

## APENDICE 11-5

### INSTALACIONES INTERMODALES (ESTACIONES DE CARGA)

#### 1. Método de Transporte de Cargas

Si el transporte se hace con vagones de carga, el método de transporte de cargas se divide en 3 clases, como se indica a continuación:

- \* Transporte en vagones generales de carga (transporte de conclusión)
- \* Transporte en vagones de carga de trenes especiales (transporte directo)
- \* Transporte en vagones de carga de gran capacidad (transporte exclusivo)

##### (1) Transporte en vagones generales de carga

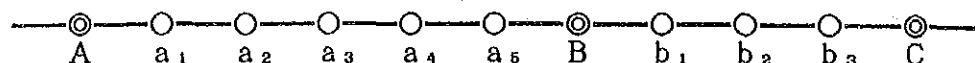
El vagón de carga que se ha cargado en la estación, se acopla al tren local para transporte general con destino a la estación que se requiere y se envía a la playa de maniobras más cercana. En ésta playa de maniobras los vagones de carga se clasifican por dirección y en grupos de destino y se reúnen diversos grupos para formar un tren con gran capacidad de transporte que se envía hasta la playa de maniobras cercana al destino, a través de las varias playas de maniobras. Los vagones de carga que llegan a la playa cercana al destino se clasifican en cada estación donde van llegando, se acoplan al tren local y se transportan a la estación final de destino. A este método de transporte se le denomina transporte de conclusión.

El trabajo del tren local es como sigue:

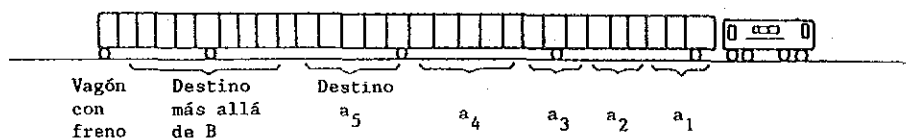
El tren local que hace el recorrido entre las estaciones A y B de formación, clasifica los vagones de carga por destinos y por orden de estaciones de llegada (véase *Fig. 1*). En el caso de que haga falta la capacidad nominal de tracción porque los vagones de carga se destinen solamente a las estaciones intermedias, se acoplan vagones de carga suplementarios cuyo destino es más allá de la estación B, con el

propósito de satisfacer la capacidad nominal de tracción o remolque. Cuando el tren llega a la estación  $a_1$ , se desacopla el vagón de carga cuyo destino sea la estación  $a_1$  y a cambio de ese vagón se acopla en la estación  $a_1$  el vagón de carga que sale de ésta estación con destino a la dirección B. En las estaciones posteriores como de  $a_2, a_3, a_4, \dots$ , el tren hace la parada al igual que en la estación  $a_1$  y repitiendo el desacoplamiento y acoplamiento de vagones de carga, llega a la estación de formación B.

Distribución de estaciones



Orden de acoplamiento del tren (cuando sale de la estación A)



Nota: A•B•C ... estaciones de formación,  
a•b ... estaciones intermedias

Fig. 1 Orden de Formación del Tren de Carga Local

(2) Transporte en vagones de carga de trenes especiales

En caso de los vagones de carga de transporte rápido que se debe acortar el tiempo de transporte o se ha fijado la hora de llegada a la estación de destino, primero se especifica el tren de carga al que se debe acoplar y el tramo o tramos de recorrido hasta la estación de carga de destino, luego en la playa de maniobras utilizando las vías de llegada/salida, vía especial de enlace y vía de clasificación, se acopla el vagón al tren especificado.

Al tiempo de la llegada del tren a la estación de destino, se clasifican los vagones de carga normales pero los vagones de carga de

transporte rápido (expresos) así como los vagones de transporte de contenedores se hacen salir/entrar a la vía de manipuleo de la carga desde la vía especial de enlace y la vía de desacople/acople con el fin de definir la hora de llegada y hacer la entrega inmediata de la carga.

Especialmente en caso de Freight Liners cuya formación de los vagones de carga es fija, se estaciona en la plataforma de manipuleo sin alterar la formación y después de los trabajos de manejo de la carga, se envía a la vía de llegada/salida y se transforma en tren de salida.

### (3) Transporte en vagones de carga de gran capacidad

En este caso, las cargas de gran volumen y forma determinada como el petróleo, cemento, etc., se transportan principalmente en trenes exclusivos de transporte en lanzadera y a bajo costo.

## 2. Trabajos en las Estaciones de Carga

### (1) Circulación de los trenes de llegada/salida (Fig. 2)

\* Trabajos que se realizan en las estaciones de carga

- ① Transbordo de cargas entre el vagón de carga y el camión
- ② Clasificación y almacenaje de las cargas
- ③ Recepción/despacho de los vagones de carga
- ④ Clasificación/estacionamiento de los vagones de carga
- ⑤ Estacionamiento de vagones y contenedores vacíos
- ⑥ Pernocte de camiones

### (2) Trabajos de desacople/acople de los vagones de carga

Cuando el tren llega a la estación de carga, la locomotora de remolque libera los vagones de carga que se reciben, acopla los vagones que se despachan y sale el tren, pero cuando no se dispone de locomotora de

maniobras, la locomotora de remolque del tren se encarga de estacionar el vagón o vagones de carga en la plataforma de carga y de realizar las maniobras correspondientes.

Cuando se opera el Freight Liner o el vagón de carga expreso, hay muchos casos que se estacionan directamente en la plataforma de carga desde la vía de llegada/salida o desde la vía de desacople/acople y se hacen las maniobras posteriores. Por lo cual, en las estaciones donde se maniobran esta clase de vagones de carga, se deberá disponer de vías que faciliten los trabajos.

La mayoría de los vagones de carga que se reciben/salen en las estaciones de carga son transportados por el tren de carga local, pero en las estaciones grandes donde llegan y salen trenes directos, existen casos que se acoplan vagones adicionales de carga a ciertos trenes directos, o que se hacen los trabajos de desacople de los vagones de carga que se reciben, con el fin de reducir el trabajo en la base de maniobras cercana a dicha estación.

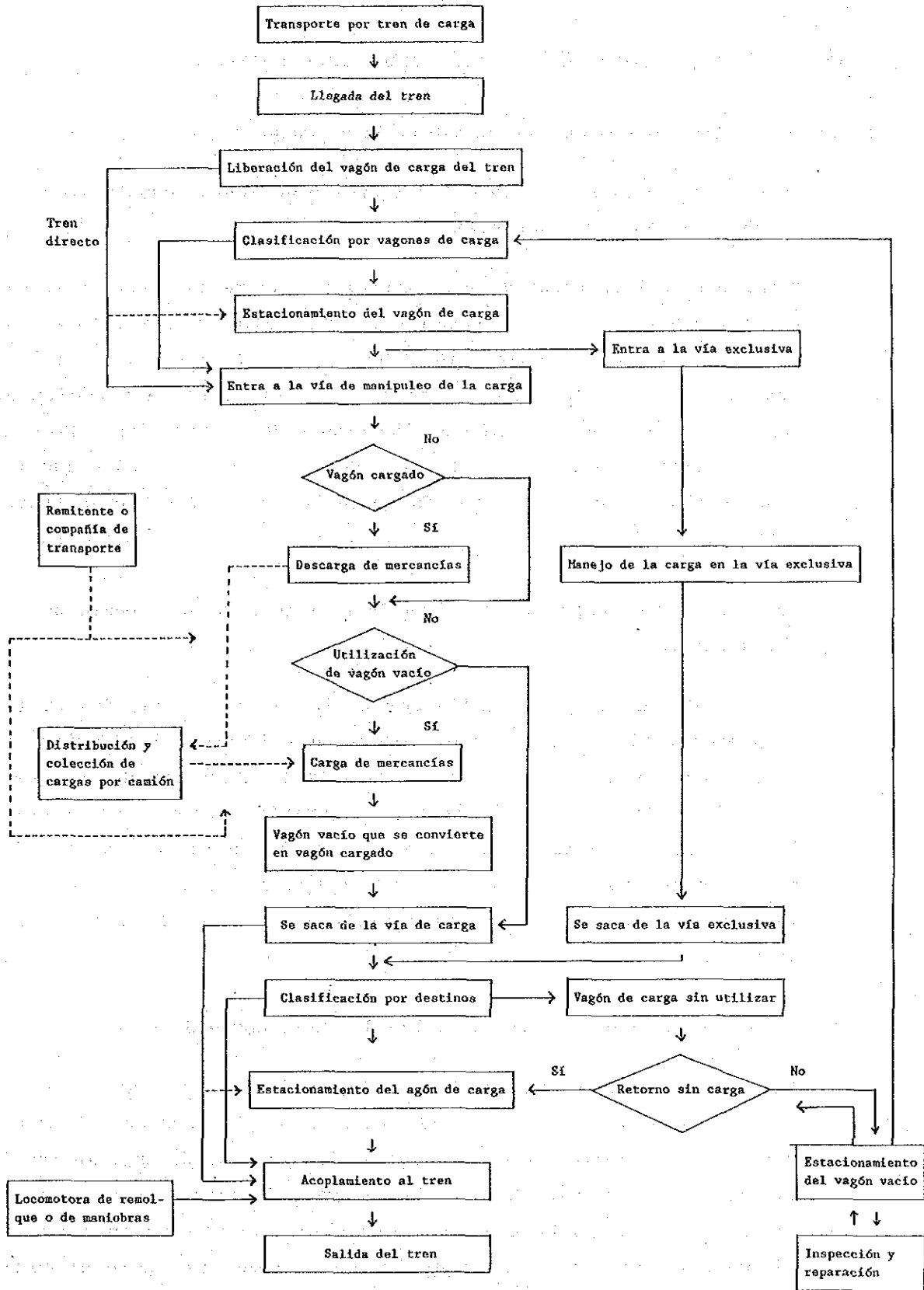


Fig. 2 Trabajos en la Estación de Carga

### **3. Ubicación y Dimensión de la Estación de Carga**

#### **(1) Nueva construcción/mejora de la estación de carga**

- ① **Nueva construcción a causa del desarrollo de zonas industriales y construcción de nuevas vías**

Primero se deberá estudiar suficientemente sobre las industrias, la población y estado de los caminos del distrito y tener referencias de los proyectos de desarrollo industrial de los organismos públicos, luego se selecciona el sitio apropiado para la estación de carga y se calcula el tamaño o dimensiones de la estación. En este caso se deberá seleccionar el sitio donde se pueda manejar 300 mil toneladas/año y que la distancia entre las estaciones no sea mayor a 20 km.

- ② **Nueva construcción/mejora a causa de la mejora de las condiciones del distrito**

Después de investigar detalladamente la situación del desarrollo económico y las condiciones de los caminos dentro del distrito, se deberá decidir el sitio apropiado para la construcción de una nueva estación, o la estación que se debe mejorar/reforzar. En tal caso, las pequeñas estaciones de carga que se encuentren en los alrededores se deberán reorganizar para formar una sola estación cuyo tamaño y distancia entre las estaciones sean igual que el caso anterior.

- ③ **Mejora a causa de la modernización del transporte de carga**

En caso de realizar mejoras en las estaciones existentes, con el fin de incrementar la capacidad, de reforzar la función del transporte, la modernización del manejo de las cargas, de incrementar la eficiencia de las maniobras en las playas, de reforzar las instalaciones de transporte directo, etc., es importante analizar la situación actual y establecer la meta de mejora, pero al mismo tiempo se deberá considerar suficientemente las relaciones con las otras estaciones y los efectos relacionados con la mejora de las condiciones del distrito.

## (2) Cálculo de la dimensión de la estación de carga

En volumen de la carga que se maneja se deberá programar teniendo como meta un futuro de 10 años (en ciertos casos 20 años) y la ejecución de las construcciones futuras normalmente se divide en 2 o 3 etapas.

### \* Método de Estimar las Probabilidades Futuras

- a. Método de extender al futuro la tendencia de la serie cronológica del pasado.
- b. Método de pronosticar el futuro a base de los valores correlacionados.
- c. Método de estimar a base de estaciones similares.
- d. Método de estimar a base del plan de utilización de tierras (dimensiones de diseño de los talleres).
- e. Método de estimar a base de los estudios del mercado.

El volumen de manejo de las cargas se puede alterar artificialmente de acuerdo con las condiciones de los caminos, de las características de la estación y política en las actividades comerciales, etc. Por esto, para elaborar el plan relacionado con la futura dimensión de la estación, se deberá estudiar minuciosamente sobre las regiones de recepción y despacho de las cargas clasificadas por artículos dentro la esfera de actividad e influencia de la estación. Asimismo se deberá estudiar las características de la estación y la política en las actividades comerciales para estimar el volumen adecuado de la carga que se piensa manejar.

Generalmente el tamaño o capacidad de la estación de carga se expresa por el volumen (toneladas) de la carga que se maneja al año pero también es necesario indicar los valores que se enumeran a continuación.

- a. Número de vagones de carga que se manejan
- b. Número de trenes que se manejan
- c. Número de camiones que llegan y salen

### (3) Ubicación de la estación de carga

#### ① Relación con la red ferroviaria

El transporte en vagón de carga se realiza normalmente reuniendo estos vagones entre las playas de maniobras para formar el tren con capacidad de transporte y en la playa de maniobras y entre las estaciones de carga, los vagones se maniobran y se despachan mediante trenes locales o trenes pequeños de operación. Por esto, en la mayoría de los casos, las estaciones de carga son instalaciones anexas a las playas de maniobras para facilitar las maniobras y el despacho de los vagones de carga.

En este caso, para evitar las inconveniencias que puedan suceder entre los trenes de llegada y de salida, se construye la vía exclusiva hasta la estación de carga y suele que en el extremo se construya una estación grande de carga, terminal.

Sin embargo, con el objeto de modernizar el transporte de carga, en vez de construir las estaciones de carga en los ramales para facilitar la adopción de los métodos de transporte directo y de transporte masivo, se prefiere que las estaciones de carga se construyan en las líneas troncales.

#### ② Otros

- a. Se deberá seleccionar un sitio cercano a la red de buenos caminos y que facilite la entrada/salida desde/a el camino troncal.
- b. Se deberá ubicar en el centro de distribución de los remitentes/consignatarios de las cargas para acortar la distancia de transportes pequeños.
- c. Se deberá considerar los proyectos de urbanización, de utilización de tierras y de habilitación de tierras industriales, para que también en el futuro la ubicación sea la más apropiada.



- d. Se deberá seleccionar el sitio donde el costo de adquisición del terreno sea bajo y no se presenten obstáculos.
- e. Se deberá evitar esos lugares donde existen pendientes de vía y tramos en curva, seleccionando el sitio que facilite la llegada y salida de trenes, así como los trabajos de acoplamiento y desacoplamiento.
- f. Se deberá seleccionar el sitio conveniente para la conexión con la vía exclusiva.

#### **4. Instalaciones Necesarias**

##### **(1) Instalaciones básicas**

Las instalaciones de las estaciones de carga se dividen en instalaciones para el manejo de cargas e instalaciones de vía para las maniobras de los vagones de carga.

##### **① Instalaciones de manejo de cargas**

###### **a) Plataformas**

Plataforma de piso alto (interior/ exterior del cobertizo),  
plataforma de piso bajo (interior/ exterior del cobertizo),  
plataforma de carga, de cabeza, plataforma de abastecimiento de agua

###### **b) Otras**

##### **② Instalaciones de vía**

Vía de llegada/salida, vía tiradero (desvío muerto) , vía de acoplamiento/desacoplamiento, vía de selección, vía de estacionamiento del vagón de carga, vía de manejo de la carga

##### **③ Pasillo de la carga**

- ④ Instalaciones de bodega
- ⑤ Lugar de manejo de la carga y edificios relacionados
- ⑥ Instalaciones relacionadas con el transporte  
Oficinas de las compañías de transporte, bodega de mercancías,  
taller de máquinas, de equipos y accesorios para cargar

(2) Instalaciones para el manejo de la carga

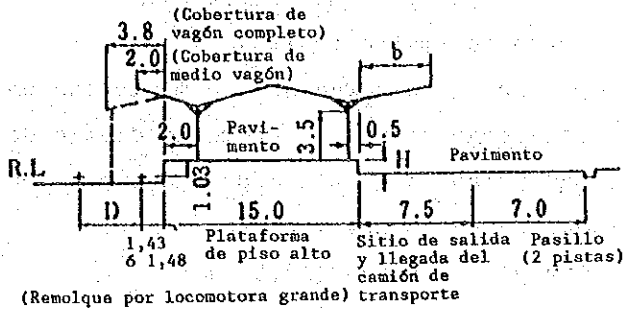
- ① Ancho y extensión de la plataforma de carga

El ancho y extensión de la plataforma de carga es:

- a) Longitud necesaria para estacionar el vagón de carga al lado de la plataforma
- b) Longitud necesaria para estacionar camiones en la plataforma del lado del pasillo
- c) Espacio de trabajo de máquinas y equipo de carga
- d) Espacio para almacenamiento de carga

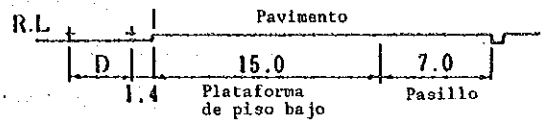
En cuanto al ancho de las plataformas clasificadas por cargas que se manejan, en Japón las normas de instalación son como se indica en la *Fig. 3*.

(a) Plataforma de piso alto  
(interior del cobertizo,  
cargas pequeñas mixtas)



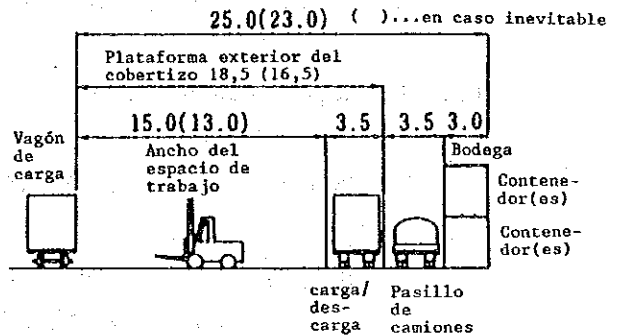
(Remolque por locomotora grande)

(c) Plataforma de piso bajo  
(exterior del cobertizo  
normal)



(d) Plataforma de piso bajo  
(contenedores)

- En caso de contenedores de 5 tons.

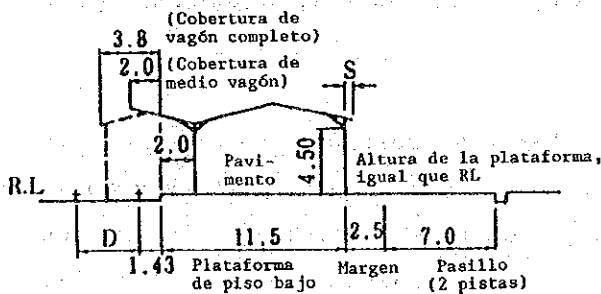


b: \*Largo de la plataforma de carga de camión (más usual) + S ("S" se decide de acuerdo con la situación actual)

\*La distancia entre pilares en dirección de la vía es del largo del vagón de carga (13 m) o múltiplo de este largo.

