

39  
2 eje.



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**“VIAS FERREAS”**

T E S I S  
Que para obtener el Título de  
*INGENIERO CIVIL*  
p r e s e n t a  
**VICENTE ESCOBEDO CAMPOS**



México, D. F.

1994

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

A LA MEMORIA  
DE MI PADRE.

A MI MADRECITA.

A MI ESPOSA  
HIJOS Y NIETOS.

A MIS HERMANOS  
Y SOBRINOS.

A MIS FAMILIARES.

A MIS AMIGOS.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-071/93

Señor:  
**ESCOBEDO CAMPOS VICENTE**  
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING.ROBERTO CARVAJAL RODRIGUEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"VIAS FERREAS"**

- I. INTRODUCCION
- II. GEOMETRIA DE LA VIA
- III. RIELES
- IV. DURMIENTES
- V. BALASTO
- VI. CASO PRACTICO
- VIII. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 13 de mayo de 1993.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR\*nl1

M.

VIAS FERREAS

## VIAS FERREAS

- 1.- INTRODUCCION
- 2.- GEOMETRIA DE LA VIA
  - 2.1) CURVAS SIMPLES
  - 2.2) CURVAS COMPUESTAS
  - 2.3) CURVAS VERTICALES
  - 2.4) SOBRE-ELEVACIONES
  - 2.5) CURVAS ESPIRALES
- 3.- RIELES
  - 3.1) CARACTERISTICAS
  - 3.2) SECCIONES TIPICAS
  - 3.3) SELECCION
- 4.- DURMIENTES
  - 4.1) MADERA
  - 4.2) CONCRETO
  - 4.3) SELECCION
- 5.- BALASTO
  - 5.1) CARACTERISTICAS
- 6.- CASO PRACTICO
  - 6.1) PROYECTO DE RECTIFICACION
  - 6.2) DRENAJE



**1) INTRODUCCION:**

Las rutas de los primeros ferrocarriles en nuestro país, básicamente fueron establecidas de acuerdo a los vaivenes de la política del momento, se aplicó principalmente el criterio de unir al centro del país con ambas fronteras y litorales, y se utilizaron técnicas que aprovechaban al máximo las condiciones -- topográficas del lugar; ésto originó el establecimiento de rutas con altos costos de operación y mantenimiento, al proyectarse con tramos de fuerte curvatura y pendientes.

En el presente, las necesidades propias del país, el resurgimiento económico tan ansiado por la población y el hacer frente en una forma decorosa a la competencia del extranjero, -- obliga más que nunca a llevar a cabo programas de rectificación y rehabilitación de las líneas en general; a conocer todas y cada una de las facetas que tiene el ferrocarril y analizar sus defectos proponiendo soluciones positivas derivadas de estudios exhaustivos. En este trabajo, se tiene como objeto el estudiar una de sus facetas, las vías férreas. Centraremos el estudio en esta estructura que es la columna vertebral del ferrocarril para desarrollar un análisis sencillo de los elementos que la integran y de su comportamiento mecánico en el campo de los procesos físicos -- que componen su problemática.

Se iniciará con la geometría propia de la vía para que una vez efectuado este contacto se entre en el estudio de los componentes de la misma, de los esfuerzos que en ella se originan y en el análisis -- del comportamiento mecánico, cálculo y dimensionamiento de la misma.

El ferrocarril convencional es un sistema de transporte terrestre en el que los vehículos se apoyan en la vía por intermedio de elementos rotativos metálicos, esta interrelación se concreta en dos conceptos que son específicos del sistema:

- a) Guiado unidireccional por contacto y
- b) Utilización de la adherencia rueda-vía para la -- transmisión de los esfuerzos de propulsión y frenado.

Centrándonos en el tema vía, también aparecen dos condicionantes -- fundamentales que afectan sus características geométricas, la orografía del terreno que le sirve de soporte y la calidad del equipo de arrastre incluyendo el tonelaje movido. Desde el punto de vista económico, el trazo de las líneas normalmente debe plegarse lo más posible a esa condición que fija la naturaleza, es decir, deberá -- ajustarse en cierto modo a la configuración del terreno existente, -- por tanto se hace necesario que describa una serie de rectas y curvas, tanto en el plano horizontal como en el vertical. Este hecho se pronuncia en un país como México de fuerte orografía en la mayor parte de su territorio.

Dado que el equipo rodante se desplazará sobre la vía, se deberá cumplir en su trazo con ciertas condiciones respecto a la forma de sus curvas e inclinación de sus rasantes.

En este tipo de transporte, los efectos de las fuerzas de gravedad y de viento están compensados casi en su totalidad por las reacciones entre sólidos y la función de soporte se encomienda directamente a la vía que es guía del equipo rodante obligándolo a inscribir su marcha dentro de la geometría establecida previamente, es decir, lo obliga a seguirlo a lo largo de su eje dándole así - - el carácter unidireccional.

2) GEOMETRIA DE LA VIA.

La vecindad con un país industrializado como lo es Estados Unidos, el intercambio de equipo ferroviario así como la disponibilidad de equipo, materiales, herramienta y principalmente tecnología, han hecho que en nuestro país, se sigan las recomendaciones de la AMERICAN RAILWAY ENGINEERING ASSOCIATION (AREA) adoptándose como escantillón estandar en el sistema la distancia de 1.435 metros medida entre caras internas del hongo de los rieles que forman esta estructura y a 14 mm. por abajo del plano de rodadura.

Consideremos en primer lugar, las condiciones geométricas impuestas a la vía en relación con el trazado de las líneas y posteriormente, aquellas que aparecen por causa de la circulación del equipo que debe soportar, incluyendo los parámetros geométricos indicadores de su degradación como camino de circulación bajo los efectos del tráfico del equipo.

En relación con el trazado de las líneas, se deberá considerar su alineamiento tanto en los planos horizontal y vertical, en ambos existen rectas y curvas como consecuencia de la necesidad de adaptarse lo más posible a la superficie del terreno pero siempre dentro de las especificaciones establecidas para tal objeto tomando en cuenta el servicio e importancia de cada línea; redundo lo anterior en la inversión inicial para el establecimiento de esta servidumbre y posteriormente en los gastos de operación y conservación de la vía, es decir, las disposiciones constructivas que se adoptan para compaginar la geometría de la vía con la circulación del equipo, se reflejan tanto en el alineamiento en planta como en alzado.

En primer término, surge el concepto de peralte de la vía o sobre-elevación como medio para disminuir el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre la vía, sobre los pasajeros y sobre la carga que se transporta, con mayor efecto cuando ésta es líquida; se tiene el concepto de curva de transición para lograr una variación gradual tanto del peralte como de las aceleraciones centrífugas; estos conceptos que se citan para un tránsito con mayor confort y seguridad, llevan a otro adicional como es el sobre ancho del escantillón en las curvas dentro de la fase constructiva de la vía para facilitar el paso del equipo.

Para la determinación de nuevas rutas, se parte de -- trabajos topográficos para la localización de trazos preliminares base, compuestos de una serie de polígonos abiertos o cerrados -- compensados por pendientes gobernadoras para el futuro proyecto; -- así se obtendrá al final el polígono óptimo que satisfaga los requisitos de menor desarrollo y pendiente compensada.

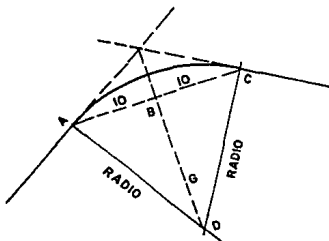
Estos polígonos llevan una serie de transiciones por cambios de dirección que obviamente no pueden ser tomados por el trazo definitivo de la vía por lo que deberán ser eliminados mediante curvas que absorban estos quiebres y se pueda pasar de una dirección a la siguiente.

## 2.1 CURVAS SIMPLES.

En principio, y desde el punto de vista del trazado, las curvas a emplear en los ferrocarriles pueden ser simples arcos de -  
circunferencia.

La descripción de una curva circular puede hacerse por -  
la longitud de su radio medido en metros, práctica extendida en la -  
mayor parte del mundo, excepción hecha de los países de habla inglé -  
sa donde las curvas simples se caracterizan por el ángulo sexagesi -  
mal subtendido en el centro por una cuerda de cien pies de longitud  
(30.48 metros), este valor es denominado Grado de Curvatura.

En México se lleva el mismo criterio aplicado al sistema  
decimal, se denomina Grado de Curvatura aquel ángulo subtendido por  
una cuerda de veinte metros de longitud.



En la figura se tiene:

$AB + BC = 20.00$  (cuerda)  
 $AD =$  Radio de la circunferencia  
 $G =$  Grado de curvatura

$$\text{Sen } \frac{G}{2} = \frac{AB}{AD}$$

$$\text{Sen } \frac{G}{2} = \frac{10}{R}$$

Expresión que nos determina la relación que existe entre el grado -  
de curvatura y el radio de la circunferencia. En tablas anexas se -  
tienen tabulados estos valores



RADIOS Y GRADOS DE CURVATURA

RADIOS, LOGARITMOS, DISTANCIAS TANGENCIALES, ETC.

Table with columns for CURVA-0, CURVA-1, CURVA-2, and CURVA-3. Each column contains data for Radius, Logarithm, and Tangential Distances (T, U, V, W).

RADIOS, LOGARITMOS, DISTANCIAS TANGENCIALES, ETC.

Table with columns for CURVA-2 and CURVA-3. Each column contains data for Radius, Logarithm, and Tangential Distances (T, U, V, W).

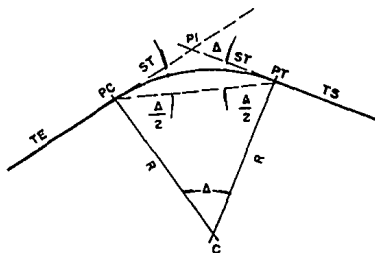






## ELEMENTOS DE UNA CURVA CIRCULAR SIMPLE.

Para poder manejar con comodidad los conceptos relacionados con las curvas de las vías, es preciso establecer una nomenclatura; la aceptada en los Ferrocarriles Nacionales de México es la siguiente:



En la figura mostrada se tiene:

TE = tangente de entrada  
 TS = tangente de salida  
 (ambas tangentes forman parte del polígono base)

PI = Punto de intersección entre las dos tangentes.

$\Delta$  = Deflexión (Azimuth) formada por el cambio de dirección -- del polígono

PC = Principio de la curva (entrada)

PT = Principio de tangente (salida)

ST = Subtangente delimitada entre el punto de intersección de las tangentes (PI) y la entrada y salida de la curva (PC y PT)

R = Radio de la curva

Con las siguientes relaciones:

$$ST = R \tan \frac{1}{2} \Delta \quad (\text{subtangente a la curva})$$

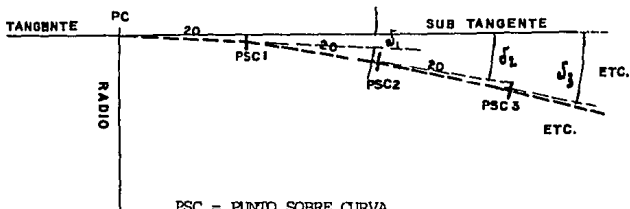
$$L = \frac{20\Delta}{G}$$

expresiones que junto al grado, deflexión y radio forman los elementos de una curva circular simple.

## TRAZO DE CURVAS CIRCULARES.

Generalmente los valores obtenidos en el cálculo de los elementos de una curva resultan muy altos y materialmente imposibles de llevar a la práctica para el trazo de curvas en base a su radio, curvatura ó flechas, sin embargo se tiene por definición que el grado de la curva es-

el ángulo subtendido por una cuerda de veinte metros; a su vez, el trazo continuo de estas cuerdas mediante deflexiones parciales llevarán a la localización de la cuerda total que sustenta a la curva en toda su longitud al formar una deflexión igual a la mitad de la deflexión total de la curva.



PSC = PUNTO SOBRE CURVA

TRAZO DE CURVAS POR DEFLEXIONES

PARA ARCOS CON CUERDAS DE 20 M.

En esta forma se puede verificar la posición del punto de inflexión (PI), de la subtangente de salida y del principio de tangente (PT)

Ejemplo.- Se requiere calcular los elementos de una curva con

$$G = 2^{\circ}16'$$

$$= 18^{\circ}46'$$

así como los valores correspondientes para su trazo.

a) con la expresión:

$$R = \frac{10}{\frac{\text{Sen } G}{2}}$$

$$R = \frac{10}{\text{Sen } 1^{\circ}08'} = 505.561$$

b) con la expresión

$$L = \frac{20}{G}$$

$$L = \frac{20}{\frac{(18 \times 60)}{(2 \times 60)} + 16} = 165.588 \text{ M}$$

c) con la expresión

$$ST = R \tan \frac{1}{2}$$

$$ST = 505.561 \tan 9^{\circ}23' = 505.561 (0.16525) = 83.544 \text{ m}$$

Los valores así obtenidos determinan la curva en proyecto.

Trazo.-

Se define:

$$d_m = 1.5 \text{ G (deflexión por metro de vía)}$$

$$d_m = 1.5 (2.27) = 3.4' \text{ (minutos/metro)}$$

Si se considera que el trazo de la curva se efectuará mediante cuerdas de veinte metros pero que esta limitada entre los cadenamientos (estaciones)

$$Pc = \text{KM-25+285.10}$$

$$Pt = \text{KM-25+450.69}$$

las cuerdas de entrada y salida tienen como longitud 14.90 y 10.69 metros respectivamente.

$$14.90 \times 3.4' = 50.66' = 51'$$

$$20.00 \times 3.4' = 68.00' = 68'$$

$$10.69 \times 3.4' = 36.34' = 36'$$

Tabulación:

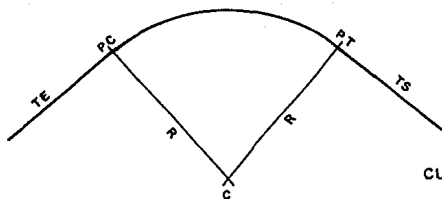
<u>ESTACION</u>	<u>LONGITUD CUERDA</u>	<u>CUERDA</u>	<u>Z</u>	<u>Z Δ</u>
Pc=KM-25+285.10				
25+300.00	14.90	51'	51'	0°51'
25+320.00	20.00	68'	119'	1°59'
25+340.00	20.00	68'	187'	3°07'
25+360.00	20.00	68'	255'	4°15'
25+380.00	20.00	68'	323'	5°23'
25+400.00	20.00	68'	391'	6°31'
25+420.00	20.00	68'	459'	7°39'
25+440.00	20.00	68'	527'	8°47'
PT=KM-25+450.69	<u>10.69</u>	36'	563'	9°23' = $\frac{1}{2}$
	L = 165.59			

## 2.2) CURVAS COMPUESTAS

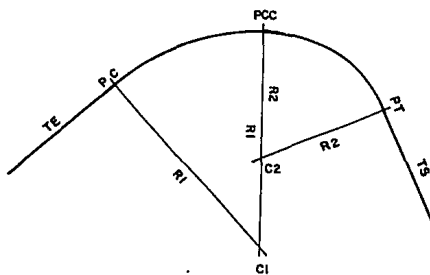
Establecidas las características geométricas de una - curva circular y bajo los mismos lineamientos para su diseño y cálculo, estas curvas pueden manejarse en algunas composiciones.

Una curva sencilla es aquella que tiene un sólo radio-perpendicular a la tangente del arco de circunferencia, pero - pueden ser compuestas cuando se llevan en el mismo sentido dos o - más curvas sencillas con diferentes grados de curvatura y radios, - considerando además que entre ellas se tienen puntos de tangencia-comunes.

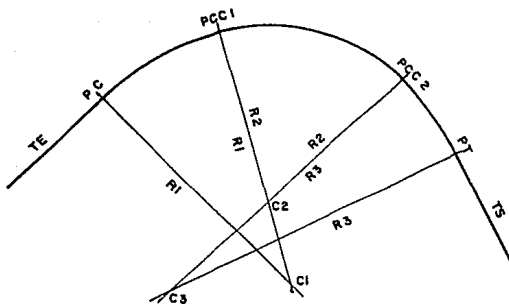




CURVA SIMPLE



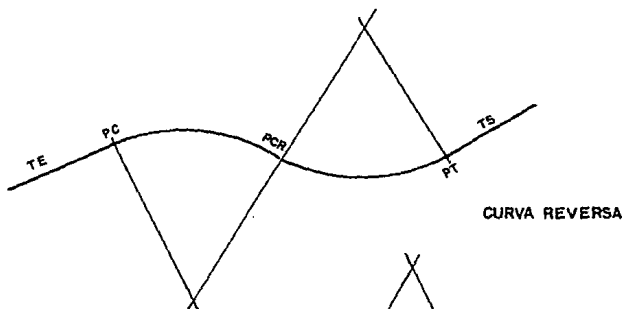
CURVA COMPUESTA SENCILLA



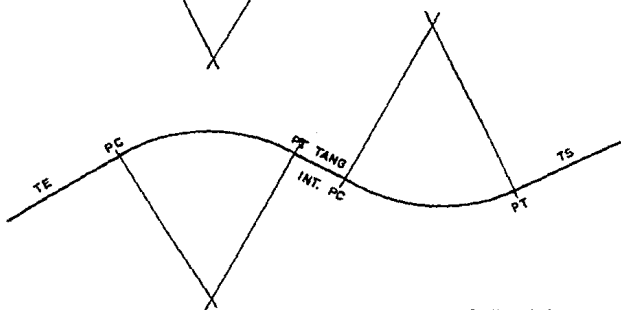
CURVA COMPUESTA DOBLE

CURVA REVERSA

En el caso de las curvas reversas y aún cuando las especificaciones no lo determinan exactamente, conviene proyectar una tangente intermedia que enlace ambas curvas con objeto de evitar el brusco cambio de dirección entre una y otra curva. Esta tangente debe entonces seleccionarse con una longitud mínima igual a la longitud entre acopladores del equipo que se opere, así la transición durante el movimiento será de curva a tangente y de tangente a curva, evitando el cabeceo del equipo que transmite estos esfuerzos a la vía.



CURVA REVERSA



CURVA REVERSA

CON TANGENTE INTERMEDIA

### 2.3 CURVAS VERTICALES.

Economicamente es imposible construir conservando una pendiente uniforme a lo largo de la línea en proyecto; como - ya se mencionó es necesario en el proyecto horizontal enlazar con curvas los tramos rectos, lo mismo pasa en el proyecto vertical. Para pasar paulatinamente de una pendiente a otra, se hace necesario enlazarlas con curvas verticales parabólicas para evitar los cambios bruscos de pendientes eliminándose así los choques y tirones entre las unidades que forman el convoy incluyendo la locomotora; mientras más desarrollo tengan estas curvas, mayor será la reducción que se logre en el efecto de cambio entre pendientes, - pero el desarrollo deberá ser proyectado en forma tal, que resulte compensado con el incremento en el volumen de terracerías que se origina; este procedimiento esta en función de la diferencia - algebraica de los valores de los pendientes por enlazar y por columpio se denomina "columpio" cuando la intersección de las pendientes se encuentra hacia abajo y "cima ó joroba" cuando se encuentra hacia arriba.

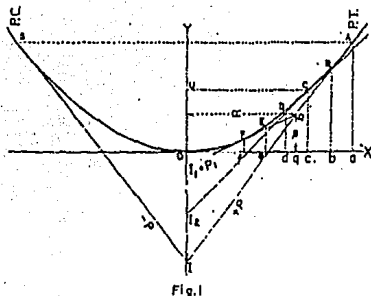
La ecuación de la parábola, referida a su eje, -- tomando éste como eje de las "Y", y la tangente en su vértice - - como eje de las "X", es la siguiente:  $X = 2 \frac{Y^2}{py} \dots \dots \dots (1)$

En todo lo que adelante se diga respecto a pendientes, debe entenderse que son tomadas en relación al eje de las "X",-- que se considerará horizontal.

Supongamos dos rectas,  $A_1$  y  $S_1$ , (Fig. 1), con pendientes iguales, pero del signo contrario (+P,-P) que vamos a ligar con un arco de parábola tangente a ellas en los puntos A y S. -- Los puntos A y S, para que el problema sea posible, en el caso -- que estamos considerando de una parábola vertical, deben estar -- equidistantes del punto I.

Supongamos ya trazada la parábola y que se le inscriba un polígono A, B, C, D, etc., del número de lados que se quiera, pero que satisfaga a la condición de que los lados, (que en lo -- sucesivo llamaremos "cuerdas"), tengan proyecciones iguales -- sobre el eje de las "X", es decir,  $ab=bc=cd=de$ , etc.

Vamos a demostrar que estas cuerdas y las tangentes a -- la parábola trazadas por los vértices del polígono tienen las -- propiedades siguientes:



1a. Si en una parábola con eje vertical se inscribe un polígono cuyos lados, (cuerdas), tengan proyecciones iguales -- sobre una línea horizontal, las diferencias sucesivas de las -- pendientes de las cuerdas son iguales, o lo que es lo mismo las -- pendientes están en progresión aritmética.

2a. La diferencia entre las pendientes de una tangente a la parábola, trazada por cualquiera de las vértices del polígono y la pendiente de cualquiera de las dos cuerdas contiguas es igual a la mitad de la diferencia de las pendientes de dos cuerdas sucesivas.

Llamemos "m" la abscisa del vértice "F" del polígono -- y "A" las proyecciones fe, ed, de, etc., de las cuerdas. Enton-- ces las abscisas de los distintos vértices se obtendrán agregan-- do a "m" tantas veces "n" como vértices del polígono inscrito --

haya antes del que se trata. Conocidas las abscisas, las ordenadas se calculan por la fórmula (1),  $y = X \frac{2}{2P}$ . Por lo tanto, las coordenadas de los vértices serán:

$$\text{Vértice A} \quad x_A = m + 5n \quad \text{---} \quad y_A = (m + 5n)^2 / 2P$$

$$\text{Vértice B} \quad x_B = m + 4n \quad \text{---} \quad y_B = (m + 4n)^2 / 2P$$

$$\text{Vértice C} \quad x_C = m + 3n \quad \text{---} \quad y_C = (m + 3n)^2 / 2P$$

$$\text{Vértice D} \quad x_D = m + 2n \quad \text{---} \quad y_D = (m + 2n)^2 / 2P$$

$$\text{Vértice E} \quad x_E = m + n \quad \text{---} \quad y_E = (m + n)^2 / 2P$$

$$\text{Vértice F} \quad x_F = m \quad \text{---} \quad y_F = m^2 / 2P$$

Las pendientes de las cuerdas serán:

$$\text{Cuerda AB} \quad \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B} = \frac{(m + 5n)^2 / 2P - (m + 4n)^2 / 2P}{(m + 5n) - (m + 4n)} = (2m + 9n) / 2P$$

$$\text{Cuerda BC} \quad \frac{y_B - y_C}{x_B - x_C} = \frac{(m + 4n)^2 / 2P - (m + 3n)^2 / 2P}{(m + 4n) - (m + 3n)} = (2m + 7n) / 2P$$

$$\text{Cuerda CD} \quad \frac{y_C - y_D}{x_C - x_D} = \frac{(m + 3n)^2 / 2P - (m + 2n)^2 / 2P}{(m + 3n) - (m + 2n)} = (2m + 5n) / 2P$$

$$\text{Cuerda DE} \quad \frac{y_D - y_E}{x_D - x_E} = \frac{(m + 2n)^2 / 2P - (m + n)^2 / 2P}{(m + 2n) - (m + n)} = (2m + 3n) / 2P$$

$$\text{Cuerda EF} \quad \frac{y_E - y_F}{x_E - x_F} = \frac{(m + n)^2 / 2P - m^2 / 2P}{(m + n) - m} = (2m + n) / 2P$$

Las diferencias de estas pendientes son constantes e iguales  $\frac{n}{P}$ ; lo que demuestra la primera propiedad enunciada. A esta misma conclusión puede llegarse sin hacer el cálculo de las pendientes, teniendo en cuenta el siguiente principio:

Si en una progresión aritmética, cuya razón es "r", se elevan sus términos al cuadrado y se obtienen las diferencias sucesivas de los cuadrados, estas diferencias forman una nueva progresión aritmética cuya razón es  $2r^2$ .

Las pendientes de las cuerdas se obtienen dividiendo la diferencia de las ordenadas de sus extremos por la diferencia de las abscisas de los mismos. La diferencia de las ordenadas es igual a la diferencia de los cuadrados de las abscisas,

$$[ y_2 - y_1 = a(x_2^2 - x_1^2) \frac{1}{2p} ] \quad \text{que están en progresión -}$$

aritmética y cuya razón es "n", multiplicada esta diferencia por  $\frac{1}{2p}$  ; y la diferencia de las abscisas es constante e igual a "n". Luego las pendientes de las cuerdas estarán en progresión aritmética, cuya razón será dos veces el cuadrado de "n" multiplicada por  $\frac{1}{2p}$  , y dividido por "n", o sea

$\frac{2(n)^2 \frac{1}{2p}}{n} = \frac{n}{p}$  lo que también demuestra la primera propiedad enunciada.

La segunda propiedad se demuestra de la manera siguiente: Tracemos una tangente, (Fig. 1), por un vértice cualquiera por C, por ejemplo. Según teorema conocido, la subtangente  $U_2$  es igual al doble de la ordenada del punto de contacto; luego :

$$U_2 = 2C_c = 2y_c$$

La pendiente de la tangente  $C_2$  es igual a:

$$\frac{U_2}{CU} = \frac{2y_c}{x_c} = \frac{2(m+3n)^2 \frac{1}{2p}}{m+3n} = (m+3n) \frac{1}{p}$$

Las diferencias entre esta pendiente y las pendientes de las cuerdas CD y CB son:

$$\text{Primera: } (m+3n) \frac{1}{p} - (2m+5n) \frac{1}{2p} = \frac{1}{2} \frac{n}{p}$$

$$\text{Segunda: } (2m+7n) \frac{1}{2p} - (m+3n) \frac{1}{p} = \frac{1}{2} \frac{n}{p}$$

Estas diferencias de pendientes son precisamente iguales a la mitad de la diferencia de pendientes de dos cuerdas sucesivas; lo que demuestra la segunda propiedad enunciada.

Antes de indicar el procedimiento que se debe seguir para calcular las cotas de los puntos de la parábola, demos-tremos - la siguiente propiedad de las tangentes trazadas a esta curva desde un punto exterior cualquiera. (Fig. 1).

Si desde un punto exterior Q, se trazan a la parábola las dos tangentes posibles, las proyecciones de estas tangentes - - sobre la normal al eje de simetría son iguales.

Llamemos  $\alpha$  y  $\beta$  las coordenadas del punto Q, para determinar las coordenadas Xe y de los puntos de contacto, haremos -- uso de las dos fórmulas siguientes:



$$\alpha x = p (\beta + y) \dots \dots \dots (2)$$

con la que se expresa que el punto de contacto está sobre la tangente, y

$$x^2 = 2 p y \dots \dots \dots (3)$$

que expresa que el punto de contacto está sobre la parábola.

Eliminando a "y" de estas ecuaciones y despejando a "x" se tiene:

$$x = \alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - 2 p \beta}$$

fórmula que expresa que las abscisas de los dos puntos de contacto son iguales a la abscisa de punto Q, más el valor del radical para el punto A, y menos el valor del radical para el punto F; - luego  $q_f = q_a = \sqrt{\alpha^2 - 2 p \beta}$ , que es lo que se quería demostrar.

Conocidas estas propiedades de la parábola, apliquémoslas para calcular las cotas de sus puntos, (los que se - - quieran).

Obténgase la diferencia algebraica, que llamaremos "D", de las pendientes por enlazar; divídase esta diferencia por el número de cuerdas, (número que conviene sea entero para - facilitar las operaciones numéricas), y el cociente representará la variación de pendiente, (que llamaremos "v"), entre dos cuerdas sucesivas; la mitad de esta variación, (1/2 u) representará-

la variación de pendiente entre la primera tangente y la primera cuerda, y entre la última cuerda y la última tangente.

En la práctica no se fija arbitrariamente el número de cuerdas, (las cuerdas o estaciones son iguales puesto -- que en el terreno todas las medidas se hacen horizontalmente, y -- son de 20 metros según lo establecido), sino lo que se fija es -- la variación "v" de pendiente entre las cuerdas, y el número de -- estas cuerdas se obtiene en función de "v" y de la diferencia al -- gebráica "D" de las pendientes de las tangentes por enlazar.

Determinado el número de cuerdas de 20 metros, -- se conoce (en proyección horizontal), el desarrollo total que -- tendrá el arco de la parábola que enlazará las tangentes.

La American Railway Engineering Association -- recomienda (pág. 185 del Manual de 1921) los siguientes valores -- para "variaciones" de las pendientes para cuerdas de 100 pies:

En vías de la clase A y en "columpios".....0.05%

En vías de la clase A y en "cimas".....0.10%

En vías de la clase B y en "columpios"....0.10%

En vías de la clase B y en "cimas".....0.20%

Como estas variaciones son para cuerdas de 100 -- pies, determinemos las correspondientes a cuerdas de 20 metros, --

con la condición de que las parábolas trazadas en los dos sistemas de medidas sean iguales.

