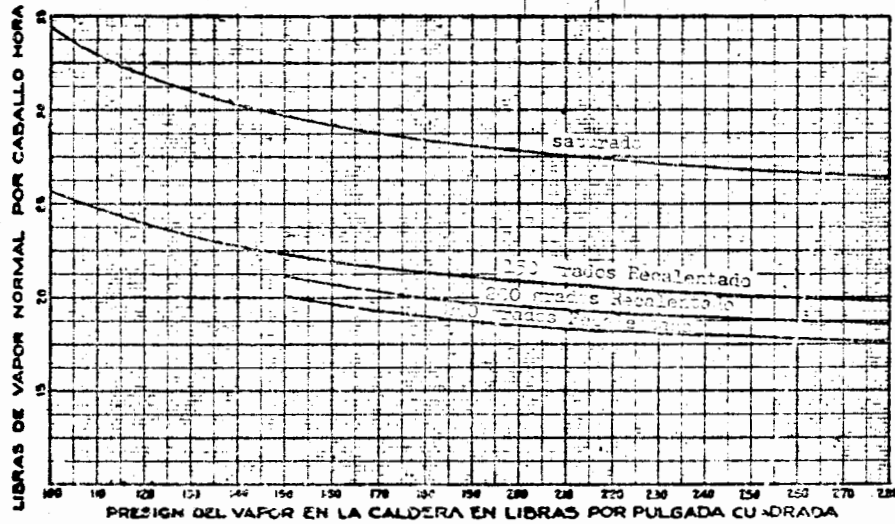
Fogón	305 ft ²
Fluces (tubos de 22 pies)	3492 ft ²
Sifones	60 ft ²

VELOCIDAD - FUERZA TRACTIVA GRAFICA A





GRAFICA B



GRAFICA C

Superficie de calefacción total 3857 ft²

Se considera como superficie la calefacción directa la del fogón - evaporado 55 libras de agua por hora y por pie cuadrado, pero a nosotros nos interesa la evaporación media esta es:

$$305 \times 55 \times 3552 \times 8.6 = 47340 \text{ Lbs./hora.}$$

El factor de evaporación de los tubos (8.6) se obtiene de la tabla B entrando con 22 pies de longitud de los tubos.

Por lo tanto la evaporación media es:

$$E.M. = \frac{\text{Ev. total}}{\text{Sup. total}} = \frac{47340}{3857} = 12.2 \text{ Lbs./km}^2 \text{ hora.}$$

SUPERFICIE DE CALEFACCION EQUIVALENTE O ECUACIONADA.-

Si consideramos la evaporación media calculada y construimos una gráfica para la locomotora de las características que estudiamos, podríamos con el dato 12.2 calculado, obtener las diferentes relaciones entre fuerza tractiva y velocidad, como nos muestra la tabla A, que fué calculada para una evaporación de 12 libras entre pies cuadrados hora y para 21 libras de vapor entre caballo hora indicado. Por lo tanto para hacer congruentes los datos de al máquina en estudio con la tabla A, tendremos que hacer la proporción siguiente:

$$\text{Sup. de calef. equivalente} = 3857 \times \frac{12.2}{12} \times \frac{21}{21} = 3940$$

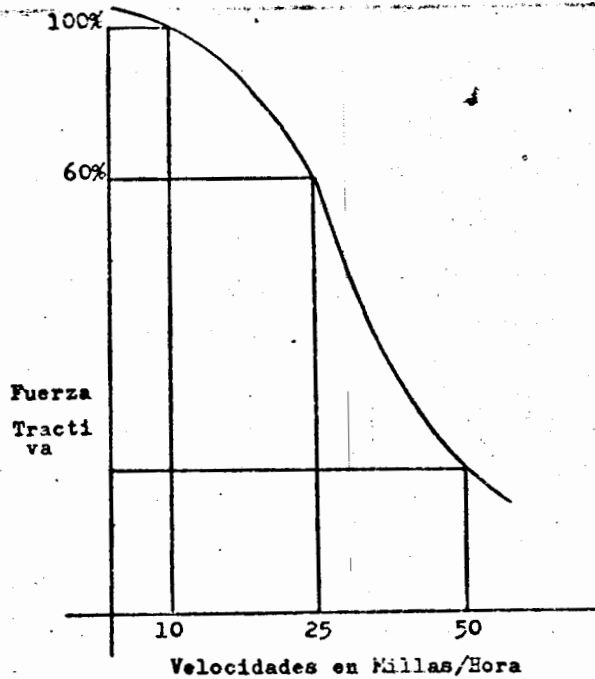
En este caso la caldera evapora 21 libras/HP. hora lo mismo que la de la tabla, ya que tiene una presión de 200 Lbs/pulgada², (ver tabla C) las dimensiones del émbolo y los recalentadores, por lo tanto la superficie de calefacción equivalente es de 3940 pies². Con este argumento obtendremos el dato para entrar a las curvas de la tabla A.

$$\frac{\text{Fuerza tracción}}{\text{Supe. de calef. equiv.}} = \frac{44079}{3940} = 11.21 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

Tomando en cuenta este valor, entramos a la tabla A y elegimos la curva correspondiente.

De lo anterior concluimos que la eficiencia mecánica baja notablemente con la velocidad y por lo tanto la fuerza tractiva y la potencia de la locomotora.

Este estudio de fuerza tractiva, velocidades, lo hemos realizado para locomotoras de vapor, pero las tablas A, las elaboran los fabricantes de locomotoras Diesel Y Eléctricas,



CONSTRUCCION DEL PERFIL VIRTUAL

Obtuvimos las resistencias y las fuerzas tractivas a diferentes velocidades, por lo tanto podemos conocer la fuerza de que disponemos a una velocidad dada para acelerar el tren o subir una pendiente.

VELOCIDAD		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mill. / hr	km / hr	% F	F Lb	R _{maq} Lb	R carros Lb	R carros lb/ton	R tot. Lb	Fza Aceler. Lb	Fza Aceler. lb/ton	Pen. Acel. %	h	Metr.	
0	0	100	44,079	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	8	99.3	43,800	678	6,620	7,321	7,298	36,502	31.8	1.59	0.27		
10	16	98.7	43,500	735	7,000	7,775	7,737	35,765	31.2	1.56	1.08		
15	24	96.0	42,400	805	7,450	8,283	8,255	34,145	29.9	1.49	2.44		
50	80	38.0	17,750	1710	17,450	14.970	15,168	1,590	1.39	0.07	27.10		

Explicación del cuadro:

Columna 1.- Velocidad en millas sobre hora considerando la milla en 1600 metros.

Columna 2 - Velocidad en kilometros/hora.

Columna 3.- Por ciento de fuerza tractiva.- Este valor se obtiene de la tabla A y teniendo como argumento el valor 11.21 ya calculado y dado por la relación: Fuerza tractiva sobre superficie de calefacción equivalente.

De la tabla A y considerando la curva correspondiente obtenemos que para velocidad inicial en 0 mill/hr se obtiene 100% fuerza tractiva, de 5 millas/hr. 99.3% fuerza tractiva, de 10 millas/hora. tenemos 98.7% de fuerza tractiva, y así sucesivamente hasta las 50 millas/hora, que alcanza la locomotora y en la que tenemos un 38% de nuestra fuerza tractiva en el arranque.

Columna 4 - Fuerza tractiva disponible a las diferentes velocidades de la locomotora en marcha.

Estos valores se obtienen multiplicando nuestra fuerza tractiva calculada con anterioridad, partiendo de la presión de vapor y diámetro de pistones y ruedas por el % correspondiente.

Este valor inicial es:

44,079 (Lb) para 5 millas/hora:

$$0.993 \times 44\,079 = 43\,800 \text{ Lb}$$

44,079 (Lb) para 15 millas/hora:

$$0.960 \times 44\,079 = 42\,400 \text{ Lb}$$

18

1
27
08
44
.10

- Columna 5.- Resistencia de la máquina únicamente (Lb.). Esta resistencia es debida al aire y se obtiene de la tabla de resistencias ya calculadas.
- Columna 6.- Resistencia de los carros. Este valor se obtuvo del cuadro correspondiente a las fuerzas resistentes debidas a la fricción con el aire (Lb. sobre Ton.)
- Columna 7.- Resistencia de los carros en Lb. Este valor se obtiene multiplicando el valor de la columna 6 por el peso en toneladas inglesas de todos los carros. En nuestro ejemplo tenemos 45 carros vacíos de 20 toneladas cada uno por lo tanto para la velocidad de 50 millas/hora: $14,970 \times 900 = 13,450$ Lbs. En el caso de variar el peso del tren será esta columna la que cambiará para cada tren en particular.
- Columna 8.- Resistencia total. Estos valores se obtienen de sumar la resistencia de locomotora y carros.
Ejemplo: Para 10 millas/hora: Resistencia de la locomotora = 735 + Resistencia de los carros 7000, da una resistencia total de 7735 Lb.
- Columna 9.- Fuerza de Aceleración en Lb. Se obtiene de restarle a la fuerza tractiva, a la velocidad dada, la resistencia del tren.
Ejemplo: Para 15 millas/hora: Eza tractiva de 42,400 menos la resistencia total de 8255 da 34,145 Lb. que es la fuerza de aceleración en Lb.
- Columna 10.- Fuerza de aceleración en Lb/Ton. Se obtiene al dividir la fuerza obtenida en la columna 9, entre el peso del tren en toneladas inglesas.

Ejemplo: Si $V = 10$ millas/hora y peso total del tren
 $= 900 + 241.8 = 1141.8$, entonces la Fuerza de Aceleración
 $= 35,765$ entre $1141.8 = 31.2$ Lb/Tonelada.

Columna 11.- Nos da los valores de la pendiente de Aceleración -
 En la parte relativa miramos que el 1% en una pendiente equivale a una resistencia de 20 Lb./Ton. inglesa por lo tanto si nosotros dividimos el valor de la columna 10 entre 20 nos dará una nueva relación que es la pendiente de Aceleración. Así para $V = 16$ km/hora, tenemos un valor en la columna 10 de 31.2 que dividido entre 20 nos dá un valor de 1.56 de % de pendiente de Aceleración.

Columna 12.- Cargas de velocidad calculadas en intervalos de 5 -
 en 5 millas/hora. Para mayor facilidad nosotros --
 las pondremos en el sistema métrico:

$$h = \frac{V^2}{2g}$$

h en metros
 b en metros sobre seg.
 $g = 9.81$ m/seg.