H: \*Misma altura que la plataforma del camión de transporte más usual

(b) Plataforma de piso bajo  
(interior del cobertizo  
normal)



- En caso de contenedores de 10 tons.

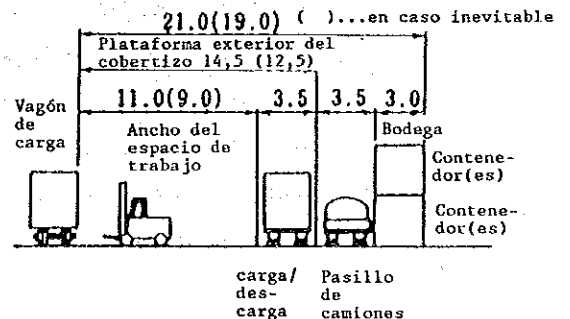


Fig. 3 Diseño Normal de una Plataforma de Carga

La longitud necesaria de la plataforma se obtiene de la fórmula siguiente:

$$L = \frac{fWl}{n} + S$$

- donde: L: Longitud necesaria de la plataforma de carga (m)  
f: Coeficiente de trabajo (normalmente 1.2)  
W: Promedio diario de vagones de carga que se manipulan en la plataforma durante todo el año = (promedio diario de toneladas que se manipulan en la plataforma durante todo el año) ÷ (toneladas cargadas por 1 carro)  
l: Largo promedio del vagón de carga (13,00 m)  
n: Rotación media de trabajos (4 rotaciones, a base de 1 carga y 1 descarga. Normalmente 2 a 3 rotaciones)  
S: Margen, mayor que 2 m

② Altura de la plataforma, distancia desde la vía (véase Fig. 3)

### (3) Instalaciones de vía

#### ① Número aproximado de vías

Después de decidir el número de vagones de carga y de trenes que se piensa manejar en la estación de carga, se calcula el largo efectivo de los diversos grupos de vías, así como el número de vías necesarias.

A continuación se indican los valores de referencia en la fase de elaboración del diseño preliminar, y debido a que están relacionados estrechamente con el esquema laboral de la estación, los valores que se indican se basan en 24 horas de servicio por lo que en las estaciones donde el trabajo es solamente de día, se deberán ajustar dichos valores.

#### a) Capacidad de maniobra por una (1) vía tiradero

Originalmente la vía tiradero debe pertenecer a la locomotora de maniobras, y con excepción de la vía tiradero de la locomo-

tora de remolque, deberá coincidir el número de vías tiradero y el número de vagones que se maniobran.

b) Vías secundarias necesarias

Vía de llegada:

Una (1) vía por cada 15 trenes de llegada

Vía de salida:

Una (1) vía por cada 10 trenes de salida

Vía de llegada/salida:

Una (1) vía por cada 15 trenes de llegada/salida

c) Vía de clasificación

El largo de esta vía deberá ser:

(13 m) x número total de vagones de carga que llegan/salen o el largo que puede acomodar el número total de vagones que se maniobran al día en la vía de clasificación o en la vía de manejo de la carga.

d) Vía de acoplamiento/desacoplamiento, vía de recepción/entrega de vagones

(13 m) x número de vagones de carga que se maniobran en las diferentes vías

② Vía de llegada/salida

El método de cálculo a base de la experiencia es:

$$N = \frac{1440 \times f \times n}{t}$$

donde: N: Número de trenes que se pueden maniobrar en la vía de llegada/salida

f: Tasa de utilización de la vía (normalmente 0,6-0,7)

n: Número de vías de llegada/salida

t: Tiempo obstaculizado por un (1) tren de trabajo

### ③ Vías de clasificación

#### a) Número de grupos de vías de clasificación

El número de los grupos de vías de clasificación se determina por la capacidad de trabajo en la vía tiradero. En la estación de carga es preferible que los trabajos de clasificación por plataformas, de clasificación de la formación del tren, de estacionamiento y retiro en la plataforma, se concentren en un grupo de vías de clasificación. Cuando son muchos los vagones de carga que se maniobran, se instala la vía tiradero de la locomotora de remolque para que la locomotora de remolque haga los trabajos auxiliares de la locomotora de maniobras. Cuando hay mayor cantidad de vagones de carga que la indicada arriba, se dividen los grupos de vías en grupos de clasificación de llegada y de clasificación de salida y se instalan las vías tiradero correspondientes.

#### b) Número necesario de vías de clasificación

El número de vías de clasificación en la estación de carga no tiene significado importante excepto para ciertos casos especiales, por lo que, en vez de calcular el número de los vagones de carga que se maniobran, se deberá calcular el largo total efectivo de las vías. Generalmente el largo efectivo de una vía es de 150 a 200 m, y a base de esto se obtiene el número necesario de las vías. Además, en caso del sistema de transporte directo cuya maniobra se hace por unidad de un (1) tren, debido al estacionamiento de los vagones de carga, se deberá calcular en todo lo posible, el largo efectivo correspondiente a la unidad de tren.

El número de vías se obtiene con la fórmula siguiente:

$$n \leq \sqrt{S} + 1$$

donde: n: Número de vías de clasificación

S: Número de direcciones de clasificación

Ejemplo - en caso de S = 18 direcciones de clasificación

$$n \leq \sqrt{18} + 1 = 5,24 \approx 6 \text{ vías}$$

c) Cálculo de la longitud necesaria de la vía de clasificación

$$L = \frac{wl}{(1 - \alpha) \times \beta \times m}$$

- donde: L: Extensión de la vía de clasificación  
W: Número (promedio) de vagones de carga que se maniobran en 1 día  
l: Largo del vagón de carga (13,0 m)  
 $\alpha$ : Porcentaje del margen de maniobras (0,2-0,3)  
 $\beta$ : Coeficiente de trabajo (ocupación)  
m: Porcentaje de utilización del vagón de carga (promedio ... 3 veces)

El número de vagones de carga que se maniobran, significa el total de vagones que llegan, que se despachan y se enlazan, mientras que los vagones de paso que se maniobran (vagones de semi-enlace) así como esos de paso, se incluyen en el margen de maniobras. El largo de reserva en relación con el paracolpe (tope) y el punto de libranza en una (1) vía de clasificación se calcula en 10 m para ambos y cuando la vía de clasificación es corta, se transforma en vía de formación y se instala una vía cuya longitud sea mayor que 1/2 de la longitud de la vía de llegada/salida.

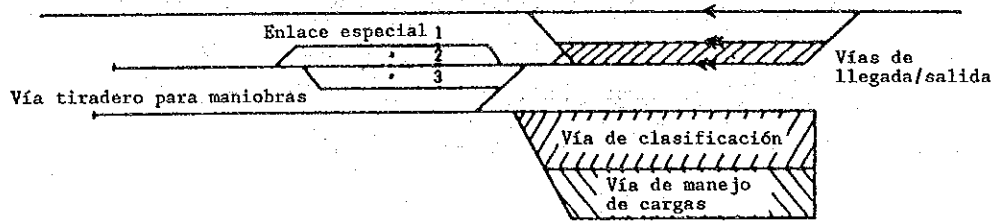
④ Vía tiradero (desvío muerto)

La vía tiradero es la vía auxiliar o desvío más importante que se utiliza para hacer los trabajos de clasificación de los vagones de carga y normalmente se requiere que el largo efectivo sea igual que el de la vía secundaria, pero como en caso de los trabajos de desarme es más eficaz hacerlos a base de 20 a 30 unidades, normalmente se establece un largo efectivo de alrededor de 300 m para desacoplar o dividir un tren.

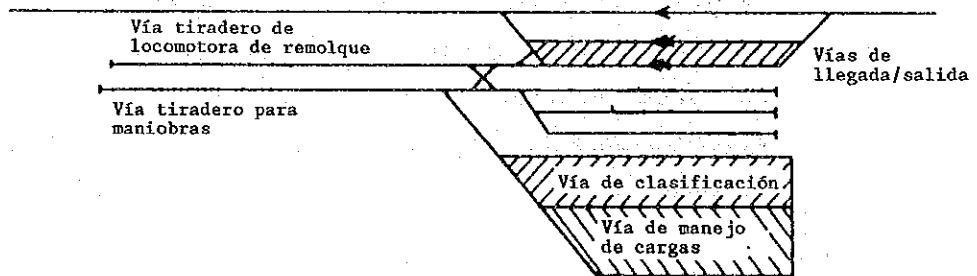
El número de las vías tiradero (desvío muerto) deberá estar de acuerdo con el número de las locomotoras de maniobras en servicio y aunque la capacidad de maniobrar está influenciada por el grado de dificultad o facilidad de la composición del tren, así como de la

potencia de la locomotora de maniobras y la técnica del encargado de maniobras (cambiador), normalmente se asigna una locomotora de maniobras por cada 400 vagones de carga y a base de esto se establece la vía tiradero (véase Fig. 4).

(a) Vía especial de enlace



(b) Vía de desacoplamiento/acoplamiento, vía tiradero de locomotora de remolque



**Fig. 4** Ubicación de las Vías de Enlace y de Desacoplamiento/Acoplamiento



⑤ **Vía de desacoplamiento/acoplamiento, vía especial de enlace**

Cuando es necesaria la vía de desacoplamiento/acoplamiento, normalmente se establece la vía tiradero de locomotora de remolque. El número de vías de desacoplamiento/acoplamiento deberá ser mayor que 2 y considerando que también se utilizan como vía especial de enlace, se prefiere que sean más de 3 incluyendo la vía exclusiva de enlace. La longitud efectiva se obtiene a base de la utilización de 4 a 6 veces, o a base de 2 a 3 m por unidad de vagón y deberá ser mayor que la longitud efectiva de la vía tiradero de locomotora de remolque.

⑥ **Vía de estacionamiento de vagones de carga**

La vía de estacionamiento se utiliza también como vía de clasificación y de estacionamiento provisional de los vagones durante las maniobras rutinarias. También se utiliza en los días festivos o de descanso o en la temporada de menor actividad para estacionar vagones vacíos, pero como en esta clase de vía de estacionamiento hay poco trabajo, no es necesario que la ubicación sea muy conveniente haciendo la conexión directa con las vías de manejo de las cargas y de llegada/salida.

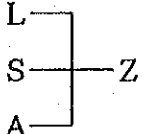
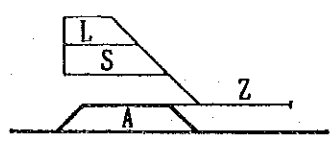
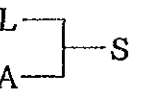
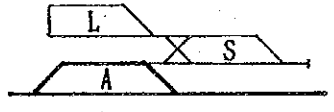
Además, en ciertas estaciones existen casos que se estacionan por largo tiempo esos vagones cuyo destino no se ha determinado y cuando la circunstancia es así, se deberá establecer la vía de estacionamiento de vagones vacíos en cantidad máxima, aparte de la vía de clasificación.

## 5. Diagrama de Distribución Básica de Vías en la Estación de Carga

Aunque las vías necesarias en la estación de carga depende de la misión que tiene la estación, generalmente son vías: de manejo de cargas, de estacionamiento de vagones de carga, de clasificación, de formación de trenes, de estacionamiento de vagón con frenos, de báscula de vía, de lavado de vagones de carga, vía tiradero, de llegada/salida, de recepción/ entrega de vagones, etc. El diagrama de distribución básica de vías se refiere a la combinación de las vías de mayor importancia entre las citadas anteriormente, o sea, vías de manejo de cargas, de clasificación, de llegada/salida, tiradero, y vía troncal. El diagrama básico es como se muestra en los Cuadros 1 y 1a.

**Cuadro 1. Distribución Básica de Grupos de Vía  
(Ubicaciones de las vías de llegada/salida  
y de manejo de cargas)**

L: Vía de manejo de cargas                      S: Vía de clasificación  
A: Vía de llegada/salida                      Z: Vía tiradero

Clasificación	Distribución por tipos	Observaciones
<b>1. Tipos en paralelo</b>		
(1) 		Las vías de llegada/salida, de clasificación y de manejo de cargas, se instalan en paralelo y se unen con la vía tiradero. Las maniobras entre los diversos grupos de vía se mezclan en los cruces. La distribución de vías es en forma compacta y este tipo tiene mayor acogida entre los diferentes tipos
(2) 		Las vías de llegada/salida y de manejo de cargas se instalan en paralelo y las vías de clasificación se instalan en serie. Solamente se utiliza en casos de condiciones topográficas especiales.

**Cuadro 1a Distribución Básica de Grupos de Vía**  
**(Ubicación de las vías de llegada/salida**  
**y de manejo de cargas)**

L: Vía de manejo de cargas

S: Vía de clasificación

A: Vía de llegada/salida

Z: Vía tiradero

Clasificación	Distribución por tipos	Observaciones
<b>2. Tipos en serie</b>		
(1) L— S— ┌—Z └—A		Este tipo de distribución se deriva del tipo 1-(1) arreglando solamente las vías de llegada/salida en serie, es apropiado para las estaciones exclusivas de carga y se muy conveniente cuando hay mucho trabajo de maniobras en las estaciones terminales.
(2) L— S— └—A		En este tipo no se dispone de la vía tiradero que tiene el tipo 2-(1) y se utiliza cualquiera de las vías de llegada/salida como vía tiradero. Es apropiado para la estación exclusiva de carga en la estación terminal. En el sistema de pasada, existe gran competencia entre los trabajos de vía tiradero y de vía de llegada/salida.
(3) L— ┌—S └—A └—Z		Este tipo es adecuado para la estación exclusiva de carga en el sistema general de pasada y debido a que las vías de manejo de carga y de clasificación se distribuyen en serie, no se mezclan las maniobras en los cruces de las vías de maniobra. También se pueden realizar los trabajos de introducción del tren Freight Liner, etc., directamente a la vía de manejo de las cargas.
(4) L— ┌—S └—A		Es el sistema derivado del tipo 2-(3) pero sin vía tiradero, la mayoría de los vagones que se manejan son de formación fija, como de Freight Liner, etc., y es apropiado para la estación exclusiva de carga donde hay poco trabajo de clasificación. En esta distribución de vías, los trabajos de maniobras del tren de formación fija se reducen al mínimo.
(5) L—S— └—A └—Z		Aunque básicamente es del tipo 2-(4), en caso de que por cuestiones de condiciones topográficas, etc., no se puede conectar directamente las vías de manejo de cargas y de llegada/salida, al igual que el tipo (1) usualmente se adopta esta distribución en la estación exclusiva de carga para el sistema de pasada. También el tránsito de los vagones de formación que no requieren la clasificación se mezcla en los cruces de la vía tiradero.
(6) L—S— ┌—Z └—A		Aquí se distribuyen en serie las vías de llegada/salida, de clasificación y de manejo de cargas, disponiéndose al mismo tiempo la vía tiradero. Es apropiada para la estación exclusiva de carga de gran capacidad del sistema de pasada, siendo conveniente cuando hay mucho trabajo de maniobras.
(7) L—S—A		Esta distribución se deriva del tipo 2-(6) pero sin vía tiradero y los trabajos de vía tiradero se realizan utilizando adecuadamente las vías de llegada/salida. Es apropiada para las estaciones terminales de carga de gran capacidad y es conveniente cuando hay mucho trabajo de maniobras.

## 6. Observaciones sobre la Distribución de Vías

### (1) Transporte de carga y distribución de vías

Como asunto básico en la elaboración del plan de construcción de la estación de carga, es necesario distribuir las vías de manera que se adapte al sistema de transporte en vagones de carga. En lo que se refiere al transporte directo o a los vagones de transporte exclusivo, la distribución o el arreglo de vías puede ser sencilla, que posibilite las maniobras por unidades de tren, y que los trabajos se puedan terminar en corto tiempo. O sea que para el transporte de carga en vagones ordinarios se le da mayor importancia a que el costo del flete sea bajo, pero por otra parte, debido a que la carga se transporta a través de playas de maniobras en el tren de transporte de conclusión al máximo del constante de remolque, el tiempo de transporte, especialmente el tiempo de enlace en las estaciones es muy largo.

Con el fin de solucionar este defecto de que se pierde mucho tiempo, se opera el tren de carga de transporte directo, pero por otro lado, en las estaciones de carga se aumentan los trabajos relacionados con el desacoplamiento/acoplamiento de los vagones del tren expreso y el tren directo. Por esto, con el fin de que los trabajos de desacoplamiento/acoplamiento no hagan competencia con los trabajos de clasificación, de estacionamiento en la plataforma y de recepción de vagones, se deberá establecer la vía tiradero de la locomotora de remolque, la vía de desacoplamiento/acoplamiento, la vía de enlace especial, etc., o sea, las instalaciones correspondientes. Especialmente en caso del tren exclusivo de transporte directo de contenedores, debido a que se prefiere en todo lo posible que las maniobras se hagan sin alterar la formación del tren y como regla general no se hace la clasificación, se requiere conectar directamente la vía de llegada/salida con la vía de manejo de cargas para posibilitar la entrada/salida directa. En caso de utilizar la vía tiradero, es necesario que tenga el largo suficiente para adaptarse a las necesidades.

En cuanto a los vagones de carga de transporte de conclusión o terminación, debido a que el transporte se hace por unidad de un (1) vagón, son muy pocas las restricciones y aunque es posible arreglar económicamente la distribución de vías, si las vías de clasificación y de manejo de las cargas son sumamente cortas, las maniobras serán muy complicadas resultando una mala eficiencia, por lo que se deberá poner especial atención en este sentido.

## (2) Observaciones sobre la distribución de vías

### ① Disposición

En la distribución de vías de la estación de carga, la disposición de las vías, como las de manejo de las cargas, etc., deberá ser sencilla en todo lo posible y de acuerdo con la vía de tráfico del vagón de carga, con el fin de economizar el costo y la mano de obra relacionado con las maniobras. Para esto, se deberá correlacionar el objetivo de la estación de carga con los objetivos de las estaciones de carga adyacentes, de una manera sencilla. Además, se deberá definir las características de las estaciones ordinarias, de las estaciones de vagones de carga expresos/directos y de las estaciones base donde se clasifican por mercancías, etc., para que la disposición de las vías se adapte a las necesidades.

### ② Largo efectivo de las vías

En las estaciones de carga de gran capacidad donde se inicia/termina el servicio de trenes, se prefiere que la disposición o arreglo de las vías sea de manera que los trenes puedan acomodarse en la vía de manejo de las cargas entrando directamente desde las vías de llegada/salida, manteniendo la formación. Además, aunque existen estaciones con muchas vías de manejo de cargas de un largo menor a 150 m por vía, actualmente donde es posible hacer las maniobras, se está acostumbrando a disponer de vías de manejo de cargas de un largo de 500 a 600 m. Cuando no es posible disponer de vías largas para el manejo de carga, hay muchos casos en que el largo de las vías corresponde al largo de 1 a 2 trenes.