Para esto calculemos los parámetros de las parábolas en pies y después expresémoslas en metros. (Los cálculos son tan sencillos que no se indican en estas notas, se recomienda a los estudiantes -- hacerlos). Las fórmulas de las parábolas en los dos sistemas de medidas para los tres casos (el segundo y el tercero son iguales -- puesto que las variaciones son las mismas), son las siguientes:

	1er. caso..... $x^2 = 400\ 000$ y
En pies	2o. y 3er. caso.... $x^2 = 200\ 000$ y
	4o. caso..... $x^2 = 100\ 000$ y
	(1 pié = 0.3048 m)
	1er. caso..... $x^2 = 121\ 920$ y
En metros	2o. y 3er. caso.... $x^2 = 60\ 960$ y
	4o. caso..... $x^2 = 30\ 480$ y

Aplicando estas tres últimas fórmulas para nuestro -- caso de cuerdas de 20 m., se obtienen las variaciones siguientes:

1er. caso, "V"=0.00656; 2o. y 3er. caso, "V"=0.01312, 4o. caso, -- "V"=0.02624.

Teniendo en cuenta que las variaciones de 0.05, -- 0.10 y 0.20% adoptadas por la AREA no son deducidas por consideraciones rigurosamente matemáticas, se recomienda, con objeto de simplificar las operaciones numéricas, usar, para cuerdas de 20 m., --

las siguientes que se aproximan a las obtenidas por el cálculo:

En vías de la clase A y en "columpios"....0.01 p/v...(I)

En vías de la clase A y en "cimas".....0.02 p/v...(II)

En vías de la clase B y en "columpios"....0.02 p/v...(II)

En vías de la clase B y en "cimas".....0.04 p/v...(III)

(El signo p/v indica "pendiente por veinte".)

Las fórmulas de las parábolas correspondientes a las variaciones (I), (II) y (III), expresados sus parámetros en metros son - las siguientes:

$$\text{1er. caso.....}x^2 = 80000y("v"=0.01 \text{ p/v})$$

$$\text{2o. y 3er. caso.....}x^2 = 40000y("v"=0.02 \text{ p/v})$$

$$\text{4o. caso.....}x^2 = 20000y("v"=0.04 \text{ p/v})$$

Pueden usarse estas fórmulas para determinar las variaciones cuando se haya localizado la línea con cuerdas que no sean de - 20 m., como puede suceder cuando la curva vertical coincida con una curva horizontal de transición, pues éstas generalmente se localizan con cuerdas de 5 a 10 metros.

Habiendo fijado las variaciones de pendiente por 20 unidades (metros), para aplicar el procedimiento que se indicará, deben transformarse las pendientes de las tangentes por enlazar, que se - expresa en "tantos por ciento" en "pendientes por veinte" con objeto de hacer homogéneos los datos para esto divídanse las "pendientes - por ciento", por 5 o multiplíquese por 0.2.

Hemos dicho que el número de cuerdas o estaciones conviene sea entero, pero además debemos indicar que en algunos -- casos conviene que sea par y en otros impar. Conviene que sea -- par cuando el P.I. (punto de intersección de las tangentes por enlazar), se haya localizado en una estación completa de 20 metros, e impar cuando lo haya sido en una media estación de 10 metros. -- Lo anterior con el objeto de que las cuerdas coincidan con las es taciones que se marcan en el terreno, facilitándose con esto las operaciones numéricas.

PROCEDIMIENTO.--Divídase la diferencia algebraica "D" -- de las pendientes de las tangentes por enlazar ya transformadas -- en pendientes por 20, entre la variación "V" que se elija; si el cociente es entero y par, y el P.I. se localizó en estación com-- pleta, ese cociente representará el número de cuerdas de 20 -- -- metros que debe tener la parábola y "V" la variación definitiva;-- y si es impar o fraccionario, tómese el número par inmediato su-- perior L y vuélvase a dividir D entre L; el cociente representará la variación definitiva "V" que se debe adoptar. A la pendiente de una de las tangentes se le suma o se le resta, según el caso,-- la semivariación y se sigue sumando o restando la variación para-- ir obteniendo las pendientes de las cuerdas; a la pendiente de la última cuerda se le suma o se le resta la semivariación y se debe encontrar, como comprobación numérica, la pendiente de la última--

tangente. Si el P.I. se localizó en una media estación, el número de cuerdas debe ser impar, procediéndose de la misma manera para determinar las pendientes de las cuerdas.

Por lo anterior vemos que las operaciones numéricas para determinar las pendientes de las cuerdas se comprueban, puesto que partiendo de la pendiente de una tangente se debe llegar a la pendiente de la otra.

Igualmente se deben comprobar las cotas de los puntos o vértices del polígono formado por las cuerdas y para esto nos servimos de la propiedad ya demostrada de las tangentes trazadas por un punto, de que sus proyecciones sobre la normal al eje de simetría son iguales. Así, si Q es el punto de intersección -- (P.I.), de las dos tangentes extremas, partiendo de la cota de -- este punto, que debe conocerse, por el proyecto del "perfil-formación", se calculan las cotas del P.C., (Punto F.) y del P.T., -- (punto A), en función de las distancias  $q_f$  y  $q_a$  y de las pendientes  $+ P_1$  y  $+ P$  respectivamente, (Fig. 1).

Cuando las tangentes por enlazar tienen pendientes -- del mismo signo, las pendientes de las cuerdas van aumentando o -- disminuyendo constantemente, es decir, que para calcular estas últimas, se opera con cantidades del mismo signo. No sucede lo --

mismo cuando las tangentes tienen pendientes de signo contrario. En este caso hay que tener cuidado con el signo del resultado de cada operación para saber si la siguiente debe ser suma o resta; de todas maneras se cambia de suma a resta o de resta a suma una sola vez en cada curva, sucediendo esto cuando se pase por el -- vértice de la parábola o sea el punto más bajo o el más alto de la misma.

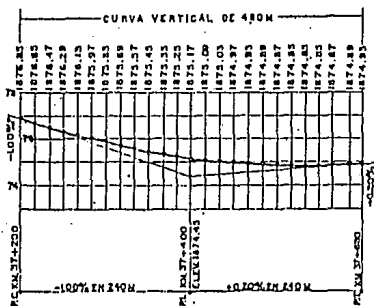


Fig. 2

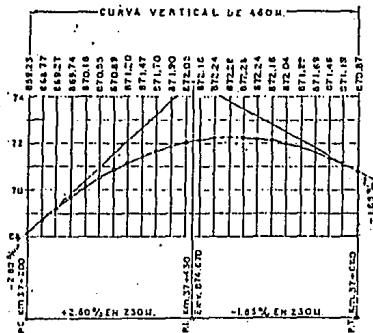


Fig 3

EJEMPLO NUMERICO (FIGURA 2)

LINEA CLASE "A" (COLUMPIO)

VARIACION = 0.01 P/V

PENDIENTE ENTRADA =  $-1\% \times 0.01 \times 20.00 = -0.20$  P/VPENDIENTE SALIDA =  $+0.20\% \times 0.01 \times 20.00 = +0.04$  P/VDIFERENCIA ALGEBRAICA =  $-0.20 - (+0.04) = -0.24$ ;  $0.24/24 = \frac{0.01}{0.005}$ NUMERO ESTACIONES =  $0.24/0.01 = 24 \times 20.00 = 480$  METROS LONGITUDPCV=KM-37+200 COTA = 1876.85PTV=KM-37+680 COTA = 1874.93

<u>ESTACION</u>	<u>PENDIENTE</u>	<u>COTA</u>	
37+200	- 0.20	<u>1876.850</u>	COTA ENTRADA (PCV)
	+ 0.005		
37+220	<u>-0.195</u>	1876.655	
	+0.01		
37+240	<u>-0.185</u>	1876.470	
	+0.01		
37+260	<u>-0.175</u>	1876.295	
	+0.01		
37+280	<u>-0.165</u>	1876.130	
	+0.01		
37+300	<u>-0.155</u>	1875.975	
	+0.01		
37+320	<u>-0.145</u>	1875.830	
	+0.01		
37+340	<u>-0.135</u>	1875.695	
	+0.01		
37+360	<u>-0.125</u>	1875.570	
	+0.01		
37+380	<u>-0.115</u>	1875.455	
	+0.01		
37+400	<u>-0.105</u>	1875.350	
	+0.01		
37+420	<u>-0.095</u>	1875.255	
	+0.01		
37+440	<u>-0.085</u>	1875.170	
	+0.01		
37+460	<u>-0.075</u>	1875.095	
	+0.01		
37+480	<u>-0.065</u>	1875.030	
	+0.01		
37+500	<u>-0.055</u>	1874.975	
	+0.01		
37+520	<u>-0.045</u>	1874.930	
	+0.01		
37+540	<u>-0.035</u>	1874.895	
	+0.01		
37+560	<u>-0.025</u>	1874.870	
	+0.01		
37+580	<u>-0.015</u>	1874.855	
	+0.01		
37+600	<u>-0.005</u>	1874.850	
	+0.01		
37+620	<u>+0.005</u>	1874.855	(CAMBIO DE SIGNO)
	+0.01		
37+640	<u>+0.015</u>	1874.870	
	+0.01		
37+660	<u>+0.025</u>	1874.895	
	+0.01		
37+680	<u>+0.035</u>	1874.930	(COTA SALIDA)
	+0.005		
	<u>+0.040</u>		(PENDIENTE DE SALIDA)



EJEMPLO NUMERICO (FIGURA 3)  
LINEA CLASE "B" (CIMA 6 JOROBA)

VARIACION = 0.04 P/V

PENDIENTE DE ENTRADA =  $+2.80\% \times 0.01 \times 20.00 = +0.56$  P/V

PENDIENTE DE SALIDA =  $-1.65\% \times 0.01 \times 20.00 = -0.33$  P/V

DIFERENCIA ALGEBRAICA =  $+0.56 - (-0.33) = +0.89$  P/V

NUMERO DE ESTACIONES =  $0.89/0.04 = 22.25 = 23 \times 20.00 = 460$  METROS LONGITUD

VARIACION CORREGIDA =  $0.89/23 = 0.0387$ ;  $\frac{0.0387}{0.01935}$

PCV=KM-37+200

COTA = 868.230

PTV=KM-37+660

COTA = 870.875

<u>ESTACION</u>	<u>PENDIENTE</u>	<u>COTA</u>
37+200	+0.56	868.230
	<u>-0.01935</u>	
37+220	+0.54065	868.771
	<u>-0.03870</u>	
37+240	+0.50195	869.273
	<u>-0.03870</u>	
37+260	+0.46325	869.736
	<u>-0.03870</u>	
37+280	+0.42455	870.160
	<u>-0.03870</u>	
37+300	+0.38585	870.546
	<u>-0.03870</u>	
37+320	+0.34715	870.893
	<u>-0.03870</u>	
37+340	+0.30845	871.202
	<u>-0.03870</u>	
37+360	+0.26975	871.472
	<u>-0.03870</u>	
37+380	+0.23105	871.703
	<u>-0.03870</u>	
37+400	+0.19235	871.895
	<u>-0.03870</u>	
37+420	+0.15365	872.049
	<u>-0.03870</u>	
37+440	+0.11495	872.164
	<u>-0.03870</u>	
37+460	+0.07625	872.240
	<u>-0.03870</u>	
37+480	+0.03755	872.277
	<u>-0.03870</u>	
37+500	-0.00115	872.279 (CAMBIO DE SIGNO)
	<u>-0.03870</u>	
37+520	-0.03985	872.239
	<u>-0.03870</u>	
37+540	-0.07855	872.160
	<u>-0.03870</u>	
37+560	-0.11725	872.043
	<u>-0.03870</u>	
37+580	-0.15595	871.887
	<u>-0.03870</u>	
37+600	-0.19465	871.692
	<u>-0.03870</u>	
37+620	-0.23335	871.459
	<u>-0.03870</u>	
37+640	-0.27205	871.187
	<u>-0.03870</u>	
37+660	-0.31075	870.876 COTA DE SALIDA (PVT)
	<u>-0.01935</u>	
	-0.33010 (PENDIENTE DE SALIDA)	

## 2.4 SOBRE-ELEVACIONES.

Como ya se ha indicado, la función de la vía es constituir el camino de circulación del equipo rodante, por lo que se tendrá que adaptar a las exigencias que el cumplimiento de esta función le impone; se verá entonces la adaptación geométrica de la vía a los condicionantes citados.

En planta, la vía se adapta a las exigencias impuestas por la circulación del equipo adoptando peraltes, curvas de transición y sobre anchos a la misma. Se verá entonces ahora la parte correspondiente al peralte de la vía.

Peralte o sobre elevación de la vía es la diferencia de nivel que deberá existir entre los dos rieles que forman la vía en una curva, para una sección normal al eje de la misma. Esta sobre elevación se proporciona durante los trabajos de nivelación elevando gradualmente el riel exterior y dejando el riel interior con las cotas de proyecto de la rasante.

Tiene como objetivo distribuir de una manera uniforme las cargas en ambos rieles, reducir el desgaste en éstos y en el equipo rodante, compensar parcial o totalmente el efecto de la fuerza centrífuga y proporcionar confort a los pasajeros.

Para describir una curva de la vía, el equipo necesita una aceleración centrípeta:

$$a = \frac{v^2}{R}$$

donde  $a$  = aceleración centrípeta en  $m/seg^2$

$v$  = velocidad del vehículo en  $m/seg$ .

$R$  = radio de la curva en  $m$

Si  $v$  se expresa como  $V$  en Km/hora.

$$Y = \frac{\sqrt{L \left( \frac{1000}{3600} \right)^2}}{R}$$

$$Y = \frac{\sqrt{L}}{12.96 R}$$

Esta aceleración, cuya reacción es la aceleración centrífuga que se ejerce sobre la vía y sobre los objetos o personas situadas en el - propio equipo, se mantiene a lo largo de toda la curva y afecta a - partir de un determinado valor, a las condiciones de circulación y- comodidad del viajero, principalmente, esta causa puede comprometer la seguridad en la operación.

Si se multiplica la aceleración centrífuga por la - - masa  $m$  del vehículo, se obtendrá el valor de la reacción en tonela- das que la vía ejerce sobre éste,

$$F = m \frac{v^2}{R} = \frac{W}{g} \frac{v^2}{R}$$

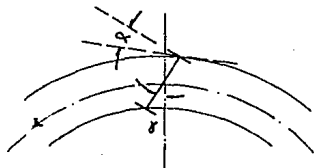
$W$  = peso del equipo (Ton. métricas)

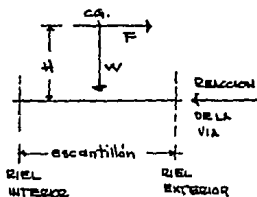
$g$  = aceleración de la gravedad

$$F = \frac{W}{9.81} \frac{v^2}{12.96 R}$$

$$F = \frac{Wv^2}{127.13 R}$$

Esta reacción de la vía sobre las - - ruedas del equipo implica una acción igual y contraria de las ruedas - - sobre la vía que tiende a abrirla.



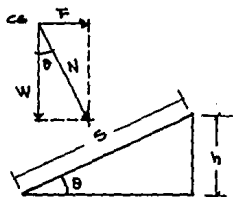


Una vez que se vence la fricción entre la rueda del equipo y el riel, el equipo -- sigue siendo guiado por el contacto entre la ceja de la rueda y la cara interna del hongo, mientras más intensa sea esta fuerza al incrementarse el ángulo  $\alpha$ , puede ocasionar que la rueda remonte al riel -- dando lugar a un descarrilamiento.

En el esquema mostrado, la fuerza  $F$  (centrífuga) origina un movimiento, de valor:

$$M = FH \text{ que tiende a volcar el vehículo.}$$

La forma de reducir estos inconvenientes de la aceleración y de la fuerza centrífuga, es inclinar transversalmente la vía hacia el interior de la curva según se muestra en el dibujo siguiente:



El peso  $W$  del vehículo aplicado en el -- centro de gravedad, se descompone en una fuerza normal  $N$  al plano de la vía y en otra  $F$  que es la fuerza centrífuga.

La inclinación necesaria sera:

$$\frac{F}{W} = \frac{h}{s} \theta$$

$$\frac{Wv^2}{127.13 R} = \frac{h}{s} \theta$$

$$\frac{v^2}{127.13 R} = \frac{h}{s} \theta$$

$$\tan \theta = \frac{F}{W}$$

Si es suficientemente pequeño, su tangente se confunde con el seno, entonces con esta expresión si puede calcular la -- sobre elevación de la curva en función --

$$h = \frac{v^2 s}{127.13 R}$$

del radio de la curvatura y el escantillón ( $e = 1.435 \text{ m}$ ) al que deberá adicionarse el ancho del hongo del riel utilizado en la vía -- para determinar el parámetro S.

Sin embargo se deberá tomar en cuenta que los valores así obtenidos determinarán una sobre elevación diseñada para -- una vía en la que circulan diversos tipos de trenes con características propias, entonces se tendrán variaciones en la velocidad de tránsito, trenes rápidos y trenes lentos; por ésto conviene entonces calcular las sobre elevaciones con velocidades medias.

En algunos países, se recurre a fórmulas empíricas derivadas de la experiencia, por ejemplo la siguiente:

donde  $h$  = Sobre elevación en mm.

$$h = K \frac{V}{R}$$

$V$  = velocidad en Km/hora

$R$  = Radio de curvatura en metros

y  $K = 825$  sólo cuando las velocidades sean mayores de 100 Km/hora.

En forma práctica, se recomienda utilizar el 0.67 del valor calculado. Ya que además se debe considerar también que con el tiempo, el paso del equipo pesado a bajas velocidades genera mayores asentamientos en el riel inferior incrementándose paulatinamente el valor de la sobre elevación; es de suma importancia el criterio del personal técnico para promediar estos imponderables.

En los Ferrocarriles Nacionales de México, partiendo de un análisis similar donde las variables son la velocidad del equipo y el grado de curvatura de la vía, se aplica la siguiente expresión:

$$h = 0.001016 \sqrt{V^4 G}$$

donde:  $h$  = sobre elevación en cm.

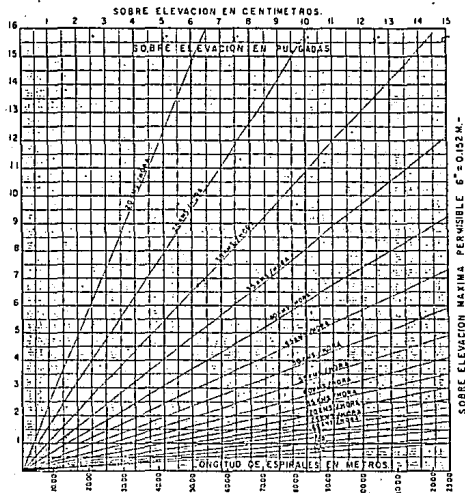
$V$  = velocidad en Km/hora.

$G$  = Grado de la curva para cuerdas  
de 20 metros.

y se especifica una sobre elevación máxima permitida de 15 cms.

Los valores obtenidos con esta expresión para distintos tipos de velocidades y grados de curvatura, se tabulan a continuación.

### GRAFICA DE SOBRE-ELEVACIONES PARA DIFERENTES GRADOS DE CURVATURA



$$\text{FORMULAS EMPLEADAS: } e = \frac{V^2 G}{1035}$$

$L$  Longitud de espaldas en metros

$e$  Sobre elevación en centímetros

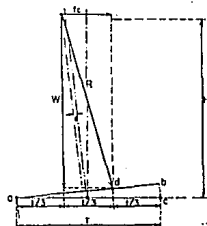
$V$  Velocidad en Kms./Hora

$G$  Grado de la curva en S. M. D.

$K$  Distancia C.C. Truques

$t$  Tolerancia mecánica o juego/losaduras.

- CONDICION DE ESTABILIDAD DEL EQUIPO EN MOVIMIENTO -



$T$  Escantillón de la Vía  
 $D$  Distancia del centro de la vía al eje del centro de gravedad  
 $e$  Sobre elevación de la Vía =  $bc$  vered.

$od$   $db = 1/3$

$fc$  Fuerza centrífuga

$W$  Peso del equipo

$R$  Resultante del peso y fuerza centrífuga

$H$  Altura del centro de gravedad.



## 2.5) CURVAS ESPIRALES.

Cuando una curva circular se une directamente a una recta en el punto de tangencia sobre ésta (PC) no es preciso ningún peralte cuando se refiere a la tangente pero si en cuanto se refiere a la curva. Como es natural, si se busca una continuidad en la curvatura de los carriles en el plano vertical se puede pensar que:

- 1.- Es conveniente iniciar y aumentar el peralte gradualmente en la recta de forma que en el punto de tangencia sea el preciso.
- 2.- Iniciar y aumentar el peralte gradualmente en la curva a partir del punto de tangencia (PC).
- 3.- Iniciar el peralte en la recta y aumentarlo parcialmente en recta y en curva, alcanzando su valor máximo en el interior de ésta.

Pero todas y cada una de ellas no son convenientes desde los puntos de vista teórico y práctico ya que en el primer caso el peso del tren se transfiere gradualmente en mayor proporción al carril inferior en el tránsito por la tangente y en forma repentina desaparece este efecto al entrar a la curva. Si el peralte es fuerte, este desplazamiento brusco puede ser la causa de un trabajo irregular de la suspensión que influye en la rodadura y en la deformación de la vía.

En el segundo caso, la fuerza centrífuga permanece sin compensar al entrar en la curva presentándose este efecto en la rueda exterior del truck delantero, incluso si la caja de la rueda no remonta el riel si origina un desgaste excesivo en ambas partes y origina una rodadura incómoda y peligrosa cesando hasta que alcance el valor del peralte preciso.

En el tercer caso se presenta un efecto combinado de los dos anteriores con el mismo impacto en el punto de tangencia, desgaste y falta de confort.



El único método para eliminar este efecto es introducir entre la recta y la curva circular, otra curva en la que gradualmente se disminuya su radio - desde el infinito en la recta hasta el valor de la curva circular que presente en su principio, mismo procedimiento a la salida de la misma.

En el proceso de construcción la altura del balasto bajo el carril exterior: en una curva es elevado en tanto que en el carril interior se conserva la cota de proyecto para lograr la sobre-elevación de la vía, en consecuencia al pasar de una recta a una curva, el carril exterior deberá elevarse progresivamente hasta alcanzar la cota correspondiente al peralte de la curva circular.



Por otra parte, en planta, la curva circular de radio  $R$  tiene una curvatura  $\frac{1}{R}$  que da lugar a una aceleración centrífuga  $\gamma$  de la cual el peralte compensa -- una parte  $\gamma_1$  con valor de:

$$\gamma_1 = \frac{h_1}{s} g$$

$s$  = separación entre ejes de rieles.

$h_1$  = peralte

quedando sin compensar una aceleración  $(\gamma - \gamma_1)$  y una fuerza centrífuga  $(F - F_1)$ .

En la recta, la curvatura es cero por tanto no se tienen aceleración ni fuerza centrífuga que compensar, por otra parte es necesario compensarlas gradualmente cuando si aparecen ya que el no hacerlo presentaría efectos de impacto lateral nocivos para la estabilidad de la vía y para la resistencia de los elementos que componen el equipo rodante. Por tanto se deberá intercalar entre la curva circular otra de curvatura creciente de  $\frac{1}{R}$  hasta  $\frac{1}{R}$ , esta curva de transición se denomina curva espiral.

El hecho de que el peralte se gane gradualmente a base de elevar el carril exterior desde la recta hasta la curva circular, da lugar a la existencia de una inclinación de este carril exterior cuyo valor medio es:

$$p = \frac{h}{L} \quad \text{donde: } h = \text{peralte de la curva circular.}$$

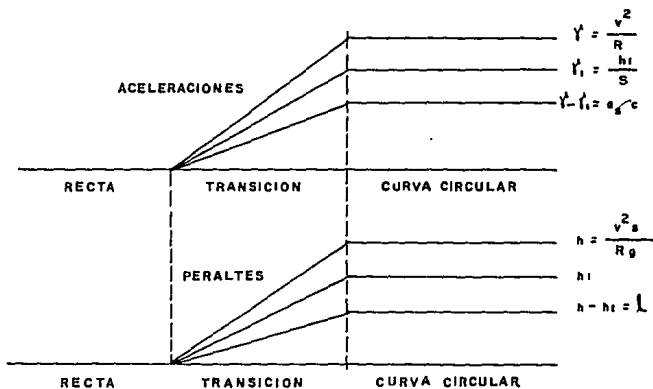
$$L = \text{longitud de la espiral.}$$

a la rasante (en elevación) que se establece de esta manera se le denomina Rampa de Peralte y su valor limita inferiormente la longitud de la curva espiral.

Si la curvatura  $\frac{1}{P}$  crece linealmente con la longitud de la curva, la aceleración centrífuga  $\gamma$  también lo hace dado que

$$\gamma = \frac{v^2}{R}$$

Si el peralte  $h$  crece linealmente con la longitud de la curva espiral la aceleración compensada  $\gamma_1$ , también lo hace, por tanto con estos dos supuestos, la aceleración sin compensar  $\gamma - \gamma_1$ , crecerá linealmente con la longitud de la curva espiral.



La curva que aumenta su curvatura  $\eta$  linealmente con su longitud  $l$  es la rautoide de arcos ó clotoide cuya ecuación intrínseca se deduce de la forma siguiente:

$$\eta = \kappa l \qquad \frac{l}{\rho} = \kappa l \qquad \rho = \frac{l}{\kappa} = \kappa_1$$

de manera práctica, en la mayor parte de los países se emplea la parábola cúbica, en la cual las ordenadas aumentan proporcionalmente al cubo de la abscisa medida desde el origen y el radio de curvatura, en cualquier punto de la curva, es casi proporcional al inverso de la distancia del punto al origen. - Su ecuación es:

$$y = \frac{x^3}{6RL}$$

donde:

L = longitud de la curva espiral

R = Radio de la curva circular

y en forma práctica también se encuentran los valores de las funciones y deflexiones de curvas espirales tomando variaciones de 15' y 30' para cada 10 metros.

**CURVA SIMPLE  
CON  
ESPIRALES SIMETRICAS**



**MODO DE USAR LAS  
TABLAS DE DEFLEXIONES**

SE TOMA LA TABLA DE DEFLEXIONES DE LA CURVA SIMPLE Y SE ENCUENTRA EL VALOR DE DEFLEXION QUE CORRESPONDE AL VALOR DE LA DISTANCIA ENTRE EL PUNTO DE ENTRADA Y EL CENTRO DE LA CURVA. ESTE VALOR SE SUMA AL VALOR DE DEFLEXION DE LA ESPIRAL Y SE ENCUENTRA EN LA TABLA DE DEFLEXIONES DE LAS ESPIRALES EL VALOR DE LA DISTANCIA ENTRE EL PUNTO DE ENTRADA Y EL CENTRO DE LA CURVA SIMPLE.