Para una $V = 45$ $\frac{\text{Millas}}{\text{hr}}$;

$$\frac{72 \text{ km}}{\text{hr}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{seg.}} ; h = \frac{20 \times 20}{2 \times 9.81} = 20.4 \text{ m.}$$

En el ejemplo tenemos un valor de 21.90, esta diferencia se debe a que la carga de velocidad h se ha incrementado en un valor de 1.07 debido a que en un móvil hay determinadas masas en movimiento que incrementan su h de tal manera que $h = 1.07 \frac{V^2}{2g}$

Así para $V = 25$ $\frac{\text{Millas}}{\text{hr}}$, $40 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$, $11.1 \frac{\text{m}}{\text{seg.}}$;

$$h = 1.07 \frac{11.1^2}{19.62}$$

$$h = 6.67 \text{ m.}$$

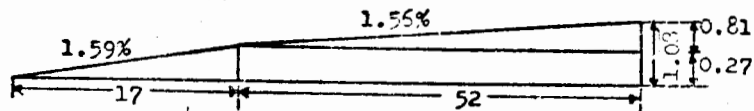
DIBUJO DEL PERFIL VIRTUAL. -

En primer lugar se observa que el tren de nuestro ejemplo, formado por 45 carros de 20 Ton. inglesas, arrastrados por una locomotora T R-3, 4-8-2-, alcanza una velocidad máxima de 50 millas/hora igual a 80 km/hora viajando en tangente y a nivel. Esta conclusión la tenemos al observar -- nuestro cuadro final en la columna 12 en que tenemos un valor para la pendiente de 0.07, que nos indica una pendiente prácticamente nula. También podemos llegar a esta conclusión, calculando las fuerzas tractivas y las -- fuerzas pasivas hasta obtener una cantidad igual para ambas tendremos una -- pendiente de aceleración nula, ya que las fuerzas estarán en equilibrio y -- la velocidad será constante.

DISTANCIA EN LA QUE EL MOVIL ALCANZA SU VELOCIDAD MAXIMA EN TANGENTE Y A NIVEL.

Obtendremos la distancia horizontal para cada tramo de igual pendiente de aceleración. Hay que tener en cuenta que los incrementos de aceleración son variables, decreciendo a medida que aumenta la velocidad.

Deseamos saber a que distancia alcanza la velocidad de 5 millas -- por hora, para éllo contamos con la carga correspondiente a esta velocidad:



si $h = 0.27 \text{ m.}$

$$D = \frac{0.27 \times 100}{\text{Pend. Aceler.}}$$

$$\therefore D = \frac{0.27 \times 100}{1.59} = 17 \text{ m.}$$

$$\therefore D = \frac{(1.08 - 0.27) \cdot 100}{1.56} = 52 \text{ m.}$$

Mientras más pesado es el tren, a menor distancia alcanza su velocidad máxima.

VELOCIDAD		h	Pend. Acel.	D	D acumulada
Mill/hr	Km/hr	Mts	%	Mts	Mts
5	8	0.27	1.59	17	17
10	16	1.08	1.56	52	69
15	24	2.44	1.49	91	160
20	32	4.33	1.25	151	311
25	40	6.77	1.00	244	555
30	48	9.75	0.75	397	952
35	56	13.28	0.54	652	1604
40	64	17.31	0.37	1090	2694
45	72	21.90	0.21	2180	4874
50	80	27.10	0.07	7450	12.324

OTRO PUNTO DE VISTA AL MISMO PROBLEMA

Para cada velocidad tenemos una fuerza disponible:

(Fuerza tractiva - Fuerzas pasivas)

$$F = M A$$

$$A = \frac{F \text{ dis.}}{M \text{ del tren}}$$

Otra forma de obtener las distancias es a partir de la fuerza disponible y el peso del tren.

$$F = M A$$

$$A = \frac{F \text{ dis.}}{M \text{ tren}}$$

$$M \text{ tren} = \frac{\text{Peso tren}}{9.81}$$

$$A = \frac{V}{t}$$

$$T = \frac{V}{A}$$

Como conocemos los incrementos de la velocidad podemos conocer los tiempos.

Conocidos estos tiempos los multiplicamos por la V med'a y así obtendremos

mos la distancia por conocer en el tramo dado. A continuación tenemos la tabla calculada partiendo de este artificio.

Peso tren = 1141.8 Ton. Inglesas.

= 1030 " " "

$$M_{\text{tren}} = \frac{1030.000}{9.81} = 105,000 \text{ kg.}$$

VELOCIDAD		FUERZA	FUERZA	F.MED.	A	T	S	ACUMUL.
km/hr	mill/hr	Lb.	kg.	kg.	m/seg ²	seg	metros	metros
0	0	44,075	20,000	--	--	--	--	--
8	2.23	36,503	16,000	18,300	0.174	12.7	14.1	14.1
16	4.44	36,765	16,200	16,400	0.156	14.2	47.5	61.6
24	6.66	34,145	15,500	15,850	0.151	14.7	82.0	143.6
32	8.83	28,605	13,000	14,250	0.138	16.0	123.0	266.6
40	11.10	22,905	10,400	11,700	0.111	20.0	199.8	466.4
48	13.32	17,250	7,800	9,200	0.0875	25.3	306.0	772.4
56	15.54	12,460	5,600	6,700	0.0638	34.8	505.0	1277.4
64	17.76	8,560	3,860	4,730	0.0450	49.2	813.0	2095.4
72	19.93	4,905	2,230	3,045	0.0290	76.2	1430.0	3525.4
80	22.20	1,500	680	1,455	0.0138	160.0	3370.0	6895.9

$$F_{\text{media}} = \frac{20,000 + 16,000}{2}$$

$$= 18,300 \text{ kg.}$$

$$A = \frac{F_{\text{media}}}{M}$$

$$= \frac{18,300}{105,000} = 0.174 \text{ m/seg}^2$$

$$T = (V_f - V_0) 1/A$$

$$T = \frac{2.22 - 0}{0.174} = 12.7 \text{ seg}$$

$$S = (V_f + V_o) \cdot T/2$$

$$= (2.22 - 0) \cdot \frac{12.7}{2} \quad S = 14.1 \text{ m.}$$

CONSTRUCCION DEL PERFIL VIRTUAL.-

Con los datos de nuestro ejemplo que incluyen: Perfil de la Rasante, Perfil Transformado, obtenido según las curvas horizontales de transición que aparecen en el plano correspondiente.

El tren lo arrancamos en el punto inicial de km. 0+000, a partir de este punto construimos una pendiente igual a 1.59 correspondiente a la velocidad de 8 km/h., esta pendiente inicial debería ser la que obtuviera partiendo de la fuerza tractiva en el arranque o la resistencia al movimiento, sin embargo, para seguir la rutina establecida principiaremos con la pendiente correspondiente a la resistencia de 8 km/h. que tiene un valor de 0.27 m. para su carga de velocidad, entonces siendo la pendiente de 1.59 es limitado por la ordenada $h=0.27$ m. a 18 m. del origen. El arranque es a nivel. A partir del límite anterior construimos la siguiente pendiente de aceleración correspondiente a 1.56 para 16 km/h.- Esta línea la limitaremos con la ordenada de 1.08 medida a partir del perfil de la rasante, punto que se obtiene a los 72 m.- A partir de este punto construimos la pendiente correspondiente a los 24 km/h y la limitamos con el valor de la carga a 2.44 m. a un cadenamiento del origen a los 162 m.- A partir del punto anterior construimos la pendiente de aceleración para 32 km/h. y la limitamos a la carga de 4.33 obtenida a los 316 m. del origen.

Hay que recordar que todas estas ordenadas se están midiendo a partir de la rasante. Del punto anterior se construye la pendiente de 1.59 -

correspondiente a 40 km/h. y se limita con $h = 6.77$.- Esta ordenada está medida a partir del perfil transformado y así será en lo sucesivo ya que existe una curva horizontal que no transformó el perfil de la rasante.

Así continuamos nuestro perfil virtual hasta llegar a cadenamientos en los cuales el perfil transformado va restando carga de velocidad a nuestro tren, si se trata de rampas o bien aumentando la carga si se trata de pendientes. El tren de nuestro ejemplo logra pasar la cima con una carga de velocidad de 4.33 m. correspondiente a una velocidad de 32 km/hr.

ITINERARIOS.-

Nuestro plano está construido a la escala horizontal 1:2000 y a la escala vertical 1:200, por lo que para conocer la operación del tren bastará obtener las cargas medias de velocidad de cada tramo y dividir entre estas velocidades tiempo total que el tren emplea en recorrer la distancia propuesta.

CÁLCULO DE TIEMPOS

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{v^2}{19.62}$$

$$v = \frac{L}{T} \quad \text{en m/seg.}$$

Para tramos de $L = 500$ m.

$$v = \frac{500}{T}$$

$$h = \left(\frac{500}{T} \right)^2 \cdot \frac{1}{19.62} = \frac{250000}{t^2} \cdot \frac{1}{19.62}$$

SI QUEREMOS PONER $60 T$ (seg) = t (min)

$$h = \frac{250000}{3600 t^2} \cdot \frac{1}{19.62} = \frac{3.54}{t^2}$$

$$\therefore t = \sqrt{\frac{3.54}{h}}$$

TONELAJE ECUACIONADO.-

Sirve para determinar la máxima pendiente que puede subir un tren a una velocidad con un tonelaje dado, o bien el máximo tonelaje que puede ponerse a un tren para subir una pendiente a una velocidad dada.

Para obtener este último dato que es el que más se emplea se procede como sigue:

A la fuerza tractiva disponible de la máquina, a una determinada velocidad se le resta la componente del peso paralelo al riel, de la máquina más el tender, obteniéndose así la fuerza tractiva en la barra que puede desarrollar trabajo.

Para que el tren pueda subir una determinada pendiente con velocidad constante se requiere que la fuerza tractiva efectiva sea exactamente igual a la suma de las resistencias ofrecidas por los carros.

De esta manera el máximo tonelaje que puede subirse con velocidad constante y por una pendiente determinada se obtiene igualando la fuerza tractiva efectiva con la suma de resistencias en función del tonelaje T , donde T es el tonelaje máximo que cumple las condiciones anteriores.

Ejemplo:

Para 25 millas/hora; 40 km/hora tenemos:

$$F_t = 32,600 \text{ Lb.}$$

$$\text{Resistencia (Locomotora y tender)} = 995 \text{ Lb.}$$

$$F \text{ en la barra de transmisión o efectiva} = 32,600 - 995 = 31,605 \text{ Lb en tangente y a nivel.}$$

Si se tiene que subir una pendiente de 1.2% la fuerza tractiva efectiva en dicha pendientes es: $31,605 - 483,600 \times 0.012 = 25,825$.