③ **Vía de desacoplamiento/acoplamiento**

En las estaciones intermedias de carga de la vía troncal, se deberá disponer de vías de desacoplamiento/acoplamiento, etc., para evitar la competencia entre los trabajos de vía de llegada/salida y de maniobra en la playa. El largo efectivo de estas vías deberá ser mayor a 150 m (si es posible 250 m), como mínimo 3 vías pero aún cuando es inevitable mínimo 2 vías. Especialmente en esas estaciones donde de noche se hacen solamente los trabajos de desacoplamiento/acoplamiento de trenes y de día se hacen los trabajos de clasificación en la playa, el largo efectivo de las vías de desacoplamiento/acoplamiento deberá ser suficiente para adaptarse al número de los vagones de carga que se trabajan.

④ **Vías de estacionamiento de los vagones de carga de reserva**

En las vías de estacionamiento deberá haber cierto margen para adaptarse a las fluctuaciones de despacho de las cargas. Especialmente en caso de los vagones de contenedores, el vagón integrado clasificado por cargas, normalmente no se utiliza en los días festivos/descanso, por lo cual es necesario que en las estaciones de llegada/salida se disponga de vías de estacionamiento.

**7. Distribución de Vías en las Estaciones Intermedias de Carga**

- (1) Vías de llegada/salida, tipo en paralelo (Cuadro 2)
- (2) Vías de llegada/salida, tipo en serie (Cuadro 3)

## 8. Distribución de Vías en la Estación de Carga Terminal (Cuadro 4)

- (1) Vías de llegada/salida, tipo en paralelo
- (2) Vías de llegada/salida - tipo en paralelo, llegada/salida - tipo separado
- (3) Vías de llegada/salida, tipo en serie

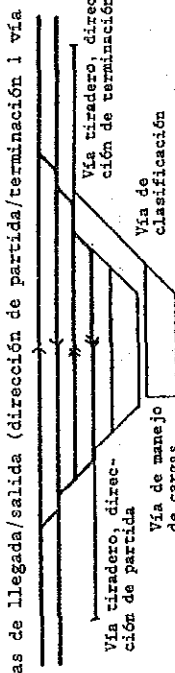
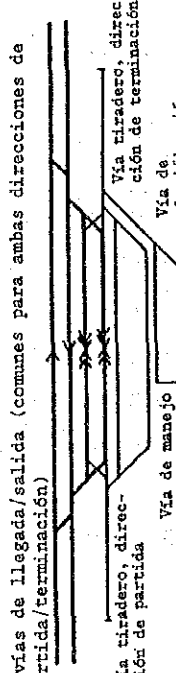
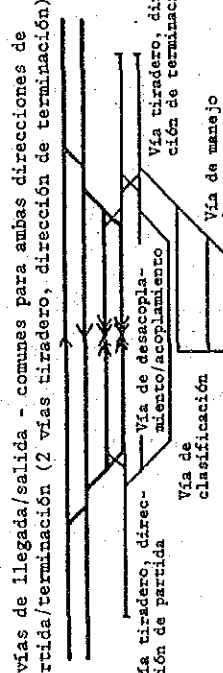
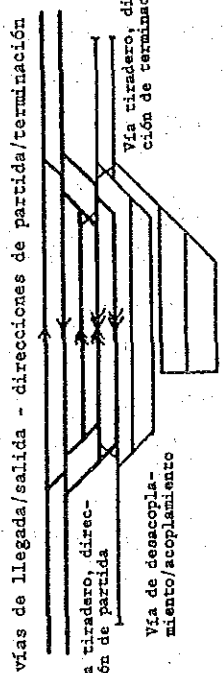
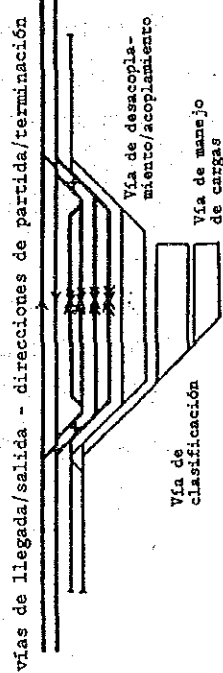
## 9. Estación Base de Clasificación por Mercancías

En el transporte ferroviario, las mercancías cuyo volumen es relativamente grande o en caso de productos químicos con riesgo de transporte, etc., el transporte se hace por unidades de trenes de acuerdo con las características de las cargas. En tales casos, la estructura de los vagones de carga, el sistema de manejo de la carga, la asignación de trenes, así como la base de existencias o almacenamiento se distinguen de esos para las mercancías o cargas en general y se utilizan medios exclusivos con el fin de reducir el costo de transporte y ofrecer servicios que satisfagan la demanda de transporte.

En el pasado, esto se aplicó al transporte del carbón mineral, de maderas, etc., pero con el cambio de la estructura industrial, actualmente las mercancías que se transportan se clasifican en; petróleo y sus derivados, cemento, productos químicos, automóviles, papel, alimentos frescos, etc., y se construyen instalaciones de manejo de cargas que sean apropiados a los diferentes métodos de transporte en vagones de carga.

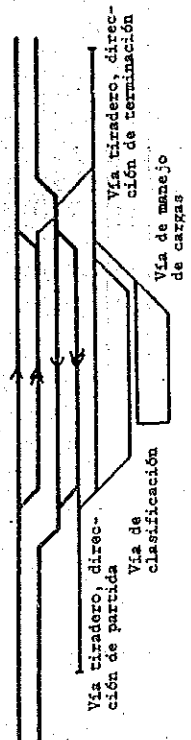
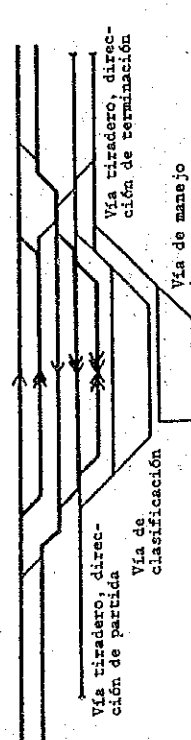
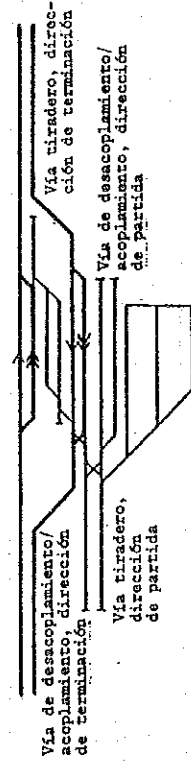
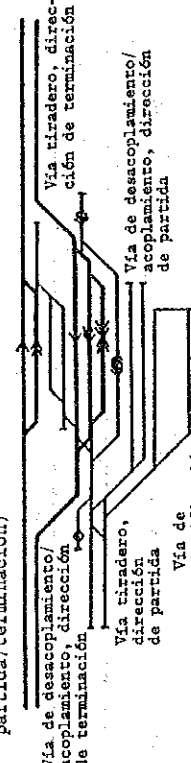
En la Fig. 5 se muestra una estación típica de industria petrolera.

**Cuadro 2 Patrón de Distribución de Vías de Llegada/Salida Tipo en Paralelo - Estación de Carga, Intermedia (1)**

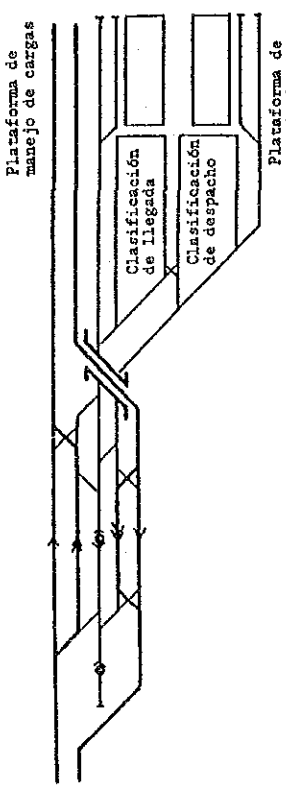
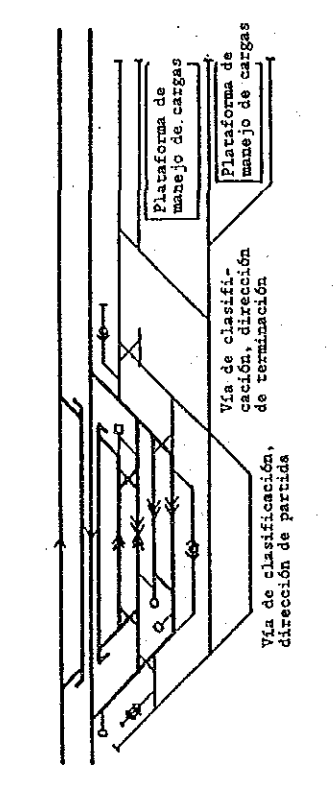
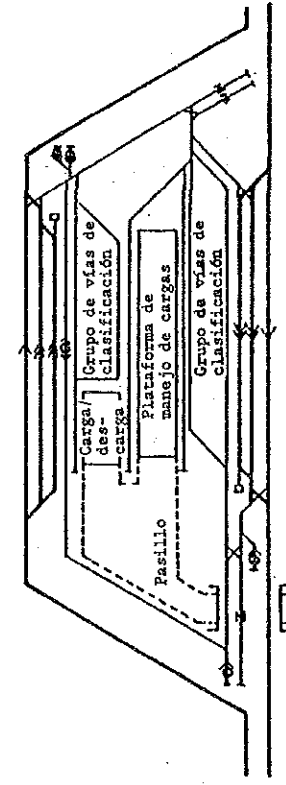
Tipos	Distribución de Vías por tipo	Observaciones
(1) Llegada/salida en un solo lado	<p>a. Vías de llegada/salida (dirección de partida/terminación l vía c/u)</p> 	<p>En caso de la estación de carga donde llegan/salen pocos trenes, las vías de llegada/salida (dirección de partida) se agrupan en un lado, de manera que el tren de la vía troncal atraviese una vía antagónica (en este caso, vía troncal, dirección de partida). Asimismo, aun el tren de refugio que no tiene trabajos de desacoplamiento/acoplamiento, cruza la vía troncal (cruce de la vía troncal de dirección de partida donde corre el tren hacia la dirección de terminación). Este arreglo o distribución de vías es apropiado cuando hay poca circulación de trenes.</p>
	<p>b. 2 vías de llegada/salida (comunes para ambas direcciones de partida/terminación)</p> 	<p>En relación con "a", las vías de llegada/salida se pueden utilizar también para cualesquiera de los trenes que van hacia las direcciones de partida/terminación.</p>
	<p>c. 2 vías de llegada/salida - comunes para ambas direcciones de partida/terminación (2 vías tiradero, dirección de terminación)</p> 	<p>En caso de "b", en la playa de maniobras se realizan los trabajos de desacoplamiento/acoplamiento de trenes en la vía tiradero de la dirección de terminación, pero cuando se agrandan las instalaciones de manejo de cargas, los trabajos se dividen arreglando 2 vías tiradero en dirección de la terminación.</p>
	<p>d. 3 vías de llegada/salida - direcciones de partida/terminación</p> 	<p>En este caso, se arreglan 3 vías de llegada/salida y solamente la vía 2 es de utilización común para los trenes que van en dirección de partida y dirección de la terminación.</p>
	<p>e. 4 vías de llegada/salida - direcciones de partida/terminación</p> 	<p>En relación con "d", se arreglan 2 vías de llegada/salida por cada dirección de partida/terminación y los trabajos se hacen desde la dirección de partida. Si se aumenta el número de trenes de llegada/salida de la dirección de terminación, es difícil cruzar la vía troncal en la dirección de partida.</p>



**Cuadro 2 Patrón de Distribución de Vías de Llegada/Salida Tipo en Paralelo - Estación de Carga, Intermedia (2)**

Tipos	Distribución de Vías por tipo	Observaciones
<p>(2) Vías de llegada/salida entre vías principales de direcciones de partida/terminación</p>	<p>a. Vías de llegada/salida (dirección de partida/terminación l. vía c/v)</p>  <p>Vía tiradero, dirección de partida</p> <p>Vía de clasificación</p> <p>Vía tiradero, dirección de terminación</p> <p>Vía de manejo de cargas</p> <p>b. 2 vías de llegada/salida (comunes para ambas direcciones de partida/terminación)</p>  <p>Vía tiradero, dirección de partida</p> <p>Vía de clasificación</p> <p>Vía tiradero, dirección de terminación</p> <p>Vía de manejo de cargas</p>	<p>En la distribución o arreglo de vías (1), todos los trenes que entran o salen a la vía de llegada/salida tienen que cruzar la vía troncal antagónica por lo que existe mucha competencia con el tren de pasada en dirección de partida. Con el fin de corregir este defecto, se arregla la vía de llegada/salida (dirección de terminación) entre las vías troncales de las direcciones de partida/terminación, por lo que el tren de refugio (dirección de terminación) no cruza la vía troncal, y aunque se hagan los trabajos de desacoplamiento/acoplamiento (dirección de terminación), después de la parada del tren, durante los intervalos de trenes, se puede cruzar la vía troncal antagónica.</p> <p>En este caso, el tren que puede cruzar la vía troncal durante cierto período de tiempo, basta con cruzarla una sola vez por lo que se ahorra considerablemente los trabajos y por este motivo se arregla una vía común para ambas direcciones de partida/terminación (vía 2 de dirección de partida).</p>
<p>(3) Vías de llegada/salida y de desacoplamiento/acoplamiento entre vías troncales de direcciones de partida/terminación</p>	<p>a. Vías de llegada/salida (dirección de partida/terminación l. vía c/u)</p>  <p>Vía de desacoplamiento/acoplamiento, dirección de terminación</p> <p>Vía tiradero, dirección de partida</p> <p>Vía de desacoplamiento/acoplamiento, dirección de partida</p> <p>Vía de manejo de cargas</p> <p>b. 2 vías de llegada/salida (comunes para ambas direcciones de partida/terminación)</p>  <p>Vía de desacoplamiento/acoplamiento, dirección de terminación</p> <p>Vía tiradero, dirección de partida</p> <p>Vía de desacoplamiento/acoplamiento, dirección de partida</p> <p>Vía de manejo de cargas</p>	<p>Las distribuciones de vía (1), (2) son apropiadas para el caso de que se construye la estación de carga en la vía troncal exclusiva de cargas, pero en esas estaciones de carga que se contruyen en los tramos donde hay mucho tráfico de trenes de carga y de pasajeros, es difícil cruzar la vía troncal antagónica. Como medida de solución, tanto las vías de desacoplamiento/acoplamiento (dirección de terminación) y de llegada/salida (dirección de terminación) se arreglan entre las vías troncales de ambas direcciones (partida/terminación) para que los trabajos de desacoplamiento/acoplamiento se hagan cruzando una sola vez la vía troncal.</p> <p>En este caso, se le agrega a "a" una vía común (vía 2) de llegada/salida para ambas direcciones (partida/terminación) y la vía para maniobra de locomotoras.</p>

Cuadro 3 Patrón de Distribución de Vías de Llegada/Salida Tipo en Serie - Estación de Carga, Intermedia

Tipos	Distribución de Vías por tipo	Observaciones
<p>(1) Cruce a distinto nivel entre vías de llegada/salida en la vía troncal de ambas direcciones (partida/terminación) (Tipo entre vías troncales)</p>	 <p>Plataforma de manejo de cargas</p> <p>Clasificación de llegada</p> <p>Clasificación de despacho</p> <p>Plataforma de manejo de cargas</p>	<p>La vías de llegada/salida y la vía tiradero se arreglan entre las vías troncales de direcciones de partida/terminación, mientras que las vías de clasificación y de manejo de cargas se arreglan en serie, haciendo que haya cruce de distinto nivel con la vía troncal. En este arreglo, no hay competencia con la vía troncal y los trabajos en cadena son eficientes.</p>
<p>(2) Cruce a distinto nivel en un solo lado de las vías de llegada/salida (Tipo de Cruce)</p>	 <p>Plataforma de manejo de cargas</p> <p>Plataforma de manejo de cargas</p> <p>Vía de clasificación, dirección de terminación</p> <p>Vía de clasificación, dirección de partida</p>	<p>Cuando hay muchas vías de llegada/salida y cuando las vías de recepción/entrega se arreglan en serie con las vías de llegada/salida, considerándose que no es adecuado el arreglo (1), las vías de llegada/salida se disponen en un solo lado, se hace el cruce a distinto nivel en 2 sitios de la vía troncal, mientras que las vías de llegada/salida, así como las vías de clasificación y de manejo de cargas se disponen en serie.</p>
<p>(3) Tipo entre vías troncales</p>	 <p>Carga de clasificación</p> <p>Plataforma de manejo de cargas</p> <p>Grupo de vías de clasificación</p> <p>Plataforma de manejo de cargas</p> <p>Grupo de vías de clasificación</p> <p>Pasillo</p>	<p>En este caso, la estación de carga se encuentra totalmente abrazada por las líneas troncales de direcciones de partida/terminación y es necesario que el pasillo de los camiones tenga cruce a distinto nivel con la vía troncal.</p>

Cuadro 4 Patrón de Distribución de Vías en la Estación de Carga, Terminal

Tipos	Distribución de Vías por tipo	Observaciones
(1) Vías de llegada/salida en paralelo		<p>Ocurre con la competencia al igual que en un lado de la estación de pasajeros, en caso de la estación exclusiva de carga (sea grande o no), debido a que la llegada/salida de trenes no es tan frecuente como en la estación de pasajeros, las inconveniencias son de menor grado.</p>
(2) Vías de llegada/salida en paralelo, vía de llegada y de salida separadas (Tipo Separado)		<p>Debido a que están separadas las vías de llegada y salida, se puede decir que casi no hay competencia en comparación con (1). Las vías tiradero se clasifican por método de utilización, por ejemplo, estación de recepción, clasificación de despacho, clasificación de formación, y son muy eficientes.</p>
(3) Vías de llegada/salida, tipo en serie troncales		<p>El vagón de carga que llega, se clasifica directamente en la vía de llegada. Además, para el vagón de carga que se despacha se utiliza la clasificación de despacho, mientras que entre las vías de salida la que está vacante se utiliza como vía tiradero para hacer la formación del tren y una vez terminada la formación se utiliza la misma vía como vía de salida. Además, debido a que el arreglo es en serie, no se hacen trabajos innecesarios.</p>