**ABREVIATURAS Y FORMULAS**

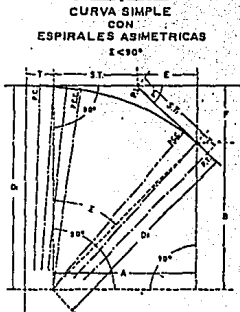
LENGUETA DEL LADO MENOR DEL RECTANGULO..... A  
LENGUETA DEL LADO MAYOR DEL RECTANGULO..... D  
DIFERENCIA ENTRE A Y S..... E  
DIFERENCIA ENTRE F Y D..... B

**FORMULAS**  
 $A = D \sin I$   
 $D = \frac{A}{\sin I}$   
 $E = D \cos I - S$   
 $B = \frac{E}{\cos I}$

**NOTA**  
 ESTAS FORMULAS SE APLICAN TAMBIEN CUANDO HAYA CURVA ESPIRAL EN UN SOLO EXTREMO DE LA CURVA.

THE ROAD MAP COMPANY 1918-19

**CURVA SIMPLE  
CON  
ESPIRALES ASIMETRICAS  
I < 90°**

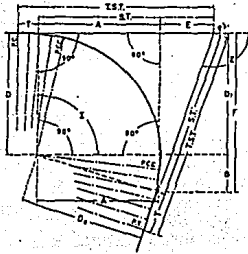


LENGUETA DEL LADO MENOR DEL RECTANGULO..... A  
LENGUETA DEL LADO MAYOR DEL RECTANGULO..... D  
DIFERENCIA ENTRE A Y S..... E  
DIFERENCIA ENTRE D Y F..... B

**FORMULAS**  
 $A = D \sin I$   
 $D = \frac{A}{\sin I}$   
 $E = D \cos I - S$   
 $B = \frac{E}{\cos I}$

**NOTA**  
 ESTAS FORMULAS SE APLICAN TAMBIEN CUANDO HAYA CURVA ESPIRAL EN UN SOLO EXTREMO DE LA CURVA.

**CURVA SIMPLE  
CON  
ESPIRALES ASIMETRICAS  
I > 90°**

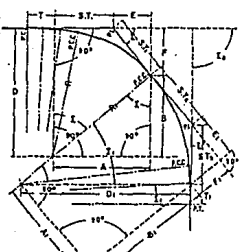


LENGUETA DEL LADO MENOR DEL RECTANGULO..... A  
LENGUETA DEL LADO MAYOR DEL RECTANGULO..... D  
DIFERENCIA ENTRE A Y S..... E  
DIFERENCIA ENTRE F Y D..... B

**FORMULAS**  
 $A = D \sin I$   
 $D = \frac{A}{\sin I}$   
 $E = D \cos I - S$   
 $B = \frac{E}{\cos I}$

**NOTA**  
 ESTAS FORMULAS SE APLICAN TAMBIEN CUANDO HAYA CURVA ESPIRAL EN UN SOLO EXTREMO DE LA CURVA.

**CURVAS COMPUESTAS  
CON  
ESPIRALES ASIMETRICAS**



LENGUETA DEL LADO MENOR DEL RECTANGULO..... A  
LENGUETA DEL LADO MAYOR DEL RECTANGULO..... D  
DIFERENCIA ENTRE A Y S..... E  
DIFERENCIA ENTRE F Y D..... B

**FORMULAS**  
 PRIMERA PARTE DE LA CURVA  
 $A = D \sin I$   
 $D = \frac{A}{\sin I}$   
 $E = D \cos I - S$   
 $B = \frac{E}{\cos I}$

**NOTA**  
 ESTAS FORMULAS SE APLICAN TAMBIEN CUANDO HAYA CURVA ESPIRAL EN UN SOLO EXTREMO DE LA CURVA.

**FUNCIÓNES DE LAS ESPIRALES**

C	D	log D	T	δ	Δ	Δ' (P.C.)	(COORDENADAS)	DEFLEXIONES DE LAS ESPIRALES
10	100	1.0000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

**TABLAS DE  
FUNCIÓNES  
Y  
DEFLEXIONES  
DE  
CURVAS ESPIRALES**  
 VARIACION  
0°-15' CADA 10m.  
 Longitud de la Espiral  
100m

**DEFLEXIONES DE LAS ESPIRALES**

Longitud	P.C.	C.C.	C.V.	C.E.	C.S.	C.T.	C.U.	C.V.	C.E.	C.C.	C.V.	C.E.	C.C.	C.V.	C.E.
10	100	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

**FUNCIÓNES DE LAS ESPIRALES**

C	D	log D	T	δ	Δ	Δ' (P.C.)	(COORDENADAS)	DEFLEXIONES DE LAS ESPIRALES
10	100	1.0000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

**TABLAS DE  
FUNCIÓNES  
Y  
DEFLEXIONES  
DE  
CURVAS ESPIRALES**  
 VARIACION  
0°-30' CADA 10m.  
 Longitud de la Espiral  
100m

**DEFLEXIONES DE LAS ESPIRALES**

Longitud	P.C.	C.C.	C.V.	C.E.	C.S.	C.T.	C.U.	C.V.	C.E.	C.C.	C.V.	C.E.	C.C.	C.V.	C.E.
10	100	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000



FUNCIONES DE LAS ESPIRALES

Table with columns C, D, log D, T, delta, delta, Curvas de P.C., COORDENADAS (X, Y), and TABLAS DE FUERZAS DE 10 M. (C, R, M). It contains numerical data for various values of C and D.

TABLAS DE FUNCIONES Y DEFLEXIONES DE CURVAS ESPIRALES VARIACION 1° 30' CADA 10 m. Longitud de la Espiral L = 400

DEFLEXIONES DE LAS ESPIRALES

Table with columns TRANSITO EN, P.C., C.C., C.C., C.C., C.C., C.C., C.C. and deflection angles (2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12°, 14°, 16°). It lists deflection values for different spiral types.

FUNCIONES DE LAS ESPIRALES

Table with columns C, D, log D, T, delta, delta, Curvas de P.C., COORDENADAS (X, Y), and TABLAS DE FUERZAS DE 10 M. (C, R, M). It contains numerical data for various values of C and D.

TABLAS DE FUNCIONES Y DEFLEXIONES DE CURVAS ESPIRALES VARIACION 2° 00' CADA 10 m. Longitud de la Espiral L = 400

DEFLEXIONES DE LAS ESPIRALES

Table with columns TRANSITO EN, P.C., C.C., C.C., C.C., C.C., C.C., C.C. and deflection angles (2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12°, 14°, 16°, 18°, 20°). It lists deflection values for different spiral types.

FUNCIONES DE LAS ESPIRALES

Table with columns C, D, log D, T, delta, delta, Curvas de P.C., COORDENADAS (X, Y), and TABLAS DE FUERZAS DE 10 M. (C, R, M). It contains numerical data for various values of C and D.

TABLAS DE FUNCIONES Y DEFLEXIONES DE CURVAS ESPIRALES VARIACION 2° 30' CADA 10 m. Longitud de la Espiral L = 400

DEFLEXIONES DE LAS ESPIRALES

Table with columns TRANSITO EN, P.C., C.C., C.C., C.C., C.C., C.C., C.C. and deflection angles (2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12°, 14°, 16°, 18°, 20°, 22°, 24°). It lists deflection values for different spiral types.

FUNCIONES DE LAS ESPIRALES

Table with columns C, D, log D, T, delta, delta, Curvas de P.C., COORDENADAS (X, Y), and TABLAS DE FUERZAS DE 10 M. (C, R, M). It contains numerical data for various values of C and D.

TABLAS DE FUNCIONES Y DEFLEXIONES DE CURVAS ESPIRALES VARIACION 3° 00' CADA 10 m. Longitud de la Espiral L = 400

DEFLEXIONES DE LAS ESPIRALES

Table with columns TRANSITO EN, P.C., C.C., C.C., C.C., C.C., C.C., C.C. and deflection angles (2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12°, 14°, 16°, 18°, 20°, 22°, 24°, 26°, 28°, 30°). It lists deflection values for different spiral types.



NORMAS DE CALIDAD PARA RIELES DE ACERO AL CARBONO DE HORNO DE HOGAR ABIERTO PARA VIAS FERREAS. DGN--B--17.

- 1.- GENERALIDADES Y DEFINICIONES.
- 1.1. GENERALIDADES
- 1.1.1 ALCANCE.- Esta norma cubre los rieles de acero al carbono fabricados por el proceso de horno de hogar abierto o básico al oxígeno, fabricados primordialmente - - para vías férreas y usos industriales.
- 1.1.2. DATOS PARA EL PEDIDO.- En los pedidos de rieles de - - acuerdo con esta Norma, el comprador debe indicar los siguientes datos:
  - a).- Número de esta Norma.
  - b).- Cantidad pedida (Toneladas especificando número - de rieles y su longitud tal como se especifica en 2.2.6.1.).
  - c).- Calibre del riel (en Kg/M y Lbs/yda.)
  - d).- Si se requiere análisis de comprobación o certificado de ensayos en fábrica.
  - e).- Requisitos suplementarios.
- 2.- CLASIFICACION Y ESPECIFICACIONES.
- 2.1. CLASIFICACION.
- 2.1.1 RIELES No. 1.- Los rieles número uno estarán exentos - de defecto perjudicial e imperfección de cualquier clase.



- 2.1.2. RIELES X.- Son los rieles que se describen en 2.2.5.2.
- 2.1.3. RIELES No. 2.- Los rieles que cumplen con los siguientes requisitos se deben aceptar como rieles núm. 2.
  - 2.1.3.1. Los rieles que no tengan imperfecciones superficiales en número tal o de tal carácter que a juicio del inspector resulten inapropiados para los usos establecidos.
  - 2.1.3.2. Los rieles que lleguen a las prensas de enderezar con codos o formando una curva con ordenada media de más de 15.24 cm. en 11.89 m.
  - 2.1.3.3. Rieles que no fueron marcados en caliente.
  
- 2.2. ESPECIFICACIONES.
  - 2.2.1. MATERIAL.
    - 2.2.1.1. El acero para la fabricación de estos rieles será producido en horno de hogar abierto o básico al oxígeno - si este es aprobado por el comprador.
  - 2.2.2. COMPOSICION QUIMICA.
    - 2.2.2.1. La composición química debe estar de acuerdo con los límites indicados en la Tabla 1.

TABLA 1  
L I M I T E S E N L A C O M P O S I C I O N  
Q U I M I C A

Designación	Peso en Kg/m.	E L E M E N T O			
		Carbono %	Manganeso %	Fosforo Máximo	Silicio %
70 - 80	34.72 a 39.68	0.55 a 0.68	0.60 a 0.90	0.04	0.10 a 0.23
81 * 90	40.18 a 44.64	0.64 a 0.77	0.60 a 0.90	0.04	0.10 a 0.23
91 - 120	45.14 a 59.52	0.67 a 0.80	0.70 a 1.00	0.04	0.10 a 0.23
121 y mayores	60.02 y mayores	0.69 a 0.82	0.70 a 1.00	0.04	0.10 a 0.23

2.2.2.2. PROMEDIO DE CARBONO.

2.2.2.2.1. En cualquier laminación es deseable que el número de coladas con mayor porcentaje de carbono que el promedio de los límites especificados sea por lo menos -- igual al número de coladas con menos porcentaje de -- carbono que el promedio de dichos límites y que el -- contenido promedio de carbono de todas las coladas -- sea mayor que el promedio de los límites especifica-- dos en la Tabla 1.

2.2.2.3. ANALISIS DE CUCHARA.

2.2.2.3.1 Se harán análisis por separado de las muestras repre-- sentativas obtenidas de uno de los tres primeros y -- uno de los tres últimos lingotes completos de la -- colada para determinar el porcentaje de carbono, man-- ganeso, fósforo, azufre y silicio. Las determinacio-- nes pueden hacerse químicamente o espectrográficamente. El promedio de los análisis de cuchara cumpli-- rán con los requisitos de la Tabla 1.

2.2.2.3.2. ANALISIS DE COMPROBACION

Cuando sea requerido se proporcionarán muestras al inspector para análisis de comprobación.

2.2.3. DESCARTE.

2.2.3.1. El lingote se despuntará lo suficiente para asegurar la eliminación de segregaciones perjudiciales y --  
rechupe.

2.2.4. ENFRIAMIENTO CONTROLADO.

2.2.4.1. Todos los rieles se enfriarán por el método usual --  
sobre las camas calientes hasta que la temperatura --  
este entre 538° y 385°C, colocándolos inmediatamente  
después en los recipientes.

2.2.4.2. Antes de cargar los rieles en los recipientes se de-  
terminará su temperatura con un pirómetro apropiado,  
el cual se colocará sobre la cabeza del riel a no --  
menos de 30 cm. del extremo.

2.2.4.3. El manejo de los rieles al pasarlos de las camas --  
calientes a los recipientes y el acomodo dentro de --  
los mismos, se hará cuidadosamente para evitar que --  
se flexionen y así reducir al mínimo el enderezado --  
en frio.

- 2.2.4.4. La tapa será colocada sobre el recipiente inmediatamente después que se haya completado la carga de rieles en los recipientes, conservándolos cerrados durante 10 horas cuando menos. Después de levantar las tapas, no se sacarán los rieles hasta que la temperatura de los superiores sea menor a 149°C.
- 2.2.4.5. En la primera hilada de rieles del fondo de los recipientes, con un pirómetro apropiado se tomará y registrará la temperatura en un lugar que esté situado entre un riel exterior y el adyacente a no menos de 30.4 cm. ni a más de 91.4 cm. de los extremos de los rieles. Esta temperatura será la que normalmente servirá de control para juzgar la variación de enfriamiento.
- 2.2.4.6. Los recipientes se aislarán y protegerán de manera que se pueda regular la temperatura para evitar que no baje de 149°C en 7 horas cuando tenga rieles de 49.61 Kg/m. o mayores y en 5 horas si los rieles son menores de 49.61 Kg/m. comenzando a contar el tiempo desde el momento en que se coloque la primera hilada de rieles en el fondo de los recipientes. Si por condiciones inevitables en la planta este ciclo de tiempo-temperatura no se cumple, se considerará que los rieles han tenido enfriamiento - -

controlado siempre que la temperatura en un lugar a no menos de 30.4 cm. del extremo de los rieles de una -- hilada del centro de la capa media, no baje de 149°C -- en menos de 15 horas.

2.2.4.7 Se le proporcionará al comprador un registro completo del proceso seguido en cada recipiente de rieles según forma establecida.

2.2.4.8. Se quitarán las letras CC de las marcas de todos los -- rieles que no hayan llenado los requisitos indicados -- en el inciso 2.2.4.

2.2.4.9. Los rieles podrán estamparse en caliente en el alma -- delante del número de la colada con las letras CH, -- para indicar rieles con control de enfriamiento y ex-- tremo endurecidos cuando sea especificado por el com-- prador.

2.2.5. REQUISITOS MECANICOS.

2.2.5.1 Ductilidad y resistencia al impacto.

2.2.5.1.1. Los rieles sometidos a la prueba de resistencia al im-- pacto deberán cumplir con los requisitos establecidos-- en los siguientes párrafos.

2.2.5.1.1.1. Si todos los especímenes tomados de acuerdo al inciso-- 2.2.8.2.2.1.1, resisten a la prueba de impacto sin -- fracturarse entre los soportes; se aceptarán los rie-- les de la colada, sujetándolos a la inspección final -- de superficie, sección y acabado.

- 2.2.5.1.1.2. Si cualquiera de los especímenes se fractura en -- algún lugar fuera de los soportes, no se tomará en cuenta la prueba y se repetirá cortando otro espécimen de la cabeza del mismo riel.
- 2.2.5.1.1.3. Si uno de los tres especímenes falla en la prueba de impacto, se rechazarán los rieles "A" de la colada, en este caso se cortarán especímenes de el extremo inferior de los mismos rieles "A" o de la -- cabeza de los rieles "B", pertenecientes a los mismos lingotes, sometiéndolos a la misma prueba.
- 2.2.5.1.1.4. Si cualquiera de estas muestras falla a la prueba de impacto, se rechazarán los rieles "B" de la colada, si esto sucede, se cortarán tres muestras adicionales del extremo inferior de los rieles "B" o de la cabeza de los rieles "C" de los mismos lingotes y si al sujetarlos a la prueba de impacto, ninguna de estas muestras falla, se aceptarán los rieles del resto de la colada, previa inspección final de superficie, sección y acabado. Si una de estas tres muestras falla, se rechazarán todos los rieles de la colada.

### 2.2.5.2. CONDICION INTERIOR.

2.2.5.2.1. A una pieza de prueba que represente la primera --  
punta del primer riel de cada lingote de cada - -  
colada laminada, que haya cumplido con los requisit  
tos de la prueba de ductilidad y resistencia al im  
pacto tal como se especifica en 2.2.5.1. se le - -  
hará una muesca por donde se quebrará y si la frac  
ra en cualquier espécimen ensayados muestra fisu--  
ras, laminaciones, cavidades, materias extrañas in  
terpuestas o una estructura, claramente brillante-  
o de grano fino, el primer riel representado se --  
clasificará como un riel "X".

2.2.5.2.2. Cuando se especifique por el comprador una prueba-  
progresiva de muesca y fractura a todos los lingo-  
tes, con eliminación de los rieles "X", deberá - -  
operarse como sigue:

2.2.5.2.2.1. A una pieza de prueba que represente la primera --  
punta del primer riel de cada lingote de cada - -  
colada laminada que haya cumplido con los requisit  
tos del inciso 2.2.5.1. se le hará una muesca y se  
quebrará para determinar si el metal interior está  
sano. Si un defecto interior es observado en la --  
fractura, la primera punta del primer riel será en  
muscada y quebrada otra vez.

Si una fractura libre de defectos interiores es en  
contrada en un punto que permita que el riel sea -

acabado a una longitud aceptable, el riel y los siguientes rieles del lingote serán aceptados, -sino se rechazará el riel y se cortará otro espécimen de prueba del extremo posterior, para -representar el segundo riel del lingote. El -segundo riel y los siguientes serán probados de la misma manera.

Las pruebas de muesca y fractura de las prime--ras puntas de los rieles se harán por tramos --que se incrementarán optativamente con el fabri--cante y si es necesario, para tener una fractura libre de defectos interiores, las pruebas se llevarán hasta un punto en el cual los rieles -terminados queden del largo mínimo aceptable.

#### 2.2.5.2.2.2.

Los defectos interiores pueden interpretarse --como: fisuras, laminaciones, cavidades, de mate--ria extraña interpuesta o una estructura clara--mente brillante de grano fino, que se hacen vi--sibles por las pruebas destructivas.

#### 2.2.5.2.2.3.

Los rieles cortos producidos bajo este proce--dimiento deberán excluirse de las tolerancias -del 11% indicadas en el inciso 2.2.6.1.



- 2.2.6. REQUISITOS DIMENSIONALES Y DE PESO.
- 2.2.6.1. LONGITUDES.
- 2.2.6.1.1. La longitud normal de los rieles será de 11.89 m. a la temperatura de 16°C, se aceptará el 11% del pedido total en rieles cortos cuyos largos de -- 11.58 m. a 7.62 m. varien de 30 en 30 cm. de la -- longitud especificada. Se permitirá una varia- -- ción de 9.52 mm. en la longitud especificada con- la excepción de que en 15% del pedido total se -- permitirá una variación de 11.11 mm.
- 2.2.6.2. SECCION.
- 2.2.6.2.1. La sección de los rieles deberá ajustarse tan -- exactamente como sea posible con los dibujos o -- plantillas, suministrados por el comprador. Se -- permitirá una variación de 0.39 mm. en menos y de 0.79 mm. en más de lo especificado para el peral- te. Se permitirá una variación máxima de 1.59 -- mm.
- 2.2.6.3. PESO.
- 2.2.6.3.1. Se permitirá una variación de 0.5% del peso calcu- lado de la sección, aplicada al pedido total.
- 2.2.7 ACABADO.
- 2.2.7.1. AGUJEROS.
- Los agujeros circulares para tornillos se harán --

con taladros, los cuales se ajustarán a los dibujos y dimensiones que suministre el comprador. Se permitirá una variación de 1.59 mm. en más - y nada en menos en el tamaño de los agujeros. - También se permitirá una variación de 0.79 mm.- en la localización de los agujeros.

## 2.2.7.2

ACABADO FINAL.

### 2.2.7.2.1.

Todos los rieles deberán tener lista la superficie superior del hongo, ser derechos sin torceduras, ondulaciones o codos. Los soportes para los rieles en las prensas de enderezar deben -- ser superficies planas, sin huecos ni tocaduras ni codos y distar uno de otro 1.52 m. aproximadamente. Se pueden usar soportes auxiliares -- que disten menos de 1.52 m. para enderezar los extremos de los rieles.

Los rieles que al ser colocados sobre una superficie horizontal, con el hongo hacia arriba, -- queden con los extremos ligeramente más altos -- que el centro, se aceptarán si su curvatura es uniforme y su ordenada media no excede de 31.75 mm. en 11.89 m. Los extremos se cortarán a escuadra con sierra, permitiendo una variación de no más de 0.79 mm. (1.19 mm. en rieles de 69.45 kg. y mayores) y eliminando todas las rebabas.

- 2.2.7.2.2. Los rieles presentados a inspección que no estén de acuerdo con los incisos 2.2.7.1. y 2.2.7.2.1. podrán reacondicionarse en los talleres del - - fabricante, siempre que se llenen los requisitos respectivos.
- 2.2.7.2.3. Si cualquier riel ya terminado muestra condiciones como las descritas en 2.2.5.2.1. en cualquiera de sus extremos o en alguno de los agujeros taladrados, se cortará o se fracturará hasta encontrar metal sano. Se aceptará como rieles - cortos Nos. 1 ó 2 sujetos a los requisitos indicados en 2.1 y 2.2.6.1. Si hay cortes se proporcionará al inspector una muestra fracturada para determinar la condición interior.
- 2.2.8. MUESTREO.
- 2.2.8.1. LOTE.
- 2.2.8.1.1. Se considera lote a todos los rieles provenientes de una misma colada.
- 2.2.8.2. NUMERO DE PRUEBAS.
- 2.2.8.2.1. QUIMICAS.
- 2.2.8.2.1.1. ANALISIS DE CUCHARA.
- Para determinar el porcentaje de carbono, manganeso, fósforo azufre y silicio, se harán análisis -

2.2.9. RECEPCION.

2.2.9.1. INSPECCION.

2.2.9.1.1. El inspector que representa al comprador, tendrá libre acceso en cualquier tiempo mientras se procesa el material objeto del contrato, a todas -- partes de la fábrica relacionadas con la fabrica ción del material ordenado.

El fabricante proporcionará al inspector, sin -- cargo alguno, todas las facilidades razonables -- para satisfacerlo de que el material se suminis-- tra de acuerdo con esta Norma.

Todas las pruebas (excepto análisis de comproba-- ción) e inspección, se efectuarán en la fábrica-- antes del embarque a menos que se especifique de otra manera y se llevarán a cabo de modo que no-- interfieran innecesariamente con el trabajo de -- la planta.

2.2.9.2.1. El criterio para aceptar los rieles está supedi-- tado al cumplimiento total de todas las especifica-- ciones de esta Norma.

2.2.9.2.2. Se podrá aceptar un 8% de rieles No. 2 de longi-- tud distinta a la normal de 11.89 m. Cuando se-- especifiquen rieles de 10.06 m. bajo el requisito suplementario 4.1.1.4. deberá aceptarse el 5% de estos rieles cortos.

## 2.2.10. MARCADO.

2.2.10.1. Cada riel deberá llevar marcas que sean legibles durante todo el tiempo, que los rieles estén en servicio y deberán laminarse de un lado de el -- alma de cada riel de acuerdo con los requisitos-siguientes:

2.2.10.2. El arreglo y orden de los datos y de las marcas-deberán ser como se muestra en el ejemplo - - - siguiente, siendo opcional para el fabricante el diseño de las letras y de los números.

11525	RE	CC	INICIALES DEL FABRICANTE	1967	VI
(Raso o No. de la Sección)	(Tipo)	(Si es enfria miento contra lado)	Marca del fabri- cante.	Año en que se laminó	Mes en que se laminó.

2.2.10.3. El número de colada, la letra del riel y el número del lingote, se estamparán en caliente en el alma de cada riel en un lugar donde no lo cubran las planchuelas. Es deseable que el número del lingote corresponda al orden de la colada. Los datos y el arreglo de las marcas deberá ser como se muestra en el ejemplo siguiente:

66635	E	18
Número de colada.	Letra del riel	Número del lingote.

- 2.2.10.4. Los primeros rieles de los lingotes se marcarán normalmente con la letra "A" y los sucesivos -- con las letras "B", "C", "D" y "E" etc., consecutivamente; pero en caso que el descarte de la cabeza sea mas grande que el normal, la letra - del riel deberá estar de acuerdo con la canti-- dad descartada; esto es, el primer riel deberá- marcarse con "B" u otra letra que le siga según dicha condición. Cuando la combinación de - - pesos y/o largos especificados producen más de ocho rieles por lingote, (de la "A" a la "H" in clusive) se permitirá que se siga estampando la letra "H" en los rieles adicionales.
- 2.2.10.5. MARCAS DE CLASIFICACION.
- 2.2.10.5.1. Los rieles aceptados como No. 2 tendrán sus extremos pintados de blanco y el número 2 grabado en ambas caras de las puntas.
- 2.2.10.5.2. Los rieles "A" llevarán pintura amarilla en - - ambas puntas.
- 2.2.10.5.4 Los rieles No. 1 de longitud menor de 11.90 cm. tendrán ambos extremos pintados de verde.
- 2.2.10.5.5. Todos los rieles de una misma colada en los - - cuales el contenido de carbono y manganeso esté sobre el promedio especificado; deberán tener - ambos extremos pintados de azul.

Individualmente los rieles serán pintados únicamente de un color, de acuerdo con lo anteriormente especificado.

2.2.11.

EMBARQUE.

2.2.11.1.

Los rieles deberán ser cuidadosamente manejados a fin de evitarles daños y deberán ser cargados en carros separados de acuerdo con las clasificaciones anotadas abajo, excepto cuando el número de rieles de alguna clasificación por laminación es insuficiente para completar la carga de un carro, en tal caso, podrá ser permitido cargar más de una clasificación en un carro. Esta carga mixta en un carro deberá evitarse en lo posible.

a).- Rieles No. 1 (Punta sin pintar) cuyo contenido de carbono y o manganeso están en/o abajo del promedio de las especificaciones estipuladas.

b).- Rieles No. 1 (Punta azul) cuyo contenido de carbono y manganeso están sobre el promedio de las especificaciones estipuladas.

c).- Rieles No. 2 (Punta blanca).

d).- Rieles X (Punta café).

e).- Rieles No. 1 "A" (Punta amarilla).

f).- Rieles No. 1 cortos (Punta verde).

2.2.11.2. No es necesaria ninguna subdivisión de la clasificación indicada arriba para el embarque separado.

3. METODOS DE PRUEBA.

3.1. Los métodos de análisis químico para verificar -- que el material cubierto por esta Norma cumple -- con los requisitos especificados, serán los indicados en la Norma Oficial DGN-K-179 en vigor.

3.2. PRUEBA DE IMPACTO.

El martinete de la máquina para prueba de impacto tendrá un peso de 907.2 Kg. y el radio de la cara que golpea el riel deberá ser de 127 mm.

El yunque tendrá un peso de 9 072 Kg. y deberá -- estar soportado sobre resortes.

Los soportes de la muestra de prueba deberán formar parte del yunque y estarán firmemente sujetos a éste.

Los apoyos estarán a una distancia entre centros de 914.0 mm. para rieles menores de 48.07 Kg/m. - y para secciones de 48.07 Kg/m. a 63.50 Kg/m. - - esta distancia será de 1 220 mm. para secciones - mayores de 63.50 Kg/m. esta será de 1 423 mm. --

Las superficies de carga de los soportes deberán tener un radio de 127 mm. Las muestras se colocarán sobre los apoyos con la cabeza hacia arriba, - para someterlos a un impacto de caída libre del - martinete de una altura que variará con el peso - unitario del riel según la Tabla II.



T A B L A II

Tamaño normal Lbs/yda.	Peso del Riel Kgs.	Altura de la caída del martinete en cm.
50 - 60	20.40 a 29.76 incl.	487.68
61 - 80	30.26 a 39.68 incl.	518.16
81 - 90	40.18 a 44.64 incl.	548.64
91 - 100	54.14 a 49.60 incl.	579.12
101 - 120	50.10 a 50.39 incl.	609.60
121 - y mayores.	60.02 y mayores	670.56

## 4. APENDICE.

## 4.1. OBSERVACIONES.

## 4.1.1. REQUISITOS SUPLEMENTARIOS.

4.1.1.1. Uno o más de los siguientes requisitos suplementarios se aplicarán solamente cuando sea especificado por el comprador en los datos para el pedido.

4.1.1.2. Los rieles de peso nominal de 24.80 Kg/m. a 29.76-Kg/m. se suministrarán ajustándose a los requerimientos de las especificaciones para rieles de - - 30.26 Kg/m. a 44.64 Kg/m. excepto lo previsto en - 2.2.5.1.

4.1.1.3. La prueba progresiva de muesca y fractura puede especificarse como se prescribe en 2.2.5.2.2.

- 4.1.1.4. Se pueden especificar rieles de 10.06 m. de longitud, pero cuando se especifiquen estas longitudes, el 10% del pedido debe aceptarse en longitudes cortas con variaciones de 30 cm. desde 9.75 hasta 7.62 m. y se permitirá una variación en la longitud especificada de 6.35 mm. excepto que en el 15% del pedido se podrá aceptar una variación de 9.50 mm.
- 4.1.1.5. El enfriamiento controlado puede especificarse para rieles con peso nominal de 38.5 Kg/m. y -- mayores, a menos que se especifique lo contrario.
- 4.1.1.6. El enfriamiento controlado puede especificarse para rieles con un peso nominal menor de 38.5 -- Kg/m. por acuerdo entre comprador y vendedor.
- 4.1.1.7. Se puede especificar un procedimiento alternativo de muesca y fractura como se indica a continuación en lugar del indicado en 2.2.5.2.1. y -- 2.2.5.2.2.
- 4.1.1.7.1. Una pieza de prueba que represente el extremo -- superior de la cabeza del riel de cada lingote -- de cada colada laminada la cual ha cumplido con los requisitos de prueba de impacto de la -- -- sección 2.2.5.1., se le deberá hacer la prueba -- de muesca y fractura. Si la fractura en cual -- quier espécimen presenta laminaciones, cavidades o materia extraña interpuesta, el número de --

coladas y el número de lingotes deberán ser registrados y el extremo superior y los agujeros de -- los tornillos de los rieles terminados, así registrados deberán ser cuidadosamente examinados para aquellos defectos. Si el riel terminado está -- libre de defectos anteriores cuando es presentado para la inspección, deberá ser aceptado como riel número 1 ó número 2, sujeto a los requisitos del inciso 2.1.