En lo anterior el peso de 483,000 es el de la locomotora y el tender que pesan 241.8 ton. I. Si a la velocidad dada los carros ofrecen una resistencia promedio al aire de 9.6 Lb/Ton. en recta y a nivel y siendo T el

peso en toneladas de 2,000 Lb. de la totalidad de los carros, se tendrán que para una pendiente de 1.2%:

$$25,825 = 9.67 \times (20 \times 1.2T)$$

$$T = 768.6 \text{ Ton. I.}$$

En la que el término entre paréntesis representa la resistencia a la pendiente de los carros ya estudiada.

En todos los estudios anteriores hemos supuesto que nuestro tren se encuentra en movimiento, lo cual no sucede cuando por fuerza mayor el tren se detiene. En estas condiciones se tendrá que cortar el tren atendiendo al número de carros que pueda arrastrar la máquina en el arranque y con la pendiente en que se encuentra. Para aumentar la fricción entre riel y llanta, lo cual evitará el patinaje, todas las locomotoras llevan depósitos de arena que van soltando con este objeto.

El perfil virtual es un artificio de análisis para la operación de un tren y un perfil dados, pero en la práctica las vías son recorridas por trenes de diferentes pesos y tracciones por lo que en los análisis deberá considerarse el tren medio que ha de recorrerla para su proyecto y operación.

que

NORMAS TECNICAS Y ECONOMICAS PARA LA SELECCION DE EQUIPO TRACTIVO.

La elección del tipo o sistema de tracción por adoptar de determinada línea ferroviaria, es un problema complejo que no puede elegirse -- "a priori", desde el punto de vista técnico como económico.

Aún la simple comparación técnica no es sencilla en su realización sobre bases iguales, puesto que no es igual el servicio efectivo que puede prestar una locomotora de una potencia y peso determinados, si ella es de vapor, diesel o eléctrica. En otras palabras para atender un determinado servicio de trenes se pueden necesitar diferentes cantidades de locomotoras, de características también diferentes, según sean las condiciones locales de trazado, gradientes, pesos de trenes, etc.

CONSIDERACIONES TECNICAS.

A).-CAPACIDAD DE ARRASTRE DE LAS LOCOMOTORAS.

1.-RELACION ENTRE POTENCIA Y TRANSPORTE.

Para el arrastre de un tren de peso P_t en un punto determinado de la línea y a una cierta velocidad V , la locomotora deberá efectuar un esfuerzo de tracción F en el gancho que será:

$$F = K \cdot P_t$$

siendo K un coef. de proporcionalidad que dependerá de las condiciones de la línea, del equipo rodante y de la velocidad.

La potencia efectiva N valdrá:

$$N = \frac{F V}{3.6 \times 75} = \frac{F V}{270}$$

N en C.V.
 F en Kg
 V en KM/hora.

Sabiendo que el valor de la velocidad, es:

$$V = \frac{\text{espacio recorrido}}{\text{tiempo}} = \frac{S}{T}$$

tenemos finalmente:

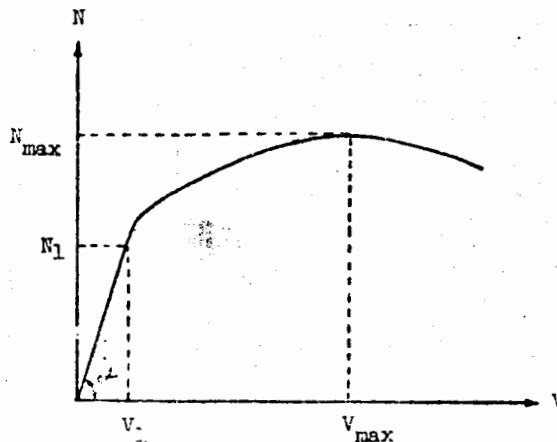
$$N = \frac{K}{270} = \frac{P_t \cdot S}{T} \quad (a)$$

Fórmula que nos indica que la potencia efectiva está en estricta proporción a la expresión $\frac{P_t \cdot S}{T}$. Lo cual nos indica un determinado volumen de transporte, expresado en ton-kilómetros brutos, arrastrados en un periodo de tiempo dado, un año por ejemplo.

2.-POTENCIA DE LAS LOCOMOTORAS.

Es importante aclarar que la potencia que nos interesa es la efectiva definida anteriormente; frecuentemente se habla de potencias como la nominal de los motores diesel, las potencias continuas y horarias de las locomotoras eléctricas, etc., que difieren de la efectiva y que están en relación directa al transporte realizado como se observa en la fórmula (a).

Las locomotoras no desarrollan una potencia efectiva N constante, ya que ésta varía con la velocidad. Teniendo una gráfica tipo de la potencia efectiva, observamos que existe un tramo inicial recto, debido al esfuerzo de tracción F_1 que se ejerce en los arranques y queda limitado por la adherencia entre ruedas motrices y riel. Consideremos a μ como el coeficiente de adherencia valuado en 0.25 como promedio.



En donde $F_1 = Pa$

Pa: Peso adherente

$$y Tg \propto \frac{1}{270} F_1 = \frac{\mu}{270} Pa$$

Por lo tanto una locomotora de mayor peso adherente, presentará un mayor ángulo

Debe hacerse notar que en los catálogos señalan las "potencias nominales" que son superiores a las efectivas, por lo que hay necesidad de restar las pérdidas ocasionadas por transmisión, por propio movimiento, etc.

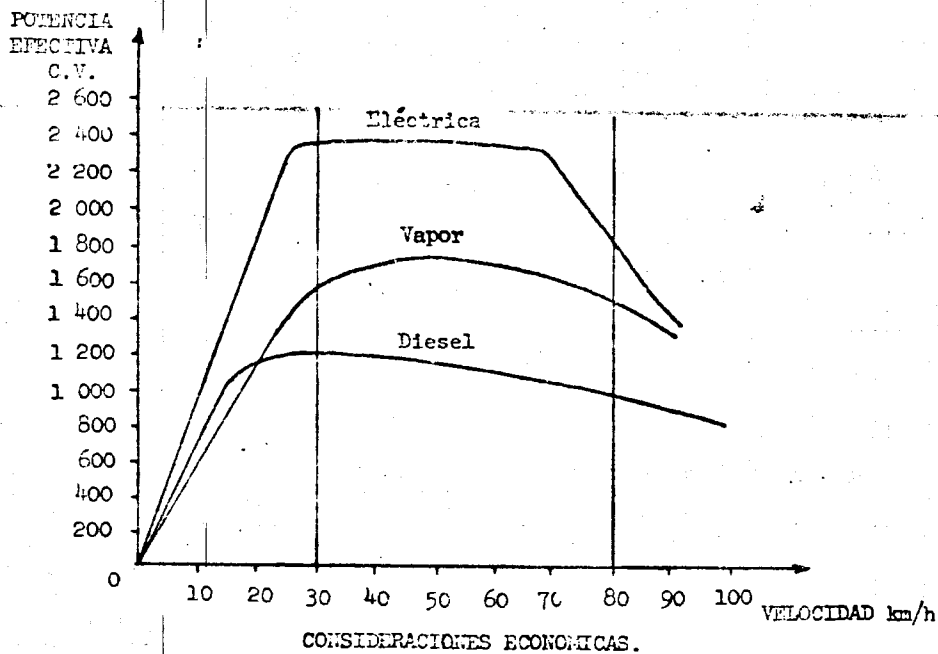
De lo anterior se desprende que para poder comparar equitativamente dos locomotoras de diferente tipo habrá que cotejar sus potencias adherentes y sus potencias efectivas medias, para ésta última se obtendrá un área bajo la curva en la gráfica $N - V$, en un intervalo comprendido entre 30 y 80 Km/hora., que corresponden a las velocidades promedio en nuestras vías.

En cuanto al arranque se obtiene de la parte recta de la gráfica. Para ilustrar lo anterior, tomaremos 3 tipos de locomotoras:

Locomotora	Peso Adh. tons.	POTENCIAS en C.V.		
		Nominal	Media efectiva	efectiva nominal
Diesel	100	1,520	1,180	0.78
Vapor	68	1,666	1,650	0.98
Eléctrica	96	2,400	2,320	0.97

Se debe hacer notar que las eléctricas pueden sobrecargarse un 10% en una hora y hasta un 50% en algunos minutos, cosa imposible para las de vapor y diesel.

Se observa también que las diesel están sobrevalorizadas alrededor de 20% en relación con la potencia efectiva.



Para analizar estas consideraciones, veremos los conceptos por inversiones, capital y gastos de explotación.

A) -INVERSIONES.

El aprovechamiento de las locomotoras se verá influenciado tanto por los turnos y horarios de trenes, como por las inevitables reparaciones, trabajos de mantenimiento y el número de unidades por mantener; o sea el grado de utilización de las locomotoras.

En resumen el total de inversiones, puede representarse por la siguiente fórmula:

$$I = K_t \cdot T + K_l \cdot L$$

donde K_t es el producto del coeficiente de utilización K_u , que depende de las circunstancias locales de la vía y tipo de tráfico por el precio unitario de las locomotoras puestas en fábrica.

Kl es el coef. de electrificación de la línea, su aplicación es - sólo para locomotoras eléctricas y se valúa en Kl = 37,500 (\$/Km).

Para las de vapor y diesel Kl = 0

T es el transporte o tráfico anual (t-k- br.)

L longitud del sector de vía (km).

Locomotoras	Ku	Precio Unit. (\$/C.V.)	Kt (\$/t-k.br)	Inversión.
Vapor	0.0001	70	0.0070	0.0070 T
Diesel	0.00005	150	0.0075	0.0075 T
Eléctricas	0.000045	90	0.00405	0.00405 T

B).- CARGOS DE CAPITAL.

Están constituidos por el interés y la depreciación.

Para el interés i, consideraremos un 6% de acuerdo con determinaciones económico-financieras.

La depreciación analizada será lineal, por lo tanto la cuota de depreciaciones valdrá:

$$a = \left(\frac{1}{100} \right) \cdot X \text{ años de vida útil}$$

La vida útil será de:

Locomotoras de vapor y eléctricas 30 - 40 años

Locomotoras diesel 25 - 30 años

Líneas de contacto eléctricas 30 - 40 años.

Sabiendo que la fórmula de cargo por capital anual es:

$$C = (1+a) \cdot I$$

$$C = (1+a) \cdot (Kt \cdot T + Kl \cdot L)$$

Resultando:

Locomotoras	i	a	Kt·T+Kl·L	Capital
Vapor	0.06	0.033	0.007 T	0.000651
Diesel	0.06	0.04	0.0075 T	0.00075
Eléctricas	0.06	0.033	0.00405 T + 37,500 L	0.000377 ^d + 3487 L

C).-GASTOS DE EXPLOACION:

1.-CONSUMOS DE ENERGIA Y COMBUSTIBLE.