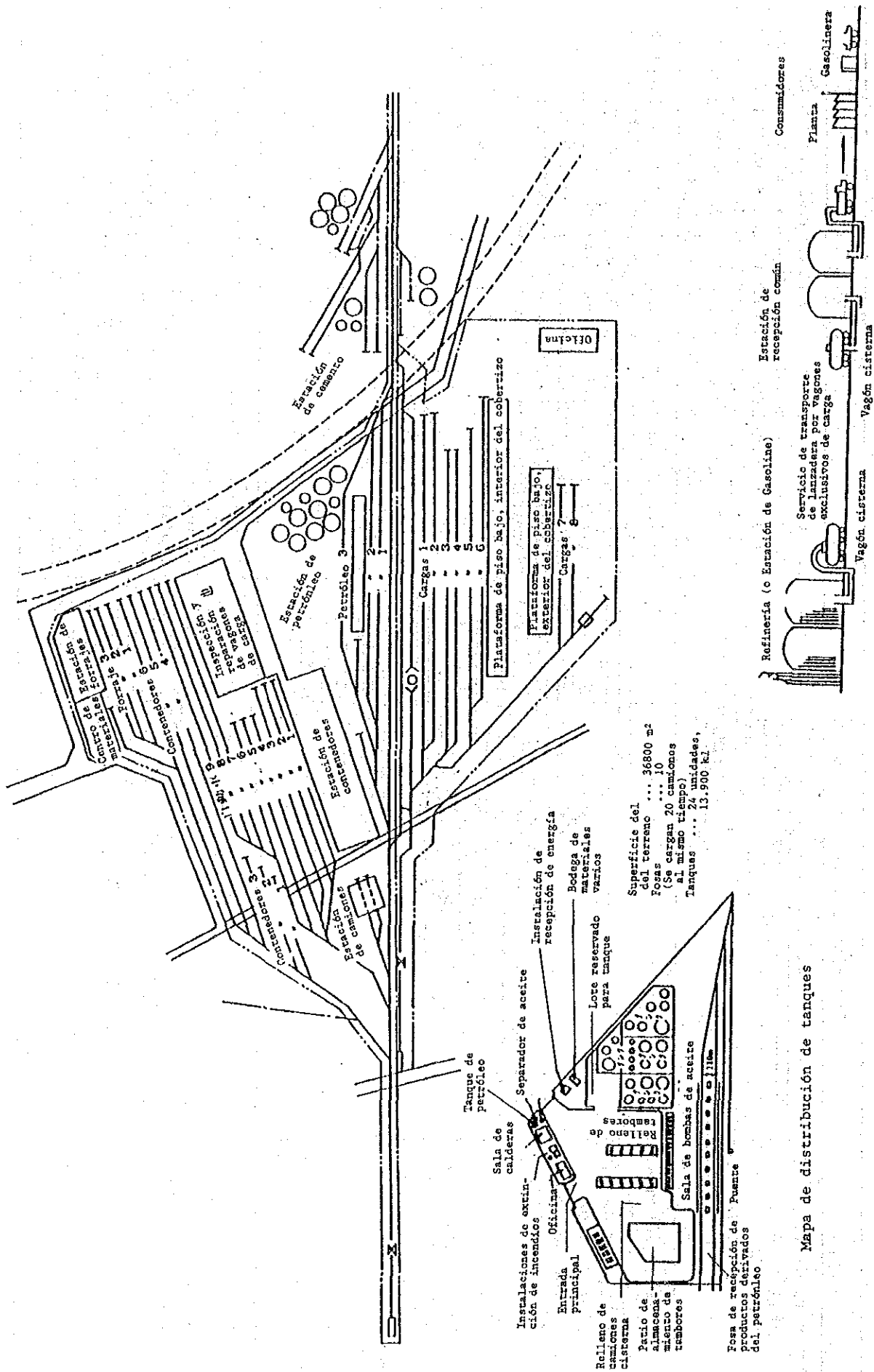


Fig. 5 Ejemplo de Distribución de Vías de la Estación de Carga en Una Refinería de Petróleo

## 10. Instalaciones de Manejo de Cargas en las Estaciones de Cochabamba y Guaracachi

### (1) Datos básicos

Los datos básicos como de previsión de la demanda y plan de tráfico, necesarios para estimar la magnitud de las instalaciones (de vías y de plataformas de manejo de cargas) de las estaciones de carga, se indican en los Cuadros 5 y 6.

**Cuadro 5 Clases, Dirección y Volumen de Carga que se Despacha/Recibe (año 2020)**

Estación de Cochabamba 10<sup>3</sup> t/año

Dirección	San Pedro			Santa Cruz			Aiquile			Total
	Despacho	Recibo	Suma	Despacho	Recibo	Suma	Despacho	Recibo	Suma	
Cebada, soja	200	90	290	48	200	248	11	0	11	549
Trigo, azúcar, carne vacuna, cemento, maquinaria, etc.	223	79	302	22	153	175	26	17	43	520
Acero, materiales de construcción, automóviles, madera	71	34	105	10	102	112	14	0	14	231
Productos minerales	36	14	50	14	0	14	0	9	9	73
<b>Total</b>	<b>530</b>	<b>217</b>	<b>747</b>	<b>94</b>	<b>455</b>	<b>549</b>	<b>51</b>	<b>26</b>	<b>77</b>	<b>1,373</b>

Estación de Guaracachi 10<sup>3</sup> t/año

Dirección	Cochabamba			Quijarro			Yacuiba			Yapacani			Total
	Des-pacho	Recibo	Suma	Des-pacho	Recibo	Suma	Des-pacho	Recibo	Suma	Des-pacho	Recibo	Suma	
Cebada, soja	200	48	248	234	0	234	0	13	13	0	0	0	495
Trigo, azúcar, carne vacuna, cemento, maquinaria, etc.	153	22	175	34	158	192	13	48	61	3	3	6	434
Acero, materiales de construcción, automóviles, madera	102	10	112	19	117	136	72	13	85	0,5	8,6	9,1	342,1
Productos minerales	0	14	14	24	0	24	0	0	0	0	0	0	38
<b>Total</b>	<b>455</b>	<b>94</b>	<b>549</b>	<b>311</b>	<b>275</b>	<b>586</b>	<b>85</b>	<b>74</b>	<b>159</b>	<b>3,5</b>	<b>11,6</b>	<b>15,1</b>	<b>1.309,1</b>

**Cuadro 6 Número de Trenes y Vagones de Carga que Salen y Llegan**

**Estación de Cochabamba**

.../día

Dirección	Constante de remolque (ton)	Número de trenes			Salida			Llegada			Total		
		Salida	Llegada	Suma	Cargado	Vacío	Suma	Cargado	Vacío	Suma	Cargado	Vacío	Suma
San Pedro	300	5	5	10	52	13	65	22	43	65	74	56	130
Aiquila	300	1	1	2	4	2	6	4	2	6	8	4	12
2 direcciones	Total	6	6	12	56	15	71	26	45	71	82	60	142

**Estación de Guaracachi**

.../día

Dirección	Constante de remolque (ton)	Número de trenes			Salida			Llegada			Total		
		Salida	Llegada	Suma	Cargado	Vacío	Suma	Cargado	Vacío	Suma	Cargado	Vacío	Suma
Quijarro	1.000	2	2	4	30	11	41	27	14	41	57	25	82
Yacuiba	1.000	1	1	2	9	4	13	8	5	13	17	9	26
Yapacani		①	①	②	(1)	(7)	(8)	(6)	(2)	(8)	(7)	(9)	(16)
3 direcciones	Total	3 ①	3 ①	6 ②	39 (1)	15 (7)	54 (8)	35 (6)	19 (2)	54 (8)	74 (7)	34 (9)	108 (16)

Nota: Las cifras de la línea de Yapacani son por 1 semana.

**(2) Cálculo de la cantidad de instalaciones necesarias**

**① Vía de manejo de cargas**

A base de las clases de mercancías, la clasificación de las plataformas de carga es como sigue:

• Piso alto (con cobertizo)

Cebada, soja, harina de trigo, azúcar, carne vacuna, cemento, maquinaria y equipos/aparatos

• Piso bajo (sin cobertizo)

Acero, materiales de construcción, automóviles, madera, productos minerales

Entre las mercancías que se transportan por contenedores, se estima que un 50% se maneja en las plataformas de piso alto (con cobertizo), por lo que a base de esto se calcula la extensión de la plataforma.

Cálculo de la extensión total de la plataforma, basándose en el número de vagones cargados que llegan y salen, indicados en el *Cuadro 5*.

$$L = \frac{fwl}{n} + S$$

donde:  $f = 1,2$

$w =$  Número de vagones; que salen + que llegan

$l = 13,0$  m

$n = 2$  rotaciones

$S = 2$  m (por cada vía)

**Estación de Cochabamba**

$$L = \frac{1,2 \times (56 + 26) \times 13}{2} + S = 639,6 \approx 640 \text{ m}$$

**Estación de Guaracachi**

$$L = \frac{1,2 \times (39 + 25) \times 13}{2} + S = 499,2 \approx 500 \text{ m}$$

En las plataformas de las estaciones cuya extensión total de las vías de manejo de cargas se deciden por las clases de mercancías, el porcentaje de manejo de cargas es como se indica en el *Cuadro 7*.

**Cuadro 7 Extensión de las Plataformas de la Estaciones**

Estación	Plataforma	Volumen de manejo (%)	Extensión de vías (m)	Arreglo por vagones (m)
Cochabamba	Piso alto	$535 \times 10^3$ t (40%)	$640 \times 0,4 = 256$	$20 \times 13 + 2 = 262$
	Piso bajo	$304 \times 10^3$ t (20%)	$640 \times 0,2 = 128$	$10 \times 13 + 2 = 132$
	Contenedores	$535 \times 10^3$ t (40%)	$640 \times 0,4 = 256$	$20 \times 13 + 2 = 262$
Guaracachi	Piso alto	$462 \times 10^3$ t (36%)	$500 \times 0,36 = 180$	$14 \times 13 + 2 = 184$
	Piso bajo	$371 \times 10^3$ t (28%)	$500 \times 0,28 = 140$	$11 \times 13 + 2 = 145$
	Contenedores	$462 \times 10^3$ t (36%)	$500 \times 0,36 = 180$	$14 \times 13 + 2 = 184$

Nota: Arreglo por vagones significa:  
 $\{(\text{extensión de cada vía}) \div (\text{largo del vagón de carga})\} =$   
 número entero  $\times$  largo del vagón de carga

② Instalaciones de vía

a) Vía de llegada/salida

Debido a que ésta es una vía secundaria, se utiliza exclusivamente para las llegadas/salidas.

Desde el punto de vista del número de trenes que llegan/salen, es posible satisfacer las necesidades de llegada/salida con una (1) vía, pero para tener un margen suficiente, se arregla una (1) vía de llegada y una (1) vía de salida. Aunque la longitud efectiva depende del constante de remolque en la estación, del Cuadro 6 se calcula como sigue:

- Cuando el manejo de trenes es mayor en dirección hacia las estaciones de Cochabamba y San Pedro

Trenes de carga ... 5,

Número de vagones de carga ... 65 al día

Número promedio de vagones por 1 tren ...

$$65 \div 5 = 13 \text{ (17)}$$

20 m (largo de la locomotora) x 2 (doble locomotora)

+ 15 (17) vagones x 13 m + 20 m (largo marginal)

$$= \text{más de } 255 \text{ m (281 m)}$$

- Cuando el manejo de trenes es mayor en dirección hacia las estaciones de Guaracachi y Quijarro

Trenes de carga ... 2,

Número de vagones de carga ... 65 al día

Número promedio de vagones por 1 tren ...

$$41 \div 2 = 20,5 = 21 \text{ (28)}$$

20 m (largo de la locomotora) + 21 (28) vagones

x 13 m + 20 m (largo marginal) = más de 313 (404) m



b) Vías de clasificación

Este grupo de vías se determina de acuerdo con el número de direcciones de destino.

2 direcciones

Estaciones de Cochabamba - San Pedro y Aiquile

3 direcciones

Estaciones de Guaracachi - Quijarro, Yacuiba y Yapacani

$$n \leq \sqrt{S + 1} \quad S = \text{Número de direcciones}$$

A base de la fórmula anterior, ambas estaciones son de 3 vías. Sin embargo, como en el caso de ENFE es necesario pasar por la Aduana, se le agrega una vía en cada estación, sumando 4 vías en total.

En lo que se refiere a la extensión de las vías de clasificación, es necesario calcular el total de los vagones de carga que llegan/salen al día, inclusive los vagones vacíos. El número de vagones que se manejan en ambas estaciones es como sigue:

Estación de Cochabamba ..... 142 vagones

Estación de Guaracachi ..... 108 vagones

$$L = \frac{W \times I}{(1 - \alpha) \times \beta \times m}$$

donde: L: Extensión total de las vías de clasificación

W: Número promedio de vagones de carga que se manejan al día

I: Largo del vagón de carga (13,00 m)

$\alpha$ : Porcentaje de margen de maniobras (0,2 - 0,3)

$\beta$ : Coeficiente de trabajo (aprox. 0,75)

m: Tasa de utilización del vagón de carga  
(promedio - 3 veces)

• Estación de Cochabamba

$$L = \frac{142 \times 13}{(1 - 0,2) \times 0,75 \times 3} = 1.025,6 \div 4 \text{ vías}$$
$$= 256,4 \div 13 = 19,7 \approx 20 \text{ vagones}$$

$$\text{Por una (1) vía} \dots\dots 20 \times 13 + 10 = 270 \text{ m}$$

• Estación de Guaracachi

$$L = \frac{108 \times 13}{(1 - 0,2) \times 0,75 \times 3} = 780,0 \div 4 \text{ vías}$$
$$= 195,0 \div 13 \approx 15,0 \text{ vagones}$$

$$\text{Por una (1) vía} \dots\dots 15 \times 13 + 10 = 205 \text{ m}$$

c) Vía tiradero

Esta es más fácil de utilizar cuando es del mismo largo que el largo efectivo de las líneas de llegada/salida. Por lo cual, a la extensión del tren que se decide a base del constante de remolque alrededor de la estación se le agrega la distancia marginal y se obtiene el largo necesario.

d) Vías de estacionamiento

Considerando el plan de transporte, debido a que hay muchos vagones vacíos, estos se acomodarán en las vías de estacionamiento.

Estación de Cochabamba

$$60 \text{ vagones} \times 13 \text{ m} = 780 \text{ m} \div 2 \text{ vías} = 390 + 10 = 400 \text{ m}$$

Estación de Guaracachi

$$34 \text{ vagones} \times 13 \text{ m} = 442 \text{ m} \div 2 \text{ vías} = 221 + 10 = 231 \text{ m}$$

(3) Distribución de vías

Considerando los datos básicos así como los valores calculados, el plan de distribución de vías es como se indica en las *Figs. 6 y 7*.

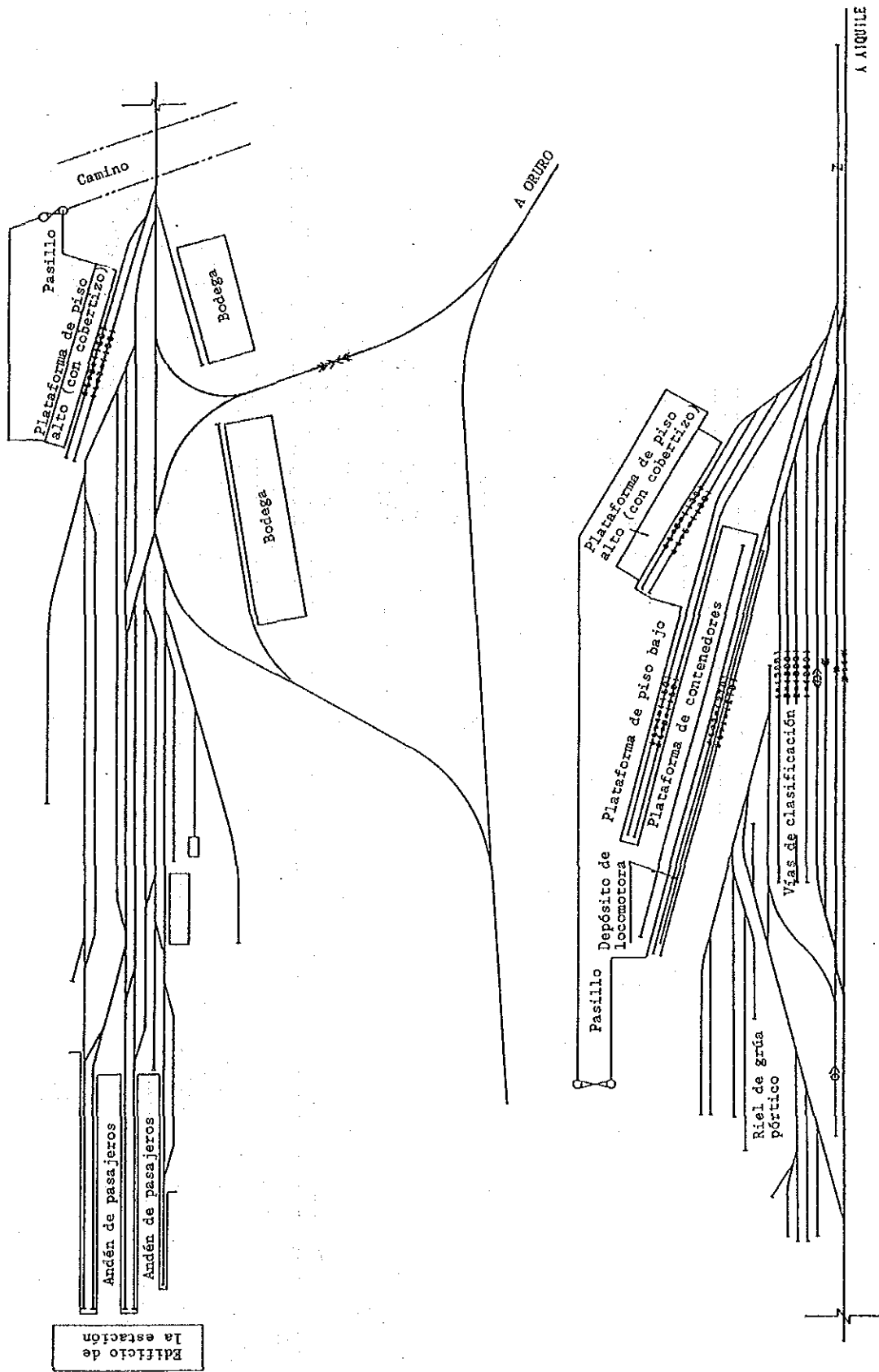


Fig. 6 Diagrama de Distribución de Vías (Instalaciones Intermodales) en la Playa de la Estación de Cochabamba