Si el riel terminado muestra defectos, éste debe ser de nuevo cortado hasta encontrar metal sano -- y aceptado como riel corto, sujeto a los requisitos de los incisos 2.1. y 2.2.6.1.

#### 4.1.1.7.2.

Si en la prueba de muesca y fractura cualquier -- espécimen presenta una estructura claramente brillante o de grano fino, el número de colada y el número de lingote deberán ser registrados y la -- cabeza del riel representado deberá ser automáticamente cortada nuevamente hasta encontrar metal sano y se aceptarán como rieles cortos de acuerdo a los requisitos de los incisos 2.1. y 2.2.6.1.

#### 4.1.1.7.3.

Los rieles cortos obtenidos bajo este procedimiento se excluirán de acuerdo a la consideración en el porcentaje de tolerancia fijado en el inciso -- 2.2.6.1.

## DETERMINACION DEL CALIBRE OPTIMO.

Para esta determinación no existe en la actualidad algún método apoyado en bases teóricas obtenidas de algún análisis cuantitativo del -- desgaste de estas piezas. Por otro lado, ya que los rieles en la vía han de ser sustituidos por efectos de ese proceso, es lógico no basar su elección sólo en la consideración de su capacidad resistente, establecida analíticamente como una viga sometida a la acción de determinadas cargas. Deben de intervenir varios factores además de la carga por eje, por ésto, - se han establecido ciertas fórmulas empíricas con la intención de determinar en forma racional que riel debe elegirse para tenderse en una vía determinada.

Una primera expresión muy simple fué propuesta en el Congreso Ferroviario de El Cairo, que liga el peso métrico del riel ( $q$ ) en Kg. con la carga - estática por eje ( $P$ ) en Tn del vehículo más pesado

$$q = 2.5 P$$

modificada posteriormente en función de la velocidad máxima ( $V \text{ MAX}$ )

$$q = \frac{V \text{ MAX}}{2.2} \quad V \text{ MAX en Km/hora}$$

expresión propuesta por el profesor YERSHOW con un cierto carácter dinámico al intervenir la velocidad pero no considera en forma explícita la carga por eje y es válida si:

$$V \text{ MAX} \leq 160 \text{ Km/hora}$$

Por otra parte, otro profesor SHULGA, supone una buena lógica que el desgaste de los rieles y por lo tanto su reacción y peso, dependen fundamentalmente del tráfico soportado por la línea férrea, proponiendo entonces la siguiente expresión:

$$q = 31,046 T^{0.203} \quad T = \text{tráfico anual en millones - de toneladas brutas.}$$

Finalmente se tiene otra relación que en esencia sintetiza las tres anteriores tratando de perfeccionarlas; interviene en la determinación del calibre del riel la carga por eje, la velocidad de circulación, la intensidad del tráfico y además, el tipo de vehículo considerado como más desfavorable. - (SHAJUNIANZ)

$$q = a(1 + \sqrt[4]{T})(1 + 0.012V)^{2/3} P^{2/3}$$

donde:

$a$  = coeficiente con valor 1.2 para vagones y 1.13 para locomotoras.

$V$  = Vel. máxima de circulación de los trenes (Km/HORA)

$P$  = Carga por eje del vehículo más desfavorable (TM)

y se considera para  $V \leq 160$  Km/HORA

Comparativamente la aplicación de estas ecuaciones en algunos casos concretos arrojan los siguientes valores:

a	DATOS			FORMULAS			
	T	V	P	EL CAIRO	YERSHOV	SHUGA	SHAJUNIANZ
1.13	15	160	18	45	72.7	53.8	47.0
1.13	12	140	22	55	63.6	51.4	50.3
1.13	10	120	22	55	54.5	49.5	44.7
1.20	20	100	25	62.5	45.4	57.0	53.9
1.20	80	80	30	75	36.3	75.5	72.2

CALIBRE SELECCIONADO 75 KG/METRO

# RAIL SECTION

## RAIL SECTIONS AND JOINT DRILLING

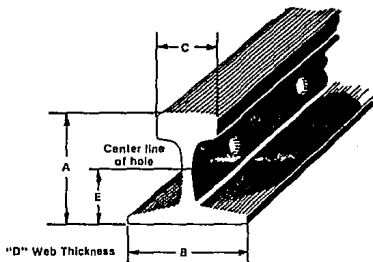
Weight Per Yard	Name	Number	A Height	B Base	C Head	D Web	E Height of Hole
12	A.S.C.E.	1240	2"	2"	1"	3/16"	57/64"
16	A.S.C.E.	1640	2-3/8"	2-3/8"	1-11/64"	7/32"	1-1/16"
20	A.S.C.E.	2040	2-5/8"	2-5/8"	1-11/32"	1/4"	1-11/64"
25	A.S.C.E.	2540	2-3/4"	2-3/4"	1-1/2"	19/64"	1-15/64"
30	A.S.C.E.	3040	3-1/8"	3-1/8"	1-11/16"	21/64"	1-25/64"
35	A.S.C.E.	3540	3-5/16"	3-5/16"	1-3/4"	23/64"	1-15/32"
40	A.S.C.E.	4040	3-1/2"	3-1/2"	1-7/8"	25/64"	1-9/16"
45	A.S.C.E.	4540	3-11/16"	3-11/16"	2"	27/64"	1-41/64"
50	A.S.C.E.	5040	3-7/8"	3-7/8"	2-1/8"	7/16"	1-23/32"
55	A.S.C.E.	5540	4-1/16"	4-1/16"	2-1/4"	15/32"	1-13/16"
56	ILL. STEEL	5608	4-1/16"	4"	2-7/32"	7/16"	1-43/64"
56	ILL. STEEL	5633	4-1/4"	4-1/8"	2-1/4"	3/8"	1-49/64"
60	A.S.C.E.	6040	4-1/4"	4-1/4"	2-3/8"	31/64"	1-29/32"
65	A.S.C.E.	6540	4-7/16"	4-7/16"	2-13/32"	1/2"	1-31/32"
67	ILL. STEEL	6733	4-1/2"	4-1/2"	2-13/32"	1/2"	1-13/16"
70	A.S.C.E.	7040	4-5/8"	4-5/8"	2-7/16"	33/64"	2-3/64"
75	A.S.C.E.	7540	4-13/16"	4-13/16"	2-15/32"	17/32"	2-15/128"
80	A.S.C.E.	8040	5"	5"	2-1/2"	35/64"	2-3/16"
85	A.S.C.E.	8540	5-3/16"	5-3/16"	2-9/16"	9/16"	2-17/64"
90	A.S.C.E.	9040	5-3/8"	5-3/8"	2-5/8"	9/16"	2-45/128"
90	A.R.A.-A.	9020	5-5/8"	5-1/8"	*2-1/2"	9/16"	2-37/64"
90	A.R.A.-B.	9030	5-17/64"	4-49/64"	*2-9/16"	9/16"	2-11/32"
100	A.R.A.-A.	10020	6"	5-1/2"	*2-3/4"	9/16"	2-3/4"
100	A.R.E.A.	10025	6"	5-3/8"	*2-11/16"	9/16"	2-45/64"
100	A.S.C.E.	10040	5-3/4"	5-3/4"	2-3/4"	9/16"	2-65/128"
115	A.R.E.A.	11525	6-5/8"	5-1/2"	*2-23/32"	5/8"	2-7/8"
132	A.R.E.A.	13125	7-1/8"	6"	*3"	21/32"	3-3/32"

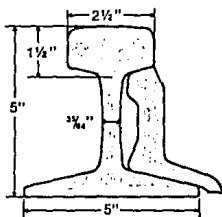
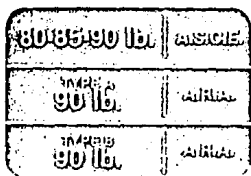
\*Tapered head sections. Widths shown are those measured at 5/8" below top.

## NOTES:

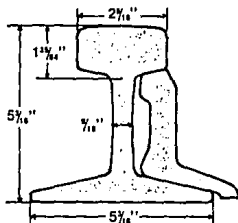
Standard drilling for A.S.C.E. rails 8 to 35 lbs. inclusive — 2" x 4". 40 to 60 lbs. inclusive — 2-1/2" x 5".

Drilling is given from end of rail to c.1. of first hole to c.1. of second hole, etc. Thus a drilling may be 2" x 4" or 2-1/2" x 5". If it is a 3-hole drilling the same method is used, thus 2-1/2" x 5" x 5". As there is no commonly accepted "standard" drilling for rails above 60 lbs., hole spacing for such rails must be given.

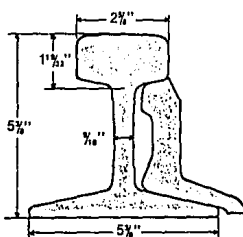




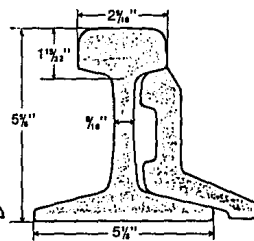
80 lb. A.S.C.E.



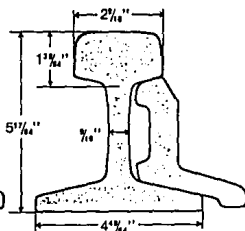
85 lb. A.S.C.E.



90 lb. A.S.C.E.

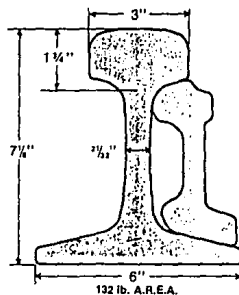
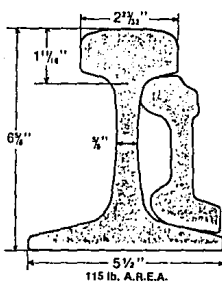
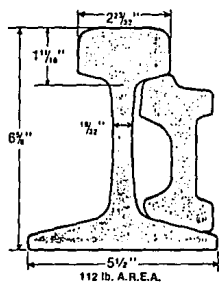
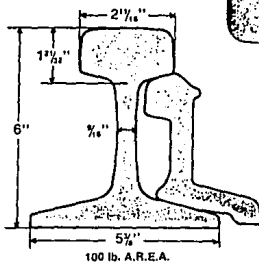
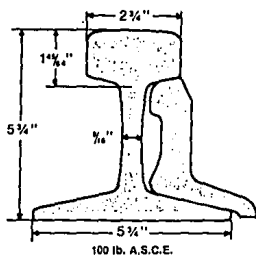
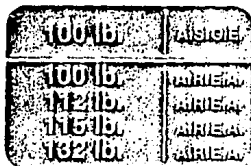


90 lb. A.R.A.-A



90 lb. A.R.A.-B

RAIL SECTION	RAIL FOR SINGLE TRACK		PAIRS OF ANGLE BARS			
	Fl. Per Net Ton	Net Tons Per Mile	33-Fl. Rail		39-Fl. Rail	
			Per Net Ton	Per Mile of Track	Per Net Ton	Per Mile of Track
80 A.S.C.E.	37.5	140.8	.3	320.	1.9	270
85 A.S.C.E.	35.3	149.6	2.1	320	1.8	270
90 A.S.C.E.	33.3	158.4	—	—	1.7	270
90 A.R.A.-A	33.3	158.4	2.0	2.0	2.7	270
90 A.R.A.-B	33.3	158.4	—	—	1.7	270
100 A.S.C.E.	30.0	176.0	—	—	1.5	270
100 A.R.E.A.	30.0	176.0	—	—	1.5	270
100 A.R.A.-A	30.0	176.0	—	—	1.5	270
112 A.R.E.A.	26.8	197.1	—	—	1.4	270
115 A.R.E.A.	26.1	202.4	—	—	1.3	270
132 A.R.E.A.	22.7	232.3	—	—	1.2	270



RAIL SECTION	ANGLE BAR		RAIL	SECTION AREA										PROPERTIES OF SECTION				
	Per Ft.	Per Yd.		Base	SQUARE INCHES			PERCENT				Moment of Inertia	Section Modulus		RATIO			
					Web	Head	Total	Base	Web	Head	Total		in Area	Head to Area	M. I.	S.M.		
80 A.S.C.E.	11.5	80.2	2.91	1.65	3.30	7.86	37.0	21.0	42.0	100.0	26.38	10.07	11.08	3.38	1.28			
85 A.S.C.E.	12.4	85.0	3.08	1.75	3.50	8.33	37.0	21.0	42.0	100.0	30.07	11.08	12.17	3.61	1.33			
90 A.S.C.E.	13.5	90.1	3.27	1.85	3.71	8.83	37.0	21.0	42.0	100.0	34.39	12.19	13.49	3.90	1.38			
90 A.R.A.-A	16.6	90.0	3.51	2.12	3.19	8.82	39.8	24.0	36.2	100.0	38.70	12.56	15.23	4.39	1.42			
90 A.R.A.-B	16.6	90.0	3.51	2.12	3.19	8.82	39.8	24.0	36.2	100.0	38.70	12.56	15.23	4.39	1.42			
100 A.S.C.E.	15.8	100.4	3.64	2.07	4.13	9.84	37.0	21.0	42.0	100.0	43.97	14.55	16.11	4.47	1.48			
100 A.R.E.A.	17.4	101.5	3.90	2.25	3.80	9.95	39.2	22.6	38.2	100.0	49.00	15.10	17.80	4.93	1.52			
100 A.R.A.-A	19.0	100.0	3.64	2.07	4.13	9.84	37.0	21.0	42.0	100.0	48.94	15.04	17.78	4.97	1.53			
112 A.R.E.A.	17.9	112.3	4.29	2.77	3.95	11.01	39.0	25.1	35.9	100.0	65.5	18.1	21.8	5.9	1.6			
115 A.R.E.A.	17.9	114.6	4.27	3.24	3.75	11.26	37.9	28.8	33.3	100.0	64.34	18.53	21.23	5.71	1.65			
132 A.R.E.A.	19.2	132.1	4.87	3.68	4.42	12.95	37.6	28.3	34.1	100.0	88.2	22.5	27.6	6.8	1.7			





Los durmientes parte integral de las vías férreas son los elementos situados en dirección transversal al eje de la vía sobre los que se colocan los rieles y que constituyen a través de la sujeción de éstos, el nexo o elemento de unión en los carriles y el balasto formando así la estructura de la vía.

Las cargas del equipo rodante se transmiten a los rieles mediante -- las ruedas ocasionando esfuerzos que son transportados a los durmientes y -- de éstos al balasto, estos esfuerzos deberán ser compatibles con su capacidad resistente y deformacional.

Ya que los durmientes como parte estructural de la vía representan -- en costo un alto porcentaje de la misma y que una corta vida útil de estas piezas representa también un alto costo en el mantenimiento de las vías, -- obligado siempre a la elaboración de mejores técnicas para su preservación -- ó para el empleo de distintos materiales para su manufactura. Hasta el mo-- mento se han utilizado durmientes de acero, de madera, de concreto simple -- de concreto pre y postensado y aún de materiales sintéticos como el poliure-- tano.

Las principales funciones que debe desempeñar un durmiente son las -- siguientes:

- a) Servir de soporte a los carriles fijando y asegurando su posición, separación e inclinación.
- b) Recibir las cargas verticales y horizontales transmitidas por los carriles y repartirlas sobre el balasto a través de su superficie de apoyo.
- c) Conseguir y mantener la estabilidad de la vía en el plano horizontal -- longitudinal y transversalmente) y en el vertical frente a los esfuerzos estáticos procedentes del peso propio y las variaciones de temperatura -- así como a los esfuerzos dinámicos originados por el paso de los trenes
- d) Mantener, siempre que sea posible por sí misma y sin ayuda de elementos -- específicos incorporados a la sujeción, el aislamiento eléctrico entre -- los dos hilos de carril cuando la vía este dotada de circuitos de señali-- zación.

Es necesario señalar, que la función desempeñada por los durmientes -- no tiene carácter individual, sino que se debe situar en el marco de la co--

laboración con los otros elementos de la vía, especialmente por lo que se refiere al mantenimiento de las características geométricas como son el ancho y la nivelación.

**DURMIENTES DE MADERA.** Estos durmientes tuvieron aplicación desde el origen de los ferrocarriles y aún cuando su uso tiende a desaparecer por la falta de bosques actualmente su uso es constante principalmente en vías secundarias. Presentan una elevada elasticidad, proporcionan la facilidad de aplicar distintos calibres de riel sin variación en su sección, un elevado aislamiento eléctrico y una facilidad relativa para su conservación y reparación.

En el inicio de los ferrocarriles, al utilizar durmientes de madera natural, la vida de este material se tenía para un máximo de 5 años pero conforme transcurrió el tiempo, nuevas técnicas originaron su tratamiento con productos especiales que aumentaron su vida de servicio, al menos desde el punto de vista de las agresiones de la interperie y del medio ecológico hasta en 2 y 3 veces el tiempo anterior.

Mantienen un peso específico superior a 750 Kg/M3, una adecuada resistencia a la compresión e impacto, una buena capacidad de anclaje de los elementos de sujeción, un pequeño coeficiente de contracción volumétrica, una adecuada elasticidad y la facultad de absorber en profundidad sustancias antisépticas.

Las maderas utilizadas en general, son el roble, haya, pino, abeto, cedro, pinabeto, abedul y eucalipto entre otros.

Sobre sus características físicas se puede indicar una densidad de 750 a 800 Kg/M3, la resistencia al arranque de un tirafondo oscila entre 4000 y 6000 Kg. pudiendo sobrepasar los 7000 Kg., y módulos de elasticidad próximos a los 80000 Kg/Cm2.

En México el material utilizado es el pino y se presentan en las siguientes dimensiones:

0.1778 x 0.2032 x 2.4384 METROS (7"x8"x8')

La madera procederá de árboles vivos y sanos, de fibras rectas, duras y compactas; en estas condiciones es preciso proceder a la desecación

de la madera con el fin de hacerla apta para el tratamiento de impregnación posterior.

Este secado puede ejecutarse por tres procedimientos:

- 1.- Secado artificial en horno; método controlado utilizado en EE.UU. bajo condiciones de temperatura y humedad similares a las naturales. Su duración es de 72 horas.
- 2.- Proceso BOULTON de secado al vacío. Emplea creosota caliente en la que se sumergen y pierden agua por evaporación, proceso acelerado por un vacío parcial realizado en el recipiente. Su duración es de 12 a 20 - - - horas.
- 3.- Secado al aire. Procedimiento natural colocando el durmiente en pilas de forma tal que corra el aire entre ellos. Este proceso dura de 6 a 18 meses.

Cuando se alcanza un promedio del 18% de contenido de humedad se puede considerar satisfactorio el estado del durmiente.

Procesos de preservación de la madera.

Numerosos productos han sido utilizados para la conservación de la madera - con objeto de protegerla contra la putrefacción, los ataques de gusanos, -- termitas y otros animales; pocos años atrás el producto utilizado por excelencia era la creosota pero a la fecha se utilizan nuevos productos mas - - efectivos entre ellos el Pentaclorofenol.

PROCEDIMIENTO BETHELL (de célula llena) En este método los durmientes son - tratados en una cámara cilíndrica de acero en la que se efectúa un vacío de 550 mm de Hg de 20 a 30 minutos. En estas condiciones se inyecta el impregnante con una presión de 15 Kg/cm<sup>2</sup> a 80°C de temperatura durante 10 minutos

o hasta que se obtenga la absorción deseada, posteriormente se retira el -- impregnante sobrante elevando el vacío a 600 mm de Hg. El proceso dura aproximadamente 2.5 horas.

PROCEDIMIENTO RUEPING (de célula vacía) En una cámara similar, los durmientes son sometidos a una presión inicial de 5 Kg/Cm<sup>2</sup>, sin reducir esta presión se introduce el impregnante con temperatura entre 80°C y 105°C elevándose al mismo tiempo la presión hasta 14 Kg/Cm<sup>2</sup> durante 30 minutos hasta lograr la absorción deseada. Igual que en caso anterior, se retira el impregnante sobrante haciendo un vacío en la cámara hasta 600 mm de Hg. El proceso dura aproximadamente 3 horas y generalmente se utiliza en maderas porosas.

PROCEDIMIENTO LOWRY (de célula vacía) En una cámara similar, se introducen los durmientes y el impregnante, elevándose paulatinamente la presión hasta alcanzar la penetración deseada siguiendo a continuación idéntico proceso para el vaciado.

El consumo de impregnante se tiene cuantificado entre 5 y 12 kilogramos por durmiente dependiendo del método y del tipo de madera pero en algunos -- casos pueden presentarse consumos hasta de 17 kilogramos.

En esta forma pueden labrarse y someterse a los mismos procedimientos de impregnación durmientes estandar reglamentarios, madera para juegos de cambio en distintas escuadras y longitudes y madera especial para -- puentes.

#### DURMIENTES DE CONCRETO.

La evolución de los durmientes de concreto ha sido debida principalmente a consideraciones económicas, unidas a los imperativos impuestos --

por el cambio de las características del tráfico. La desordenada e irregular marcha del mercado de la madera plantea grave crisis de abastecimiento de este material.

Desde que MONNIER planteó en 1877 la posibilidad de utilizar durmientes de concreto armado, repetidos intentos se han hecho para obtener el durmiente de concreto ideal para sustituir la madera.

Durante la primera guerra mundial la experimentación de los durmientes de concreto simplemente armado tuvo un desarrollo considerable; en la segunda guerra mundial y derivado de los progresos alcanzados en la técnica del concreto pretensado se registró mayor interés en estos elementos iniciándose en países como Inglaterra, Francia, Italia y Alemania investigaciones tanto en laboratorio como en la vía de los durmientes de concreto llegando a concluir que podrían tener una vida útil mayor 2 o 3 veces que el durmiente de madera, que conservaban prácticamente a lo largo de su vida útil una notable constancia en sus condiciones físicas, que la vía presentaba mayor resistencia a los desplazamientos y que podían ser diseñados de la forma más conveniente para resistir los esfuerzos que se presentarían en servicio.

Sin embargo durante su evolución se presentaban fisuras rápidamente en la cara superior en la parte central producidas por una flexión excesiva de la pieza. Bajo la influencia de las cargas alternativas, estas fisuras crecían de acuerdo con la intensidad del tráfico y de las cargas transmitidas dando lugar a la entrada de agua produciendo oxidación en el armado de la viga. Finalmente la aparición del concreto pretensado abrió la posibilidad de eliminar este fenómeno bajo una base técnica.

En realidad, el origen de los durmientes de concreto propiamente -- dicho, se remonta a los años cincuenta cuando la industria europea inició -- formalmente diversas pruebas para la elaboración de durmiente de concreto -- preesforzado. Esta iniciativa se basaba en la búsqueda de una alternativa -- para sustituir el tradicional durmiente de madera, cuyas características de -- desgaste ante los elementos del medio ambiente resultaban excesivamente -- costosos; a la vez que incrementaban el riesgo mundial de deforestación. Por -- otra parte, el incremento de cargas y velocidades de operación hacía indis -- pensable el diseño de un elemento más confiable y seguro.

En el año de 1967 se inició en México la fabricación de durmientes -- monolíticos de concreto preesforzado-postensado tipo DYWIDAG modelo B-58 ba -- sado en la tecnología de la compañía alemana DYCKERHOFF AND WIDMAN AG. espe -- cialistas en concreto desde hace más de 100 años.

Aplicando la logística en el manejo de materiales, debe lograrse -- que la totalidad del equipo de apoyo a las líneas de abastecimiento, produc -- ción, control de calidad y servicio, se tenga bien controlada. Desde las -- canteras y yacimientos para la extracción de los agregados pétreos, la cali -- dad del agua, la dosificación y mezclado debidos de los componentes apegaa -- dos a un rígido control de calidad, intervienen para lograr un concreto de -- revenimiento cero con características específicas para la elaboración del -- durmiente.

Las piezas que así se moldean optimizan su resistencia al ser com -- pactadas mediante el proceso de vibrado individual. Posteriormente al pro -- ceso de desmoldeo inmediato, el durmiente debe reposar en cámaras especia -- les de curado a vapor con temperaturas controladas. Tanto la aplicació, -- precisa del postensado así como el anclaje de los elementos estructurales -- es efectuado en forma individual.

Estos durmientes son sometidos a pruebas de diseño, de resistencia a la compresión y flexión mediante simuladores que reproducen y exageran las diversas condiciones de carga, densidad de tráfico, frecuencia y velocidad de operación de las vías. Todas estas pruebas están sujetas a las normas de la AMERICAN RAILWAY ENGINEERING ASSOCIATION (AREA).

ESPECIFICACIONES DE LOS DURMIENTES DE CONCRETOS  
FABRICADOS EN MEXICO

<u>MODELO</u>	<u>LARGO (MTS)</u>	<u>PESO (KG)</u>	<u>CARGA X EJE (TON)</u>
B-58	2.40	247	30.0
58 FM	2.40	275	32.6
I-84	2.40	300	32.6
UP	2.52	340	37.2
SP	2.52	340	37.2
BN	2.52	340	37.2
O	2.70	337	16.0
AAR	2.52	340	37.2

Independientemente de las características que deben de cumplir los durmientes en sus dos tipos, madera y concreto, y de los beneficios que se puedan obtener en uno y otro, se presenta un análisis económico para la construcción de un kilómetro de vía estándar clavada sobre durmientes de madera en comparación con otra sobre durmientes de concreto y sujeción doblemente elástica para poder evaluar los beneficios de uno y otro tipo de vía para su selección.



MAYO 1994

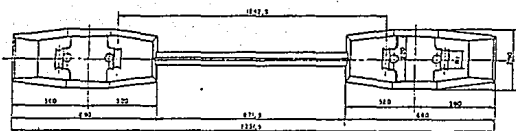
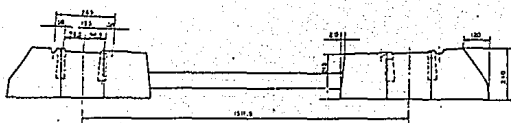
ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS CORRESPONDIENTE A UN KILOMETRO DE VIA CLAVADA, CON DURMIENTES DE MADERA Y UN KILOMETRO DE VIA MODERNA CON DURMIENTE MONOLITICO DE CONCRETO TIPO B-58.

Costo por Kilómetro de Vía Clavada con Durmiente de Madera				Costo por kilómetro de Vía Moderna con Durmiente Monolítico de Concreto			
Cant.	Descripción	Precio Unitario	Precio Total	Cant.	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
114.1	Toneladas de Riel de 115 lbs./yda. Sección "RS"	NS 1,900	NS 216,790	114.1	Toneladas de riel de 115 lbs./yda. Sección "RS"	NS 1,900	NS 216,790
168	Pares de Planchuelas para Riel de 115 lbs./yda.	123	20,664	168	Soldaduras	370	62,160
2,028	Durmientes de Madera Creosotada. de 7" x 8" x 8'.	110	223,080	1,539	Durmientes de Concreto B-58	170	261,630
4,056	Placas de asiento	15	60,840	1,539	Juegos de Fijaciones Elásticas	60	92,340
672	Tornillos de vía (1"x5.5")	14	9,408	1,300	Metros Cúbicos de Balasto.	75	97,500
672	Rodanas de Presión.	2	1,344	1,000	Metros lineales de mano de obra, tendido y nivelación.	95	95,000
8,112	Clavos de Vía 5/8" x 6".	2	16,224				
2,028	Anclas de Vía.	6	12,168				
1,300	Metros Cúbicos de Balasto.	75	97,500				
1,000	Metros lineales de mano de obra, tendido y nivelación.	85	85,000				
	TOTAL		743,018		TOTAL		825,420

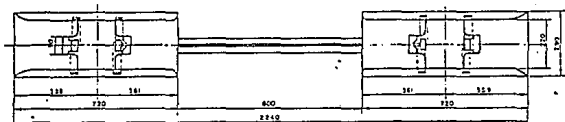
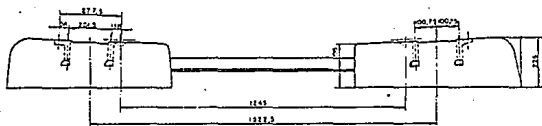
DIFERENCIA EN %

1.11

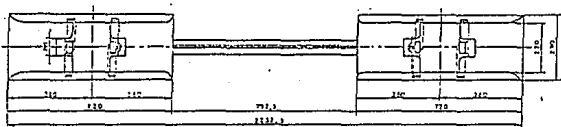
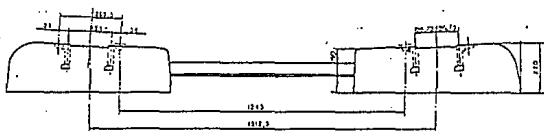
MAJOR CON DURMIENTE DE CONCRETO



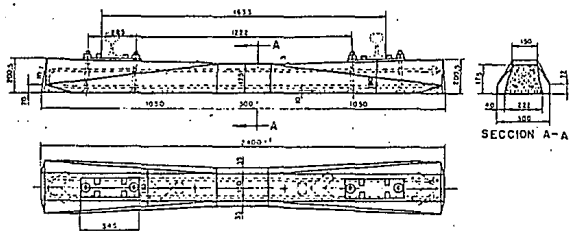
*Traviesa Vagneux tipo U.*



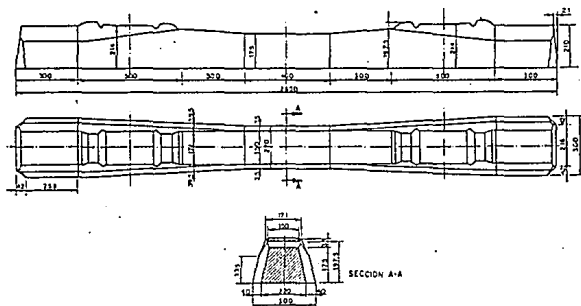
*Traviesa RS tipo U.*



*Traviesa RS tipo E2.*



Travesa B-58.