La aplicación de principios fundamentales de Física y el análisis de factores circunstanciales permiten establecer los siguientes consumos unitarios básicos por ton-Km, bruta, de tren más locomotora para su arrastre.

Tracción eléctrica	0.0376	kw-hr/t-k.br
Tracción diesel	0.0082	kg / t-k.br
Tracción a vapor	0.075	kg de carbón/t-k.br.

Para valorizarlos bastará multiplicarlos por sus precios unitarios de energía y combustible; para llegar a los valores medios anuales los multiplicaremos a su vez por el transporte anual T.

$$\text{Vapor } \$ 0.02/\text{kg} \times 0.075 \times T = 0.00150 T$$

$$\text{Diesel } \$ 0.06/\text{kg} \times 0.0082 \times T = 0.000492 T$$

$$\text{Eléctricas } \$ 0.01/\text{kw-hr} \times 0.0376 \times T = 0.000376 T$$

2.- CONSERVACION Y REPARACIONES.

Es lógico relacionarlos al tipo de máquina y a su tamaño.

Nos parece aceptable englobarlos en un porcentaje del valor de adquisición, comprobado en diversas situaciones reales comprobadas.

Locomotoras	% de Ad.	Inversión	Conservación y reparación.
Vapor	0.075	0.0070 T	0.00525 T
Diesel	0.10	0.0075 T	0.00075 T
Eléctricas	0.075 y 0.045	0.00405 T + 37500 L	0.000304 T + 562 L

RESUMEN DE CARGOS.

CARGO	VAPOR	DIESEL	ELECTRIFICACION
Capital	0.000 651 T	0.000 750 T	0.000377 T + 3487 L
Energ. y C.	0.001500 T	0.000 492 T	0.000376 T
Cons. y Rep.	0.000525 T	0.000 750 T	0.000304 T + 562 L
T O T A L	0.002676 T	0.001992 T	0.001057 T 4049 L

NOTA:.- Se han puesto los precios en dólares, ya que se considerarán las locomotoras, puestas en fábricas americanas.

CONCLUSION.- Teniendo en cuenta los datos mostrados en la tabla anterior, se concluye que para las mismas condiciones de tipo de vía y tráfico intenso, las locomotoras de vapor son las más costosas en su operación, le siguen las diesel y las más económicas son las eléctricas, según los coeficientes siguientes.

Consideraremos la conversión de electrificación por concepto de línea a transporte anual, así:

$$4049 L = 0.0004049 T$$

Por lo tanto la comparación de gastos de operación, tomando para las eléctricas como base, con: 100 %.

Locomotoras eléctricas	$\frac{0.001462 T}{0.001462 T}$	100 %
Locomotoras diesel	$\frac{0.001992 T}{0.001462 T}$	136 %
Locomotoras de vapor	$\frac{0.002676 T}{0.002676 T}$	183 %

CAPITULO V

[CONSERVACION Y REHABILITACION]

Construida la vía, es de fundamental interés la conservación de ésta, ya que así se aumenta la vida útil y por lo tanto se reduce el costo final en su utilización a través de cierto período de tiempo.

La conservación debe tender a guardar las propiedades fundamentales de los diferentes elementos constitutivos, para lograr mantener un equilibrio estático y elástico en la naturaleza de la vía, no sólo en lo concerniente a la vía, sino al equipo móvil que transita en la misma.

La conservación de vehículos y vía está sometida a acciones recíprocas, ya que es imposible lograr un buen movimiento con una vía defectuosa, debido a su mal estado, lo que terminaría repercutiendo en el estado de los vehículos; por el contrario un mal equipo rodante sobre una buena vía ocasionaría desgastes anormales en los rieles.

Por lo tanto una adecuada conservación, reduce notablemente los gastos de operación y rehabilitación en una línea o red ferroviaria.

Además una línea mala, redundante en la inestabilidad de los trenes, pudiendo ocurrir descarrilamientos, comprometiendo así la seguridad de la -transportación.

En ocasiones de crisis económicas en ferrocarriles, las primeras medidas para corregir estas anomalías es descuidar la conservación, cometiendo posteriormente estos métodos en funestos, debido a un mal entendido ahorro.

La conservación exige un personal en número suficiente, distribuidos estratégicamente a lo largo de la línea; deben reunir registros de capacidad para resolver problemas técnicamente sencillos, ser activos, ordenados y responsables, puesto que su labor redundará en economía.

Se deberá poseer además de un buen sistema de inspección periódica, para vigilar al personal de vía en su labor, así como para verificar la conservación de la línea.

La unidad de personal en la conservación es la brigada a cargo de un capataz o jefe de brigada, que de acuerdo con el tipo de vía, intensidad de tráfico, clima y topografía, varía su número de 3 a 10 personas para tramos de 4 a 12 km., esta composición es la referente a la brigada "normal" que es personal fijo, que se refuerza en ocasiones, de ser necesario por brigadas auxiliares o temporales.

En otros ferrocarriles se forman brigadas de 10 hombres para tramos de 30 km de longitud, tiene la ventaja de poder poseer gente más seleccionada, pero también el inconveniente de ser transportados al lugar de trabajo en vez de residir a su lado.

[Se debe contar con guardavías que conservan las señales luminosas el trayecto.

En menester contar con un programa adecuado en la sustitución de partes dañadas esenciales, tales como durmientes, bridas de juntas, ballastado, riel, etc., para poder proseguir con el tráfico.

En las líneas americanas se procede a la conservación mecanizada, es decir por medio de maquinaria se realiza una revisión y de ser necesario sus arreglos necesarios en forma intensa, se efectúa cada año y con efectivos hasta de 100 hombres dejando brigadas pequeñas para su vigilancia y corrección de defectos pequeños en el resto del año.

A pesar de ello, la vía envejece y llega el momento de necesitar una sustitución completa de gran parte de sus elementos, maniobra que se designa con el nombre de rehabilitación.

[El objeto de la conservación tiene como fin la rectificación del

trazado de vía en planta y perfil, manteniéndola con una nivelación exacta, así como también conservar la progresión en la variación de las curvas con su peralte adecuado; mantenimiento del balasto limpio y una sustitución de los elementos desgastados.

- 1).- Descubrir la vía
- 2).- Depurar el balasto
- 3).- Reemplazar los materiales inservibles
- 4).- Rectificar la alineación
- 5).- Nivelar
- 6).- Balastar
- 7).- Corregir el peralte
- 8).- Recubrir la vía
- 9).- Perfilar el balasto y la plataforma
- 10).- Rectificar la operaciones anteriores
- 11).- Retirar y clasificar los materiales viejos.)

1).- Para descubrir la vía se levanta el balasto con pico y pala en los espacios entre durmientes y bajo éstos si fuera necesario a una profundidad de 15 cm, teniendo cuidado de no remover el lecho de ellos; si fuera imperioso excavar más bajo los durmientes, por haber un balasto pulverizado se hará la faena con sumo cuidado, hasta la profundidad adecuada, considerando que no debe interrumpirse el tráfico, por lo que se deberán tomar las precauciones pertinentes para ello.

A las zonas entre dos durmientes se les debe dar una pendiente para desaguar en caso de lluvia.

2) El balasto se depura arrojándolo sobre cribas para quitarle el polvo, vegetación y materiales extraños, además de graduarlo. El balasto sano se utiliza de nueva cuenta; en caso de haber removido los lechos -

del durmiente, se introduce un gato para levantar la vía y colocar bajo el durmiente la cantidad necesaria de balasto, mediante una pala.

3) Con respecto a la sustitución de materiales, por lo general lo más usual es remover los clavos ó tirafondos que ocasionan un desgaste en el escantillón de la vía por haberse torcido o inclinado. Para remover los rieles, se tendrá cuidado en dejar los espacios correctos en las juntas de dilatación. Las bridas se engrosarán, en caso de estar inservibles se reemplazarán.

4) La rectificación del trazado en planta, así como la nivelación son las operaciones más importantes en la conservación de la vía.

Se procede primeramente a revisar el sistema de fijación, puesto que de ello, deduciremos en ocasiones, de que parte se ha ripado la vía.

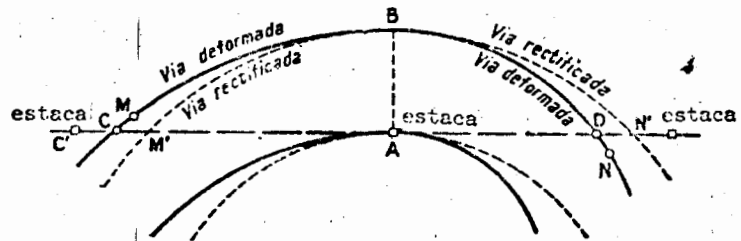
Las deformaciones que presenta una vía son más frecuentes y críticas en las curvas, en la alineación recta se presentan generalmente ondulaciones.

La alineación en tramos rectos es relativamente sencilla, puesto que se pueden tomar puntos de referencia fijos de la vía, o tramos correctos de la misma y colocar así estacas que marquen su debida posición.

Para una buena rectificación en las curvas ya sean estas de transición o circulares (en México casi la totalidad de las curvas son de este último tipo), deben poseer un estacado permanente que no esté sujeto fácilmente a la destrucción y sirvan de base para que la rectificación sea una operación sencilla. Este estacado se puede colocar en el centro de la vía o a su lado, en puntos clave a distancias de 10 ó 15 mts. y pudiendo inscribir sobre ellos el cadenamamiento y el peralte correspondiente.

Conocida la correcta alineación se procede a realizarla por medio de jalones y piquetes de gatos hidráulicos para desplazar la vía a su corrección.

ta posición.



5) La nivelación se revisa por medio de niveletas, el nivel de todos los puntos del riel derecho en sentido del kilometraje, la nivelación del otro riel se lleva a cabo con un nivel de burbuja.

La vía es levantada a la altura deseada con gatos para ser balastada, se recomienda que los durmientes sean calzados generalmente antes de paso de los trenes.

Las alteraciones de la nivelación se deben, a movimientos del subsuelo, a la mala calidad del balasto y al desgaste desigual de los materiales.

Las alteraciones límites se miden por la flecha de la deformación longitudinal (1 a 1000) y por la diferencia de niveles transversales (2 a 5mm.)

Los defectos de nivelación pueden ser causados por dos razones :

a) Defectos de estabilidad, causada por durmientes mal calzados y corridos, puede notarse fácilmente al paso de los ejes de vehículos y además presentar manchas de color más claro en los extremos de los durmientes a consecuencia de la pulverización del balasto.