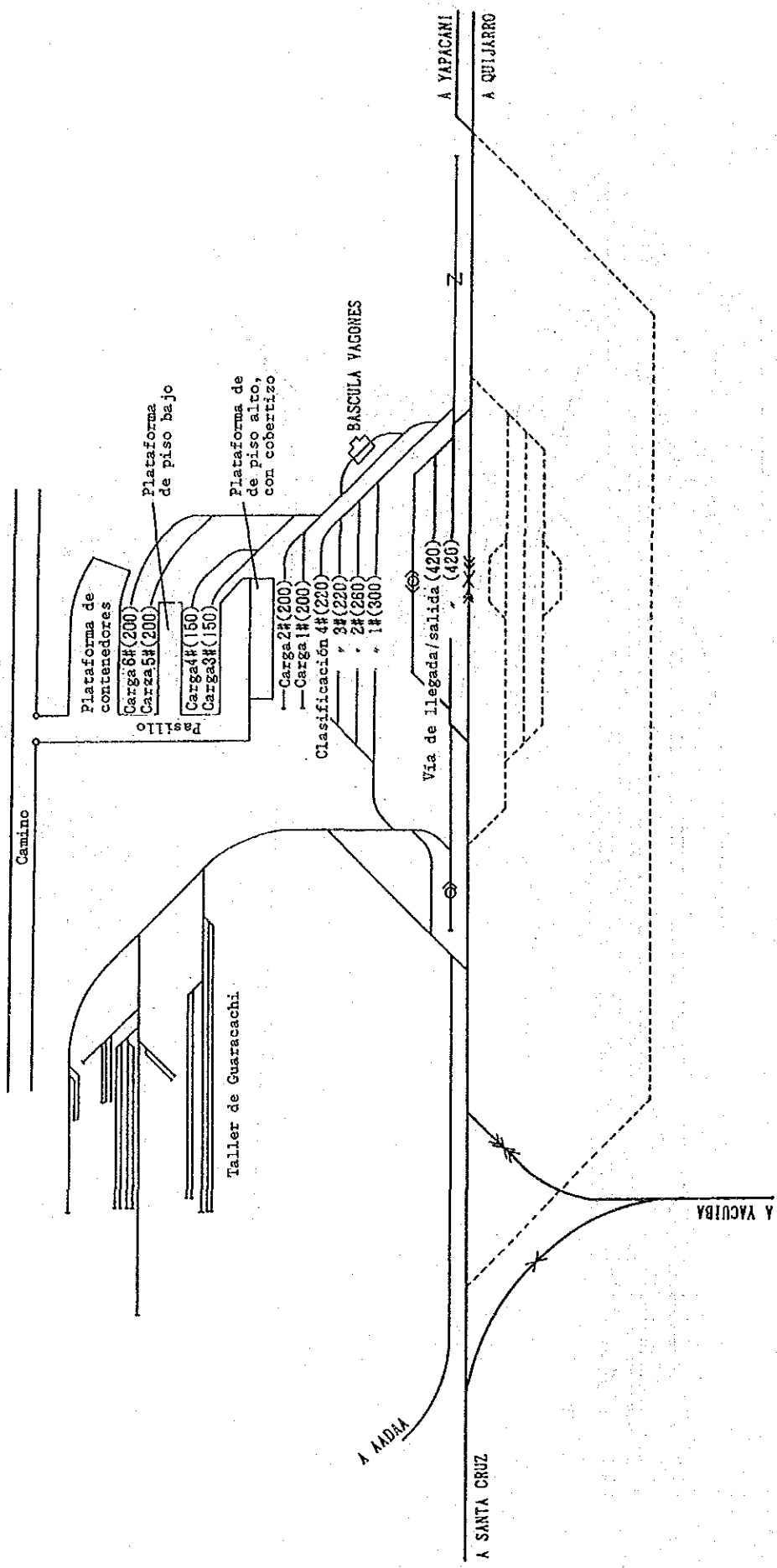


Fig. 7 Diagrama de Distribución de Vías (Instalaciones Intermodales) en la Playa de la Estación de Guaracachi

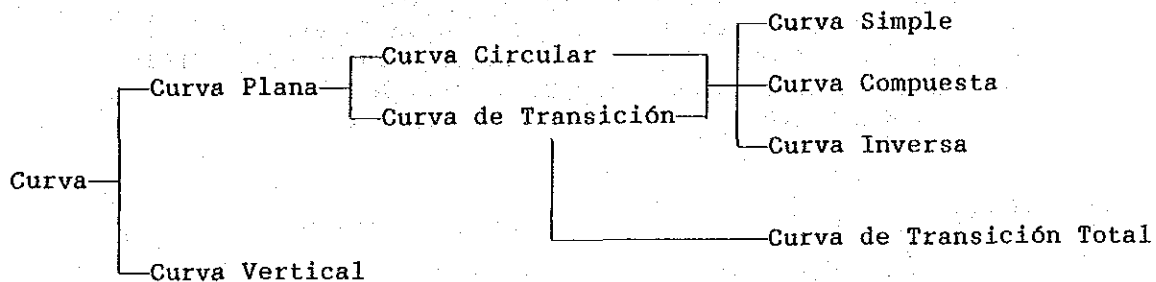
## APENDICE 11-6 CURVA Y VELOCIDAD PERMISIBLE

### 1. Curva

#### 1.1 Clases y Nombres de Curvas

Las curvas se dividen en dos clases principales: curva plana y curva vertical. Las curvas planas se dividen en curva circular y curva de transición, y según la forma de las mismas, se clasifican aún más en curva simple, curva compuesta, curva inversa y curva de transición total. (Cuadro 1)

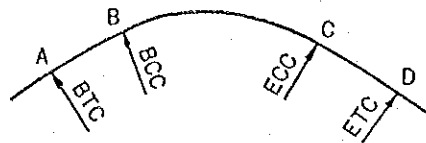
Cuadro 1 Clases de Curva



En caso de las curvas cercanas al aparato de cambio de vía, se clasifican especialmente en curvas de desviación e incidental a cambiavía que se produce detrás del cambiavía.

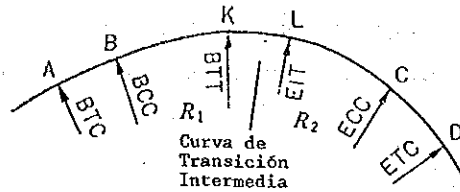
Los nombres de las partes de la curva son como se muestra en *Fig. 1*.

(a) Curva Simple



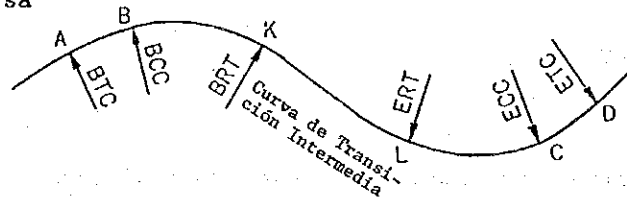
- A = Punto de Comienzo Curva de Transición = BTC
- B = Punto de Comienzo Curva Circular = BCC
- C = Punto de Término Curva Circular = ECC
- D = Punto de Término Curva de Transición = ETC

(b) Curva Compuesta



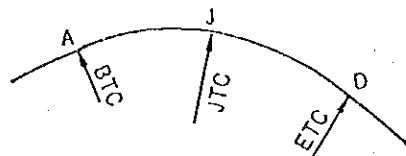
- A = Punto de Comienzo Curva de Transición = BTC
- B = Punto de Comienzo Curva Circular = BCC
- K = Punto de Comienzo Curva de Transición Intermedia = BIT
- L = Punto de Término Curva de Transición Intermedia = EIT
- C = Punto de Término Curva de Circular = ECC
- D = Punto de Término Curva de Transición = ETC

(c) Curva Inversa



- A = Punto de Comienzo Curva de Transición = BTC
- B = Punto de Comienzo Curva de Circular = BCC
- K = Punto de Comienzo Curva de Transición Inversa = BRT
- L = Punto de Término Curva de Transición Inversa = ERT
- C = Punto de Término Curva Circular = ECC
- D = Punto de Término Curva de Transición = ETC

(d) Curva de Transición Total



- A = Punto de Comienzo Curva de Transición = BTC
- J = Punto de Unión Curva de Transición = JIT
- D = Punto de Término Curva de Transición = ETC

Fig. 1 Nombre de Cada Parte de la Curva

## 1.2 Modo de Expresar de una Curva

La curvatura de la curva circular se expresa generalmente mediante el radio del eje de la vía. Pero, en EE.UU. y algunos países se adopta el modo de expresarla mediante el ángulo central en relación con una cuerda de longitud determinada (100 pies). La relación entre ambos es como sigue (Fig. 2):

$$R = \frac{L}{2} \operatorname{Cosec} \frac{\theta}{2}$$

donde R : Radio de Curva

L : Longitud de Cuerda

$\theta^\circ$  : Angulo Central

Siendo de L = 100 pies, la relación entre  $\theta^\circ$  y R es:

$$R = 15,24 \operatorname{Cosec} \frac{\theta^\circ}{2} \text{ (m)}$$

Aproximadamente es:

$$R = \frac{1746,38}{\theta^\circ} \text{ (m)}$$

En este caso,  $\theta^\circ$  se llama también grado de curvatura.

Grado de Curvatura (D)		Radio (R)	
0°30'		3,492.8m	
	0°35'		3,000m
	0°52'		2,000
1°00'		1,746.4	
	1°10'		1,500
1°30'		1,164.3	
	1°44'		1,000
2°00'		873.2	
	2°11'		800
2°30'		698.6	
	2°11'		600
3°00'		582.2	
	3°30'		500
3°30'		499.0	
4°00'		436.7	
	4°22'		400
4°30'		388.2	
5°00'		349.4	
5°30'		317.6	
	5°30'		300
6°00'		291.2	
7°00'		249.7	
8°00'		218.5	
	8°44'		200
9°00'		194.2	
10°00'		174.9	
11°00'		159.0	
12°00'		145.8	

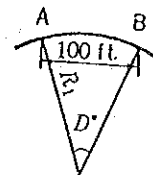


Fig. 2 Grado de Curvatura y Radio de Curva

### 1.3 Radio de Curva

#### 1.3.1 Reglamento en Japón

Al construir una vía ferroviaria, es natural e indiscutiblemente deseable que tenga el mayor radio de curva y pocas curvas y sea lo más recta posible desde el punto de vista de la operación, explotación y mantenimiento de la vía.

Ya que el tamaño del radio de curva influye inmediatamente en el límite de la velocidad, llega a requerirse naturalmente un mayor radio de curva a medida que se demanda mayor velocidad. Pero, hay también casos en que deben usarse pequeños radios de curva debido a la topografía, obstáculos, etc.

De todas maneras, el tamaño del radio de curva repercute en los costos de construcción, mejoramiento, etc. Tomándolos en consideración, se establecen los radios de curva según la categoría de vía. (Cuadro 2)

*Cuadro 2 Radio de Curva según Categoría de Vía*

	Línea Clase 1	Línea Clase 2	Línea Clase 3	Línea Clase 4
Curva de la Vía Principal	800 (400)	600 (300)	400 (250)	300 (200)
Curva Incidental a Cambiavía	460 (240)	320 (160)	240 (160)	160 (100)
Curva detrás del Aparato de Cambio	Mayor que la curva de desviación			
Curva a lo largo del Andén	800 (500)	600 (500)	500 (400)	400 (300)

(Nota) Las cifras intercaladas entre paréntesis muestran el límite de la reducción que se permite sólo según la situación de la vía o en caso inevitable.



### 1.3.2 Normas en Otros Países

Las normas del radio de curva de los ferrocarriles principales del mundo son como se muestra en Cuadro 3.

**Cuadro 3 Radio Mínimo de Curva en Diversos Países Extranjeros**

Alemania	Francia	Inglaterra	EE.UU.
Línea Troncal: 180 m	Tramo de Vías de 160km/h: 1.000 m (París-Lyon, París-Burdeos, etc.) Tramo de Vías entre Montañas: 250 m	Línea Principal: 805 m (2.640 pies)	Línea Troncal Principal 10° (75 m)
Ramal: 180 m	Desvío (en Patio de Estación): 150 m	Desvío: 201 m (600 pies)	(AREA)*

\* Se muestra el ángulo central en relación con la cuerda de 100 pies (30,5 m). Existe la siguiente relación entre el ángulo  $\theta$  (grado) y el radio de curva R (m):  $R \approx 1.746,38/\theta$

## 1.4 Sobreancho

### 1.4.1 Necesidad del Sobreancho

En cuanto a la situación en que los carros pasan por vías en curva, se considera que, para pasar por la mínima curva, es necesario que cada rueda forme un ángulo recto con la vía, es decir el eje esté dirigido hacia el centro de la curva. Además, ya que en realidad dos ejes por lo menos están fijados al bastidor, al pasar por la curva, no es posible que cualquiera o ambos de los dos ejes formen ángulo recto con la vía. Por consiguiente, los carros marchan manteniendo las ruedas en cierto ángulo con el riel. Cuanto mayor es la distancia entre ejes, tanto más aumenta el ángulo que la rueda forme con el riel. La distancia entre ejes entonces se llama la separación de los ejes fijos extremos. En caso de que dicha separación sea demasiado pequeña, los coches traquetean demasiado. Al contrario, en caso de que sea demasiado grande, como se ha mencionado antes, el ángulo que forme con el riel al pasar por la curva se hace grande, resultando que no pueden marchar suavemente con las ruedas rechinando. Por eso, según el

grado de curva la trocha está más ensanchada en vías en curva que en vías en recta. Este ensanchamiento de la trocha en vías en curva se llama sobreancho.

#### 1.4.2 Fórmula del Sobreancho

##### (1) Máximo Sobreancho

Viendo la relación entre la dirección de los ejes y la del centro de curva cuando coches de dos ejes pasan por vías en curva, como se muestra en *Fig. 3*, se considera generalmente que la línea recta trazada en paralelo con el eje a  $3/4$  de la distancia desde el eje delantero de la separación de los ejes fijos extremos coincide con el centro de curva. Ahora, vamos a ver un caso en que marchan poniendo sólo pestañas exteriores de las ruedas delanteras en contacto con los rieles de vía exterior

$$(L/2)^2 = R - (R - S_1)^2$$

donde  $R_0 \doteq R$

$$\begin{aligned} \therefore (L/2)^2 &= (2R - S_1)S_1 \\ &\doteq 2RS_1 \end{aligned}$$

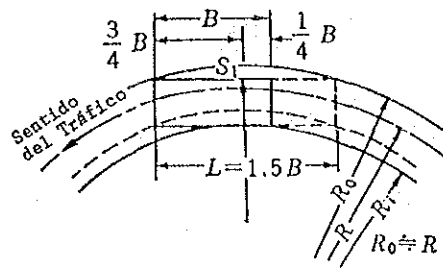
$$\therefore S_1 = \frac{(L/2)^2}{2R} = \frac{L^2}{8R}$$

Ya que en líneas de trocha angosta se fija la separación de los ejes fijos extremos  $I = 4,6$  m,

$$L = 4,6 \times \frac{3}{4} \times 2 = 6,9 \text{ m}$$

Por eso, será:

$$S_1 = \frac{L^2}{8R} = \frac{6,9^2}{8R} \doteq \frac{6}{R} \text{ (m)} = \frac{6000}{R} \text{ (mm)}$$



**Fig. 3 Máximo Sobreancho**

En vías reales hay un paso libre entre ruedas y rieles, así que no tienen inconveniente en pasar sin sobreancho en la curva en la medida correspondiente a dicho paso libre. El valor de este paso libre, considerado en la máxima distancia de 1.054 mm entre superficies exteriores de la pestaña de rueda, será de 13 mm en caso de la trocha normal de 1.067 mm y de 9 mm aun en caso de la mínima trocha de 1.063 mm. Generalmente hay un paso libre de unos 10 mm. Por consiguiente, deduciendo su mitad más o menos, se ha fijado el valor de la fórmula siguiente como el máximo sobreancho:

$$S = \frac{6000}{R} - 5 \text{ (mm)}$$

En otras palabras, dicha fórmula expresa un valor que no necesite mayor sobreancho.

## (2) Mínimo Sobreancho

Luego, vamos a ver un caso en que cuando coches de dos ejes pasan por la curva, marchan poniendo tanto la pestaña exterior de la rueda delantera como la pestaña interior de la rueda trasera en contacto con los rieles exteriores e interiores respectivamente.

Como se ha mencionado anteriormente, suponiendo que la línea recta trazada en paralelo con el eje a 3/4 de la distancia desde la rueda delantera de la separación de los ejes fijos extremos coincida con el centro de curva, se calcula un intervalo S entre la pestaña exterior de rueda trasera y el riel de vía exterior. Según Fig. 4,

$$S_1 = \frac{[\frac{3}{4}B]^2}{2R}, \quad S_2 = \frac{[\frac{1}{4}B]^2}{2R}$$

donde  $R_o \doteq R,$   
 $R_i \doteq R$

De  $S = S_1 - S_2$

$$S = \frac{B^2}{4R}$$

Como es  $l = 4,6$  en líneas de trocha angosta,

$$S = \frac{B^2}{4R} = \frac{4,6^2}{4R} \doteq \frac{5,3}{R} \text{ (m)} = \frac{5300}{R} \text{ (mm)}$$

Deduciendo la totalidad de dicho paso libre de 10 mm, se obtiene el mínimo sobreeancho según la fórmula siguiente:

$$S = \frac{5300}{R} - 10 \text{ (mm)}$$

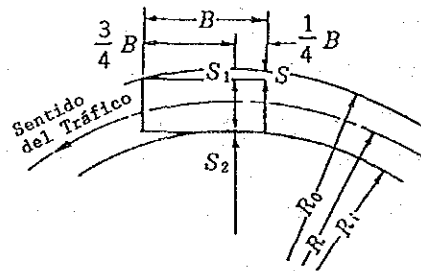


Fig. 4 Mínimo Sobreeancho

### (3) Valor de Utilización de Sobreeancho

Como se muestra en el Cuadro 4, se han fijado los sobreeanchos en unidades de 5 mm convenientemente, entre el máximo (1) y el mínimo valor (2).

En caso de que se necesiten curvas circulares superiores a 600 m de radio, se puede poner un sobreeancho de 5 mm.

Cuadro 4 Sobreeancho

Radio de la Curva (m)	Sobreeanchos (mm)
$R < 200$	25
$200 \leq R < 240$	20
$240 \leq R < 320$	15
$320 \leq R < 440$	10
$440 \leq R \leq 600$	5

(4) Ejemplo en Varios Países

Los ejemplos de sobreanchos en varios países (trocha normal) son como se muestra en Cuadro 5.

**Cuadro 5 Sobreanchos de los Ferrocarriles en Varios Países**

Nombre de Ferrocarril		Sobreancho	
Ferrocarriles Nacionales	Alemania	$R \geq 300$	$S = 0 \text{ mm}$
		$300 > R \geq 200$	5
		$200 > R \geq 150$	10
		$150 > R \geq 120$	15
		$120 > R \geq 100$	20
	Francia	$R \geq 600$	$S = 0 \text{ mm}$
		$600 > R \geq 400$	8
		$400 > R \geq 200$	18
		$200 > R$	28
Inglaterra	$R \geq 203$	$S = 0 \text{ mm}$	
	$203 > R \geq 150$	6,4	
	$105 > R \geq 110$	12,7	
	$110 > R$	19,25	
Metros	Toronto	$198 \geq R$	$S = 63 \text{ mm}$
	Londres	$S = \frac{3.472 I^2}{R}$	$I =$ Longitud de la Curva de Transición
	París	$500 \geq R$	$S = 15 \text{ mm}$
	Línea Marunouchi	$S = 2.250/R$	

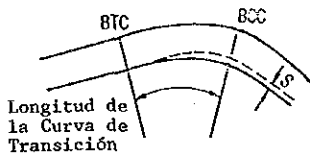
### 1.4.3 Manera de Poner Sobreancho

El sobreancho se pone ensanchando la trocha hacia el interior de la curva en base al riel exterior.