Travesa B-70.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

5) BALASTO.

### 5.1 CARACTERISTICAS

El balasto es el nombre genérico dado a los fragmentos angulosos de roca impermeable y no porosa, seleccionados en su dureza, dimensiones, granulometría, forma, homogeneidad, limpieza, y es resistente a la abrasión y al intemperismo, con una densidad recomendable de 1.3 Ton/M<sup>3</sup>, proveniente de la trituración de bloques extraídos de las canteras de roca dura.

Su propósito es la de confinar los durmientes oponiéndose a los desplazamientos longitudinales y transversales originados por la tracción y el frenado del material rodante y vehículos auxiliares, por el cabeceo, fuerza centrífuga, sobre elevación excesiva en las curvas, contracciones o dilataciones en el largo riel soldado, y soporta y distribuye uniformemente las cargas que recibe, amortigua las vibraciones, sirve de elemento nivelador para la conservación de la rasante (nivelación y trazo), proporciona una rodadura suave y permite el drenaje de agua pluvial.

Debe cumplir entonces con características especiales como es su naturaleza, curva granulométrica, forma de las partículas, resistencia al desgaste y resistencia al fraccionamiento, siendo seleccionadas estas características en forma particular por cada una de las administraciones ferroviarias.

La naturaleza del balasto de mejor calidad es de: roca ígnea intrusiva como el granito (leucocrática; Leukos=blanco, kratos=poder, --

rica en cuarzo y feldespatos), diorita (de color y composición intermedia y origen profundo); de roca ígnea extrusiva como los porfidos- (roca antigua de color rojizo que en una matriz densa o microgranuda contiene fenocristales mayores), basalto (melanocrática; Melanos= negro, kratos=poder, pobre en cuarzo y rica en feldespatos, augita, -- olivino y nefelina); y de algunas rocas metamórficas como la cuarcita (antes fue arenisca y esta formada por granos de cuarzo cementados por sílice, es muy resistente a la abrasión y meteorización y -- cuando aflora sobresale en su contorno).

Su dureza se obtiene tomando en cuenta la resistencia al desgaste -- con el ensayo "Deval" (Norma Afnor NFP18577) y la resistencia al -- fraccionamiento con la prueba "De los Angeles" (ASTM-C 535 de la -- American Society Testing Material), y ambos valores graficados en un sistema coordinado definen el coeficiente de dureza instantáneo Dri, y con cálculos mas elaborados el coeficiente de dureza global.

Las dimensiones nominales máxima "D" y mínima "d" corresponden a 50- y 25 mm respectivamente, permitiéndose cierta dispersión del 25%, a- 63 y 16 mm. esta limitación se debe a la dificultad que presenta el material grande para la precisión con que deben ser niveladas las -- vías y en el pequeño por constituir un dren poco eficiente.

Granulometría: Utilizando tamices de malla cuadrada de dimensiones - de 63, 50, 40, 25 y 16 mm se obtienen % de masa retenida del 0%, -- menor o igual al 15%, entre el 26 y el 60%, mayor o igual al 95%, y- mayor o igual al 99%, respectivamente, y de conformidad con las reco

recomendaciones de la Norma ISO/TC 24 se determina su límite de aceptación y rechazo. La forma del material es poliédrica con aristas vivas, homogéneo con un 3 al 5.9% de elementos quebradizos o alterados y limpio exento de polvos o cualquier materia extraña.

Las rocas empleadas para la obtención de balasto se engloban en cinco categorías de acuerdo a la siguiente clasificación propuesta por Deere y Miller (1966), basada en la resistencia a la compresión simple:

CLASE	DESCRIPCION	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE EN Kg/Cm <sup>2</sup>
A	Resistencia muy alta	Mayor a 2250
B	Resistencia alta	1120 - 2250
C	Resistencia media	560 - 1120
D	Resistencia baja	280 - 560
E	Resistencia muy baja	Menor a 280

Situando en la categoría "A" a la cuarcita pero siendo poco utilizada por su alto costo; en la "B" al granito, andesita y otras rocas ígneas, y en la "C" se encuentran las calizas que en general dan un regular comportamiento como balasto.

Como se ha investigado, la circulación de vehículos ferroviarios --origina sobre la vía una onda de avance que da lugar a la elevación de los durmientes situados delante del vehículo en el sentido de su

marcha, determinando que en su descenso el durmiente golpee al balasto desgastando el material en forma progresiva, además de los se veros impactos producidos por las aplanaduras de la rodada férrea; por ello el balasto de caliza adquiere una forma redondeada perdiendo sus aristas, siendo importante mencionar además que el durmiente de concreto produce una mayor abrasión que la correspondiente a - - vías montadas sobre durmientes de madera, y por lo tanto en líneas de alta velocidad se debe de poner especial atención a este fenómeno, ya que se incrementan los procesos deformativos, como señalo Birtmann (1955), "Que el hundimiento total de la vía bajo una carga puntual vertical, aproximadamente el 75% es debido al asiento de la capa de balasto" (Reología del balasto), valor experimental difícil de determinar in Situ por la influencia de los diversos factores -- que interactúan simultáneamente con el balasto como son los rieles, durmientes y sujeción.



## T E M A R I O

## 1.- GENERALIDADES

Art. 1.1.- Objeto de la Especificación.

## 2.- CONDICIONES DE FABRICACION

Art. 2.1.- Origen y Constitución de los Materiales.

Art. 2.2.- Dureza.

Art. 2.3.- Dimensiones - Granulometría.

Art. 2.4.- Forma del Material.

Art. 2.5.- Homogeneidad.

Art. 2.6.- Limpieza.

## 3.- ORGANIZACION DE LOS CONTROLES

Art. 3.1.- Obtención de las Muestras.

Art. 3.2.- Género de los Controles.

## 1.- GENERALIDADES.

Art. 1.1.- Objeto de la Especificación.

La presente especificación se aplica al suministro de balasto asignado a la instalación, a la renovación y al -- mantenimiento de las vías.

## 2.- CONDICIONES DE FABRICACION.

Art. 2.1.- Origen y Constitución de los Materiales.

El balasto proviene de la trituración de rocas extraídas de las canteras de piedras duras, (granito microgranito, diorita, pórfido, cuarcita, basalto, etc).

Las rocas se extraen de bancos sanos de la cantera, excluyendo todo banco poco consistente y eliminando todas las rocas esteriles, costras de cantera, polvaredas, residuos terrosos, arenas y demás materias ajenas.

Art. 2.2.- Dureza

La dureza del balasto queda definida, tomando en cuenta:

- La resistencia al desgaste - ensayo "DEVAL" -
- La resistencia al fraccionamiento - ensayo "LOS ANGELES" -

Los ábacos adjuntos como anexos 1 y 2 de la presente especificación permiten la determinación del coeficiente de dureza instantánea - D R I - de cada muestreo extraído, con los valores - obtenidos del ensayo "DEVAL" seco y humedo y del ensayo "LOS ANGELES".

Se toma en cuenta el más pequeño de los valores leídos en cada uno de los tableros de las figuras 1 y 2.

Los ensayos se llevan a cabo en el balasto:

- Ya sea tal como esta elaborado en la cantera, teniendo en cuenta las propias instalaciones de trituración.
- O ya sea aplicando el procedimiento excepcional previsto en el inciso 3.3.2

El ensayo "DEVAL" se efectúa conforme a las prescripciones de la Norma AFNOR P-18577. El ensayo "LOS ANGELES" se efectúa según las indicaciones de la Norma ASTM-C535 o AFNOR P-18573.

Además de la dureza instantánea DRI, la cantera se caracteriza por un coeficiente de dureza global DRG, el cual se calcula por un estudio estadístico del coeficiente de dureza DRI - según las modalidades expuestas en el anexo 3.

El cuadro siguiente define los distintos valores de las durezas DRI - DRG según las condiciones de empleo del balasto, - este último pudiendo provenir de diferentes canteras:

CONDICIONES DE EMPLEO DEL BALASTO	DURMIENTES DE MADERA		DURMIENTES DE CONCRETO	
	DRI MIN.	DRG MIN.	DRI MIN.	DRG. MIN.
CAPA SUPERIOR	15	17	15	17
CAPA INFERIOR	13	14	13	14

Los valores mínimos indicados se consideran como los límites de rechazo.

El DRI no deberá aminorar el valor del DRG de manera tal que llegue a ser inferior al valor pedido.

#### Art. 2.3.- Dimensiones - Granulometría

##### 2.3.1.- Dimensiones nominales

El balasto se define por sus dimensiones nominales:

- Mínima :  $d = 25 \text{ mm}$
- Máxima:  $D = 50 \text{ mm}$

La granulometría  $d/D$  corresponde a 25/50 mm.

### 2.3.2.- Granulometría:

En la práctica, teniendo en cuenta las condiciones de trituración y de cribado, se autoriza una cierta dispersión de las dimensiones en el interior de un huzo granulométrico cuyos puntos singulares se definen a continuación, utilizando tamices de mallas cuadradas con las dimensiones siguientes: 80 - 63 - 50 - 40 - 25 - 16 mm (valores de conformidad con las recomendaciones de la norma ISO/TC 24).

PUNTOS SINGULARES DE LOS HUSOS	DIMENSIONES DE LAS MALLAS CUADRADAS (1)	TOLERANCIAS NORMALES	LIMITES INACEPTABLES (LIMITES DE RECHAZO)
D max: 1.25 D	63	MASA DETENIDA $\leq$ 0%	MASA RETENIDA $\geq$ 3%
D	50	MASA DETENIDA $\leq$ 15%	MASA RETENIDA $\geq$ 20%
Tamiz Intermediario.	40	MASA DETENIDA ENTRE EL 26 Y 60%	MASA RETENIDA $\leq$ 21% MASA RETENIDA $\geq$ 65%
d	25	MASA DETENIDA $\geq$ 99%	MASA RETENIDA $\leq$ 90%
D mín: 0.63 d	16	MASA DETENIDA $\geq$ 99%	MASA RETENIDA $\leq$ 96%

NOTA (1): En el caso de disponer únicamente de tamices con mallas circulares, los resultados se consideran equivalentes para los diámetros iguales a  $1.5 \times L$ ; L midiendo el lado de las mallas cuadradas.

## 2.4.- Forma del material

Los elementos de balasto y de grava son de forma poliédrica con aristas vivas. Referentes a su longitud y espesor, deben cumplir con los requisitos siguientes:

### 2.4.1.- "Agujas" (lajas)

El límite normal de los elementos en forma de aguja -- con una longitud superior a 92 mm es de 7% en pesos. El límite de rechazo corresponde al 10%.

### 2.4.2.- "Lacios"

Se determina un coeficiente de achatamiento global. -- El ensayo permitiendo el cálculo de este coeficiente se lleva a cabo en el muestreo del ensayo granulométrico.

El cribado en rejas con una separación S entre las -- barras se efectúa en las clases granulares definidas a continuación:

CLASE GRANULAR d/D EN mm.	SEPARACION S EN mm.
50 - 63	31.5
40 - 50	25
31.5 - 40	20
25 - 31.5	16

El modo operativo del ensayo descrito en el anexo 5 define un "Coeficiente de achatamiento global".

El límite normal de este coeficiente es de 12%. El límite de rechazo se fija en 14%.

#### Art. 2.5.-Homogeneidad

El límite normal de elementos quebradizos o alterados es de 3%. El límite de rechazo queda en 6%.

#### Art. 2.6.-Limpieza

Los materiales deben estar exentos de arena, de polvos, de residuos terrosos y de cualquier otras materias ajenas. El límite normal es de 0.5% con la malla de 1.6 mm. El límite de rechazo corresponde al 0.8%.

Art. 3.1.- Obtención de las muestras.

3.1.1.- Muestras

Las muestras, para los controles se obtienen en la cante  
ra o en el área de carga.

El escantillón, aquel más representativo del producto, -  
se saca:

- Ya sea en la transportadora, parada, antes del cargado en las pla-  
taformas o en el sitio de almacenamiento,
- Sea directamente del acopio,
- O ya bien en la plataforma antes de su despacho, en tres puntos --  
espaciados el uno del otro y ubicados a más de 0.50 m de la pared,  
tan pronto sea posible después de la carga para evitar la segregación  
o el lavado del material por la lluvia.

Estos distintos modos de muestrario pueden, eventualmen-  
te, combinarse entre si.

La masa de la muestra sacada debe ser: al menos igual a-  
30 Kg.

Los mismos modos de elección de las muestras deberán uti  
lizarse en el marco de los controles a cargo del Proveedor.



### 3.1.2.- Procedimiento excepcional

En el caso de que no fuera posible la toma de la muestra tal como se indica en el párrafo precedente, vale decir en el producto ya elaborado, se elegirá una masa de 50 Kg., de bloques fracturados de dimensiones superiores a 50 mm, extraídos de la roca misma.

Estos bloques se triturarán en laboratorio -- para la realización de los ensayos "DEVAL" seco y húmedo y "LOS ANGELES".

### Art. 3.2.- Género de los controles

#### 3.2.1.- Control de dureza

Se realizan los ensayos "DEVAL" seco y húmedo y "LOS ANGELES". Se retiene, para el valor del coeficiente de dureza instantáneo DRI, el más endeble de los dos valores obtenidos a partir de los ábacos de los anexos 1 y 2.

Los ensayos se desarrollarán en un laboratorio oficial, el cual deberá tener los distintos equipos necesarios -- para la correcta ejecución de los ensayos definidos en la presente especificación.

### 3.2.2.- Controles granulares completos

Se efectúan en laboratorio aprovechando los ensayos de dureza.

El control granular completo abarca:

- El control de la granulometría de los materiales,
- El control de la forma de los materiales (longitud, espesor),
- El control visual de la homogeneidad de los materiales.
- El control de la limpieza de los materiales.

Se levantará, en cada uno de estos controles -- completos, una acta de control (ver anexo 6) que será comunicado a cada una de las partes involucradas.

Art. 4.1.- En el caso de que todos los ensayos previstos hayan -- dado resultados conformes a los límites normales definidos en la presente especificación, todos los materiales suministrados desde el precedente control se considerarán aceptados.

Art. 4.2.- Resultados disconformes

En el caso de que los resultados demuestren que uno de los ensayos efectuados (dureza, granulidad, forma, homogeneidad, limpieza, etc), sobrepase los límites normales definidos -- en la presente especificación, los gastos eventuales de transporte y de ensayos de muestras serán a cargo del proveedor.

Además se le aplicará una penalidad descrita en el artículo 4.3. siguiente.

**Art. 4.3.- Penalidades**

4.3.1.- Cuando los resultados se encuentran entre el límite normal y el límite de rechazo, en los criterios de:

-Granularidad,

-Forma

-Homogeneidad,

-Limpieza, la penalidad consistirá en un descuento de 5% aplicado sobre la totalidad de los materiales en entregados desde el precedente control de la misma índole.

4.3.2.- Cuando los resultados sobrepasan uno de los límites de rechazo, incluyendo el de la dureza instantánea DRI, inferior al valor mínimo autorizado, durante un control de conformidad, - la penalidad corresponderá en un castigo del precio del 30% apli cado sobre la totalidad de los materiales entregados desde el -- precedente control de la misma naturaleza.

Las penalidades descritas en los incisos 4.3.1. y 4.3.2. no son acumulables.

Art. 4.4.- Suspensión del abasto y de la aprobación.

En el caso de que un control de conformidad dejará -- aparecer:

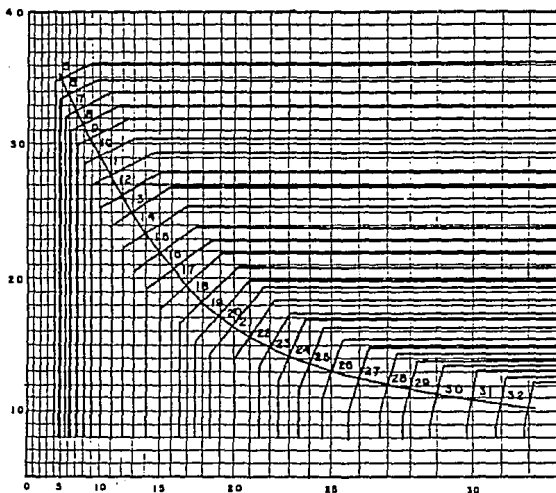
- Valores inferiores al límite de rechazo por lo que concierne la granulidad, la forma, la homogeneidad y la limpieza.
- Una dureza instantánea DRI o una dureza global DRG inferior a los valores mínimos especificados en el artículo 2.2., se suspenderán los abastecimientos hasta que tenga la certeza, mediante otros controles, de que la calidad de los materiales se ha vuelto conforme a los criterios de la presente especificación técnica.

En el caso contrario, se anulará la aprobación de la cantera.

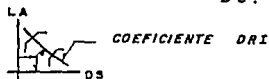
En caso de suspensión o de limitación del abasto, la liquidación de cuentas se efectúa sobre la base de las cantidades efectivamente surtidas, sin perjuicio de las penalidades -- aplicables, cual sea la cantidad entregada, sin que pueda resultar, por cualquier cosa que fuese, un derecho a indemnización -- a favor del proveedor.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DUREZA INSTANTANEA  
CON RESPECTO A LOS COEFICIENTES "LOS ANGELES" Y "DEVAL" SECO

ANEXO I



LA : COEFICIENTE " LOS ANGELES "  
DS : COEFICIENTE " DEVAL " SECO



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTONOMA  
DE MEXICO

TITULO: ESPECIFICACION TECNICA PARA EL SUMINISTRO  
DEL BALASTO

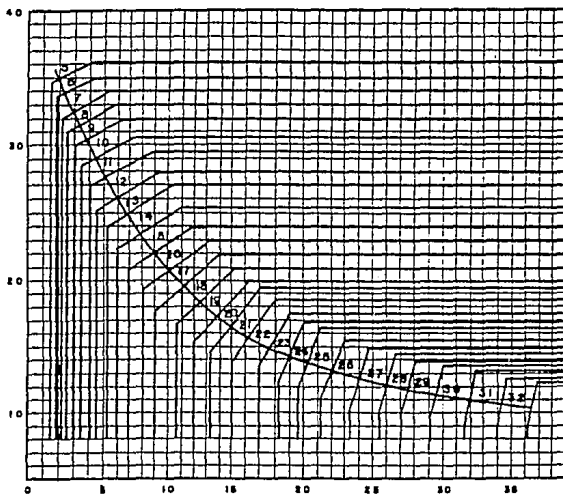
VICENTE ESCOBEDO CAMPOS

TESIS  
PROFESIONAL

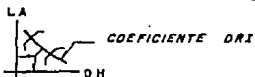
FACULTAD  
DE  
INGENIERIA

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DUREZA INSTANTANEA  
CON RESPECTO A LOS COEFICIENTES "LOS ANGELES" Y "DEVAL" HUMEDO

ANEXO 2



LA : COEFICIENTE "LOS ANGELES"  
DH : COEFICIENTE "DEVAL" humedo



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTONOMA  
DE MEXICO

TITULO: ESPECIFICACION TECNICA PARA EL SUMINISTRO  
DEL BALASTO

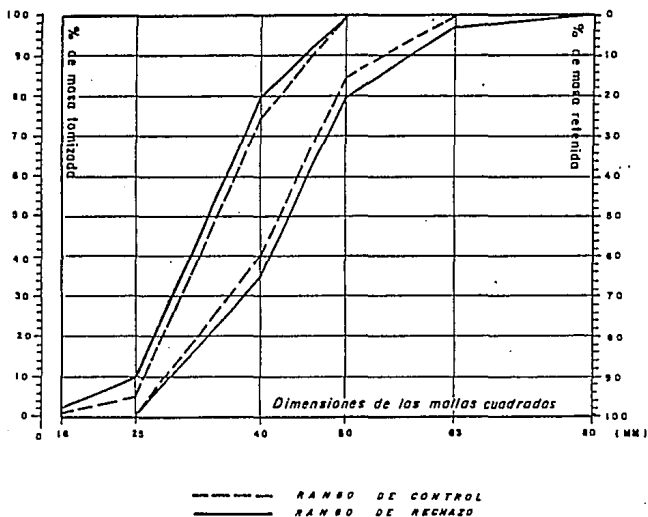
VICENTE ESCOBEDO CAMPOS

TESIS  
PROFESIONAL

FACULTAD  
DE  
INGENIERIA

RANGO DEL CONTROL GRANULOMÉTRICO

ANEXO 4



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTONOMA  
DE MEXICO

TITULO :

ESPECIFICACION TECNICA PARA EL SUMINISTRO  
DEL BALASTO .

FACULTAD  
DE  
INGENIERIA

VICENTE ESCOBEDO CAMPOS

TESIS  
PROFESIONAL

UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTONOMA  
DE MEXICO

## ACTA DE CONTROL

A N E X O 6

C A N T E R A    D E    :

ENSAYO GRANULOMETRICO EFECTUADO EL :

POR :

(2) - EN LA TRANSPORTADORA

SACADO DE LAS MUESTRAS REALIZADAS EL :

POR :

(2) - DEL ACOPIO

SR.

REPRESENTANTE DEL

ASISTIO (1)

- DE LA PLATAFORMA

PROVEEDOR DEBIDAMENTE CITADO

NO ASISTIO

- DE LA ROCA

A. - DUREZA (PARA EL LABORATORIO UNICAMENTE)

- DEVAL SECO :

D R I SECO :

- DEVAL HUMEDO :

D R HUMEDO :

- LOS ANGELES :

V A L O R   D E   D R I   T O M A D O   E N   C U E N T A   :

(1) TACHAR(X) LAS MENCIONES INUTILES.

(2) APELLIDO DE LA PERSONA - NIVEL JERARQUICO

EMPLEO.

TITULO :

ESPECIFICACION TECNICA PARA EL SUMINISTRO  
DEL BALASTO

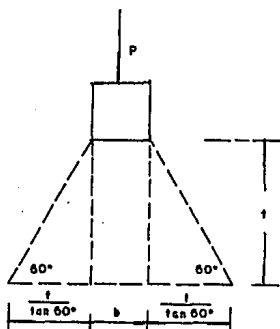
VICENTE ESCOBEDO CAMPOS

TESIS  
PROFESIONAL

FACULTAD  
DE  
INGENIERIA



Cálculo del espesor mínimo de balasto bajo el durmiente.



Se supone una transmisión de cargas de tipo trapezoidal con un ángulo de transmisión de carga de  $60^{\circ}$

Se considera durmiente reglamentario de  $0.1778 \times 0.2032 \times 2.44$  Mts. - - (7" x 8" x 8')

DATOS

$P = 10,000$  Kg.

$C_{BAL} = 3$  Kg/cm<sup>3</sup>

$b = 0.2032$  M.

$L = 2.44$  M.

$t =$  Espesor de balasto bajo el durmiente.

Volúmen de la sección:

$$V = \frac{b + b + \frac{2t}{\tan 60^{\circ}}}{2} tL$$

$$V = \frac{2b + \frac{2t}{\tan 60^{\circ}}}{2} tL$$

Si  $V = \frac{P}{C}$  ;

$$\frac{P}{C} = 2btL + \frac{2t^2L}{\tan 60^{\circ}}$$

$$2Lt^2 + \frac{2bL}{\tan 60^{\circ}}t - \frac{P}{C \tan 60^{\circ}} = 0$$

$$t = \frac{-\frac{2bL}{\tan 60^{\circ}} \pm \sqrt{\left(\frac{2bL}{\tan 60^{\circ}}\right)^2 - 4(2L)\left(-\frac{P}{C \tan 60^{\circ}}\right)}}{2(L)}$$

aplicando valores:

$$t = 39.6 = \underline{40 \text{ cm.}}$$



6.1 PROYECTO DE RECTIFICACION.  
REGLAS PRACTICAS PARA EL -  
PROYECTO Y CONSTRUCCION; -  
DESCRIPCION DE ACCESORIOS.

En el año de 1970, durante el proceso de incorporación al Sistema de los Ferrocarriles Nacionales de México de los distintos ferrocarriles que en aquel entonces existían, se presentó el caso del ferrocarril -- Coahuila y Zacatecas con la disyuntiva de rehabilitarlo dentro de su mismo trazo, modificar éste ó por último desaparecerlo dejando el servicio de -- transporte, carga y pasajeros, al transporte por carretera.

Este ferrocarril, ahora perteneciente a una de las divisiones de los Ferrocarriles Nacionales de México, tiene su servicio concentrado -- prácticamente en un 89%, en el arrastre de productos minerales a bordo de -- góndolas principalmente concentrados ferrosos con contenidos de plomo, -- zinc y cobre en su mayor parte; el resto se restringe al movimiento de -- combustibles, maquinaria, equipo y carga en general.

El movimiento de estos minerales ferrosos se encuentra dirigido -- principalmente a plazas como Monterrey, Monclova, San Luis Potosí, -- Chihuahua y Torreón; principalmente a las acerías de Altos Hornos de -- México, Industrias Peñole; y Minera México.

Por aquel entonces, de acuerdo con la información que se tenía -- a lo largo de esta línea se movía un tonelaje de 179,000 tons. anuales -- como promedio, efectuándose este movimiento con un equipo de transporte -- compuesto de dos locomotoras, nueve furgones, treinta góndolas y un -- -- -- caboose. Independientemente se manejaban cinco unidades de pasajeros y -- dos coches express para el transporte de 131,000 pasajeros y 2,026 toneladas de express.

De acuerdo con esas estadísticas se tenían ingresos producto de la operación por \$3,456,600.00 y egresos por \$4,551,260.00, es decir - se operaba con un déficit de \$1,094,660.00 con un coeficiente de operación negativo del 131.67

El personal se componía de 296 personas, 193 en activo y 103-jubilados, de los activos 133 personas estaban dedicadas a la conservación de vía y transporte, 21 a la administración y el resto a servicios - distintos.

Por la incorporación, a Ferrocarriles Nacionales de México, - se le presentaban tres alternativas para poder determinar la mejor solución económica posible:

- 1.-Que se mantuviera la situación presente.
- 2.-Que los Ferrocarriles Nacionales de México sustituyeran -- parte del trazo mediante la construcción de un desvío para rectificarlo.
- 3.-Que se suprimiera la línea férrea y se sustituyera con un camino.

Se presentaba también el hecho de que las cuotas por fletes - eran más elevadas que las que regían en los Ferrocarriles Nacionales de México y además, la incorporación acarrearía una consolidación de distancias al tener que cobrar el flete desde su origen como puerto de embarque hasta su destino final.

Si se mantenía la situación existente, se seguiría operando -

con pérdidas tendientes a incrementarse por el lógico aumento en los costos de equipo, personal y mantenimiento.

De construir el desvío, aún cuando se tuviera una reducción en ingresos por flete, parte de la operación se efectuaría por el Sistema de los Ferrocarriles Nacionales de México reduciendo los costos de mantenimiento y operación.

Por lo anterior, se determino el estudio de las siguientes alternativas:

1.- Costos de operación en la actual línea del Ferrocarril - - Coahuila-Zacatecas con origen en Saltillo, Coah., K-0+000 y destino en Concepción del Oro, Zac., K-125+400 con vía angosta (escantillón=0.914 mts.) - en toda su longitud.

2.- Costos de operación para la actual línea del Ferrocarril -- Coahuila-Zacatecas, considerando un ensanchamiento (escantillón=1.435 m.) y rectificación de la misma entre los Kms. 40+500 y 47+200, 53+500 y 54+700, 66+400 y 71+000, 75+500 y 78+000, 88+500 y 89+800, finalmente del 113+000 - al 117+600 con un acortamiento de 2.8 Kms.; con origen en Saltillo, Coah. - y destino en Concepción del Oro, Zac.

3.- Costos de operación considerando la construcción de un desvío que conecte la estación de Gómez Farias, Coah., Km. B-852+000 AD=K-B- - 846+763.36 AT con Melville, K-77+398.37 del Ferrocarril Coahuila-Zacatecas- aprovechando para la operación el tramo de la actual línea "B" México-Laredo entre Gómez Farias y Carneros, Coah., K-B-876+500 punto común a ambas -- líneas.

4.- Costos de operación entre carneros, Coah., y Concepción del

Oro, Zac., utilizando el servicio de trailer, con objeto de eliminar el -- servicio ferroviario.