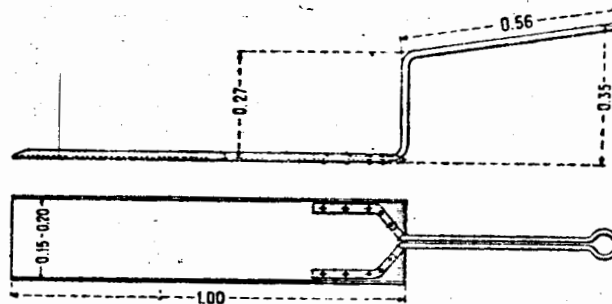
b) Defectos de nivelación, ya sea transversal o longitudinalmente como tales.

6) El balastado se realiza tan luego se levante la vía hasta el

hasta el nivel deseado. Se puede efectuar a golpe de bate o a pala.

El balastado a golpe es el procedimiento más antiguo y difundido y tiene los inconvenientes de romper las aristas vivas del balasto, astilla los bordes de los durmientes, además de necesitar una gran fuerza muscular. Con este método no se logra un balastado proporcionado, ya que esta operación requiere un sistema perfectamente calculado como el de pala. Su aplicación requiere medir primero la altura de vacío bajo el durmiente flojo, para después con una niveleta encontrar las desnivelaciones existentes, la suma de estas cifras nos dará el total de levantamiento necesario en cada durmiente, se procede después a retirar el balasto hasta el nivel inferior del durmiente, sobre una longitud de unos 40 cms. a uno y otro lado del riel.

Después de estas operaciones se levanta el riel con un gato al nivel obtenido y se introduce la grava necesaria previamente dosificada con la pala especial, (ver figura) ya sea transversal o longitudinalmente al dur



miente, según el proceso a seguir.

7) Se procede a corregir el peralte si la vía está en curva, siendo el balastado más compacto en la fila interior de la curva que la exterior para evitar posteriormente un aumento de peralte. En las juntas también debe ser más compacto el balastado que en el centro de la barra del riel, para eludir ondulamientos al paso de los trenes.

8) Recubrimiento de la vía : se recomienda llevarlo hasta unos -

5 cms. del borde superior del durmiente con objeto de poder supervisar rápidamente los accesorios de la vía.

9) Se perfila el balasto para evitar derrames que obstruyeran las cunetas. La plataforma debe conservarse en adecuadas condiciones geométricas para lograr una óptima repartición de cargas ya que de lo contrario produciría desnivelaciones y por último no permitiría el drenado correcto.

10) La rectificación de las operaciones anteriores, se turna a un supervisor, él podrá dar instrucciones técnicas en caso de fallas, así como la revisión del trabajo realizado.

11) Retirada y clasificación de materiales desechados, puesto que su adecuada administración significa el destinarle otros beneficios que redundan en economía.

REHABILITACION

La renovación en una vía es la sustitución sucesiva o simultánea, sobre una cierta longitud de la misma, de la totalidad de sus componentes : riel, balasto, durmientes y sistema de fijación.

En términos generales cuando se presenta el problema de cambiar el tipo de riel, se aprovecha para una renovación total.

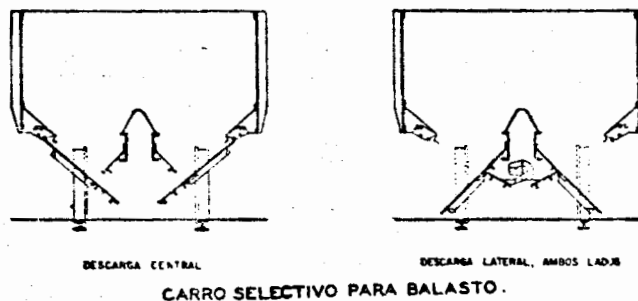
La duración de la vía va de acuerdo con su tráfico, en vías principales con tráfico intenso alcanza una vida promedio de 35 años, esto implica un 3% de rehabilitación de una red ferroviaria, en vías secundarias es mucho más larga.

La rehabilitación por ser una operación importante y de gran costo se realiza con personal especializado, ya que no se practica comúnmente con el de conservación. Para no suspender el tráfico de líneas importantes se construyen unos laderos de 700 a 1 300 mts por los que se transita a una velocidad de 20 Km/hra. Después de renovada la vía, durante el período

de asentamiento se deberá transitar como máximo a 50 Km/h.

RENOVACION DEL BALASTO.- Esto puede efectuarse separadamente, o entrar al ciclo de renovación total, para ello es necesario saber si va a ser cambiado el tipo de riel, si así fuera, se transformaría el asiento de la vía, y no sería posible respetar los lechos de los durmientes anteriores para su aprovechamiento.

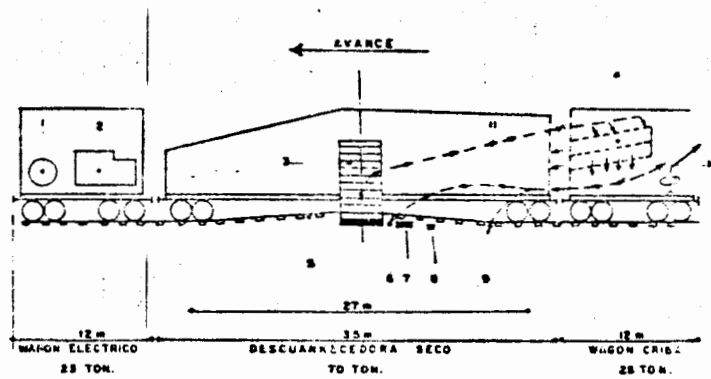
Quando se pueda renovar el balasto separadamente, se necesitará levantar la vía unos 40 cms. y apoyarla sobre bases para la excavación y depuración del balasto viejo; la colocación de balasto nuevo puede hacerse a mano o por medios mecánicos.



En la renovación a mano se hace a 15 o 20 cms. debajo del durmiente, si las condiciones son normales, de lo contrario habrá que llegar hasta la plataforma.

La renovación mecánica se efectúa levantando la vía, delante de un vagón excavador que trabaja sobre la vía levantada, posee un elevador de cangilones que draga el balasto, pasándolo después por una banda a una criba cilíndrica rotatoria que desecha los detritus a un lado de la plataforma o

en un vagón de escombros. El uso de los vagones tolva es para repartir directamente el balasto nuevo y el sub-balasto al lugar de trabajo. Damos a continuación un esquema de una desgarnecedora mecánica que efectúa ella misma el alzado de la vía, es del tipo SECO.



- 1.- Malacate.
- 2.- Motor eléctrico de 160 H. P.
- 3.- Excavador de cangilones.
- 4.- Criba.
- 5.- Vía alzada por gatos eléctricos.
- 6.- Balasto depurado puesto en la vía.
- 7.- Enrazador
- 8.- Apisonador
- 9.- Cordón de balasto depurado
- 10.- Detritus transportados
- 11.- Balasto para depurar

Como se ve la desgarnecedora posee un engrazador y un apisonador para evitar futuros hundimientos.

RENOVACION DEL RIEL.- Se efectúa en unión de la renovación de durmientes y del sistema de fijación, según se traté, si es doble vía, o vía única y consta de los siguientes pasos :

A) Descarga de materiales nuevos.

B) Se debe haber llevado a cabo la rehabilitación de balasto vista anteriormente.

C) Se procede al desmantelamiento que consta de las siguientes operaciones :

1) Desemplanchuelado de las juntas con llaves especiales.

2) Colocación en forma ordenada del material levantado.

3) Transporte de este material.

D) Colocación de la vía. Se dejan en su sitio los durmientes nuevos, verificando su lugar, para después colocar encima de ellos los rieles, comprobando su posición para luego desplazar los durmientes a su lugar definitivo, previamente marcado. Se levantan los extremos de los rieles hasta cierta altura y se colocan las bridas o planchuelas apretando sus tornillos.

Se atornillan ligeramente los tirafondos, se revisa la posición exacta de las juntas y ancho de vía para apretarlos definitivamente.

Se lleva la vía a su alineación exacta y se balastan ligeramente los durmientes.

E) Se descarga el balasto complementario que se translada mediante un vagón-tolva.

F) En la rectificación previa de la vía, se procede a la colocación de estacas permanentes que indicarán la posición del eje y la altura de la arista superior del riel; se empieza a alinear la vía en las juntas para luego ir a los puntos intermedios. Se emplean palancas y barras de ripar.

G) Nivelación y balastado de la vía, se levanta esta por medio de

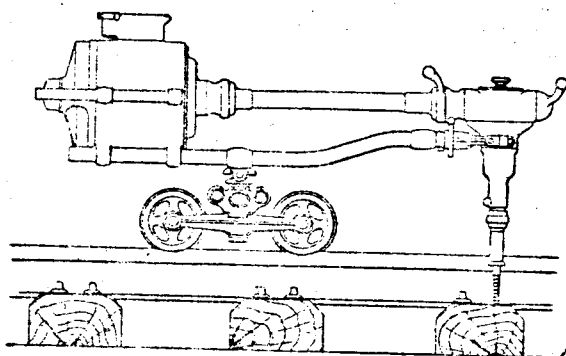
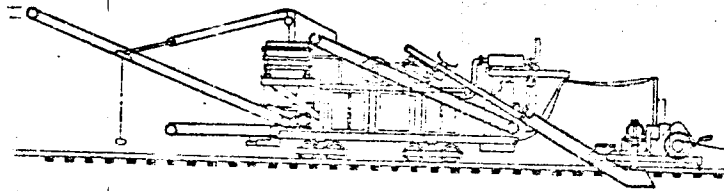
gatos y se nivela con una niveleta, para balastar posteriormente la vía con un bate, no se emplea la pala especial.

H) Se lleva a cabo la rectificación definitiva y se perfila el balasto a las dimensiones reglamentarias.

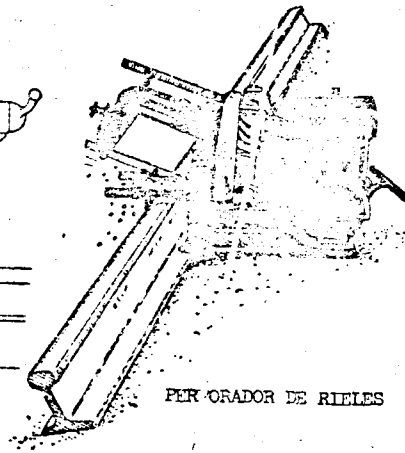
I) Recolección de materiales viejos.

La rehabilitación así realizada puede avanzar a razón de 200 mts. diarios con una dotación de 130 a 150 hombres.