El decrecimiento gradual del sobreancho se hace en la longitud total de la curva de transición, y será igual a la distancia gradual del peralte en el caso de sin curva de transición. En caso de que no haya peralte, se tiene por norma decrecerlo gradualmente en más de 5 m.

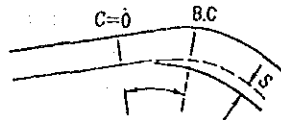
En Fig. 5 se ilustran maneras de decrecer sobreanchos gradualmente en varios casos.

Curva Simple  
(Caso con curva de transición)



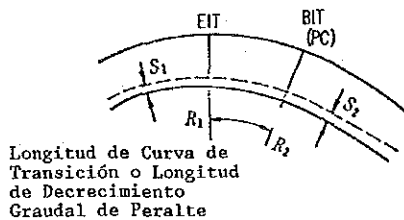
S = Sobreancho

Curva Simple  
(Caso sin curva de transición)



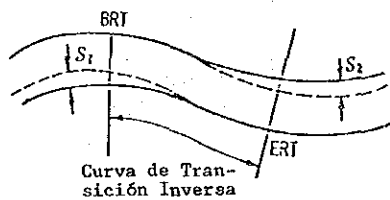
S = Sobreancho

Curva Compuesta



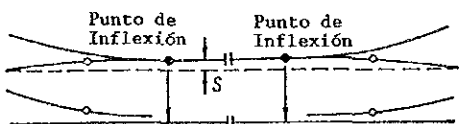
$S_1, S_2$  = Sobreancho

Curva Inversa

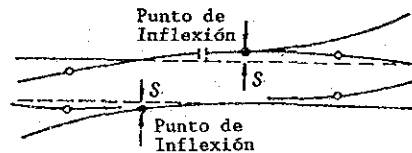


$S_1, S_2$  = Sobreancho

Sobreancho entre aparatos de cambio que se enfrentan uno a otro



S = Sobreancho



S = Sobreancho

Fig. 5 Manera de Poner Sobreancho

## 2. Peralte

### 2.1 Necesidad de Peralte

Cuando circular trenes por vías en curva a determinada velocidad, actúa la fuerza centrífuga hacia el lado exterior. Si se deja tal como está, se ejercen malas influencias como las siguientes:

- (1) en caso extremo, los coches vuelcan hacia el lado exterior
- (2) los Pasajeros, arrastrados hacia el lado exterior, se sienten incómodos
- (3) Tanto la carga por eje como la fuerza lateral cargan más sobre el riel exterior, conduciendo al aumento de trabajo en el mantenimiento de la vía

Para evitar esto, se hace el riel exterior más alto que el interior, lo cual se llama dar peralte. Su magnitud se llama cantidad de peralte.

En Japón, la diferencia de altura entre riel exterior e interior en la vía de trocha normal de 1.067 mm se define habitualmente como la cantidad de peralte. Sin embargo, en caso de la trocha normal, mundialmente se define la cantidad de peralte más o menos como la diferencia de altura en relación con la distancia entre ejes de 1.500 mm del riel exterior e interior.

### 2.2 Teoría del Peralte

#### 2.2.1 Peralte de Equilibrio

Viendo el caso en que los coches pasan por un vía en curva de radio  $R$  (m) a una velocidad  $V$  (km/h), actúa una fuerza centrífuga hacia el lado exterior de la curva.

Consecuentemente, se puede considerar que como se muestra en la Fig. 6, la resultante del peso de coche y de la fuerza centrífuga actúa sobre el centro de gravedad del coche. Su sentido será hacia el lado exterior que el eje de la vía en caso de alta velocidad y hacia el lado interior que el eje en caso de baja velocidad.

Suponiendo que la superficie de vía esté inclinada por un peralte  $C$  (mm), se calcula el componente de aceleración lateral  $MR = p$  paralelo a la superficie de la vía que se produzca por la resultante  $OR$ .

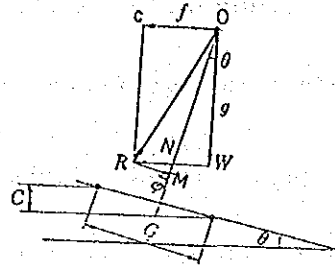


Fig. 6 Peralte

Velocidad del Tren

$$v = \frac{V}{3,6} \text{ (m/sec)}$$

Aceleración Centrífuga

$$f = \frac{v^2}{R} = \frac{1}{R} \left[ \frac{V}{3,6} \right]^2 = \frac{V^2}{13R} \text{ (m/sec)}$$

Aceleración de la Gravedad  $g = 9,80 \text{ (m/sec}^2\text{)}$

$$\overline{WN} = g \tan \theta$$

$$\therefore \overline{NR} = f - \overline{WN} = \frac{V^2}{13R} - g \tan \theta$$

$$\overline{MR} = \overline{NR} \cos \theta = \left[ \frac{V^2}{13R} - g \tan \theta \right] \cos \theta$$

Como  $\theta$  es pequeño,  $\tan \theta \cong \sin \theta$ ,  $\cos \theta \cong 1$ ,  $\sin \theta = C/G$ . Por eso,

$$\therefore p = \overline{MR} = \frac{V^2}{13R} - \frac{C}{G} g \text{ (m/sec}^2\text{)}$$

Expresando ésta con unidad de aceleración  $g$ ,

$$\alpha = \frac{p}{g} = \frac{V^2}{127R} - \frac{C}{G} \text{ (g)}$$

En caso de que esta aceleración lateral sea de 0 ( $p = 0$ ), es el estado más deseable en que la resultante de la aceleración centrífuga y de la aceleración de la gravedad se vuelve hacia el eje de la vía. El peralte entonces se llama "peralte de equilibrio".



Es decir, en caso de  $p = 0$

$$\frac{V^2}{13R} = \frac{C}{G} g$$

$$C = \frac{GV^2}{127R}$$

En caso de  $G = 1.067$  mm

$$C = 8,4 \frac{V^2}{R}$$

En caso de  $G = 1.000$  mm

$$C = 7,9 \frac{V^2}{R}$$

La que expresa la relación en líneas de trocha angosta es la Lista de Peraltes, que se muestra en el *Cuadro 6*.

Esta aceleración lateral se llama también la fuerza centrífuga de desequilibrio. En caso de que  $p$  sea positiva (+), obra la aceleración hacia el lado exterior, lo cual significa la falta de peralte en relación con la velocidad de pasada, llamándose fuerza centrífuga excedente. En caso de que  $p$  sea negativa (-), obra la aceleración hacia el lado interior, lo que significa el exceso de peralte en relación con la velocidad de pasada.

En realidad, pasan muchos trenes de diferentes velocidades. Por eso, al establecer el peralte, la cuestión consiste en pensar en varios valores según las velocidades. El modo de determinar velocidad se describirá en 2.2.2. De todas maneras, al establecer un peralte equilibrado con cierta velocidad, en caso de trenes de más alta velocidad que la misma, es necesario determinar la aceleración para que la aceleración lateral hacia el exterior, o sea la fuerza centrífuga excedente esté dentro de cierto límite. Al contrario, en caso de trenes que pasen a más baja velocidad que la misma, se debe determinar el peralte establecido para que la aceleración lateral hacia el interior esté dentro de cierto límite.





Cuadro 6 Peralte

Radio (m)	Velocidad Media (km/h)																											
	100	110	110	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	320	340	360	380	400	420	440
10	5	8	7	7	6	6	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
12	12	11	10	9	9	8	8	7	7	6	6	6	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
14	16	15	14	13	12	11	10	10	9	9	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5	5	5	4	4	4	4
16	22	20	18	17	15	14	13	13	12	11	11	10	10	9	9	9	8	8	8	7	7	7	6	6	6	5	5	5
18	29	25	23	21	19	18	17	16	15	14	14	13	12	12	11	11	10	10	9	9	9	8	8	8	7	7	7	6
20	34	31	28	26	24	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	13	12	12	11	11	10	9	9	8	8	8	8	8
22	41	37	34	31	29	27	25	24	23	21	20	19	18	18	17	16	15	14	14	13	12	11	11	10	10	9	9	
24	48	44	40	37	35	32	30	28	27	25	24	23	22	21	20	19	18	17	17	16	15	14	13	13	12	12	11	
26	57	52	47	44	41	38	35	33	32	30	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	14	13	
28	66	60	55	51	47	44	41	39	37	35	33	31	30	29	27	26	25	24	24	23	22	21	19	18	17	16	15	
30	76	69	63	58	54	50	47	44	42	40	38	36	34	33	32	30	29	28	27	26	25	24	22	21	20	19	18	
32																												
34																												
35																												
36																												
38																												
40																												
42																												
44																												
45																												
46																												
48																												
50																												
52																												
54																												
55																												
56																												
58																												
60																												
62																												
64																												
65																												
66																												
68																												
70																												
72																												
74																												
75																												
76																												
78																												
80																												
82																												
84																												
85																												
86																												
88																												
90																												
92																												
94																												
95																												
96																												
98																												
100																												
102																												
104																												
105																												
106																												
108																												
110																												
112																												
114																												
115																												
116																												
118																												
120																												

**[Observaciones]**

1. En caso de que el radio esté entre los descritos en esta lista, se usará el peralte para un menor radio.
2. En caso de que la velocidad esté entre las descritas en esta lista, se usará el peralte para una mayor velocidad.
3. El máximo peralte será de 105 mm, y las cifras intercaladas entre los paréntesis se describen para examinar la cantidad faltante para trenes que marchen a la máxima velocidad.
4. Los peraltes en marcos en líneas de puntos son velocidades más altas por 5 km/h que las fijadas por el Reglamento de Normas de Manejo Operativo (Aviso del Ministerio de Transportes No.33 de diciembre de 1964).

460	480	500	520	540	560	580	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2500	3000	4000	6000	10000	
																												10
3	3																											12
4	3	3	3	3	3	3	3	3																				14
5	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3															16
6	6	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3											18
7	7	7	6	6	6	6	6	6	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3										20
8	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3								22
9	10	10	9	9	9	8	8	8	7	7	6	6	6	6	5	5	5	4	4	4	3	3						24
12	12	11	11	11	10	10	9	9	8	8	7	7	6	6	6	5	5	4	4	4	3	3						26
14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4	4	4	3	3					28
16	16	15	14	14	13	13	12	11	10	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4	4	4	3	3					30
19	18	17	16	15	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4	4	3	3					32
21	20	19	18	17	17	16	15	14	13	12	11	11	10	10	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4	3	3		34
22	22	21	20	19	18	18	17	16	15	14	13	12	11	11	10	9	8	8	7	6	6	5	5	4	3	3		35
24	23	22	21	20	19	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	6	6	5	5	4	3	3		36
26	25	24	23	22	22	21	20	19	17	16	15	14	13	12	11	10	9											



## 2.2.2 Modo de Determinar la Velocidad

Como se ha mencionado en 2.2.1, los peraltes son determinados según el radio de curva y la velocidad de pasada, pero generalmente los trenes pasan por la curva a diversas velocidades. Por eso, al determinar el peralte, el problema es cómo se determina la velocidad media.

Para calcular la velocidad media, hay unas fórmulas que se usan actualmente como sigue. Empleando cualquiera de esas fórmulas, no hay gran diferencia. Pero, de todas maneras es necesario verificar la cantidad faltante de peralte en caso de la máxima velocidad.

Las fórmulas principales para calcular la velocidad media son:

### (1) Método de la Media Cuadrática

$$V_0 = \sqrt{\frac{\sum Vi^2}{N}}$$

$V_0$ : Velocidad Media (km/h)

$V_i$ : Velocidad del Tren (km/h)

$N$ : Número de Trenes

En realidad, es más fácil de calcularla como sigue:

$$V_0 = \sqrt{\frac{\sum niVi^2}{\sum ni}}$$

$V_0$ : Velocidad Media (km/h)

$ni$ : Número de Trenes por Clase de Trenes

$V_i$ : Velocidad por Clase de Trenes (km/h)

### (2) Método de Dar Peso sobre Trenes de Alta Velocidad

$$V_0 = \sqrt{\frac{\sum winiVi^2}{\sum wini}}$$

$V_0$ : Velocidad Media (km/h)

$ni$ : Número de Trenes por Clase de Trenes

$V_i$ : Velocidad por Clase de Trenes (km/h)

$wi$ : Peso por Clase de Trenes

### (3) Método de Máxima y Mínima Media Cuadrática

$$V_0 = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2}{2}}$$

$V_0$ : Velocidad Media (km/h)

$V_1$ : Máxima Velocidad del Tren (km/h)

$V_2$ : Mínima Velocidad del Tren (km/h)

Como se ha mencionado arriba, hay diversas fórmulas para calcular la velocidad media, pero generalmente se usa el Método de la Media Cuadrática. De todos modos, no hay actualmente velocidad de diseño ideal que considere la seguridad de la operación, la comodidad, la conservación de la vía, etc.

## 2.3 Peralte

### 2.3.1 Máxima Cantidad de Peralte

Se determina la máxima cantidad de peralte considerando lo siguiente: en caso de que los coches paren o marchen en curvas peraltadas, será bastante seguro para que los coches no se vuelquen hacia el interior debido al viento del lado exterior de curva y no causar molestias a los pasajeros debido a la inclinación de la carrocería en la parada o marcha a baja velocidad.

El vuelco hacia el interior de los coches se estudia sencillamente como sigue:

En Fig. 7, siendo:

$H$  = Altura del Centro de Gravedad del Coche

$C$  = Peralte

$G$  = Trocha

$$\frac{x}{H} = \frac{C}{G} \quad \therefore C = \frac{x}{H} G$$

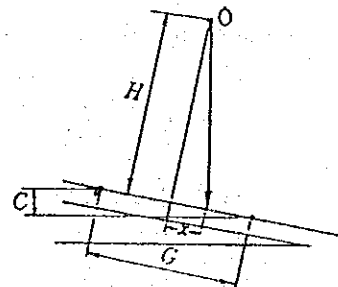


Fig. 7 Máxima Peralte

Para mantener x dentro de los límites de G/6, tomando el coeficiente de seguridad contra el vuelco hacia el interior de los coches como 3, es necesario que se constituya la fórmula siguiente:

$$C \leq \frac{G^2}{6H}$$

En caso de G = 1.067 mm y H = 1.700 mm, será:

$$C \leq \frac{1067^2}{6 \times 1700} \approx 112 \text{ mm}$$

En caso de G = 1.000 mm y H = 1.700 mm, será:

$$C \leq \frac{1000^2}{6 \times 1700} \approx 98 \text{ mm}$$

Considerando varios pasos libres para éstos, se ha determinado la máxima cantidad de peralte como C = 105 mm (C = 90 mm).

### 2.3.2 Manera de Dar Peralte

#### (1) Principio y Manera de Dar Peralte

En cuanto al peralte, se ha fijado la manera de darlo, dejando generalmente el riel interior tal como está y elevando el riel exterior sólo por una cantidad dada de peralte. Esto no tiene relación con la altura del asiento de la vía y el espesor del lecho de la vía y es solamente para facilitar la ejecución de los trabajos. Pero, en casos especiales tales como el de curva de transición continua sin tener rectas intermedias, se eleva el riel exterior y se baja el riel interior respectivamente por 1/2 del peralte.

#### (2) Manera de Dar Peralte en Cambio en Curva y en Puentes

En cuanto a la manera de dar peralte en cambio en curva, se tiene por regla dar el peralte requerido en el lado de línea principal del cambiavía, pero en caso del cambiavía en el exterior de una curva, se fija el peralte requerido en menos de 40 mm. Esto es debido a que se ha considerado principalmente la comodidad de los pasajeros de los



trenes que pasen por el lado de línea principal del cambiavía. Especialmente, en caso del cambiavía en el exterior de una curva, la cantidad misma de peralte dado en el lado de línea principal del cambiavía se convierte en peralte inverso en el lado del ramal desviado. Por eso, es natural que se deba limitar también el peralte a darse en el lado de la línea principal del cambiavía. (Refiérase a 2.4.1)

En cuanto al peralte en puentes, excepto puentes de armadura y sus equivalentes, se puede dar su 1/2 en el asiento de puente. En vigas armadas y vigas I, se puede dar la totalidad del peralte en el asiento del puente.

## 2.4 Deficiencia de Peralte

### 2.4.1 Máxima Deficiencia de Peralte

$$Cd = \frac{b}{g} G = \frac{GV^2}{127R} - C$$

Esta fórmula expresa la relación entre la fuerza centrífuga de desequilibrio y la deficiencia de peralte. Se puede entender que si se dá un peralte equivalente a la cantidad deficiente del mismo, desaparecerá la fuerza centrífuga de desequilibrio. Esta CD se llama la deficiencia de peralte. Se determina el límite de la máxima deficiencia de peralte considerando: el límite que no moleste la comodidad de los pasajeros debido a la fuerza centrífuga excedente cuando los coches pasan por la curva, y además, la seguridad de que los coches no se vuelquen hacia el exterior debido a su traqueteo y al viento del interior de la curva.

En cuanto al vuelco hacia el exterior de los coches, se estudia sencillamente como sigue: En Fig. 8, si son:

- H = Altura del Centro de Gravedad del Coche
- G = Trocha
- C = Peralte

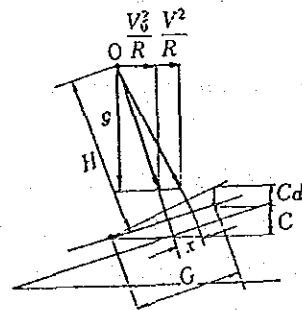


Fig. 8 Deficiencia de Peralte

y si la velocidad equilibrada en relación con el peralte  $C$  es  $V_0$ ,

$$C = \frac{GV_0^2}{127R}$$

En caso de que pasen a la velocidad  $V$ , asimismo se constituye la relación siguiente:

$$C + Cd = \frac{GV^2}{127R}$$

Por consiguiente,

$$\frac{Cd}{G} = \frac{1}{127R} (V^2 - V_0^2)$$

Si se expresa con  $x$  la desviación de la resultante de la fuerza centrífuga y del peso desde el centro de la vía, se obtiene de dicha figura la siguiente fórmula:

$$\frac{Cd}{G} = \frac{x}{H}$$

Por lo tanto,

$$x = \frac{1}{127R} (V^2 - V_0^2)H$$

Considerando diversas condiciones, se ha fijado esta desviación  $x$  para que quede dentro de  $(1/8)G$ .

En resumen,

$$\frac{1}{8} G \geq (V^2 - V_0^2) \frac{H}{127R}$$

Si se expresa la deficiencia de peralte con  $Cd$ ,

$$Cd \leq \frac{G^2}{8H}$$

En caso de  $H = 1.700 \text{ mm}$ ,

$$Cd \leq \frac{1067^2}{8 \times 1700} = 84 \text{ mm}$$

$$Cd \leq \frac{1000^2}{8 \times 1700} = 74 \text{ mm}$$

Aunque se calculan dichos valores, en realidad se han establecido como límite de deficiencia de peralte 50 mm (45 mm) para trenes generales y 60 mm (55 mm) para trenes eléctricos y coches Diesel, considerando el viento lateral, la influencia de las ballestas del coche, la comodidad de los pasajeros, etc.