Para el estudio de la primera alternativa se considera la operación con locomotora clase DE-28 con potencia normal para tracción de 800 H.P., y para las dos siguientes, locomotora DE-24 con potencia normal de tracción de 1800 H.P.- En los tres casos, la secuela de cálculo para la obtención de los costos de operación parte de obtener la resistencia de la locomotora aplicando para tal efecto la ecuación de Davis, considerando su peso, número de ejes y la velocidad promedio con que se efectúa la operación. Con la potencia normal de tracción se ha calculado la fuerza tractiva de la locomotora para obtener así la disponible en el acoplador. Par-- tiendo de la misma fórmula de Davis, se obtiene la resistencia de los -- carros tanto cargados como vacíos considerando su peso, número de ejes y la misma velocidad de operación para calcular el número de carros en ambos casos a partir de la fuerza tractiva en el acoplador y la resistencia de los carros así obtenida. Basta determinar entonces el peso del tren com-- pleteo para plantear dos ecuaciones lineales en función del tonelaje ecua-- cionado y del factor carros para que al hacerlas simultáneas se obtengan -- estas dos últimas incógnitas.

De esta forma se determinará para cada una de las primeras alternativas la composición del tren que deberá operar con un tonelaje ideal para las condiciones de equipo utilizado y geométricas de la línea.

SECUELA DE CALCULOCARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL F.C. COAHUILA-ZACATECAS

ORIGEN:	Saltillo, Coah., K-0+000
DESTINO:	Concepción del Oro, Coah., K-125+400
LONGITUD:	125.400 Kms.
GRADO MAX. DE CURVATURA:	10°00'
PEND. MAX. COMPENSADA:	2.00%
DEFLEXION TOTAL:	2277°00'
TIEMPO DE RECORRIDO:	4.52 Hs.
VELOCIDAD PROMEDIO:	27.7 KPH.
ESCANTILLON:	0.914 M.

OPERACION.

Locomotora Clase DE-28 serie Nos. 5400 a 5416 para patio y camino.

Potencia normal para tracción = 800 H.P.

Fuerza tractiva continuada = 9845 Kg. (21700 lbs.) a 17.2 KHP=10.7 MPH

Número de ejes. = 4

Peso = 55 Tons.

Furgones: 32' x 7'6" con tara de 16.4 tons. y capacidad de carga de 27.2 Tons.

1.- Resistencias:

$$R = 0.65 + \frac{13.2}{W} + 0.014 V + \frac{0.0078 V^2}{nW}$$

$$R = 0.65 + \frac{13.2}{13.75} + 0.014 \times 27.7 + \frac{0.0078 (27.7)^2}{13.75}$$

$$R = 2.11 \text{ Kg/Ton. met.}$$

Resistencia total en via recta y a nivel:

$$R = 55 \times 2.11$$

T

$$R = 116 \text{ Kg.}$$

T

Resistencia por pendiente:

$$B = 0.02 \times 55000 = 1100 \text{ Kg.}$$

P

$$R = 1100 + 116$$

$$R = 1216 \text{ Kg. de la locomotora}$$



## 2.- Fuerza tractiva en el acoplador.-

$$FT = \frac{270 \text{ HP}}{V} = \frac{270 \times 800}{27.7} = 7798 \text{ Kg.}$$

$$FT \text{ acoplador} = 7798 - 1216 \\ = 6582 \text{ Kg.}$$

## 3.- Resistencia de carros de 43.6 ton. met.; dos trucks, dos ejes.

$$R = 0.65 + \frac{13.2}{W} + 0.014 \frac{V + 0.0078 V^2}{nW}$$

$$R = 0.65 + \frac{13.2}{10.9} + 0.014 \times 27.7 + \frac{0.0078 (27.7)^2}{43.6}$$

$$R = 2.39 \text{ Kg/Ton. met.}$$

Resistencia total en vía recta y a nivel.

$$R = 43.6 \times 2.39 \\ T$$

$$R = 104 \text{ Kg.} \\ T$$

Resistencia por pendiente.

$$R = 0.02 \times 43,600 = 872 \text{ Kg.} \\ P$$

$$R = 104 + 872$$

$$R = 976 \text{ Kg.} \quad \text{de los carros cargados.}$$

## 4.- Número de carros.-

$$N = \frac{FT \text{ acoplador}}{c \quad N \text{ carros.}}$$

$$N = \frac{6582}{c \quad 976}$$

$$N = 7 \text{ unidades.} \\ c$$

## 5.- Peso del tren.

$$W_{TREN} = W_{LOCOMOTORA} + \frac{N}{c} + W_{Carros}$$

$$= 55 + 7 (43.6)$$

$$= 360.2 \text{ Tons. para las condiciones de} \\ m = 2.00 \% \text{ y } V = 27.7 \text{ KPH.}$$

6.- Considerando el equipo vacío:

$$R = 0.65 + \frac{13.2}{4.1} + 0.014 \times 27.7 + \frac{0.0078 (27.7)^2}{16.4}$$

$$R = 4.62$$

$$R = 16.4 \times 4.62 = 76 \text{ Kg.}$$

T

$$R = 0.02 \times 16400$$

P

$$R = 328 \text{ Kg.}$$

P

$$R = 328 + 76 = 404 \text{ Kg.}$$

$$N = \frac{6582}{404} = 16 \text{ unidades.}$$

W

$$\text{TREN} = 55 + 16 (16.4)$$

$$= 317.4 \text{ ton. bajo las mismas condiciones.}$$

7.- Factor carro y tonelaje ecuacionado.

$$TE = 360.2 + 7 f_c$$

$$TE = 317.4 + 17 f_c$$

$$360.2 + 7 f_c = 317.4 + 17 f_c$$

$$f_c = \frac{42.8}{9}$$

$$f_c = 4.76$$

$$T = 360.2 + 7 (4.76) = 393.52 \text{ Tons. ecuacionadas.}$$

E

8.- Costo horario de operación de la locomotora.

Consumo de combustible a 27.7 KPH como promedio, 190 lts. diesel por hora con tiempo de recorrido de 4.52 hrs.

a) Costo de combustible 4.52 x 190x\$0.34.	\$	291.99
b) Lubricantes y accesorios (24% del costo anterior).		70.08
c) Mantenimiento terminal (salarios).		27.00
d) Tripulación (tren completo).		385.00
e) <u>Refacciones = 0.18x2,500.000.00x4.52 hrs. =</u>		
365 x 24 hs.		232.19
f) M. de O. reparaciones (20% costo de refacciones)		46.44
g) Interés capital invertido (5% en 20 años)		75.77

h) Amortización (54,000 horas) en 4.52 hrs.	209.28
i) Costo directo Admón. local (15% subtotal)	<u>200.66</u>
Costo locomotora en 4.52 hs. para 125.4 Km.....	\$ 1,538.41

## 9.- Costo horario del equipo de carga.-

Costo de cada unidad = \$ 150,000.00

Mantenimiento anual = 4 % del costo.

Inicial incluyendo lubricantes, accesorios. Vida útil 30 años.

$$a) \text{ Mantenimiento} = \frac{0.04 \times 150,000.00}{365 \times 4.52} \quad \$ \quad 3.64$$

b) Interés capital invertido (5%) en 20 años.

$$\frac{0.05 \times 150,000.00}{365 \times 4.52} = \quad 4.55$$

$$c) \text{ Amortización} = \frac{150,000.00}{30 \times 365 \times 4.52} \quad 3.04$$

$$d) \text{ Costo directo administración (15\% sub-total)} \quad \underline{1.44}$$

Costo carro en 4.52 hs. para 125.4 Km.....\$ 12.67

## 10.- Costo tren hora.

$$1538.41 + 12.67 (7) = \$ 1,627.10$$

## 11.- Costo tren kilómetro.

$$\frac{1538.41 + 12.67 (7)}{27.7} = \quad 58.74$$

## COSTOS DE OPERACION.

Por curvatura.

$$\frac{2277^\circ}{330^\circ} = 9 \text{ kms.} \times 1500.00 \times 12 \text{ meses} \quad \$ \quad 124,200.00$$

Por pendiente.

$$\frac{179,000}{400 \text{ ton.}} \text{ Tons.} \times 4.52 \times 1627.10 \quad 3.291,135.17$$

Por conservación de vía:

$$125.4 \times 12 \times 1500.00 \quad \underline{2,257,200.00}$$

TOTAL.....\$ 5,672,535.17

$$\text{Costo Ton.} = \frac{5,672,535.17}{179,000} = \$ 31.69 \text{ Costo Ton-Kms.} \frac{31.69}{125.4} = \$ 0.25$$

PRIMERA ALTERNATIVA

Considerando el ensanchamiento y rectificaciones parciales de la línea, -- sus características geométricas cambian a decir:

ORIGEN:	Saltillo, Coah., K-0+000.
DESTINO:	Concepción del Oro, Coah. K-125+400.
LONGITUD:	122.6 Kms.
GRADO MAX. DE CURVATURA:	4°00'
PEND. MAX. COMPENSADA:	2°00'
DEFLEXION TOTAL:	1594°00'
TIEMPO DE RECORRIDO:	3.80 hs.
VELOCIDAD PROMEDIO:	35 KPH.
ESCANTILLON:	1.435 Mts.

## OPERACION.-

Locomotora clase DE24 Series Nos. 7400 a 7472 ALCO para patio y camino.

Potencia normal para tracción = 1800 H.P.

Fuerza tractiva continuada = 36070 Kg. (79500 lbs.) a 9.3 KPH.  
(5.8 M.P.H.)

Número de ejes.

= 6

Peso

= 150 Tons.

Furgones: 40'6" x 10'7" x 10' con tara de 21.2 tons. y capacidad de carga-  
de 49.9 tons.

## 1.- Resistencias:

$$R = 0.65 + \frac{13.2}{25} + 0.014 \times 35 + \frac{0.0078 (35)^2}{150}$$

$$R = 1.73 \text{ Kg/Ton. met.}$$

$$R = 150 \times 1.73$$

T

$$R = 260 \text{ Kg.}$$

T

$$R = 0.02 \times 150,000 = 3,000 \text{ Kg.}$$

P

$$R = 3000 + 260$$

$$R = 3260 \text{ Kg. de la locomotora.}$$

## 2.- Fuerza tractiva en el acoplador:

$$FT = \frac{270 \text{ HP}}{V} = \frac{270 \times 1800}{35} = 13886 \text{ Kg.}$$

$$FT \text{ acoplador} = 13,886 - 3,260 = 10,626 \text{ Kg.}$$

## 3.- Resistencia de carros de 71.1 ton. met.; dos trucks, dos ejes

$$R = 0.65 + \frac{13.2}{17.8} + 0.014 \times 35 + \frac{0.0078 (35)^2}{71.1}$$

$$R = 1.89 \text{ Kg/ton. met.}$$

$$R = 71.1 \times 1.89 = 134 \text{ Kg.}$$

T

$$R = 0.02 \times 71100 = 1422 \text{ Kg.}$$

P

$$R = 1422 + 134$$

$$R = 1556 \text{ Kg. de los carros cargados.}$$

## 4.- Número de carros:

$$N_c = \frac{FT \text{ acoplador}}{R \text{ carros}} = \frac{10,626}{1556}$$

$$N_c = 7 \text{ unidades.}$$

## 5.- Peso del tren:

$$W \quad W \quad N_c \times W \text{ carros.}$$

$$\text{TREN} = \text{LOCOMOTORA} +$$

$$= 150 + 7 (71.1) \quad \text{para las condiciones de}$$

$$= 647.7 \text{ ton.} \quad m = 2.00\% \text{ y } V = 35 \text{ KHP.}$$

## 6.- Considerando el equipo vacío:

$$R = 0.65 + \frac{13.2}{5.3} + 0.014 \times 35 + \frac{0.0078 (35)^2}{21.1}$$

$$R = 4.08 \text{ Kg/ton. met.}$$

$$R = 21.1 \times 4.08 = 86 \text{ Kg.}$$

T

$$R_p = 0.02 \times 21100 = 422 \text{ Kg.}$$

$$R = 422 + 86$$

$$R = 508 \text{ Kg. de los carros vacíos.}$$

$$N_c = \frac{10626}{508} = 21 \text{ Unidades}$$

$$W \quad W$$

$$\text{TREN} = 150 + 21 (21.2)$$

$$= 595.2 \text{ Ton.}$$

## 7.- Factor carro y tonelaje ecuacionado:

$$TE = 647.7 + 7 \text{ fc}$$

$$TE = 595.2 + 21 \text{ fc}$$

$$647.7 + 7 \text{ fc} = 595.2 + 21 \text{ fc}$$

$$\text{fc} = \frac{52.5}{14} = 3.75$$

$$TE = 647.7 + 7(3.75) = 673.95 \text{ tons. ecuacionadas.}$$

## 8.- Costo horario de operación de la locomotora:

Consumo de combustible a 35 KPH

como promedio, 400 lts. diesel por hora con tiempo de 3.80 hs.

a) Costo de combustible: $3.80 \times 400 \times 0.34$	\$ 516.80
b) Lubricantes y accesorios (24% del costo anterior)	124.03
c) Mantenimiento terminal (salarios)	45.00
d) Tripulación (tren completo)	425.00
e) Refacciones = $\frac{0.18 \times \$4,375,000.00 \times 3.80}{365 \times 24 \text{ hs.}}$	341.55
f) M. de O. reparaciones (20% del costo de refacciones)	68.31
g) Interés capital invertido (5% en 20 años)	157.71
h) Amortización (54,000 horas) en 3.80 hs.	105.14
i) Costo directo Admón. local (15% sub-total)	<u>267.53</u>
Costo locomotora en 3.80 hs. para 122.6 Km.	<u>\$ 2,051.07</u>

## 9.- Costo horario del equipo de carga:

Costo de cada unidad = \$ 250,000.00

Mantenimiento anual = 4% del costo inicial incluyendo lubricantes, accesorios, etc. vida útil 30 años.

a) Mantenimiento = $\frac{0.04 \times 250,000.00}{365 \times 3.80 \text{ hs.}}$	\$ 7.21
b) Intereses capital invertido (5% en 20 años)	
$\frac{0.05 \times 250,000.00}{365 \times 3.80 \text{ hs.}}$	9.01
c) Amortización = $\frac{250,000}{30 \times 365 \times 3.80 \text{ hs.}}$	6.01
d) Costo directo administración (15% sub-total)	<u>3.34</u>
Costo carro en 3.80 hs. para 122.6 Km.	<u>\$ 25.57</u>

## 10.- Costo tren hora:

$$2,051.07 + 25.57 (7) = \$ 2,230.06$$

## 11.- Costo kilómetro:

$$\frac{2,051.07 + 25.57 (7)}{35} = \$ 63.72$$

## COSTOS DE OPERACION.-

Por curvatura:

$$\frac{1594^{\circ}}{330^{\circ}} = 4.83 \text{ Kms.} \times 1200.00 \times 12 \text{ meses} \quad \$ \quad 69,552.00$$

Por pendiente:

$$\frac{179,000 \text{ ton.}}{674 \text{ ton.}} \times 3.80 \times 2,230.06 \quad 2,250,573.65$$

Por conservación de vía:

$$122.6 \times 12 \times 1200.00 \quad \underline{1,765,440.00}$$

$$\text{TOTAL:-----} \$ \quad 4,085,565.65$$

$$\text{Costo ton.} = \frac{4,085,565.65}{179,000} = 22.82$$

$$\text{Costo Ton-Km.} = \frac{22.82}{122.6} = \$ 0.19$$

SEGUNDA ALTERNATIVA

Se considera la construcción de un desvío que conecte las estaciones-- de Gómez Farías, Coah., K. B-852+000 AD = K-B-846+763.36 AT y Melville, --- Coah., K-77+398.37 del F.C. Coahuila-Zacatecas, aprovechando para la operación al tramo de la actual línea "B" México-Laredo entre Gómez Farías, - - Coah., y Carneros, Coah., K-B-876+500, punto común a ambas líneas.

## CARACTERISTICAS GEOMETRICAS.-

ORIGEN:	Carneros, Coah., K-B-876+500
DESTINO:	Melville, Coah., K-77+398.37
LONGITUD:	56.774 Kms.
GRADO MAX. DE CURVATURA:	4°00'
PEND. MAX. COMPENSADA.	1.50%
DEFLEXION TOTAL:	1116° 00'
TIEMPO DE RECORRIDO	1.33 hs.
VELOCIDAD PROMEDIO	55 KPH
ESCANTILLON	1.435 Mts.

## OPERACION:-

Locomotora clase DE-24 series Nos. 7400 a 7472 ALCO para patio y camino.

Potencia normal para tracción = 1800 H.P.

Fuerza tractiva continuada = 36070 Kg. (79500 lbs.) a 9.3 KPH.  
(5.8 M.P.H.)

Número de ejes. = 6

Peso = 150 ton.

Furgones: 40'6" x 10'7" x 10' con tara de 21.2 ton. y capacidad de carga de 49.9 tons.

## 1.- Resistencias:

$$R = 0.65 + \frac{13.2}{25} + 0.014 \times 55 + \frac{0.0078(55)^2}{150}$$

$$R = 2.11 \text{ Kg/ton. mét.}$$

$$R_T = 150 \times 2.11 = 316 \text{ Kg.}$$

$$R_p = 0.015 \times 150,000 = 2250 \text{ Kg.}$$

$$R = 2250 + 316$$

$$R = 2566 \text{ Kg. de la locomotora.}$$

## 2.- Fuerza tractiva en el acoplador:

$$FT = \frac{270 \text{ HP}}{V} = \frac{270 \times 1800}{55} = 8836 \text{ Kg.}$$

$$FT \text{ acoplador} = 8836 - 2566 = 6270 \text{ Kg.}$$

## 3.- Resistencia de los carros de 71.1 ton., dos trucks, dos ejes.

$$R = 0.65 + \frac{13.2}{17.8} + 0.014 \times 55 + \frac{0.0078(55)^2}{71.1}$$

$$R = 2.49 \text{ Kg/ton. mét.}$$

$$R_T = 71.1 \times 2.49 = 177 \text{ Kg.}$$

$$R_p = 0.015 \times 71100 = 1067 \text{ Kg.}$$

$$R = 1067 + 177$$

$$R = 1244 \text{ Kg. de los carros cargados.}$$

## 4.- Número de carros:

$$N_c = \frac{FT \text{ acoplador}}{R_{\text{carros}}} = \frac{6270}{1244}$$

$$N_c = 5 \text{ unidades.}$$

## 5.- Peso del tren:

$$W_{\text{TREN}} = 150 + 5(71.1) = 505.5 \text{ ton.}$$

para las condiciones de 1.50% = m.  
y V = 55 KPH.

## 6.- Considerando el equipo vacío:

$$R = 0.65 + \frac{13.2}{5.3} + 0.014 \times 55 + \frac{0.0078(55)^2}{21.1}$$



$$R = 5.03 \text{ Kg/ton. met.}$$

$$R_T = 21.1 \times 5.03 = 106 \text{ Kg.}$$

$$R_p = 0.015 \times 21,000 = 317 \text{ Kg.}$$

$$R = 317 + 106$$

$$R = 423 \text{ Kg.} \quad \text{de los carros vacíos.}$$

$$N_c = \frac{6270}{423} = 15 \text{ Unidades.}$$

$$\text{WIREN} = 150 + 15 (21.2)$$

$$= 466.5 \text{ Ton.}$$

#### 7.- Factor carro y tonelaje ecuacionado:

$$\text{TE} = 505.5 + 5 \text{ fc}$$

$$\text{TE} = 466.5 + 15 \text{ fc}$$

$$505.5 + 5 \text{ fc} = 466.5 = 15 \text{ fc}$$

$$\text{fc} = \frac{39}{10} = 3.90$$

$$\text{TE} = 505.5 + 5 (3.90) = 525 \text{ tons. ecuacionadas.}$$

#### 8.- Costo horario de operación de la locomotora:

Consumo de combustible a 55 KPH. como promedio - 430 lts. diesel por hora con tiempo de recorrido de 1.33 hs.

a) Costo de combustible: $1.33 \times 4.30 \times 0.34$	\$ 194.45
b) Lubricantes y accesorios (24% del costo anterior).	46.67
c) Mantenimiento terminal (salarios)	45.00
d) Tripulación (tren completo)	425.00
e) Refacciones = $\frac{0.18 \times \$4,375,000.00 \times 1.33}{365 \times 24}$	119.56
f) M. de O. reparaciones (20% del costo de refacciones).	23.91
g) Interés capital invertido (5% en 20 años)	450.61
h) Amortización (54,000 Hs.) en 1.33 hs.	300.41
i) Costo directo Admón local (15% sub-total)	240.84
Costo locomotora en 1.55 hs. para 56.774 Kms.	\$ 1,846.45

#### 9.- Costo horario del equipo de carga:

Costo de cada unidad = \$250,000.00

Mantenimiento anual = 4% del costo inicial incluyendo lubricantes, accesorios, etc. Vida útil 30 años.

a) Mantenimiento = $\frac{0.04 \times 250,000.00}{365 \times 1.33}$	\$ 20.60
---	----------

b) Interés capital invertido (5% en 20 años)

$$\frac{0.05 \times 250,000.00}{365 \times 1.33} = \$ 25.74$$

c) Amortización =  $\frac{250,000}{30 \times 365 \times 1.33} = 17.17$

d) Costo directo por Admón (15% sub-total)  $\frac{9.53}{\text{Costo carro en 1.33 hs. para 56.774 km.}} = \$ 73.04$

10.- Costo tren hora:

$$1.846.45 \times 73.04 (5) = \$ 2,211.65$$

11.- Costo tren kilómetro:

$$\frac{1846.45 + 73.04 (5)}{55} = \$ 40.21$$

COSTOS DE OPERACION.-

Por curvatura:

$$\frac{1116^{\circ}}{330^{\circ}} = 3,382 \text{ Kms.} \times 1200.00 \times 12 \text{ meses} = \$ 48,700.80$$

Por pendiente

$$\frac{179,000 \text{ ton.}}{525 \text{ ton.}} \times 1.33 \times 2,211.65 = 1,002,902.55$$

Por conservación de vía.

$$56.774 \times 12 \times 1200.00 = \frac{817,545.60}{\text{TOTAL:-----} \$ 1,869,148.95}$$

$$\text{Costo Ton} = \frac{1,869,148.95}{179,000} = \$ 10.44$$

$$\text{Costo Ton-Km.} = \frac{10.44}{56.774} = \$ 0.16$$

Análisis de costos para la operación entre Carmeros, Coah., y Concepción del Oro, Zac., utilizando el servicio de trailer.

DESTINO: Carmeros, Coah., K-38+700  
 ORIGEN: Concepción del Oro, Zac., K-125+000  
 LONGITUD: 86.300 Kms.  
 VELOCIDAD MEDIA: 40 KPH.  
 TIEMPO DE RECORRIDO: 2.16 hs. + 2.0 hs. por maniobras.  
 EQUIPO: Trailer 240 H.P.  
 CAPACIDAD DE CARGA: 18,000 Kg.

Precio adquisición	\$ 650,000.00
Valor por depreciar	\$ 650,000.00

VIDA ECONOMICA: 4 años, 1200 Hs./año.  
 PROMEDIO INVERSION ANUAL = 60%

1.-CARGOS FIJOS (por año)

a) Depreciación.	25%
b) Intereses, impuestos, seguros y almacenamiento.	8%
c) Mantenimiento y reparaciones.	20%
SUMA:-	53%

Costo por hora $\frac{0.53 \times 600,000.00}{1200}$	\$ 265.00
--	-----------

2.-Consumos por hora.

a) Diesel	$0.1514 \times 240 \text{ H.P.} \times \$0.52 =$	13.45
b) Aceite motor	$0.00307 \times 240 \text{ H.P.} \times \$5.00 =$	3.70
c) Aceite cambio	$18 \text{ Lts./100 hs.} \times \$5.00 =$	0.90
d) Grasa, estopa, fil - tros, etc.		1.00
		\$ 19.05

3.-SALARIOS.

a) Operador	\$ 100.00
b) Ayudante	40.00
	\$ 140.00

Por hora: $\frac{\$140.00 \times 365}{1200}$	\$ 42.58
--	----------

RESUMEN:

CARGOS FIJOS.	\$ 265.00
CONSUMOS.	19.05
SALARIOS.	42.58
SUMA: -----	\$ 326.63

COSTO POR VIAJE:

$\$326.63 \times 4.16 \text{ hs} = \$ 1,358.78$

COSTO POR TONELADA:

$\frac{\$1,358.78}{18 \text{ Ton.}} = \$ 75.49/\text{Ton.} + \$4.50 \text{ por transbordos.}$

COSTO POR TONELADA-KILOMETRO:

$\frac{79.99}{86.3} = \$ 0.93 \text{ Ton/Km}$

CUADRO COMPARATIVO.

ALTERNATIVA	ORIGEN	DESTINO	ESCANT.	LONG.KM.	G.	PEND.
1.- Trazo actual.	Saltillo	C. del Oro	0.914	125.4	10 <sup>o</sup>	2.0%
2.- Rectificación trazo actual	Saltillo	C. del Oro	1.435	122.6	4 <sup>o</sup>	2.0%
3.- Desvío	Carneros	Melville	1.435	56.774	4 <sup>o</sup>	1.5%

C O S T O S					
VELOCIDAD	TIEMPO	TREN-HORA	TREN KM.	TONELADA	TON.KM.
1.- 27.7 KPH.	4.52 Hs.	\$1,627.10	\$ 58.74	\$ 31.69	\$ 0.25
2.- 35 KPH.	3.80 Hs.	2,230.06	63.72	22.82	0.19
3.- 55 KPH.	1.33 Hs.	2,211.65	40.21	10.44	0.18

De acuerdo con lo anterior, los resultados obtenidos arrojan una superioridad de la tercera alternativa de \$ 40.21 como costo del tren kilómetro en comparación con \$ 58.74 para la primera y \$ 63.72 para la segunda alternativa, por lo que la ventaja inicial presentada por la segunda alternativa en el tonelaje ecuacionado, comienza a desaparecer en el aspecto costos.

#### CONCLUSIONES

Tomando como base de partida que estos resultados arrojaron menores costos en la tercera alternativa o sea la construcción del desvío entre --- Gómez Farías y Melville, se procede a realizar el estudio de la evaluación de beneficios costos para la misma, considerando una erogación para su ejecución de \$ 6.451,831.85 en total; estos estudios nos muestran que a lo largo de veinte años, tiempo considerado como vida útil de la vía, se recuperan \$ 7.255,823.75 como importe de los beneficios directos del proyecto, lo cual nos da una relación de beneficios-costos igual a 1.13. Si a lo anterior se agrega que el estudio de costos para la cuarta alternativa, operación entre Carneros, Coah., y Concepción del Oro, Zac., utilizando el servicio de trailer, nos muestra un costo por ton/km., de \$ 0.93 más alto que -- cualquiera de las tres primeras alternativas, se concluye que es más conveniente operar el Ferrocarril Coahuila-Zacatecas mediante la construcción -- del desvío Gómez Farías-Melville utilizando la línea "B" de los Nacionales de México y suprimiendo el tramo entre Melville y Saltillo del Ferrocarril -- primeramente citado.

Lo anterior no resulta en detrimento de los habitantes de las rancharías que estan localizadas a lo largo del tramo por suprimir dado, que -- entre las estaciones de Saltillo y Carneros ambas vías llevan un trazo cercano; a partir de la segunda estación, se puede utilizar la carretera que -- por ahí cruza rumbo a Zacatecas pasando por Concepción del Oro y finalmente se proyecta también que se utilice la terracería del tramo por levantar mediante la implantación de un servicio foráneo de camiones.

Evaluación de Beneficios - Costos del desvío localizado entre las estaciones de Gómez Farías K-B-852+000.00 AD = K-B-846+765.36 AT y Melville K-77+398.37 del Ferrocarril Coahuila-Zacatecas.

-----  
 CARACTERISTICAS FISICAS

	<u>Vía actual</u>	<u>Proyecto</u>	<u>Diferencia</u>
Longitud.	38,698 Km.	56,774 Km.	18,076 Km.
Grado Máx. de curvatura.	10 <sup>00</sup> '	4 <sup>00</sup> '	6 <sup>00</sup> '
Deflexión	1366 <sup>00</sup> '	1116 <sup>00</sup> '	250 <sup>00</sup> '
Pend. Máx. compensada	2.0%	1.5%	0.5%
Velocidad máxima.	27.7 KPH.	55.0 KPH	27.3 KPH

DATOS BASICOS.

Costo de un Km. de vía con riel de 60 lbs/yda.	\$ 200,000.00
Costo un km. de línea telegráfica.	10,000.00
Costo promedio mensual de conservación de 1 Km. de vía	1,200.00
No. de trenes que transitan la línea.	2
Costo de tren kilómetro.	40.21
Costo de tren hora.	2,211.65
Costo de M. de O. por levantar un Km. de vía.	8,000.00

PRESUPUESTO DE LA OBRA

Sub-Estructura.

Terracerías y O. de A. 3,170,236.33

SUPER-ESTRUCTURAS.