Desguarnecedora-cribadora Matisa Tipo 2ST



PERFORADOR DE DURMIENTES

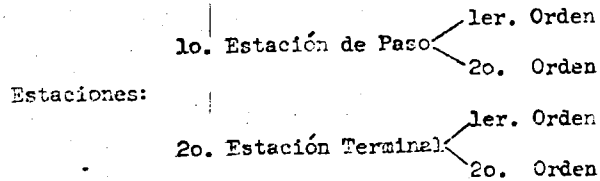


PERFORADOR DE RIELES

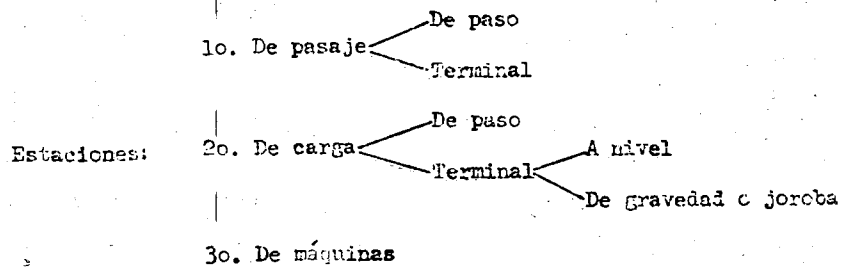
CAPITULO VI

CONDICIONES MINIMAS QUE REQUIERE UNA ESTACION DE PASO.

Damos comienzo a este Capitulo elaborando una clasificación general de los diferentes tipos de estaciones.



Esta estructuración, es debida a las funciones que realiza la estación, así como a las condiciones a que está sujeta, ya sea por ser una zona productiva, urbana o por requerirlo así las necesidades de las locomotoras, para carga de agua, arena y combustible. En resumen se deben a movimientos de carga, pasaje y máquinas, con lo que podemos realizar otra clasificación:



Se dice que una estación es terminal, cuando desde el punto de vista de operación; tiene el movimiento suficiente para carga y pasaje, para ameritar trenes entre dos poblaciones o centros industriales, por regla general en estos casos el edificio principal es normal a las vías de acceso y a los andenes.

Son estaciones de paso cuando no ligan puntos terminales, en la mayoría de los casos, la longitud del edificio es paralela a la vía y sus andenes.

Son estaciones terminales de 2o. Orden, cuando se realiza el tráfico de carga y pasaje para 500 000 habitantes.

Son estaciones terminales de 1er. Orden, cuando se efectúa la operación anterior para más de 1 000 000 de habitantes.

Las estaciones de paso de 1er. Orden son aquellas que tienen servicio para Ciudades de más de 100 000 habitantes.

Las estaciones de paso de 2o. Orden, efectúan servicios para Ciudades de menos de 100 000 habitantes.

Con respecto a los servicios que prestan estas estaciones, tenemos:

A).- Estaciones de Paso de 2o. Orden, poseen como condiciones mínimas en sus instalaciones:

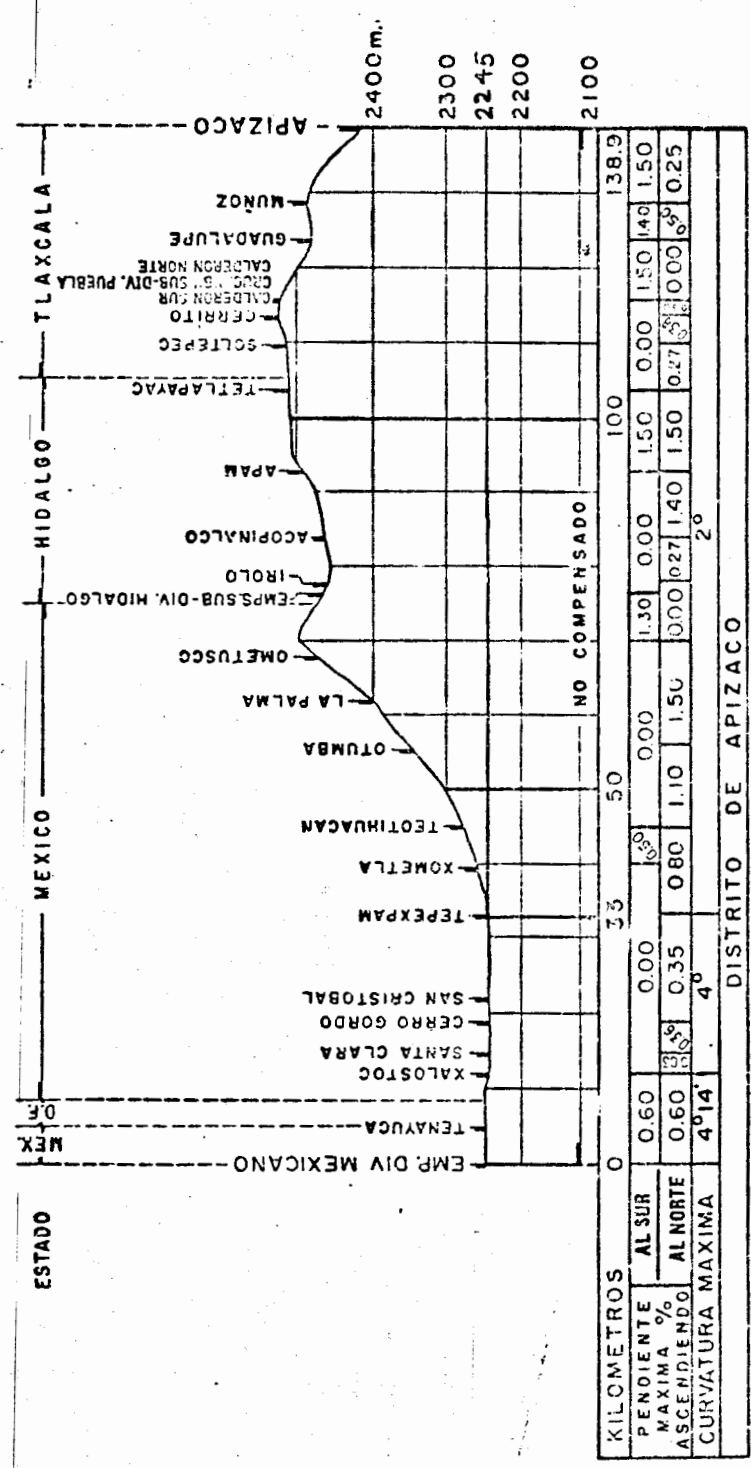
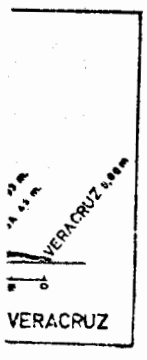
- a).-Anden para pasajeros sobre la vía principal.
- b).-Vía auxiliar o segunda para el encuentro de trenes.
- c).-Vía tercera para carga y descarga.

Los puntos anteriores son los relativos al peine de que está provista.

- d).-Agua, si por ella transitan locomotoras de vapor.
- e).-Combustible diesel, si el punto es necesario para el abastecimiento de las locomotoras.
- f).-Tanque de arena, si se localiza en alguna pendiente pronunciada, sirviendo la arena para dar mayor tracción a las ruedas motrices.
- g).-Reparaciones ligeras.

B).-Estaciones de Paso de 1er. Orden, éstas tienen como condiciones mínimas en sus instalaciones:

mos co-
 como se
 nula.
 alle de
 por el-
 último-
 de éste
 va de-
 sales -

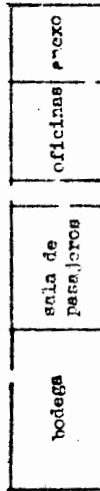
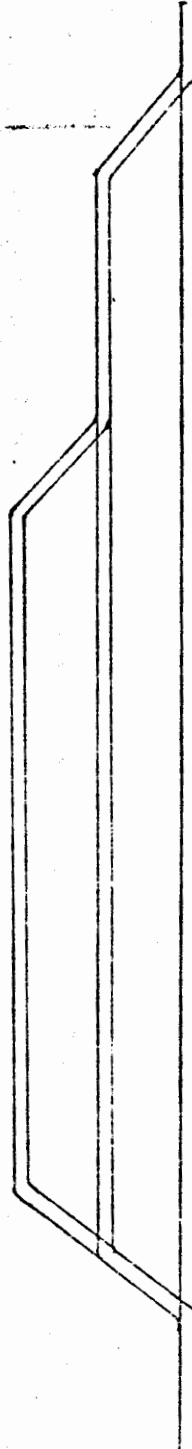


ESTADO




DISTRITO DE APIZACO

MEX OF

muelle para carga y descarga



ESTACION DE PASO DE PASO DE 20. ORDEN

-  tanque de agua
-  tanque de diesel
-  tanque de arena

Esta línea pertenece a la División del Mexicano.

Se encuentra ubicada en el Km. 33 del Empalme de la División del Mexicano, por lo que se le designa con el número S-33, su distancia a Veracruz es de 391 km., se localiza entre las estaciones de San Cristóbal S-22 y Teotihuacán S-45 .

Posee una pendiente máxima ascendente del 35% hacia el norte y hacia el sur de 0% .

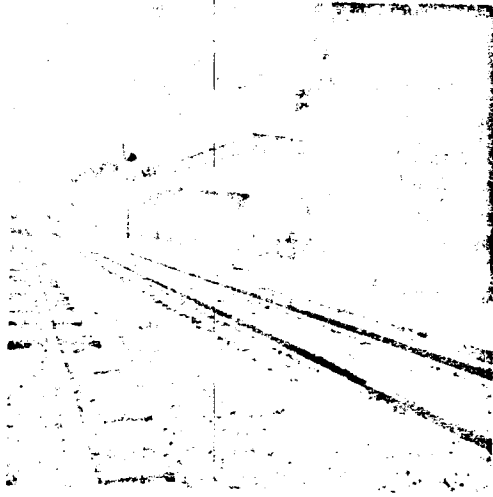
Su tráfico es de 24 trenes diarios, entre ellos los de horario y los extras.

Tiene como servicios un sistema de comunicación con las Oficinas centrales del despachador de trenes de la División del Mexicano y con cualquier otra estación de la línea, por medio del telegráfono, y un tinaco de agua. La carga de combustible se efectúa ahora en Apizaco.