### 3. Curva de Transición

#### 3.1 Necesidad de la Curva de Transición

En los trenes que marchan por la curva circular obra una fuerza centrífuga hacia el exterior. Para equilibrarla, se da generalmente un peralte. Al trasladarse de una línea recta a una curva circular, se debe dar un peralte de bastante longitud. El peralte va cambiando regular y gradualmente en este trayecto peraltado. Como el peralte es proporcional a la curvatura, se necesita una curva especial cuya curvatura también cambie simultáneamente según el cambio de peralte. En caso de que haya deficiencia de peralte, para el cambio gradual del mismo se necesita una curva especial cuya curvatura cambie regular y gradualmente al igual que el peralte.

Así se inserta una curva especial llamada curva de transición entre la línea recta y la curva circular (igual también para dos curvas circulares). Por consiguiente, para la curva de transición, el radio de curva debe ser infinito en su punto de unión con la línea recta e igual en su punto de unión con la curva circular. En cuanto al sobreechancho, se ha fijado que disminuye gradualmente también entre curvas de transición.

### 3.2 Configuración de la Curva de Transición

#### 3.2.1 Método de la Disminución Gradual del Peralte y la Curvatura

Si en cierta curva circular se expresan generalmente el radio de curva con  $R$ , el peralte con  $C$  y la velocidad para cálculo del peralte con  $V$ , existe la relación siguiente según la fórmula de equilibrio de la aceleración centrífuga y la aceleración de la gravedad:

$$C = \frac{GV^2}{127R}$$

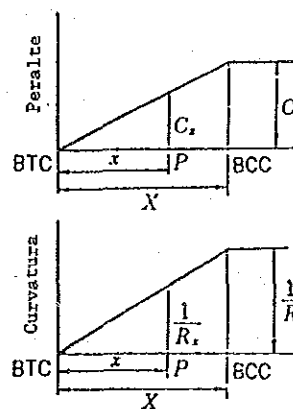
Igualmente, si en la *Fig. 9* se expresan el radio de curvatura en un punto dado  $P$  en la curva de transición con  $R_x$  y el peralte con  $C_x$  y si la velocidad está determinada, se constituye, la relación siguiente:

$$C_x = \frac{GV^2}{127R_x}$$

Consecuentemente, la curvatura será proporcional al peralte como sigue:

$$\frac{1}{R_x} = \frac{C_x}{C} \cdot \frac{1}{R}$$

De los métodos de disminución gradual del peralte y la curvatura en la curva de transición, el que disminuye linealmente peralte y curvatura se ha empleado generalmente hasta ahora en el mundo.

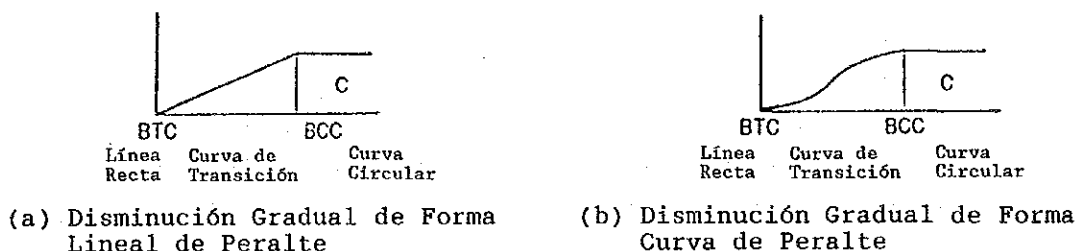


*Fig. 9 Disminución Gradual de Peralte y Curvatura*

Como se muestra en *Fig. 10 (a)*, este método tiene el defecto de que el cambio de peralte se pone discontinuo en los puntos de comienzo y término en la curva de transición. En realidad, los resultados de observación muestran que el traqueteo de los trenes que pasan por la curva ocurren especialmente en la entrada y salida de la curva de transición. Parece que esta tendencia aumenta con la velocidad.

Para corregir este defecto, se han propuesto desde hace mucho tiempo varios métodos que disminuyan de forma compuesta peralte y curvatura, como se muestra en la *Fig. 10 (b)*.

Como el método más sencillo para corregir dicho defecto, se considera práctico el de ferrocarriles nacionales de Francia que redondea peralte y seno verso en trayecto corto (unos 30 a 40 m) cerca de los puntos de comienzo y término en la curva de transición.



*Fig. 10 Disminución Gradual del Peralte*

### 3.2.2 Alineación de la Curva de Transición

Como se ha mencionado en 3.1, la curva de transición cambia su curvatura en 0 en el punto de unión con la línea recta y en  $1/R$  en el punto de unión con la curva circular de radio de curva  $R$ . Entretanto, según cómo se cambia la curvatura en la curva de transición, o sea, cómo se cambian peralte y curvatura linealmente o de forma compuesta como se ha mencionado en 3.2.1, se determina la alineación horizontal de la curva de transición.

#### (1) Caso de Disminución Lineal

En caso de la disminución lineal en que la curvatura aumenta en proporción con la distancia del lado recto, hay métodos de tomar la distancia en la tangente (sentido recto) del punto de comienzo en curva de transición (BTC), de tomarla en curva de transición y de tomarla en el radio (cuerda larga). (*Fig. 11*)

a) Método de Aumentarse la Curvatura en Proporción con la Tangente (Latitud)

Como representativo, hay la parábola cúbica. (Nota 2)

- b) Método de Aumentarse la Curvatura en Proporción con la Longitud en la Curva de Transición

Como representativo, hay la clotoide. (Nota 3)

En EE.UU. están ideadas espiral AREA, etc., las cuales son clotoides que se han convertido prácticamente en una forma más sencilla y fácil de usar. (Nota 3)

Las clotoides son teóricamente excelentes, pero se usan más parábolas cúbicas que no tienen diferencia práctica en relación con las clotoides y son más fáciles de calcular. Sin embargo, en los ferrocarriles que usan muchas curvas pronunciadas para el trazado de la vía se emplea esta curva de transición.

- c) Caso en que la curvatura aumenta en proporción con el radio (cuerda larga)

Como representativo, hay la lemniscata. (Nota 4)

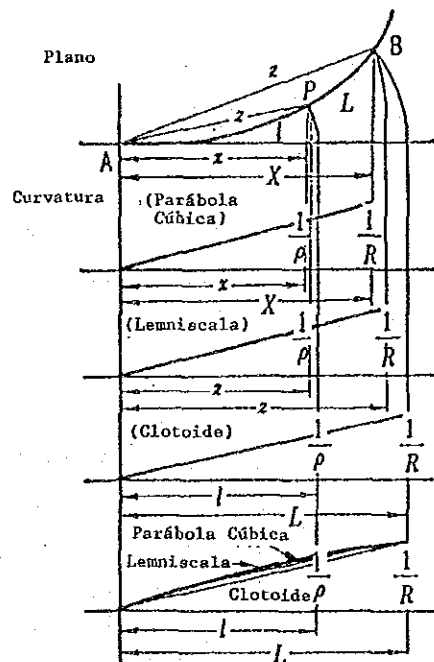


Fig. 11 Disminución Lineal de Diversas Clases

(2) Caso de Disminución de Curva

En 3.2.1 se han mencionado las características del método que disminuye gradualmente de forma compuesta la curvatura y el peralte. Aun en este caso, se piensa que se toma la línea base de disminución gradual según (a), (b), (c) de (1). Pero, en caso de curvas ferroviarias, aunque se piensa la línea base de disminución gradual según la tangente (latitud) de la curva de transición, casi no aparece diferencia en relación con otros casos y además, se puede expresar en una fórmula relativamente sencilla. Por eso, se ha decidido el empleo de esta manera.

Como la curva de transición mediante la disminución compuesta tiene menor desplazamiento que la curva de transición mediante la disminución lineal, resulta que la curva de transición se alarga si el desplazamiento es igual. Esto destaca la utilización efectiva de la disminución de curva, puesto que en las líneas existentes con curva de transición mediante la disminución lineal, se puede alargar la curva de transición, sustituyéndola por la curva de transición mediante la disminución de curva, sin desplazar la parte de curva circular.

Como se entiende de la Fig. 12, es necesario que en caso de disminución compuesta, la derivada lineal sea de 0 en los puntos de comienzo y término en la curva de transición.

Como representativos, hay las curvas de transición con variación de curvatura de media onda sinusoidal (Nota 5), Método de Alemania Occidental (Nota 6) y Método de Francia (Nota 7).

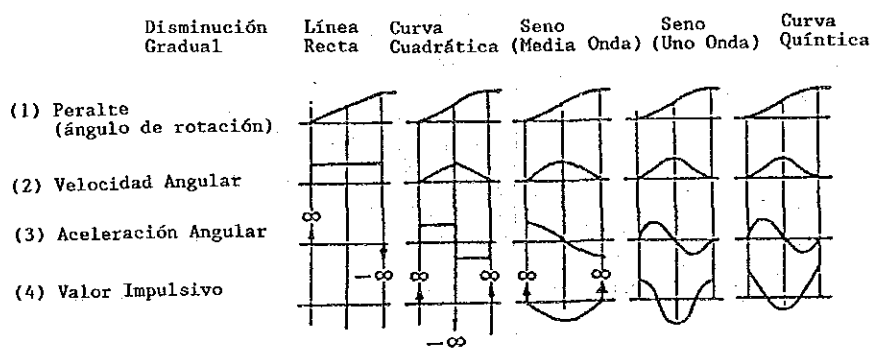


Fig. 12 Comparación de Disminución Gradual de Diversos Peraltes

(3) Comparación entre Curva de Transición de Parábola Cúbica y Curva de Transición con Variación de Curvatura de Media Onda Sinusoidal

Como se ha mencionado anteriormente, en las líneas con curva de transición de parábola cúbica, se puede prolongar la curva de transición como se muestra en la Fig. 13, adoptando la curva de transición con variación de curvatura de media onda sinusoidal, sin desplazar la mayoría de parte de la curva circular. Este es un método muy eficaz. (Nota 8)

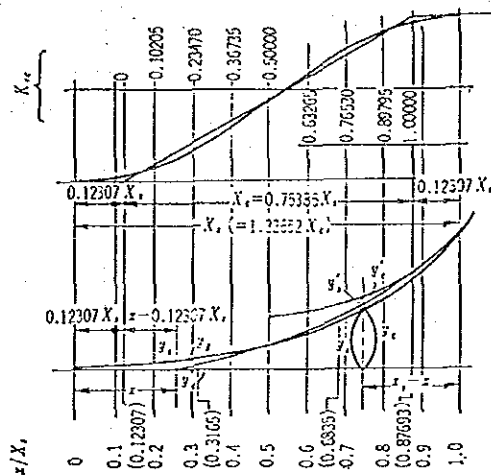


Fig. 13 Comparación entre Curva de Transición de Parábola Cúbica y Curva de Transición con Variación de Curvatura de Media Onda Sinusoidal

Luego, en el Cuadro 7 se comparan resumidas las alineaciones de curva de transición de parábola cúbica y de curva de transición con variación de curvatura de media onda sinusoidal.



**Cuadro 7 Comparación entre Curva de Transición de Parábola Cúbica y Curva de Transición con Variación de Curvatura de Media Onda Sinusoidal**

Condición	Curva de Transición de Parábola Cúbica	Curva de Transición con Variación de Curvatura de Media Onda Sinusoidal	Proporción
Desplazamiento en caso de que la longitud de curva de transición sea igual	$\frac{l}{24} \cdot \frac{l^2}{R^2}$	$0,0236788 \frac{l^2}{R}$	0,56829
Longitud BCC (d) en caso de que la longitud de curva de transición sea igual	$\frac{l^2}{6R}$	$0,1486788 \frac{l^2}{R}$	0,89207
Máximo valor de tasa de variación de peralte en caso de que la longitud de curva de transición sea igual	$\frac{C_0}{l}$	$\frac{x}{2} \cdot \frac{C_0}{l}$	1,57080
Longitud de curva de transición en caso de que el desplazamiento sea igual	$l$	1,3268221	1,326522
Máximo valor de tasa de variación de peralte en caso de que el desplazamiento sea igual	$\frac{C_0}{l}$	$\frac{x}{2} \cdot \frac{C_0}{1,3265221}$ $= 1,184146 \frac{C_0}{l}$	1,18414

(Nota) Dichos son valores aproximados.

### 3.2.3 Longitud de la Curva de Transición

En cuanto a la longitud de la curva de transición, se consideran las siguientes condiciones para la seguridad y la comodidad en relación con los coches que pasan y con el grado de disminución gradual de curvatura:

- ① Límite de seguridad contra descarrilamiento mediante el sostén de coches con tres puntos
- ② Límite de comodidad en relación con la proporción de variación temporal de la fuerza centrífuga excedente
- ③ Límite de comodidad en relación con la proporción de variación temporal del peralte

El máximo valor que se determine en consideración a dichas condiciones será la longitud real de la curva de transición.

**(1) Longitud de la Curva de Transición desde el Punto de Vista del Límite de Seguridad contra Descarrilamiento mediante el Sostén de Coches con Tres Puntos**

Se ha fijado que se debe limitar a 20 mm la flotación mediante el sostén con tres puntos tradicionales. Si se consideran unos 9 mm como deformación de la vía,  $20 - 9 = 11$  mm serán la cantidad que se pueda tomar para la flotación de coches mediante el sostén de tres puntos en la curva de transición. Este valor es de aproximadamente  $1/400$  de la máxima base rígida de 4,6 m. Por lo tanto, se considera necesario que la longitud de curva de transición sea 400 veces más grande que el peralte para la seguridad de operación.

Si la longitud de curva de transición se hace 400 veces más grande que el peralte, la flotación de los coches mediante el sostén con tres puntos será de 11,5 mm, así que la cantidad más o menos permisible de deformación de la vía será de 12,5 mm. En realidad, como se deben considerar coches cuyas condiciones de ballestas son un poco malas, es necesario que la longitud de curva de transición sea de 400 veces más grande en consideración al descarrilamiento de los coches por montar las ruedas sobre el riel.

**(2) Longitud de la curva de transición que es determinada por el límite de comodidad según la proporción de variación temporal de la fuerza centrífuga excedente**

Esto es tratar de calcular la longitud de curva de transición en base a la idea de que el grado de comodidad (incomodidad) que se sienta debido a la variación de fuerza centrífuga excedente en una curva de transición puede admitirse hasta el mismo grado que la comodidad permisible por la fuerza centrífuga excedente que obra al pasar por una curva circular. Se ha propuesto a través de los estudios de AAR de EE.UU. y se ha adoptado también en Europa. La fórmula es como sigue:

La relación entre la fuerza centrífuga excedente y la deficiencia de peralte es:

$$C_d = \frac{P}{g} G$$

Por eso,

$$l = \frac{V}{3,6} \cdot \frac{P}{P_0} = \frac{V}{3,6} \cdot \frac{C_d \cdot g}{G \cdot P_0} \text{ (m)}$$

ó

$$l = \frac{V}{3,6} \cdot \frac{C_d}{C_{d0}} \text{ (m)}$$

donde  $P_0$  : Límite de proporción de variación temporal de la fuerza centrífuga excedente (g/seg)

$P$  : Máxima fuerza centrífuga excedente (g)

$C_d$  : Máxima deficiencia de peralte (mm)

$G$  : Distancia entre puntos de ruedas derechas e izquierdas con riel (mm)

$g$  : Aceleración de la gravedad

$C_{d0}$  : Límite de proporción de variación temporal de la deficiencia de peralte (mm/seg)

$V$  : Máxima velocidad (km/h)

En Japón, en caso de línea de trocha angosta, se calcula la longitud de la curva de transición tomando la proporción de variación temporal de la fuerza centrífuga excedente como 0,03 g/seg.

- (3) Longitud de la curva de transición que es determinada por el límite de comodidad según la proporción de la variación temporal del peralte

A medida que el peralte varía en curva de transición, resulta que las ruedas ruedan alrededor de su eje mayor. Con el aumento de su velocidad de rotación, se pierde la comodidad. Por eso, es natural que eso tendrá su límite. Consecuentemente, la idea es que se determine la curva de transición para que su velocidad de rotación quede dentro de cierto límite. Se calcula según la siguiente fórmula:

$$l = \frac{V}{3,6} \cdot \frac{C_m}{C_{m0}} \text{ (m)}$$

donde  $C_m$  : Peralte (mm)

$C_{mo}$  : Límite de proporción de la variación temporal de peralte  
(mm)

En las líneas de trocha angosta, se calcula la longitud de curva de transición, tomando el límite de proporción de variación temporal de peralte como 29 mm/seg para líneas de clases 1 y 2, 35 mm/seg para línea de clase 3 y como 40 mm/seg para línea de clase 4.

El límite de proporción de la variación temporal del peralte en los ferrocarriles principales de varios países es como se muestra en el Cuadro 8.

**Cuadro 8 Proporción de la Variación Temporal del Peralte en Ferrocarriles Principales de Varios Países**

País	Máxima Proporción de Variación Temporal del Peralte (mm/seg)
Alemania	35
Francia	60 (tren) 70 (autocarril)
Inglaterra	57
Suecia	46
	35 (normal) 29 (valor deseable)
EE.UU. C&O	32 32 32 32

Como se ha mencionado arriba, se calcula la longitud de la curva de transición mediante la deficiencia del peralte real y la máxima velocidad. Una vez insertada la curva de transición, muchas veces resulta bastante difícil alargarla. Por eso, en caso de construir nuevas líneas o de mejorar las existentes, es deseable prever la máxima velocidad del futuro y tener reservada suficiente curva de transición para que no sea necesario alargarla aunque haya incremento de velocidad en el futuro. Se debe prestar atención a que al determinar la longitud de la curva de transición en previsión de la velocidad del futuro, el peralte que se usa es estrictamente para su cálculo, no siendo el dado realmente en el sitio de colocación.

### 3.2.4 Método de Colocación

#### (1) Curva de Transición con Disminución Lineal (Nota 10)

##### a) Método de Cálculo Aproximado

Suponiendo que sea la longitud de curva  $l =$  la longitud de eje  $x$ , se calcula la longitud a la latitud para determinar cada punto en la curva de transición.

##### b) Método de Cálculo Preciso

En caso de que sean grandes las curvas de transición ( $L$ ), el radio de curva ( $R$ ), y la longitud de curva de transición, puede ser que los diversos errores se hagan más grandes. Debido a eso, se adopta este método.

#### (2) Curva de Transición con Disminución Curvilínea (Nota 11)

##### a) Método de Cálculo Aproximado

Suponiendo que sean la longitud de curva  $l =$  la longitud de eje  $x$  y en el punto de término en curva de transición, la longitud de curva de transición  $L =$  la longitud de eje  $x$ , y suponiendo que sean  $\tan \theta \doteq \theta \doteq \sin \theta$  y  $\cos \theta \doteq 1 - \cos^2 \theta/2$  ya que  $\theta$  es pequeño, se calcula cada línea en la curva de transición.