Vía con durmientes de madera y riel de 60 lbs./yda. entre Gómez Farías y Melville en 32.274 Km. 6,454,800.00

LÍNEA TELEGRÁFICA.

Colocación de línea telegráfica entre Gómez Farías y Melville en 32.274 Kms. 322,740.00

EDIFICIOS.

Construcción de una estación con casa para el Agente. 350,000.00

Construcción de casas de sección. 500,000.00

DERECHO DE VÍA.

Adquisición de terrenos para el nuevo derecho de vía entre Gómez Farías y Melville. 50,000.00

SUMA:-----\$10,847,776.33

VALOR DE SALVAMENTO

Salvamento del material recuperable entre Saltillo y Melville en 77.398 Kms. con riel de 40 y 60 lbs/yda. (3870 ton) \$ 4,435,794.00

154,796 durmientes recuperables 46,439 Pzs. a razón de -- \$ 10.00 464,390.00

30,960 Planchuelas, recuperables 9,288 Pzs./120.741 ton. a razón de \$ 680.00) 82,103.88

61,918 Tornillos de vía, recuperables 18,575 Pzs. (7.430-tons. a razón de \$ 680.00) 5,052.40

619,184 Clavos de vía, recuperables 123,836 Pzs. (37.150 - tons. a razón de \$ 680.00). 25,262.00

61,918 Roldanas de presión, recuperables 18,575 Pzs. --- (3,715 ton. a razón de \$ 680.00) 2,526.20

SUMA:-----\$ 5,015,128.48

Mano de obra.

Por levantamiento de vía entre Saltillo y Melville en -  
77,398 Km.

\$ 619,184.00  
NETO DEL SALVAMENTO: ----- \$ 4.395,944.48

BENEFICIOS.

1.- CURVATURA.

Ahorro de  $250^{\circ}$  de ángulo central que equivale a:

$$\frac{250^{\circ}}{330^{\circ}} = 0.758 \text{ Km.}$$

$$0.758 \times 1200.00 \times 12 \text{ meses} \quad \$ \quad 10,915.20$$

2.- TIEMPO (operación)

Tiempo actual de recorrido entre Carneros y Melville.  
1.50 hs.

Tiempo de recorrido por la nueva línea entre Carneros y Melville.  
 $\frac{1.10}{0.40}$  "

$$365 \text{ días} \times 0.40 \text{ hs.} \times 2 \text{ trenes} \times 2,211.65 \quad \$ \quad 645,801.80$$

3.- PENDIENTES.

Se operará con una locomotora DE-24 de 1800 HP y un tonelaje ecuacionado de 525 ton. para el proyecto.  
Para el tonelaje anual movido actualmente:

$$\frac{179,000}{525} = 341 \text{ trenes.}$$

para el mismo tonelaje, actualmente se mueven 796 trenes, por tanto:

796 - 341 = 455 trenes a favor del proyecto, cantidad que se incrementará al triple con el nuevo servicio de vía ancha:

$$1365 \times 0.40 \times 2,211.65 \quad \$ \quad 1,207,560.90$$

4.- CONSERVACION DE VIA.

$$6.424 \text{ Km.} \times 12 \text{ meses} \times 1200.00 \quad \$ \quad 92,505.60$$

5.- DISTANCIA (FACTOR NEGATIVO).

$$18.076 \text{ Km.} \times 2 \text{ trenes} \times 365 \times 40.21 \quad 530,590.25$$

RESUMEN:

Beneficios.	\$ 1.956,783.50
Factores negativos.	530,590.25
Diferencia:-	\$ 1.426,193.25

Considerando que estos beneficios incluyen los costos fijos, se toma de dicho monto un 60% considerado como gastos variables:

$$0.60 \times 1.426,193.25 = \$ 855,715.98$$

FASE DE OPERACION	FACTOR DE ACTUALIZACION i = 12%	AHORROS ANUALES	COSTO TOTAL	BENEFICIOS ACTUALIZADOS
0	1.000000	\$ 855,715.98	\$ 6.451,831.85	\$ 855,715.98
1	0.892857	"		764,032.00
2	0.797194	"		682,171.65
3	0.711780	"		609,081.52
4	0.635518	"		543,822.91
5	0.567227	"		485,385.21
6	0.506631	"		433,532.24
7	0.452349	"		387,082.27
8	0.403883	"		345,609.14
9	0.360610	"		308,579.74
10	0.321973	"		275,517.44
11	0.287476	"		245,997.81
12	0.256675	"		219,640.90
13	0.229174	"		196,107.85
14	0.204620	"		175,096.60
15	0.182696	"		156,335.89
16	0.163122	"		139,586.10
17	0.145644	"		124,629.90
18	0.130040	"		111,277.31
19	0.116107	"		99,354.62
20	0.113667	"		<u>97,266.67</u>
				\$7.255,823.75

$$R.B.C. = \frac{7.255,823.75}{6.451,831.85} = 1.13$$



PRESUPUESTO para la construcción del desvío localizado entre las estaciones Gómez Farías K-8-846+118.99 y Melville K-77-398.37 del Ferrocarril Coahuila-Zacatecas.

No.	CANTIDAD	UNIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
<u>CORTES</u>				
1.-	Excavación en cortes, derrumbes y/o escalones con acarreo libre de 20 mts.			
	En Mat. "A"	27,525	M3 \$ 3.70	\$ 101,842.50
	En Mat. "B"	16,517	" 7.00	115,619.00
	En Mat. "C"	11,011	" 27.50	302,802.50
<u>PRESTAMOS</u>				
2.-	Despalme con acarreo libre de 60 mts., en Mat. "A"			
		19,365	M3 3.95	76,491.75
3.-	Préstamo lateral con acarreo libre de 60 mts.			
	En Mat. "A"	94,480	M3 4.20	396,816.00
	En Mat. "B"	90,710	" 8.30	752,893.00
4.-	Bonificación en préstamos laterales para alturas mayores de - 1.00 m. por cada metro adicional de altura.			
		89,760	M3-M. 0.45	40,392.00
<u>ACARREOS PARA TERRACERIAS</u>				
5.-	Sobrecarreo			
		11,040	M3-Est. 0.70	7,728.00
6.-	Acarreos por Déc. de Km.			
		112,274	M3-Km. 2.00	224,548.00
7.-	Kilómetro excedente.			
		4,001	M3-Km. 4.08	16,324.08
<u>REFINAMIENTO</u>				
8.-	Bonificación p/refinamiento.			
		32.275	Km. 1,200.00	38,730.00
<u>EXCAVACIONES PARA ESTRUCTURAS</u>				
9.-	Excavación a cualquier profundidad, en seco con un acarreo de - 20 mts.			
	En Mat. "A"	259	M3 9.50	2,460.50
	En Mat. "B"	1,778	" 18.50	32,893.00
	En Mat. "C"	259	" 44.00	11,396.00
<u>MAMPOSTERIA DE TERCERA CLASE</u>				
10.-	Mampostería de 3ra. clase a cualquier altura con material procedente de banco o de las excavaciones de cortes, cunetas, canales y estructuras con mortero de cemento.			
		2,707	M3 210.00	568,470.00
<u>CIMBRAS</u>				
11.-	Cimbras en moldes incluyendo obra falsa de cualquier altura.			
		1,037	M3 70.00	72,590.00
<u>ZAMPEADOS</u>				
12.-	Acarreo de piedra producto de banco, ler. Km.			
		2,707	M3/Km. 5.00	13,535.00
13.-	Acarreo kilómetro subsecuente.			
		21,656	" 2.50	54,140.00

No. i	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
<u>CONCRETO HIDRAULICO</u>					
14.-	Concreto sin incluir cim - bra f'c = 210 Kg/cm2.	397	M3	\$ 329.00	\$ 130,613.00
<u>ACERO EN CONCRETO</u>					
15.-	Acero de refuerzo para con- creto en varillas coloca- das, cortadas, etc.	51,840	Kg.	4.05	209,952.00
TOTAL:-----					<u>\$ 3,170,236.33</u>

IMPORTE ESTE PRESUPUESTO LA CANTIDAD DE TRES MILLONES CIENTO SETENTA MIL DOSCIENTOS TREINTA Y SEIS PESOS, 33/100.

Presupuesto para la construcción de un kilómetro de vía standard con riel de recobro de 60 lbs/yda. y accesorios de segunda clase.

No.	CONCEPTO	Cantidad	Unidad	P.U.	Importe
1	Riel de 60 lbs/Yda.	59.60	Ton.	\$ 1 140.00	\$ 67,944.00
2	Durmientes (2a. clase)	1 752	Pzs.	24.00	42,048.00
3	Balasto piedra triturada	850	M3.	30.50	25,925.00
4	Placas Dte. 60 Lbs.	3 504	Pzs.	5.83	20,428.32
5	Tornillos vía 3/4" x 3-3/4"	876	Pza.	1.43	1,252.68
6	Clavos de vía	7 008	Pzs.	0.79	5,536.32
7	Planchuelas angs. 60 Lbs.	438	Pzs.	10.95	4,796.10
8	Roldanas presión 7/8"	876	Pzs.	0.69	604.44
SUMA:-----					\$ 168,534.86
Tendido, nivelado y balastado de un kilómetro de vía.....					" 31,465.14
TOTAL:-----					<u>\$ 200,000.00</u>

Importa el presente presupuesto la cantidad de: DOSCIENTOS MIL PESOS 00/100 M.N.

CLASIFICACION DE LAS VIASClasificación por tipo de servicio

Desde el punto de vista de su utilización, las vías se clasificarán en la forma siguiente:

## Clase A - Vías de intercambio

Vías de operación, Circulación ó Estacionamiento sobre las cuales normal ó eventualmente se requiere permitir la circulación de trenes o locomotoras de los Ferrocarriles de Servicio Público.

## Clase B - Vías Interiores Convencionales

Vías sobre las cuales en ninguna circunstancia se requerirá permitir la circulación de trenes ó locomotoras de los Ferrocarriles, pero el equipo rodante y sus cargas corresponden a las usuales en los mismos.

## Clase C - Vías Interiores Especiales

Vías destinadas a la Circulación de equipo rodante de diseño especial ó con cargas por eje extraordinariamente pesadas.

Clasificación por frecuencia de Utilización

Además de lo anterior, las vías correspondientes a las clases A. y B. - - pueden subdividirse en dos categorías:

Vías Principales ó de Tráfico Intenso

Vías Secundarias ó de Tráfico Ligero

NORMAS GENERALESNormas para vías de tipo común

La estructuración de todas las vías correspondientes a las clases "A" y -- "B" así como los materiales y procedimientos utilizados para la construc-

ción de las mismas deberán ajustarse a las normas AREA (American Railway - Engineering Association). Sin embargo, podrán tomarse en consideración - - otras reglamentaciones aplicables tales como las normas UIC (Unión Interna- cional des Chemin de Fer) particularmente en los aspectos referentes a las sujeciones Elásticas Riel-Durmiente.

#### Normas para vías especiales.

Para la construcción de las vías clase "C" se aplicarán en lo posible a -- las normas AREA y UIC, cuando se trate de aspectos no previstos en las mis- mas, se aplicarán los criterios generales de diseño estructural, y las re- glamentaciones nacionales mas usuales. Sin embargo, será necesario tomar- siempre en cuenta, que la estructura de las vías no es una estructura con- vencional, sino que se encuentra sujeta a condiciones estáticas y dinámi- cas muy particulares, que difieren considerablemente de las correspondien- tes a otro tipo de estructuras y que los análisis basados en los criterios generales de diseño, no siempre conducen a soluciones adecuadas para la -- construcción y operación de vías férreas.

#### REQUISITOS GEOMETRICOS PARA EL DISEÑO.

##### Escantillón

Se denomina escantillón a la distancia entre las caras interiores de los - rieles, medida 16 mm abajo del nivel del hongo del riel. Excepto en casos especiales el escantillón utilizado será denominado "Estandar" con 1435 mm (4' 8 1/2").

##### Ensanchamiento del Escantillón.

En los tramos de vía con curvatura mayor de  $G=4^{\circ}00'$  ( $R=286.54$ ) (a excep- ción de los herrajes de cambio), deberá considerarse una holgura adecuada- en el escantillón para permitir la inscripción de un "truck" de 3 ejes con base rígida de 3.81 mts (12'6"). Para lograr lo anterior se considerará -

un ensanchamiento de 2.5 mm por cada grado de curvatura ó fracción en exceso de  $G=4^{\circ}$ , hasta un escantillón máximo de 1455 mm ( $G=12^{\circ}$ ). Este ensanchamiento deberá disminuirse en forma gradual y uniforme (variación lineal), sobre el desarrollo total de la curva de transición, si esta tiene un desarrollo de más de 20 mts; en caso contrario deberá rematarse en una longitud de 20 mts. a partir del final de la curva circular.

#### Tolerancias en el escantillón

Se admitirán las tolerancias siguientes para las dimensiones especificadas en los puntos anteriores:

a)	En herrajes de cambio	+ 3 mm
		- 2 mm
b)	En otros casos	+ 5 mm
		- 3 mm

Estas tolerancias son las máximas admisibles, sin tomar en cuenta defectos y desgaste de los rieles. Por tanto deberán ser minimizadas durante la construcción.

#### Libramientos

Los elementos constructivos de los puentes, edificios y otras estructuras fijas no deberán penetrar dentro de los límites de los gálibos siguientes:

- Los libramientos en los tramos de vía en tangente deberán ser como mínimo los que se muestran en los gálibos de la hoja anexa.
- Por los tramos de vía en curva deberá incrementarse el ancho del libramiento a cada lado de la línea de centros de la vía de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$a=20x G^{\circ} \text{ (cms)}$$

Este incremento del ancho, deberá disminuirse en forma gradual sobre la -

longitud total de la curva de transición. Sin embargo en el caso que la longitud de la curva de transición sea menor a 20 mts. ó ésta no exista, deberá rematarse el ensanchamiento en esta última longitud.

Por otra parte, a los gálibos anteriores correspondientes a un tramo en curva, deberá considerarse la inclinación correspondiente a la sobre elevación.

#### Distancia Centro a Centro Entre Vías

La distancia centro a centro entre dos vías paralelas en tangente ó con curvaturas concéntricas, será como mínimo la siguiente:

- a) Entre dos vías principales ó una vía principal y una secundaria 5.00 mts.
- b) Entre dos vías secundarias 4.60 mts.

Sin embargo, para el caso de vías correspondientes a las clase "B" y "C", estas distancias podrán ser reducidas hasta 4.40 mts., cuando se trate de tramos de vías en tangentes y las condiciones de operación lo permitan y hasta 4.20 mts., cuando además de las condiciones anteriores, se trate de vías destinadas exclusivamente al almacenamiento de equipo rodante, pero estas mínimas separaciones entre vías se utilizarán únicamente cuando resulte indispensable.

#### Cambios para Peines, Espuelas, Laderos y Cortavías

Excepto para casos especiales, se utilizarán únicamente cambios sencillos de agujas móviles con sapos correspondientes a los números 8 y 10 los cuales para el caso de la vía con escantillón estandar, permiten construir cambios con características geométricas compatibles con las especificaciones para curvatura consignadas.

En los casos en que resulte indispensable utilizar cambios con radios de curvatura específicos ó con escantillonas diferentes al estandar se podrán utilizar números de sapos comerciales ó diseñar sapos con ángulos especiales.

## ESTRUCTURACION DE LA VIA

### Tipos de Vía

Para ser utilizados en función de las diferentes condiciones y requerimientos que se presenten se considera la utilización de los tipos de vía siguientes:

#### a) Vía continúa con Sujeción Elástica

- Construída por tramos de riel soldados en forma continua, adecuadamente ligados a los durmientes de madera ó concreto, mediante accesorios de fijación elásticos de manera de impedir totalmente el deslizamiento (excepto en las puntas) impidiendo las dilataciones y contracciones correspondientes a las variaciones de temperatura, amortiguando los impactos y vibraciones.

#### b) Vía común con Sujeción Elástica

Semejante al tipo de vía anterior, pero constituída por tramos cortos, medianos ó largos (39', 78', 117' ó 156') de riel emplanchuelado. Este tipo de vía únicamente podrá ser construído sobre durmientes de madera.

#### c) Vía Común con Sujeción Mejorada

Semejante a la vía del tipo tradicional Americano, constituída por tramos cortos, medianos ó largos del riel emplanchuelado sobre durmientes de madera, pero eliminando la utilización de clavos, sustituyéndolos con tirafondos y utilizando anclas para evitar el corrimiento de los rieles.

## d) Vía sobre Trabes Longitudinales.

Solo para casos muy especiales, tales como vías para fosas de inspección ó descarga, etc., se considera la utilización de rieles apoyados sobre trabes de concreto reforzado o de acero, utilizando pernos ahogados y grapas para sujeción elástica ó rígida.

En todos los casos sobre las trabes de concreto se deberán utilizar silletas ó placas de asiento metálicas corridas y siempre que resulte posible - placas de hule ó madera para amortiguar impactos y vibraciones.

## e) Vías Ahogadas en Concreto

Este tipo de vía (que no debe confundirse con los cruzamientos pavimentados sobre vías del tipo común), invariablemente deberá construirse utilizando como durmientes tramos de riel de recobro soldados al riel de rodamiento patin contra patin a una separación de 60 cms. c.a.c. ó bien la vía ahogada en una losa de concreto armado según diseño. Los rieles podrán ser cortos, medianos, largos ó continuos. En algunos casos cuando las vías son localizadas en áreas pavimentadas con concreto ó asfalto deberán considerarse contrarieles al lado interior de los rieles principales de manera de proporcionar libre adecuado para el acomodo de las cejas de las ruedas.

Además de lo anterior, tanto en las losas de cimentación como en las losas de pavimento, deberán considerarse juntas de dilatación y un refuerzo adecuado para evitar la formación de grietas.

Capacidad de Carga

La plataforma de las terracerías y las estructuras de las vías correspondientes a la clase "A" y "B", independientemente de que se trate de vías -



principales ó de vías secundarias, deberán ser capaces de soportar la carga viva, el impacto y los efectos secundarios correspondientes a la carga tipo Cooper E-72. La figura anexa muestra el diagrama de cargas correspondientes a las cargas tipo Cooper. Para el caso de las vías correspondientes a la clase "C" (Vías especiales con cargas extraordinariamente pesadas), se utilizarán también cargas tipo Cooper, cuyas características - - pueden obtenerse en forma sencilla, haciendo una proporción directa entre la concentración de carga máxima por eje de 60,000 lbs., considerando para la carga Cooper E-60 y la máxima concentración de carga considerada para los equipos utilizados en la práctica.

Lo anterior, a menos que las cargas máximas correspondan a "trucks" ó bastidores con más de 4 ejes ó que las distancias centro a centro de ruedas sean menores de 152 cm. (5'), casos en que deberá aplicarse un criterio especial al respecto.

Por otra parte, las cargas mostradas en el diagrama anexo representan la presión sobre los rieles en condiciones estáticas, debiendo considerarse como mínimo un 15% como incremento correspondiente a los efectos de rodamiento para ejes motrices y esto siempre que la porción del peso total del equipo no transmitida a través del sistema de muelles no rebase el 25%.

#### SUBESTRUCTURA DE LA VIA

##### Terracería

En términos generales para el diseño y construcción de terracerías se aplicarán las normas AREA y las Especificaciones Generales SCYT.

Los terraplenes y rellenos deberán construirse con materiales adecuados, producto de las excavaciones u obtenidos de los bancos de préstamo, que deberán ser colocados y compactados en capas de espesor uniforme, debiendo -

realizarse pruebas de campo y de laboratorio para determinar el espesor de las capas y el tipo de maquinaria de tipo de compactación más adecuados a cada tipo de maquinaria para compactación más adecuados a cada tipo de material utilizado. Los terraplenes deberán coronarse con una capa con espesor de 30 cm. compactada hasta obtener el 95% del PVSM (Pesos Volumétrico-Seco Máximo) del estandar Porter de S.O.P.

Los terraplenes deberán desplantarse sobre terrenos firmes y con adecuado valor de soporte por tanto, en todos los casos deberá efectuarse un despalme con profundidad de 30 cm. y cuando resulte necesario, se excavarán y -- eliminarán los materiales indeseables, sustituyéndolos con materiales de -- préstamo, los cuales deberán colocarse y consolidarse en capas de espesor adecuado.

Para el caso de secciones en corte, la subrasante deberá ser escarificada-- hasta una profundidad de 15 cm. y posteriormente compactada hasta obtener el 95% del PVSM (Peso Volumétrico Seco Máximo) del estandar Porter de -- SCyT. Tanto para el caso de secciones en Corte como en terraplenes, podrá considerarse la colocación de una capa de sub-balasto con espesor de 30 -- cm. constituida por material de banco seleccionado para mejorar la porción superior de las terracerías.

#### Sección Transversal

El ancho de la subrasante (corona ó cama de la vía) excluyendo las cunetas ó drenes laterales, no deberá en ningún caso ser menor de:

- |                           |           |
|---------------------------|-----------|
| a) Secciones en Terraplen | 6.60 mts. |
| b) Secciones en corte     | 5.16 mts. |
| c) Secciones en balcón    | 5.88 mts. |

Excepto cuando se considere en la subrasante, cierta inclinación transver-

sal correspondiente a la sobreelevación de un tramo de vía en curva, resulta indispensable considerar un declive lateral a partir de la línea de centros de la vía (BOMBEO). Este declive, dependiendo de las condiciones de cada caso particular deberá proporcionarse hasta en un 2%.

Tanto en las secciones transversales en corte como el terraplen, los taludes deberán proporcionarse de acuerdo a la clasificación de los materiales existentes y a las condiciones de drenaje que se consideren.

Para el caso de taludes de Secciones en Terraplen, se evitará utilizar materiales inadecuados procedentes de excavaciones siendo preferible desperdiciarlos y utilizar materiales de préstamo adecuados cuando resulte necesario.

#### Drenaje Superficial

Se excavarán cunetas con dimensiones y pendientes longitudinales adecuadas en todos los tramos con Sección Transversal en corte y para aquellos casos de terraplenes en que resulte necesario interceptar y canalizar los escurrimientos hacia las alcantarillas u otras estructuras de drenaje transversal, las cuales deberán ser adecuadamente localizadas y diseñadas tomando en cuenta posibles asolvamientos, para evitar que los terraplenes funcionen como bordos de retención o represas.

Además, en todos los casos en que resulte necesario se construirán bordos de protección o excavarán contracunetas para interceptar escurrimientos que pudieran erosionar o perjudicar la estabilidad de los taludes en los cortes.

En las áreas de patios y otras instalaciones en que no resulte posible o no se considere conveniente construir drenajes abiertos longitudinales, se substituirán las cunetas con una retícula compuesta por drenes ciegos lon-

gitudinales y colectores transversales constituidos por canales abiertos o tubos subterráneos convenientemente espaciados.

Por otra parte, todas las estructuras de drenaje para las vías interiores-deberán diseñarse de manera que formen un conjunto congruente e integral - con un Drenaje General.

#### Drenaje Subterráneo

Las secciones transversales estándar mostradas anteriormente, garantizan - un drenaje adecuado de la vía en condiciones normales. Sin embargo, cuando se trate de secciones especiales o condiciones difíciles, tales como -- nivel de aguas freáticas muy superficial, humedad capilar o flujos de agua subterránea, resulta indispensable considerar estructuras de drenaje especiales de tipo subterráneo.

Deberá tenerse en cuenta que los drenajes subterráneos no son útiles en -- terrenos de naturaleza impermeable y que en todos los casos se requieren - salidas por gravedad. La instalación de los mismos deberá ajustarse a las condiciones siguientes:

1. Se utilizarán tubos, ya sea metálicos perforados o ranurados o - de concreto o arcilla vitrificada tendidos con las juntas abiertas. El nú mero, dimensiones y distribución de las aberturas deberán ser cuidadosamen te elegidos para evitar riesgos de azolvamiento.
2. El material de relleno deberá ser cuidadosamente escogido, utili zando gravas y arenas (nunca grandes rocas) y la porción superior de las - zanjas deberá ser cubierta con material impermeable. No debiendo preten-- derse combinar el drenaje superficial con el subterráneo, extendiendo el - material filtrante hasta la superficie.
3. Los tubos deberán colocarse cuando menos 1.00 mt. por debajo del nivel al que se pretende abatir el nivel freático.

Para el caso de drenajes subterráneos, utilizados como interceptores de -- flujos transversales a la vía, podrá considerarse un dren único colocado - en el lado de aguas arriba. Sin embargo, para el caso de patios formados- por más de 3 vías paralelas deberán considerarse drenes cuando menos cada- 2 entrevías.

### Balasto

#### a) Manejo

El balasto deberá ser manejado de manera tal que se mantenga libre de mate- rias extrañas.

#### b) Medición

La unidad de medición será el metro cúbico de material suelto, que podrá - ser cubicado directamente en las pilas de almacenamiento, o en los camio-- nes o góndolas utilizados para su transporte, o preferentemente pesado en- báscula, obteniendo el volumen en función de un peso volumétrico cuidadosa- mente determinado.

#### c) Colocación del balasto en la vía.

La descarga del balasto podrá realizarse por cualquier procedimiento que - garantice una distribución uniforme y adecuada del mismo (camiones de vol- teo, góndolas ferroviarias de descarga inferior, etc.). Sin embargo, debe- rán tomarse precauciones especiales para el caso de vías construidas con - durmientes de concreto pretensado.

#### d) Compactación del balasto.

La compactación del balasto podrá realizarse manualmente, utilizando gatos para levantar la estructura de rieles y durmientes y barras calzadoras - - para compactar el balasto o preferentemente maquinaria específica para - - este trabajo. En cualquier caso se dejará sin calzar una porción central- del durmiente con longitud de aproximadamente 60 cms.

## e) Espesores de la capa de balasto

Los espesores del balasto medidos desde la superficie de apoyo inferior -- del durmiente hasta la subrasante de las terracerías o la cama de ----- sub-balasto serán como mínimo las siguientes:

- a) Para durmientes de madera                      20 cm.
- b) Para durmientes de concreto                    25 cm.

Nota.      Estos espesores corresponden a vías de tipo común y no a casos - especiales.

Sub-balasto

Descripción. Se denomina sub-balasto a un material del tipo del utilizado para bases hidráulicas, que en ocasiones se requiere colocar entre las terracerías terminadas y el balasto, con el objeto de lograr una superficie más resistente que la correspondiente a los materiales utilizados para los terraplenes e impedir que el agua drenada a través del balasto se infiltre en las terracerías. Se considerará la utilización del sub-balasto únicamente cuando el material que forma las terracerías resulte inadecuado como soporte para el balasto.

Clasificación. Se podrá utilizar como sub-balasto, cualquier material de banco que resulte susceptible de compactarse y adquirir una resistencia e impermeabilidad, considerablemente mayores que las correspondientes al material colocado en la subrasante de las terracerías.

Métodos de Construcción. Los materiales utilizables como sub-balasto se someterán a pruebas de laboratorio para determinar el espesor de las capas y los procedimientos de compactación más adecuados, escogiendo los bancos-

de extracción más convenientes dentro de los límites económicos de acarreo. La distribución del sub-balasto sobre las terracerías no deberá hacerse -- con equipo ferroviario.

Medición. La unidad de medición será el metro cúbico medido en banco.

#### Durmientes de concreto

Dependiendo de las cargas máximas por eje y de los calibres de riel considerados, los durmientes de concreto podrán ser colocados con las separaciones centro a centro, siguientes:

- a) Separación mínima 50 cms.
- b) Separación máxima 60 cms.

En cualquier tipo de vía que se construya con durmientes de concreto el -- espesor mínimo del balasto será 25 cm. y la curvatura máxima admisible -- será:

- a) Para vía continua                    G 2° (R=572.96 mts.)
- b) Para vía común                      G 4° (R=286.54 mts.)

#### Especificaciones para la Fabricación de Durmientes de Concreto Postensados.

1. La fabricación de los durmientes de concreto Dywidag tipo B-58, -- deberá ajustarse a los requisitos indicados en la Norma DIN 4227 para diseño y fabricación de elementos de concreto preesforzado.
2. Los detalles de diseño correspondientes a los calibres de riel y adaptación de los durmientes B-58 al tipo de fijación "RN" se consignan en los planos reglamentarios de los F.F.C.C. N. de México.

3. Todos y cada uno de los durmientes deberán marcarse con las siglas del fabricante, el año de fabricación.

4. El concreto deberá resistir los siguientes esfuerzos mínimos:

Esfuerzo de compresión a los 28 días (probeta cúbica)	600 Kg/cm <sup>2</sup>
--	------------------------

Esfuerzo de compresión al aplicar el preesfuerzo	450 Kg/cm <sup>2</sup>
---	------------------------

Esfuerzo de tensión a los 7 días (prueba de flexión)	65 Kg/cm <sup>2</sup>
---	-----------------------

5. Únicamente se podrá utilizar cemento del tipo E.A.T. (exento de aluminato tricálcico).