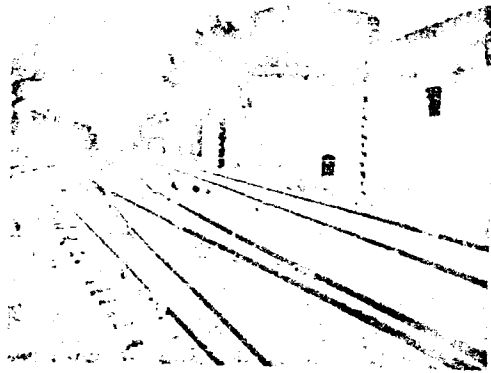
Entre los servicios de vía, al norte (sentido en que se encuentra el kilometraje), tiene un peine de 3 vías. La primera es la continuación de la vía principal y al lado de ella, se encuentra el andén para pasajeros, la vía segunda sirve para el encuentro de trenes y la vía tercera se utiliza para carga y descarga. Al sur (sentido contrario al conteo del kilometraje), se unen la vía tercera a la segunda, en una distancia de 300 metros y la segunda a la primera en 900 metros, o sea que la tercera tiene capacidad para 20 unidades, de 15 metros y la segunda de 60 unidades de 15 metros. Las uniones se realizan por medio de enlaces para vías paralelas.

Todos los cambios colocados son del No. 9, vistos anteriormente y de eje de vía a vía hay 5 metros, con el fin de librar los galibos.

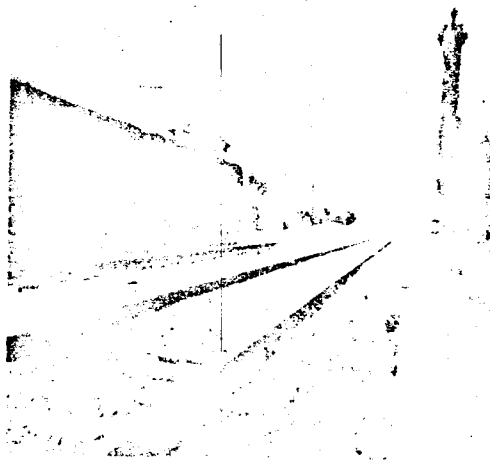
210



Andén de Pasajeros y Vista de
Troncal y Vía Segunda.



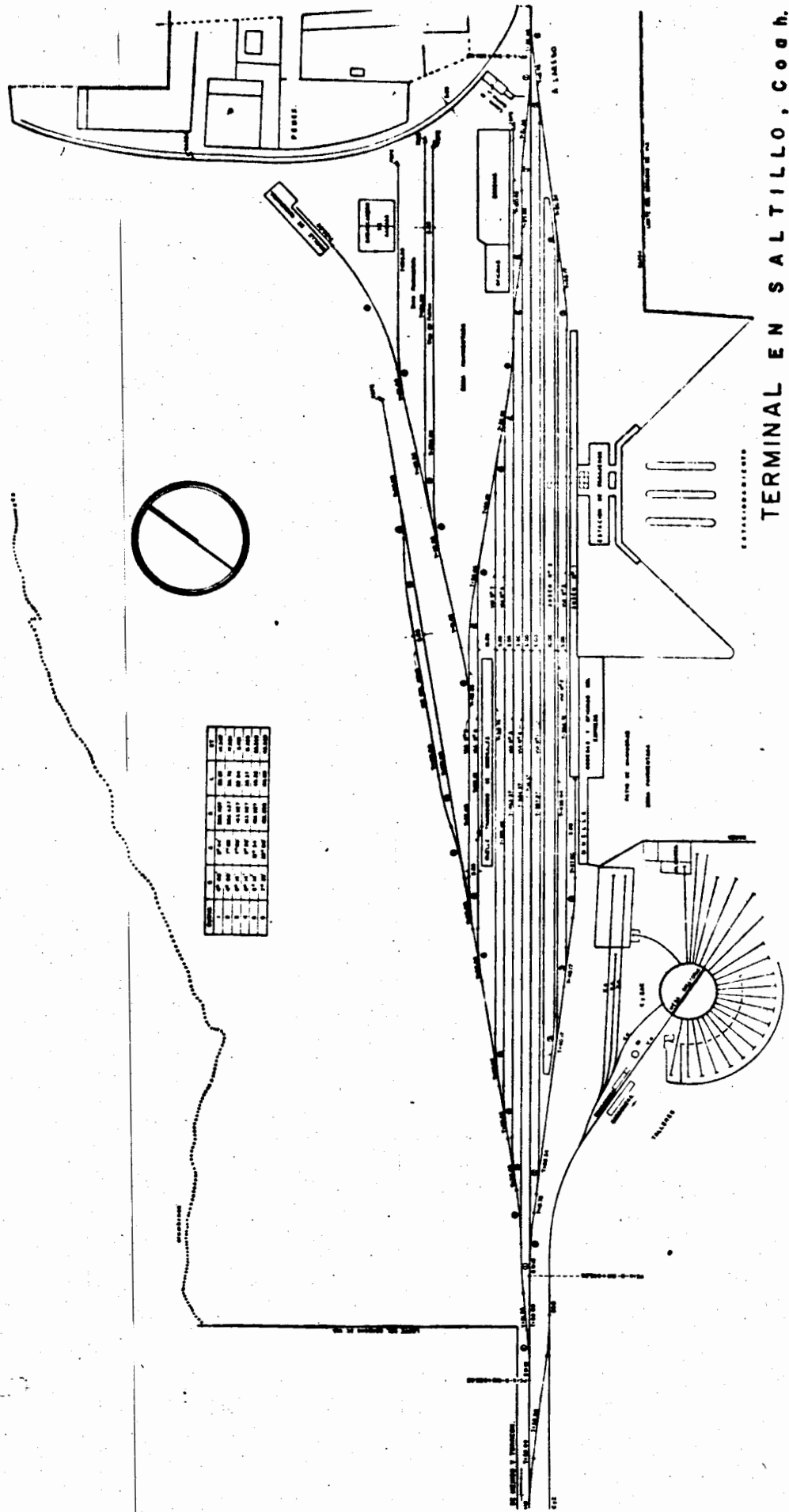
Tanque de Agua y Vista de
las 3 Vías.



Torre de Señales y Vagones
Descargando.



Enlaces de Vías.



TERMINAL EN SALTILLO, COAH.

NO.	DESCRIPCION	AREA	VOLUMEN	VALOR
1	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
2	ESTACION DE CARGA	1000	1000	1000
3	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
4	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
5	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
6	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
7	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
8	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
9	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
10	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
11	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
12	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
13	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
14	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
15	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
16	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
17	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
18	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
19	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000
20	ESTACION DE PASAJEROS	1000	1000	1000

Las instalaciones de la estación son una sala de pasajeros, bodega y oficina.

ESTACION DE PASO DE 1ER. ORDEN.

Como ilustración daremos un proyecto de estación de paso de 1er. orden, localizada en Saltillo, Coah.

Como se ve en el dibujo, posee un edificio para carga, otro para pasaje, muelles de carga y descarga, vías auxiliares para el encuentro de trenes, patio de recibo, patio de clasificación, casa redonda y casa diesel, casa de fuerza, combustible, agua, refacciones y báscula electrónica. Para los trenes de carga que entran por el norte de la estación, el primer punto obligado de uno que va a llegar a la estación, es el patio de recibo, en donde hay vías suficientes para recibir los trenes. La máquina no estorba y deja los carros para muy distintos destinos, se desacopla y puede ir a la mesa de lavado y talleres si es necesario, sino, directamente va a la vía de locomotoras a esperar su turno. Saliendo la máquina de camino, llega la máquina de patio y empieza a clasificar los carros, los que se necesitan pesar, los lleva a la báscula y después los mete a su vía correspondiente.

De las vías de clasificación destinadas a la estación de carga, la máquina de patio toma los carros y los lleva a ésta para meterlos a las vías que les corresponda.

De las vías de la estación de carga, la máquina de patio saca los carros que estén listos para ser llevados al patio de carga, para pesarlos y clasificarlos.

De las vías de clasificación, la máquina de patio los saca para formar los trenes que van a salir, ya sea al norte o al sur.

Los trenes que van a salir se forman en las vías de despacho para recibir su llamado final.

CAPITULO VII.

CONDICIONES MINIMAS QUE REQUIERE UNA ESTACION TERMINAL.

Como habíamos explicado anteriormente, las estaciones terminales pueden clasificarse en 1er. Orden, o sea que prestan servicios para ciudades de más de 1 000 000 habitantes y de 2o. Orden para 500 000 habitantes.

Como condiciones mínimas en sus servicios podemos enumerar-- las siguientes:

- a).- Edificios para pasajeros perpendicular a las vías principales de acceso.
- b).-Edificio para carga y descarga.
- c).-Patio de recibo.
- d).-Patio de clasificación por gravedad.
- e).-Casa redonda y casa diesel.
- f).-Casa de fuerza.
- g).-Suministros de combustible y refacciones.
- h).-Báscula electrónica.
- i).-Patio de joroba.
- j).-Control electrónico del patio de clasificación por medio de retardadores.
- k).- Control general de trenes que entran a la estación por medio de sistemas CTC.

Como ejemplo general de una estación terminal de 1er. Orden daremos la que hay en el Valle de México.

Sabemos que el edificio para pasaje se localiza Buenavista y la de carga en Pantaco.

Esta última estación posee un amplio sistema moderno para carga y descarga.

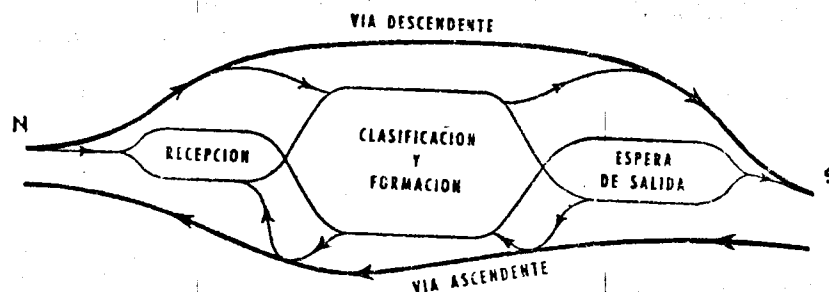
El patio de recibo, es un patio plano a donde llegan los coches de todas direcciones, en él, son acomodados los trenes que van a ser clasificados.

No existen diseños especiales para los patios de recibo, por lo que hay que considerar los siguientes conceptos:

- 1).- Volúmen de tráfico.
- 2).- División del tráfico.
- 3).- Tipo de terminal.
- 4).- Tiempo requerido para el recibo y despacho de carros.

La estación del Valle de Mexico, posee un patio de recibo comunicado de extremo a extremo con uno de clasificación y con patios de despacho a los costados del de clasificación.

Esquema de principio de una estación de clasificación rodeada por sus vías principales



El funcionamiento del patio de clasificación de gravedad o toroba, consiste en empujar sobre una vía con pendiente desde la cresta de la toroba, controlando su marcha por gravedad, por medio de retardadores, para de allí clasificarlos. Los carros son guiados hacia sus correspondientes vías a través de cambios operados por control remoto.

Ahora daremos con detalle el funcionamiento de este patio.

1.- La asignación de locomotoras de patio puede consistir de una o dos máquinas para el goteo de los carros y de una o dos máquinas para la formación de trenes, dependiendo básicamente del volumen de tráfico.

La máquina de la Joroba puede usarse para la formación de los trenes en el extremo de la Joroba y para ayudar a la máquina de formación a armar cualquier tren que deba ser despachado rápidamente.

Tanto el goteo como la formación puede ejecutarse por una sola máquina, trabajando en la Joroba, dependiendo éste del volumen de tráfico.

2.- Para el recibo.- Los trenes que vienen de una cierta dirección entran en el patio de recibo por el extremo opuesto a la Joroba y los que provienen de la otra dirección lo hacen por el extremo de la Joroba, usando una vía auxiliar, muy poco transitada. En el caso de la Terminal del Valle de México, como casi toda la carga, entra por el Norte del Valle, dicha vía auxiliar es de poco uso, pues por el sur sólo los trenes a Balsas y a Uruapan entran al Valle.

3.- Goteo.- Una máquina de Joroba se mueve a lo largo de una vía libre hasta colocarse detrás de un tren en el patio de recibo, empujándolo hasta a la cresta de la Joroba; si se usan dos máquinas, una de ellas se moverá por una vía libre, mientras la otra ejecuta el goteo. Para evitar demoras cuando la máquina de goteo ha empujado el último carro y se retira prosiguiendo por la vía de goteo libre, deberá empezar a gotear la otra máquina. La máquina de la Joroba ejecuta el acomodo empujando los carros hacia el patio de clasificación, colocándolos en la vía que corresponde a cada uno.

4.- Formación.- La máquina destinada a la formación de trenes trabajando en el extremo más lejano a la Joroba del patio de clasificación luego los jala hacia atrás a través de los cortavías o los coloca en una de las vías abiertas de despacho, sobre la cual se vá a formar el tren y los empuja a la parte de clasificación de la vía.- Después la máquina de formación jala los carros de otra de las vías de clasificación lo suficientemente retirada para empujarlos de otra más, tomando todos estos carros, y empujándolos hacia el extremo de despacho de la vía más larga y así sucesivamente hasta completar la formación del tren.

5.- Despacho.- En una dirección los trenes son despachados desde la vía de clasificación en el extremo opuesto a la Joroba, mientras que en la otra dirección los trenes son despachados por una vía paralela a la Joroba.

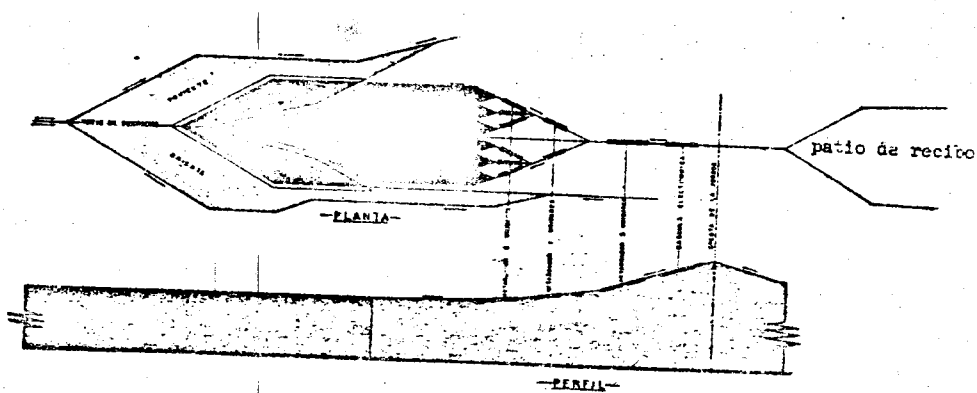
6.- Interferencias.- Las demoras pueden ser ocasionadas por interferencias entre: un tren entrando y una máquina de Joroba moviéndose sin carros a colocarse, detrás de un tren en el extremo opuesto a la Joroba; un tren entrando y un tren en proceso de goteo en el extremo de Joroba; dos máquinas de Joroba, un tren moviéndose a lo largo de los cortavías y una máquina de formación de trenes, etc.

7.- Aplicación.- Esta localización es aconsejable para localizaciones donde todo el tráfico puede ser manejado sobre una Joroba y especialmente para manejo de tráfico de cualquier clasificación y sin una dirección determinada, como es el caso del Valle de México.

La capacidad de operación del patio puede reducirse considerablemente si un gran volumen es recibido por el extremo de la Joroba del patio de recibo. Si un gran volumen del tráfico se despacha por el extremo de la Joroba, deberán instalarse corta-vías y conexiones para elimi

nar la interferencia con las operaciones de gote. Este problema no se presenta todavía en la Terminal del Valle de México, debido a que está proyectada para trabajar a menos de su capacidad en el presente, en un futuro próximo quizá se presenten estos problemas.

JOROBA.- La Joroba de 41.5 m. utilizada posee un sistema de 19 retardadores, hasta el patio de clasificación.



TALLERES.- Se le da este nombre a las instalaciones para reparación, conservación y aprovisionamiento, de locomotoras diesel y vapor. Se ajustan estrictamente a los principios técnicos de operación ferroviaria; el conjunto fué construído y equipado para que las maniobras al llevarse a cabo sin interferencias eleven la disponibilidad de las locomotoras. Su recorrido a partir de que llegan del camino hasta que esperan llamada para tomar nuevo tren, es un proceso continuado que permite recibir, lavar, conservar, abastecer y equipar las unidades en un mínimo de tiempo y sin personal excedente.

La casa redonda cuenta con 34 fosas y talleres auxiliares de carpintería, herrería, cokería, soldadura, electricidad, paillería, y planta lavadora de calderas; la mesa giratoria es de longitud de 33 metros y se mueve eléctricamente; las máquinas-herramientas son completamente nuevas, dotadas de motor individual e instaladas en salas de aparatos con alta luminosidad y gran amplitud; una fosa en cruz opera conectada con un túnel para transportar ruedas hasta la grúa viajera de 10 toneladas y otra más está destinada a carretillas de guía y motrices delanteras. En los patios, las fosas de inspección y las tomas de agua, arena y combustible pueden recibir y abastecer simultáneamente 4 locomotoras y por una vía perimetral se viran para seguir hasta el patio de llamada en un mínimo de tiempo y sin ninguna interferencia.

El nuevo taller de Tlalnepantla puede alojar 16 unidades en inspección y 8 más en reparación mediana. Está dotado con mesa Whiting para reponer trucks y carrocerías; tomas de arena y combustible; planta desmineralizadora; bombas para reposición de lubricantes y dos grúas viajeras de 30 y 15 toneladas.

Las instalaciones de vapor y diesel están auxiliadas por una casa de fuerza en la que funcionan dos calderas quemadoras de petróleo o gas y con una batería de compresoras de aire de 750 pies cúbicos por minuto.

COMUNICACIONES RADIOELECTRICAS Y SEMAFES.

A partir del 10. de marzo de 1937 funcionó el primer sistema de señales CTC en los distritos de Ferrería, Azcapotzalco, Moncalco y Julia en 44 kilómetros y con el propósito de mejorar la operación de trenes y protegerlos contra choques, rieles rotos y alcances.

Ahora también con las nuevas instalaciones se pondrá en servicio un nuevo sistema de señales CTC que cubre el territorio comprendido entre Buenavista y Huehuetoca con longitud de 155 kilómetros; está compuesto de 100 máquinas de operación electromecánicas, gobernadas desde un punto central por el despachador y de 209 señales para regular automáticamente la marcha de los trenes.

El funcionamiento del patio de clasificación se controla con 47 máquinas electromecánicas para el movimiento de las agujas de los cambios; un retardador de la "joroba" de 41.5 metros, 4 retardadores intermedios de 10.1 metros y 6 retardadores de grupo de 20.6 metros; un detector para localizar piezas en mal orden de quipo en tránsito y 4 señales para seguridad de las locomotoras que operan en "la joroba".

En la torre de mando de la "joroba" están los controles para la formación de raras, velocidades de clasificación y acceso al patio por el rumbo sur, y en la torre de retardadores los correspondientes al frenaje de carros antes de iniciar su recorrido por cualquiera de las 48 vías del patio de clasificación.

Se instalaron teletipos entre Huehuetoca, Xolox, Toluca, Cuernavaca y Los Reyes, para recibir anticipadamente el número de unidades y contenido de los trenes que estén por llegar al patio de recibo. Se mantendrá comunicación por radio entre la torre de mando y las locomotoras de patio, chequeadores de escapes y vehículos de vigilantes y funcionarios; telefónica por medio de un conmutador de 100 líneas; por alambres y aparatos

tos especiales para controlar el recorrido y presencia de los vigilantes y veladores; y con bocinas entre la torre de mando y los patios de recibo y clasificación. Además, complementan la red de intercomunicación y de control, aparatos teleautógrafos, grabadora de cinta magnética, telégrafo morse y teléfono selectivo, carrier, relojes electrosincrónicos, central y cajas contra incendio, microteléfonos portátiles y sirena de alarma.

Para la alimentación de energía eléctrica en instalaciones y alumbrado de patios, talleres, carretera perimetral, caminos de acceso y garitones, se construyó una sub-estación distribuidora de 20,000 voltios con 6 sub-estaciones reductoras locales, 22 transformadores y 18 kilómetros de líneas de alta tensión, habiéndose logrado niveles de iluminación que son verdaderamente excepcionales en instalaciones ferroviarias.

A continuación damos una tabla en donde se puede comparar el grado de eficacia, entre teléfono selectivo, telégrafo y señales CTC.

TRENES	KILOMETROS DE RECORRIDO PROMEDIO POR HORA																GRADOS DE EFICACIA	
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75		80
PASAJEROS																		58
MIXTOS																		61
CARGA																		66
Nº 1 - OPERACION POR TELEGRAFO																		
PASAJEROS																		61
MIXTOS																		71
CARGA																		72
Nº 2 - OPERACION POR TELEFONO SELECTIVO																		
PASAJEROS																		93
MIXTOS																		92
CARGA																		93
Nº 3 - OPERACION POR TELEFONO SELECTIVO Y SEÑALES "CTC"																		
PASAJEROS																		100
MIXTOS																		100
CARGA																		100
Nº 4 - OPERACION POR TELEFONO SELECTIVO, SEÑALES "CTC" RADIO VITEX Y CARRIER																		