6. Las barras para preesfuerzo y todos los elementos de acero deberán ajustarse a las mencionadas Normas DIN 4227.

7. La superficie de los durmientes deberá estar exenta de poros o cavidades notables.

8. La superficie de apoyo de los durmientes sobre el balasto deberá ser rugosa pero a nivel y no podrá diferir de la superficie plana indicada en los planos más de  $\pm 3$  mm.

9. No se aceptarán defectos en la superficie prevista para apoyo del riel.

10. Las ranuras y cavidades previstas en el durmiente para la introducción de los pernos "T" deberán estar libres de cualquier sustancia extraña.

11. Los agujeros previstos en los extremos del durmiente para el anclaje de las barras del preesfuerzo deberán ser cubiertos con mortero de -



cemento que tenga a los 28 días una resistencia mínima de 300 Kg/cm<sup>2</sup> de manera de garantizar un sello permanente y definitivo.

12. Las superficies de apoyo del riel serán pintadas con una capa de betún asfáltico y las cabezas de los durmientes con dos capas.

Reglas para el manejo y colocación de los durmientes de concreto postensados.

- a) Los durmientes deberán ser almacenados en tongas que no excederán en altura a la correspondiente a 30 durmientes; las tongas se formarán de manera de evitar cargar la porción central de los durmientes y cuidando de evitar asentamientos diferenciales en el terreno de apoyo de las mismas.
- b) Se tomarán precauciones especiales para la cargadura y acomodo de los durmientes cuando se transporten, debiendo utilizarse listones de madera colocados bajo las cabezas de los durmientes intercaladas entre cada cama de los mismos.
- c) Asimismo deberá tenerse cuidado especial durante el proceso de construcción de la vía para evitar hacer trabajar a los durmientes en condiciones desfavorables.

#### Rieles

Se utilizarán tramos continuos de riel soldado únicamente cuando resulte posible colocarlos en longitudes mayores de 250 mts. En caso contrario se utilizarán tramos medianos o largos (78' 117' ó 156') obtenidos soldando por cualquier procedimiento admisible eléctrico ó aluminio-térmico etc.) -- tramos de riel cortos (39') o medianos (78').

De acuerdo a las Normas AREA 1970 los rieles deberán ser marcados para in-

dicar su calidad y clasificación, en la forma siguiente:

- a) Riel sin color (extremos sin pintar)  
Riel de primera clase utilizable en cualquier condición.
- b) Rieles "A" (extremos pintados de amarillo)  
Rieles de primera clase procedentes del extremo de un lingote y-  
que deberán utilizarse en vías secundarias.
- c) Rieles verdes (extremos pintados de verde)  
Rieles de primera clase con longitudes menores a la estándar - -  
(25' L 39') utilizables en curvas y para fabricación de herrajes  
de cambio.
- d) Rieles blancos (extremos pintados de blanco)  
Rieles de segunda clase, que presentan entubamientos segregación  
u otros defectos, en grado tolerable únicamente para su utiliza-  
ción en las tangentes de vías muy secundarias o como contrarie-  
les.

Los rieles nunca deberán ser cortados usando flama de oxiacetileno, deberá utilizarse seguetas o romperlos mediante una tajadera haciéndoles previa-  
mente una muesca. Los cortes en cualquier caso deberán ser limpios, lisos  
escuadrados, y sin rebordes o rebabas que dificulten el ajuste de las plan-  
chuelas.

#### Accesorios

##### Planchuelas de Conexión

Se utilizarán planchuelas de cordón de 4 taladros con diseño correspondien-  
te al tipo denominado "Articulado", fabricadas de acero endurecido al car-  
bón y por laminación de un perfil con sección transversal de diseño especí-  
fico de acuerdo a las normas A.R.E.A. correspondientes.

### Pernos de Conexión

Se utilizan tornillos de cabeza redonda y hombro ovalado con diámetros nominales de la rosca de la caña y con longitud total de acuerdo a las normas AREA correspondientes a cada calibre de riel.

### Roldanas de presión

Se utilizan roldanas de presión con diámetro interior para los tornillos a utilizar fabricados de acero especial de acuerdo a las normas AREA correspondientes.

### Placas de Asiento Metálicas

Para todos los casos de vías construídas con durmientes de maderas suaves (pino mexicano) y con sujeciones elásticas, independientemente de que se trate de tramos en curva o en tangente, deberán utilizarse placas de asiento metálicas. Estas podrán corresponder al tipo que proporciona al riel una inclinación de 1:40 o al tipo de placa plana que requiere entallar una superficie inclinada en el durmiente. Los tipos de placa considerados en las normas AREA no permiten la utilización de grapas elásticas ni tirafondos, puesto que están diseñadas para su utilización con clavo de vía común por tanto la sección transversal de las placas deberá corresponder a alguno de los tipos aceptados por la U.I.C. para su utilización.

### Placas de Hule

Con excepción de casos especiales siempre que se utilice una sujeción del tipo elástico, deberá considerarse la colocación de una placa de hule entre las superficies del patín del riel y el durmiente o la placa metálica de asiento.

La fabricación de las placas de hule deberá ajustarse a las normas U.I.C.-

864-5-0 de la Unión Internacional de Ferrocarriles, correspondientes a placas con un ranurado tipo "Chevron".

Todas las placas deberán marcarse grabando en una de sus caras con caracteres de 8 mm de altura, los datos siguientes:

- 1) Marca del fabricante
- 2) Año de fabricación

Las placas deberán tener bordes perfectos, superficies lisas y las ranuras deberán estar abiertas en toda su longitud y en los extremos. Las tolerancias dimensionales serán las siguientes:

Largo - 5 mm; Ancho - 2 mm; Espesor - 0.5 mm

#### Tirafondos

Para la sujeción del riel en todos los casos de vías construídas con durmientes de madera, deberán utilizarse tirafondos con longitudes y diseño de cuerda adecuados a la calidad de la madera utilizada:

- a) Para durmiente de maderas suaves (pino) deberán utilizarse tirafondos tipo JAB largos (23-153 mm).
- b) Para durmientes de maderas duras y semiduras deberán utilizarse tirafondos tipo JAB normales (23 x 129 mm).

Los tipos de tirafondos anteriores podrán utilizarse en combinación con grapas elásticas del tipo RN, con grapas rígidas o en forma simple sujetando el patín del riel con la cabeza del tirafondo.

Independientemente de que se trate de durmientes de madera suave, dura o semidura deberán taladrarse agujeros con diámetro de 12.5 mm y 95 mm de profundidad como preparación para la colocación del tirafondo e inmediata-

mente antes de colocarlo deberá llenarse el agujero con creosota y otra -- sustancia preservativa. Debiendo evitarse la posibilidad de sobre apriete mediante la utilización de herramienta manual o equipo mecánico o adecua-- dos.

#### Pernos de Sujeción

Para el caso de durmientes de concreto se utilizarán pernos de cabeza de - martillo de diseño específico para la sujeción tipo RS.

Estos pernos se colocan en forma muy sencilla introduciéndolos a través de una ranura perpendicular al riel y girándolos  $90^{\circ}$  de manera que la marca - "a" quede paralela al riel, introduciendo posteriormente la grapa elástica la arandela plana y la tuerca hexagonal.

#### Grapas Elásticas

Para todos los casos en que construya vía con sujeciones elásticas indepen- dientemente de que se utilicen durmientes de madera ó concreto se utiliza- rán grapas RN o grapillas "Griffon" fabricadas de acuerdo al diseño modifi- cado, elaborado por los Ferrocarriles Nacionales de México para ser utili- zado con las secciones de patín de riel correspondientes a los calibres -- 115RE y 100RE antes mencionados.

#### Plaquetas ranuradas

Para el caso de tramos de vía en tangente o con curvaturas menores a  $G=2^{\circ}$  - construidas con durmientes de maderas duras o semiduras, sin utilizar pla- cas de asiento metálicas, se colocarán plaquetas metálicas ranuradas para- apoyar el talón de la grapilla elástica, asentando al riel sobre una placa de hule colocada directamente sobre una entalladura inclinada en el dur- - miente.

### Anclas para Riel

Para ser utilizadas únicamente en los casos en que se construyan vías - sobre durmientes de madera con sujeción riel-durmiente a base de simples - tirafondos (sin utilizar grapas elásticas), se considera la utilización de anclas para riel, las cuales deberán corresponder a algún tipo comercial - de fabricación estándar acorde a las normas AREA correspondientes.

Las anclas deberán colocarse de manera que tengan apoyo completo contra -- las caras laterales de los durmientes y formando juegos de cuatro piezas - colocadas sobre un mismo durmiente, de manera de oponerse a los corrimientos longitudinales en ambos sentidos. Los durmientes anclados deberán espaciarse uniformemente a lo largo de la vía y el número de anclas que se - deben colocar será función de las longitudes de los tramos de riel utiliza dos, de acuerdo a las recomendaciones siguientes:

- a) Para vías con tramos de riel de 39' (11.88 mts.) juegos de 4 anclas cada 4 durmientes o sea 2000 Pzas. por kilómetro de vía.
- b) Para vías con tramos de riel de 78' (23.76 mts.) juegos de 4 anclas cada 3 durmientes o sea 2666 Pzas. por kilómetro de vía.
- c) Para vías con tramos de riel de 117' (35.65 mts.) juegos de 4 anclas cada 2 durmientes o sea 4000 Pzas. por kilómetro de vía.
- d) Para vías con tramos de riel de 156' (47.53 mts.) juegos de 4 anclas en todos y cada uno de los durmientes o sea 8000 Pzas. por kilómetro de vía.

### Herrajes para Cambios

Los cambios podrán ser comunes (manuales) o automáticos y se podrán utilizar árboles de cambio altos o bajos de acuerdo a los requerimientos de la operación en las diferentes vías.

Excepto para casos especiales, únicamente se utilizarán herrajes de cambio correspondientes a los sapos Nos. 8 y 10, cuyas características geométricas (No. 8 =  $7^{\circ}09' 10''$ , y No. 10 =  $5^{\circ}43' 29''$ ) son congruentes para vías -- con escantillón estándar (1435 mm), con las especificaciones para curvaturas máximas admisibles señaladas anteriormente para vías principales y secundarias.

Los cambios para vía estándar deberán ajustarse a los diseños mostrados en los planos anexos y su fabricación y montaje deberá cumplir con los requisitos siguientes:

- a) Sapos - Para herrajes de cambio sobre vías principales se utilizarán únicamente sapos rígidos monolíticos de acero-manganeso -- montados sobre una base de apoyo constituida por una placa de -- acero de una sola pieza. Para vías secundarias podrán utilizarse sapos armados con insertos de acero-manganeso, además podrán utilizarse placas gemelas para apoyo del sapo.
- b) Agujas - Se utilizarán agujas fabricadas maquinando rieles comunes "sin color", sus longitudes serán de 15' ó 16'6"; sus espesores en la punta de 1/4", y el ángulo de corte  $1^{\circ} 45' 03''$ . Invariablemente se utilizarán protectores reversibles para las puntas de agujas y juntas especiales (blocks para talón de agujas) para la conexión de las mismas o a los rieles guías. Se utilizarán además una placa de escantillón en la punta de las agujas y placas correderas de base sólida para facilitar el movimiento de las mismas.
- c) Rieles Guías - Estos rieles se cortarán de tramos de riel sin -- color del mismo calibre al correspondiente a la vía principal. -

Para el caso de cambios montados sobre una vía en tangentes, sus longitudes serán las siguientes:

Para Sapo No. 8: riel recto 46' 4 3/4" (30'+15' 4 3/4")  
                   riel curvo 46' 7 3/4" (30'+16' 7 1/4")

Para Sapo No.10: riel recto 55' 10" (28'+27' 10")  
                   riel curvo 56' 00" (28'+28' 00")

En este último caso los rieles curvos tendrán un tramo en tangente adyacente a la aguja con longitudes de:

Para Sapo No. 8      19.5 mm  
 Para Sapo No.10      634 mm

Para el caso de cambios apoyados sobre un tramo de vía en curva, todos los rieles serán curvos y las longitudes de los rieles guías tendrán ligeras variaciones con respecto a las anteriormente consignadas dependiendo del grado de curvatura de la vía de apoyo, las cuales deberán ser calculadas para cada caso particular.

Contrarieles - Se utilizarán contrarieles fabricados doblando riel de sección estándar del calibre correspondiente a la vía de apoyo y con las longitudes siguientes:

Para Sapo No. 8:       $(1.510 + 1.000) = 2.510$  mts.  
 Para Sapo No.10:       $(2.159 + 1.194) = 3.353$  mts.

Los contrarieles se colocarán de tal modo que la distancia del lado del escantillón del sapo a la cara del contrariel sea de 1.387 mm (4' 6 5/8") en vía estándar, de esta forma la separación del contrariel y el riel será de 47.6 mm (1 7/8).



Silletas - Para proporcionar un apoyo lateral adecuado a los rieles exteriores del cambio en los tramos en los cuales se apoyan las agujas, se utilizarán silletas rígidas de acero forjado; estas silletas también podrán ser utilizadas para reforzar tramos de vía con curvatura excesiva, contra-rieles, etc.

Además de los elementos anteriores, un herraje de cambio comprende accesorios tales como bloques separadores, barras y varillas de conexión, pernos especiales, grapas, trabas y orejas para fijar las varillas de cambio a las agujas, arandelas, chavetas, roldanas y pasadores, etc. Todos estos accesorios y los elementos principales antes mencionados deberán fabricarse con materiales y procedimientos adecuados y cumplir estrictamente con las normas AREA correspondientes.



Para determinar el área hidráulica de una estructura para drenaje se debe tomar en consideración las relaciones LLUVIA-ESCURRIMIENTO de la zona;-- existe una variada serie de métodos para la predicción de avenidas usados de tiempo atrás, entre ellas tenemos:

- 1) METODO DE LAS ENVOLVENTES O EMPIRICAS.- Este método fundamentalmente es -- utilizado para predicciones preliminares o bien para casos en que no se conocen las características de la precipitación, pero tiene la ventaja de -- que sólo utiliza las características físicas de la cuenca.
- 2) METODO DE CREAGER Y METODO DE LOWRY.- En la aplicación de estos métodos es determinado el gasto de diseño en función del área de la cuenca.

$$q = 0.503 C (0.386 A) \left[ \frac{0.844}{0.048 (0.386 A)} \right]^{-1}$$

en la expresión se tiene:

$q$  = gasto unitario (M3/Seg/Km2)

$A$  = área de la cuenca (Km2)

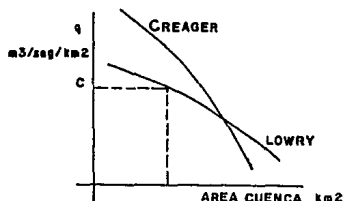
$C$  = parámetro que depende de la región en estudio

(el valor de  $C$  para envoltentes mundiales es igual a 100)

Estos métodos frecuentemente utilizados en México, utilizan los análisis elaborados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos que parten para dividir el país en 27 regiones hidráulicas para luego ser divididas en 37 regiones para mayor precisión, en las que se determinó el valor de  $C$  con ayuda de la información

DETENAL en planos escala - - - - 1:50,000 para obtener el área de las - - cuencas, con la aplicación de gráficas - como la mostrada; finalmente:

$$\text{GASTO (M3/Seg)} = C \cdot A \cdot \text{CUENCA}$$



Sin embargo este método tiene ciertas desventajas, a saber:

No toma en cuenta las características fisiográficas de la cuenca.

No toma en cuenta la precipitación específica del lugar.

Se desconoce el período de retorno asociado al gasto.

Al desconocer este período no se puede hacer una evaluación económica en función de la vida útil de la estructura ya que no se conoce la probabilidad de falla.

Se obtienen valores de gasto que se han encontrado muy exagerados cuando se diseñan alcantarillas o claros de puentes.

finalmente, el método LOWRY emplea una ecuación más simplificada:

$$q = \frac{C}{(A + 25 A)^{0.8}}$$

### 3) METODO DEL DEPARTAMENTO DE PUENTES (SCT)

En este Departamento se han determinado una serie de gráficas que permiten determinar el gasto en función del Area para una determinada región tomando en cuenta además la pendiente del cauce principal.

### 4) FORMULA DE TALBOT

Este método es utilizado en la SEDUE hasta para áreas de 10 Km<sup>2</sup> y prácticamente se utiliza para el diseño de alcantarillas utiliza la siguiente expresión:

$$a = 0.183 C \sqrt[4]{A^3}$$

donde:

a=área hidráulica de la alcantarilla (M<sup>2</sup>)

A=área de la cuenca (Ha)

C=coeficiente de escurrimiento que depende de la topografía de la cuenca.

<u>CARACT. DE LA CUENCA</u>	<u>VALOR C</u>
Montañosa	1.00
Lomerío	0.80
Muy ondular	0.50
Casi plana	0.30
Plana	0.20

Esta fórmula supone una velocidad en la alcantarilla de 3 M/Seg. y una intensidad de lluvia de 100 mm/hora.

## 5) METODO RACIONAL

A pesar de ser un método que está basado en hipótesis que generalmente no se cumplen, este método es usado frecuentemente; aplica la expresión:

donde:

$$Q = 0.278 CIA$$

Q = gasto (M3/Seg)

C = coeficiente de escurrimiento

I = intensidad de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración.

A = área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

0.278 = factor de conversión (de unidades)

en forma general se aplica:

$$Q = CIA$$

Si se considera que:

$$C = \frac{\text{volumen escurrido}}{\text{volumen llovido}}$$

para el caso en que se tenga una cuenca formada por diversas áreas con -- distintos tipos de suelo se tendrá:

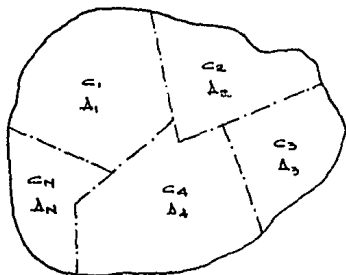
$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

C = coeficiente global de escurrimiento

C<sub>i</sub> = coeficiente parcial para cada área

A<sub>i</sub> = Area parcial

n = No. de áreas parciales



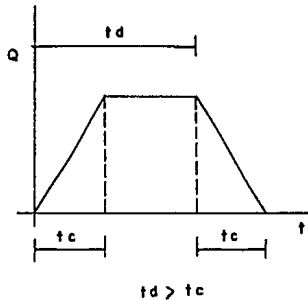
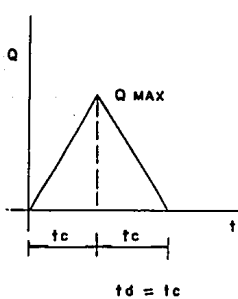
TIPO DE ZONA	VALORES APROXIMADOS COEF. C
Comercial	0.7 - 0.95
Vecindades	0.5 - 0.70
Resid. Unif.	0.3 - 0.50
Multifam.	0.5 - 0.70
Parques	0.1 - 0.25
Calles asf.	0.7 - 0.96
Calles adoq.	0.7 - 0.85
Campos riego	0.2 - 0.35
Pacios Fc	0.2 - 0.40

Este método racional esta basado en las siguientes hipótesis:

- 1.- La duración de la precipitación coincide con el tiempo de pico del escurrimiento.
- 2.- Todas las porciones de la cuenca contribuyen a la formación del piso del escurrimiento.
- 3.- La capacidad de infiltración es constante todo el tiempo.
- 4.- La intensidad de la precipitación es uniforme en toda la cuenca.
- 5.- Los antecedentes de humedad y almacenaje de la cuenca son despreciables.

Sin embargo se tiene en contra que:

- 1.- Proporciona solamente una porción del gasto máximo ( $Q_{MAX}$ ) ya que no toma en cuenta formas de hidrogramas.
- 2.- El cálculo del tiempo de concentración se hace con formulas empiricas -- que generalmente no se determinaron en las cuencas en estudio.



HIDROGRAMAS REPRESENTATIVOS

## MEMORIA DE CALCULO

Prolongación de la alcantarilla de cajón de concreto armado en el Km.68+490 de la línea México-Laredo de los Ferrocarriles Nacionales de México.

El cálculo se efectuará utilizando las especificaciones del AREA, del capítulo relacionado con las estructuras de concreto y cimentaciones, en la parte correspondiente a las alcantarillas de concreto armado.

## I.- Nomenclatura y Constantes de Diseño.

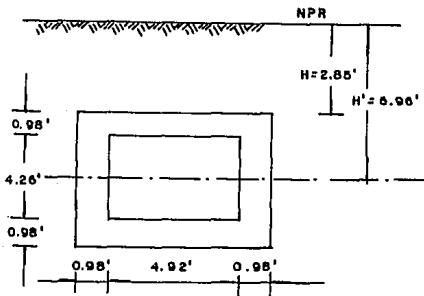
$$\begin{aligned}
 f_s &= 20,000 \text{ Lb/pulg.}^2 = 1,400 \text{ Kg/cm}^2 \\
 f'c &= 3,500 \text{ Lb/pulg.}^2 = 250 \text{ Kg/cm}^2 \\
 f_c &= 0.45 f'c = 1,575 \text{ Lb/pulg.}^2 = 112.5 \text{ Kg/cm}^2 \\
 w_c &= 120 \text{ Lb/PIE}^3 \\
 w_s &= 150 \text{ Lb/PIE}^3 \\
 n &= 10 \\
 k &= 0.44 \\
 j &= 0.85
 \end{aligned}$$

$$V_{\text{PERM}} = 0.03 f'c, \text{ con un valor máximo de } 90 \text{ Lb/pulg.}^2$$

Carga viva Cooper E - 80

## II.- Cargas sobre las paredes.

$$\begin{aligned}
 R_e &= 0.4 \text{ Min.} \\
 R_e &= 1.0 \text{ Max.} \\
 R_s &= 0.4
 \end{aligned}$$



$$Pe \text{ min.} = ReWeH'$$

$$= 0.4 \times 120 \times 5.96 = 286.08 \text{ Lb/PIE}^2$$

$$Pe \text{ máx.} = 1.0 \times 120 \times 5.96 = 715.20 \text{ Lb/PIE}^2$$

$$Ps = Rs Wc H' + \frac{80,000}{5 WcLD}$$

$$= 0.4 \times 120 \quad 5.96 + \frac{80,000}{5 \times 120 \times 10.85} = 875.94 \text{ Lb/PIE}^2$$

$$S = \frac{1}{1} = 1$$

$$R = \frac{5.90}{5.24} = 1.12$$

$$K = \frac{1}{1.12} = 0.89$$

III.-Cargas en la losa superior.

$$LD = 8.0 + 2.85 = 10.85'$$

$$W_{LL} = \frac{80,000}{5 \times LD} = \frac{80,000}{5 \times 10.85} = 1,474.65 \text{ Lb/PIE}^2$$

$$W_{DL} = WcH + \frac{200}{LD} + Ws$$

$$= 120 \times 2.85 + \frac{200}{10.85} + 150$$

$$W_{DL} = 342 + 18.43 + 150 = 510.43 \text{ Lb/PIE}^2$$

$$I = \frac{W_{LL}}{W_{LL} + W_{DL}} = \frac{1,474.65}{1,474.65 + 510.43} = 0.74\% \quad 0.60\%$$

Se tomará  $I = 0.60\%$

$$W = W_{LL} (1 + I) = 1,474.65 (1.60) = 2,359.44 \text{ Lb/PIE}^2$$



## IV.- Momentos Flexionantes.

$$MA = \frac{2,359.44 \times 4.92^2}{12} \frac{1}{1 + 0.89} + \frac{875.94 \times 4.26^2}{12} \frac{0.89}{1 + 0.89}$$

$$= 4,759.46 \times 0.529 + 1,324.68 \times 0.47$$

$$= 2,517.75 + 622.59$$

$$MA = 3,140.34 \text{ Lb-PIE}$$

$$= 3,140 \times 0.13826 = 434.18 \text{ Kg-M/PIE} \times 3.2808$$

$$= 1,424.45 \text{ Kg-M.}$$

$$MB = \frac{2,359.44 \times 4.92^2}{24} \frac{1 + 3 \times 0.89}{1 + 0.89} - \frac{286.08 \times 4.26^2}{12} \frac{0.89}{1 + 0.89}$$

$$= 2,379.73 (1.88) - 432.63 (0.47)$$

$$= 4,473.89 - 203.33 = 4,270.56 \text{ Lb/PIE}$$

$$= 4,270.36 \times 0.13826 = 590.44 \text{ Kg-M/PIE} \times 3.2808$$

$$MB = 1,937.11 \text{ Kg/M.}$$

## V.- Cortante.

$$V = \frac{2,359.44 \times 4.92}{2} = 5,804.22 \text{ Lb/PIE}$$

$$V = \frac{5,804.22}{1 \times 0.85 \times 0.82} = 8,327.43 \text{ Lb/PIE}^2 = \frac{57.82 \text{ Lb/Pulg.}^2}{14.24}$$

$$V = 4.06 \text{ Kg/Cm}^2 \quad 6.3 \text{ Kg/cm}^2$$

No necesita carteles.

## VI.- Armado del Cajón.

$$A_{S_A} = \frac{142,445}{1,400 \times 0.85 \times 25} = 4.78 \text{ cm}^2$$

Usando Var.  $\phi$  1/2" (1.27 mm)

$$\text{Separación } S = \frac{127}{4.78} = 26 \text{ cm.}$$

$$A_{S_B} = \frac{193.711}{1,400 \times 0.85 \times 25} = 6.51 \text{ cm}^2$$

Usando Var.  $\phi$  1/2" (1.27 mm)

$$\text{Separación } S = \frac{127}{6.51} = 19.5 \text{ cm.}$$

$$A_{S_L} = 0.0025 \text{ bt} = 0.0025 \times 100 \times 30 = 7.5 \text{ cm}^2$$

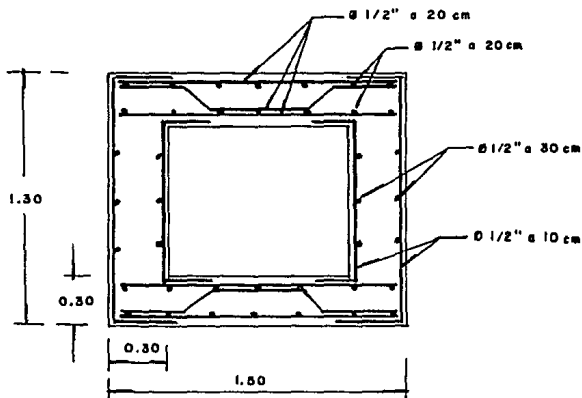
en dos capas.

$$S = \frac{127}{3.75} = 34 \text{ cm.}$$

$$A_{S_{PARED}} = 0.01 \text{ bt} = 0.01 \times 100 \times .30 = 30 \text{ cm}^2$$

en dos capas

$$S = \frac{127}{15} = 9 \text{ cm.}$$



COMENTARIOS

En los Ferrocarriles Nacionales de México se pretende dar un cambio estructural a la Empresa con objeto de lograr en una forma radical - su consolidación para convertirla en una Empresa moderna, rentable y competitiva para poder incorporarse al proceso de modernización del país.

La estrategia que se pretende adoptar tiene como base fundamental aumentar la calidad y competitividad de sus servicios, de aplicación de una nueva política comercial y tarifaria, la supresión de servicios - improductivos y actividades innecesarias, dar prioridad a los programas de mantenimiento cuidando la inversión pública.

Esta Empresa ha tenido que hacer frente a un cambio significativo por el amplio y acelerado proceso de modernización del país y de una mayor competencia del transporte carretero. Empresas que dependían en gran parte al transporte ferroviario han sido cerradas o reubicadas por motivos de contaminación y otras, han sido fragmentadas por la privatización de empresas públicas.

En respuesta a lo anterior, se está buscando la especialización en los servicios multimodales de carga en coordinación con otros medios de transporte ofreciendo servicios consolidados con mayor eficiencia, mejores tarifas y reducción en los tiempos de transporte creando mayor número de trenes unitarios así como mayor número de corridas.

Los trabajos de reconstrucción, modernización y mantenimiento de la infraestructura, deberán ser perfectamente pensados y programados-

de acuerdo con la realidad mecanizándolos y dando una oportunidad real - para su ejecución, a la participación del sector privado de la industria de la Construcción.

En igual forma, deberá darse oportunidad al sector privado de participar en la reorganización de los talleres de locomotoras, coches y carros para su reparación y mantenimiento.

Dentro de este cambio estructural deberá buscarse definitivamente la participación de la inversión privada dentro del marco de la -- Ley, estimulando la construcción y operación de terminales de carga intermodales.

La racionalización de gastos, la enajenación de bienes y activos no útiles para la Empresa, son capítulos aparte que bien pueden ayudar al saneamiento de sus finanzas.

El Tratado de Libre Comercio propalado con EE.UU. y Canadá - - constituyen una oportunidad y un reto para esta Empresa, tendrá que trabajar en íntima colaboración con las Empresas ferroviarias de esos - - países y deberán tomar en cuenta la infraestructura de las mismas; la -- coordinación que se tenga con ellos debe ir más allá de los aspectos - - puramente comerciales y técnicos, debe trascender a los aspectos de organización e inversiones conjuntas.

Solo en esta forma, México puede ser competitivo dentro de - - este aspecto.