##### b) Método de Cálculo Preciso

En caso de que  $L^2/R$  sea generalmente más de 10 más o menos, puede ser que diversos errores se hagan más grandes. Debido a eso, se adopta este método.

### 3.2.5 Ejemplos de Cálculo

Se muestran ejemplos de curva de transición con disminución lineal en Nota 12 y los de curvas de transición con disminución curvilínea (Curva Sin) en Nota 13.

## 4. Condiciones de Colocación de Diversas Curvas

### 4.1 Longitud de Línea Recta entre Curvas

Como se ha mencionado anteriormente en 3.2.1, al pasar los coches en la curva de transición de parábola cúbica, ocurren con frecuencia traqueos de coches en la entrada y salida de la misma. Por otra parte, el experimento muestra que el ciclo de traqueteo de coches a la derecha y a la izquierda es de 1,5 segundo más o menos y disminuye poco a poco generalmente durante un ciclo. Por consiguiente, debido a que el traqueteo ocurrido en la primera curva de transición según la velocidad del tren disminuye gradualmente antes de entrar en la siguiente curva de transición, es necesario reservar cierta longitud de línea entre curvas o de la curva circular. La mínima longitud de línea recta entre curvas o la mínima longitud de curva circular requerida para esto se calcula según la fórmula siguiente:

$$l = \frac{V \cdot T}{3,6} \text{ (m)}$$

donde V: Velocidad de Tren (km/h)

T: Tiempo de Disminución del Traqueteo de Coches a la Derecha y a la Izquierda (seg)

Para que no se acumule este traqueteo, se debe reservar la longitud de línea recta entre curvas o la de la curva circular en que pueda caber por lo menos la longitud de un coche. Por consiguiente, dicha longitud debe ser de más de 20 m como mínimo. En líneas de trocha angosta, se ha fijado: "En dos curvas próximas en esta vía, se debe insertar una línea recta de más de 20 m entre ambas curvas de transición."

En caso de que no se pueda reservar una recta intermedia por causa del estado de riel o inevitablemente, el método de unir ambas curvas directamente con una continua curva de transición con disminución sinusoidal es también eficaz.

En los ferrocarriles nacionales de Alemania, se establece que se puede no insertar la recta intermedia al pasar trenes a baja velocidad y que en relación con el radio de curva se inserta la recta intermedia en los siguientes casos:

$$\frac{1000}{R_1} + \frac{1000}{R_2} > \frac{9000}{V_2}$$

6

$$\frac{1000}{R_1} + \frac{1000}{R_2} > 10$$

donde  $R_1, R_2$  : 2 Radios de Curva. (m)

$V$  : Velocidad de Tren

Se ha fijado la longitud de dicha recta intermedia  $l \geq V/10$  (m).

## 4.2 Mínima Longitud de Curva Circular

Igual que el caso mencionado en 4.1, el traqueteo tiende a ocurrir también en puntos de comienzo y término en la curva circular. Por eso, para que no se acumule este traqueteo, es deseable reservar la longitud de curva circular más de la de un coche como mínimo. Por consiguiente, se establece que la longitud de la curva circular debe ser por lo menos de más de 20 m en líneas de trocha angosta.

En caso de que sea absolutamente imposible tomar la mínima longitud de curva circular en el trazado de la vía, empleando la curva de transición con disminución sinusoidal, se puede unir sólo con curvas de transición, no estableciendo curva circular según sea el caso.

## 4.3 Alineación Especial

### 4.3.1 Curva Inversa

Como se ha mencionado en 4.1, para mitigar el traqueteo del coche, se inserta una longitud de línea recta necesaria entre curvas de transición en curva inversa. Pero, esto puede ser inconveniente según sea el caso, pues tomando una longitud de recta intermedia, es posible que al contrario no se pueda tomar suficientemente una longitud de curva de transición. No insertando ninguna línea recta y continuando una serie de curvas de transición,

se produce un efecto para que no sólo se disminuya el traqueteo del coche, sino que se prolongue substancialmente la longitud de la curva de transición.

#### 4.3.2 Curva Compuesta

Hasta ahora se ha usado sólo el método irrazonable de disminuir gradualmente sólo el peralte en grandes curvas circulares sin insertar la curva de transición entre dos curvas circulares en curva compuesta. Sin embargo, en las líneas de trocha angosta actuales se ha fijado que se inserta la curva de transición también en casos mutuos de curvas circulares en curva compuesta.

Como se ha mencionado arriba, para insertar la curva de transición regular en lugares en que no están insertadas curvas de transición en las líneas existentes, hay que trasladar la totalidad de las curvas circulares. Pero, en la práctica esto es difícil en muchos casos. Por consiguiente, en tal caso se usa por conveniencia el método de emplear una calculadora de enderezamiento de curva, etc.

### 5. Pendiente - Curva Vertical

#### 5.1 Pendiente

El trazado de vía no solo ejerce una gran influencia directamente sobre el rendimiento del transporte, limitando el peso de tracción de la locomotora y la velocidad del tren, sino que ejerce no poca influencia sobre los gastos de mantenimiento de la vía y los gastos de la operación del coche. Por eso, en el trazado de vía se debe considerar que la pendiente se haga suave en lo posible. Pero, en realidad se debe admitir pendiente hasta cierto punto debido a la topografía, los gastos de construcción, etc.

Para indicar la pendiente, se expresa muchas veces en tanto por mil (o/oo) el desnivel en relación con la distancia horizontal. Al marchar trenes en pendiente ascendente, obra la resistencia de la pendiente que se muestra en la fórmula siguiente:



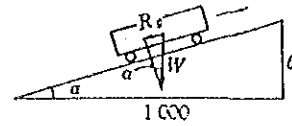
$$R_g = W \sin \alpha$$

Como  $\alpha$  es generalmente pequeño,

$$R_g \doteq W \tan \alpha = W \frac{h}{1000}$$

6

$$r_g = \frac{R_g}{W} = h \text{ (kg)}$$



*Fig. 14 Resistencia de la Pendiente*

donde  $R_g$  : Resistencia de la Pendiente (t)

$r_g$  : Resistencia de la Pendiente (por tonelada de peso de coche kg)

$W$  : Peso de Tren (t)

$\alpha$  : Angulo de la Pendiente

$h/1000$  : Pendiente

Debido a que la curva aumenta la resistencia a la marcha, se puede pensar también la existencia de una pendiente ascendente lineal que produce la resistencia de su peso en lugar de la curva. Esta se llama pendiente equivalente.

La pendiente equivalente en relación con la resistencia en curva se calcula con la fórmula siguiente:

$$N = \frac{600}{R} \text{ (o/oo)}$$

donde  $N$  : Pendiente Equivalente (o/oo)

$R$  : Radio de Curva (m)

Teniendo en cuenta la regla de rectificación de la pendiente en relación con la resistencia en curva, la cual fue establecida por AREA (Asociación Estadounidense de Ingenieros Ferroviarios), y después de haber verificado mediante la fórmula experimental de Morrison, esta fórmula fue determinada.

La fórmula experimental de Morrison es como sigue:

$$R_c = \frac{1000f (G+L)}{2R} \text{ (kg/t)}$$

donde  $R_c$  : Resistencia en Curva por tonelada de Peso de Coche (hg/t)

$G$  : Trocha

$L$  : Base Rigida (m)

$f$  : Coeficiente de Desgaste por Rozamiento de Riel y Rueda

$R$  : Radio de Curva (m)

Haciendo el cálculo aplicando los valores de trocha angosta a esta fórmula experimental, son  $G = 1,067$  m ( $G = 1,000$  m),  $L = 4,6$  m,

$f = 0,2$  (generalmente  $0,1 - 0,27$ ), así que

$$R_c = \frac{1000 \times 0,2(1,067 + 4,6)}{2R} \doteq \frac{570}{R} \text{ (kg/t)}$$

$$R_c = \frac{1000 \times 0,2(1,000 + 4,6)}{2R} \doteq \frac{570}{R} \text{ (kg/t)}$$

O sea, la resistencia en curva será de  $570/R$  kg más o menos por tonelada de peso del coche, resultando que sea equivalente a una pendiente de  $570/R$  o/oo convertido en pendiente lineal.

Los límites de pendiente según la clase de línea calculados tomando en consideración la resistencia en curva son como se muestra en el *Cuadro 9*.

**Cuadro 9 Límite de Pendiente con Curva**

Clase de Línea		Clasificación				Vía exclusiva para coche eléctrico
		Línea Clase 1	Línea Clase 2	Línea Clase 3	Línea Clase 4	
Límite de Pendiente		10	10 (25)	20 (25)	25 (35)	35
Límite de Pendiente con Curva	R = 1600 m	9,6	9,6 (24,6)	19,6 (24,6)	24,6 (34,6)	34,6
	R = 1200 m	9,5	9,5 (24,5)	19,5 (24,5)	24,5 (34,5)	34,5
	R = 1000 m	9,4	9,4 (24,4)	19,4 (24,4)	24,4 (34,4)	34,4
	R = 800 m	9,2	9,2 (24,2)	19,2 (24,2)	24,2 (34,2)	34,2
	R = 600 m	9,0	9,0 (24,0)	19,0 (24,0)	24,0 (34,0)	34,0
	R = 400 m	8,5	8,5 (23,5)	18,5 (23,5)	23,5 (33,5)	33,5
	R = 300 m		8,0 (23,0)	18,0 (23,0)	23,0 (33,0)	33,0
	R = 250 m			17,6 (22,6)	22,6 (32,6)	32,6
	R = 200 m				22,0 (32,0)	32,0

Nota: Las cifras intercaladas entre los paréntesis muestran los valores aplicados en caso inevitable.

En caso de línea de trocha angosta, el límite de pendiente de línea se establece en el Cuadro 10 para el exterior de una estación y en Cuadro 11 para el interior de una estación.

**Cuadro 10 Máxima Pendiente en el Exterior de la Estación(o/oo)**

Clase de línea	1	2	3	4
Línea principal	10	10	20	25
Según la situación de línea o en caso inevitable		25	25	35
Línea exclusiva para coche eléctrico	35			

**Cuadro 11 Máxima Pendiente en el Interior de la Estación (o/oo)**

Entre agujas en ambos extremos de la línea principal <sup>(1)</sup> y en la zona de parada del tren	3,5 (2)
En zona de estacionamiento de coches en vías de servicio	3,5

Notas: (1) En caso de que el exterior de las agujas del extremo está en pendiente descendente, será hasta el lugar de 20 m hacia el exterior de dichas agujas del extremo.

(2) En línea principal en que los coches no se enganchan y denganchan o no se estacionan, en caso de que no constituyan estorbos para la salida y llegada de los trenes, y en línea principal en que se manejan sólo trenes de pasada, será el exterior de la estación. Sin embargo, en caso de que los trenes de carga se paren, no debe exceder al 15%.

En cuanto al límite de pendiente en la estación, se ha tomado en consideración para que se eviten peligros tales como resistencia excesiva de tren, trabajo de traslado manual de coches, escape de coches, etc. Además, considerando la seguridad contra la parada del tren, maniobra de coche, etc., se ha señalado según condiciones zona en que se limita la pendiente en la estación.

Hay casos que exceden a dicho límite en ferrocarriles de adherencia tales como 66,7o/oo entre Yokogawa y Karuizawa en la Línea Higashi-Shinetsu de JR y 83o/oo de Ferrocarril de Montaña de Hakone. Hay mundialmente línea de pendiente grande que excede al 70o/oo. La línea de pendiente mayor es la línea de tranvía de 127o/oo en Lausannne de Suiza.

## 5.2 Curva Vertical

### 5.2.1 Necesidad de la Curva Vertical

En lugares en que varían los pendientes de vía, hay peligro de que los coches empujados en caso de convexidad y coches atraídos en caso de concavidad floten y descarrillen respectivamente. Especialmente en caso de convexidad, es necesario examinar también la flotación de los coches debido a la fuerza centrífuga. En cualquier caso de convexidad y concavidad, se aumenta la incomodidad.

Para mitigar dicha mala influencia, se inserta una curva vertical en los lugares en que varían las pendientes. En el Cuadro 12 se fija esta curva vertical en línea de trocha angosta.

**Cuadro 12 Curva Vertical (Línea de Trocha Angosta)**

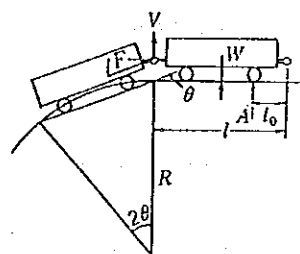
Línea Principal	En caso de curva de menos de 800 m de radio	Radio de Curva vertical 4000 m
	En otros casos	3000 m
Vía de servicio	Insertarse curva vertical suficiente	

### 5.2.2 Fórmula de Cálculo

En cuanto a la curva vertical, se hacen cálculos con curva circular como forma curvilínea. Pero, al colocarla, se usa por la conveniencia una parábola cuadrática. Para determinar su radio, es necesario estudiar la flotación del coche debido a la fuerza de compresión o a la fuerza tractora originada por los coches delantero y trasero y la flotación del coche debido a la fuerza centrífuga en el caso de convexidad, así como la influencia de la curva vertical sobre el gálido de obras, gálido de material rodante, etc. como se muestra abajo:

#### (1) Seguridad contra Flotación de Coche

Como se muestra en Fig. 15, un coche recibe una fuerza ascensional  $V$  al ser empujado por ambos coches contiguos en la parte convexa. Se calcula esta fuerza ascensional como sigue:



**Fig. 15**

Si la relación cuando las ruedas van a flotar debido a la fuerza  $V$  es:

$$VI = \frac{1}{2} Wl + Al_0 = 0, \quad A = W - V$$

$$V = F \sin \theta \cong F \theta, \quad l_0 = \frac{l}{4}$$

será

$$W = 3F\theta$$

y

$$L = 2\theta R$$

$$\therefore \theta = \frac{L}{2R}$$

donde  $F$  : Máxima fuerza hacia el sentido de acoplamiento de coches que obra sobre enganches en movimiento

$W$  : Peso del coche

$V$  : Fuerza componente hacia arriba  $F$

$A$  : Fuerza de reacción sobre otra rueda cuando una rueda va a flotar

$l$  : Longitud del coche

$l_0$  : Distancia de la cara de acoplamiento a la rueda

$\theta$  : Angulo formado por el sentido del eje de ambos coches

La tasa de disminución en relación con la carga por eje  $W/2$ .

$$\frac{V}{W/2} = \frac{2}{W} \cdot \frac{FL}{2R} = \frac{FL}{WR}$$

La fuerza  $F$  hacia el sentido de acoplamiento que obra sobre los enganches es menor en el caso de coches eléctricos que en el caso de trenes de carga remolcados por locomotora. En caso de trenes de carga, la máxima fuerza tractora de la locomotora es de unas 40 t, y en cuanto a la fuerza de compresión en el momento de frenado, se diseña que la máxima es de 80 t en caso de vagones de carga en la línea de trocha angosta tradicional.

A continuación, se estudiará la flotación del coche debido a la fuerza centrífuga.

La aceleración vertical (unidad gravitacional) que obra sobre los coches que pasen por la curva vertical de un radio determinado se calcula según la fórmula siguiente:

$$\alpha = \frac{1}{rg} \left[ \frac{V}{3,6} \right]^2$$

donde  $r$  : Radio de curva vertical (m)

$V$  : Velocidad (km/h)

$g$  : Aceleración de la gravedad (9,8 m/seg<sup>2</sup>)

$\alpha$  : Aceleración vertical (unidad gravitacional)

Por eso,

$$r = \frac{V^2}{127 \alpha}$$

Se considera que basta con alcanzar el valor admisible de  $\alpha$  a menos de 0,1 desde el punto de vista de la flotación de coche.

Por consiguiente,

$$r = \frac{V^2}{12,7}$$

Siendo  $V = 120$  km/h, será  $r = 1134$  m, así que es suficiente la magnitud del radio de la curva vertical fijado por el reglamento.

## (2) Relación con Gálibo de Obras • Gálibo del Material Rodante

En caso de que haya una curva vertical, el gálibo de obras en el nivel de riel se aproxima a su parte inferior delante y detrás del material rodante. Por eso, considerando la influencia del asiento de la vía, etc., debe hacer suficiente espacio entre el gálibo de obras en el nivel de riel y el gálibo de la parte inferior del material rodante. Especialmente, en caso de que la variación de pendiente sea convexa y el radio de curva vertical sea pequeño, el espacio se hace más pequeño en la parte inferior central del material rodante.

(Fig. 16)

Ahora, vamos a estudiar esto. En caso de un bogie de 13,4 m de distancia entre ejes y una curva vertical de 3000 m de radio, la aproximación de la parte inferior de coche al nivel de riel será de:

$$\frac{(13,4)^2}{8 \times 3000} \times 1000 \approx 7,5 \text{ mm.}$$

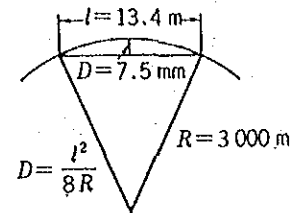


Fig. 16

Aún tomando en consideración una deformación de la vía, parece ser bastante seguro contra el espacio entre el gálibo de obras y el gálibo de parte superior de la ballesta del coche.

### (3) Estudio sobre la Comodidad de los Pasajeros

En caso de que pasen por una curva vertical de radio  $r$  a la velocidad  $V$ , su fuerza centrífuga vertical se aumenta en proporción con el cuadrado de la velocidad  $V$ . En este caso, la fuerza centrífuga vertical es de 0,02 g a 0,04 g según el reglamento de algunos países.

En la marcha de los coches en el caso de que una curva vertical convexa coexista con una curva plana, resulta que la aceleración de la gravedad aparente disminuye debido a la fuerza centrífuga vertical por la curva vertical. Como resultado, llega a cambiar el sentido de la resultante de dicha aceleración y la aceleración lateral por curva plana. Pero igualar la velocidad de vuelco hacia el exterior de la curva tanto en dicho caso como en el caso de que exista una sola curva plana, es teóricamente necesario aumentar un poco el peralte en comparación con el peralte en caso de una sola curva plana. Sin embargo, en la práctica esto no se realiza puesto que la parte en que se da dicho peralte constituye problemas desde el punto de vista del mantenimiento y comodidad, considerando conveniente que sea según la deficiencia de peralte. Por eso, se hace más grande la curva vertical para que el valor de toda la deficiencia de peralte con dicha deficiencia inclusive quede dentro de la deficiencia del peralte permisible.

En caso de que coexista una curva plana (menos de 800 m de radio) en un lugar en que varía la pendiente, igualmente se hace más grande el



radio de curva vertical que en caso de la línea recta. Esto es debido a que si obra una fuerza para hacer flotar ruedas con la variación de pendiente (especialmente en caso de convexidad), se agranda la disminución del peso aplicado en la rueda en forma desequilibrada, y si coexiste con esto una gran fuerza lateral en la parte de curva, se agranda el coeficiente de descarrilamiento (Q/P), aumentando el peligro de descarrilamiento.

Para conocimiento, se describen en el Cuadro 13 los reglamentos de curva vertical de los principales ferrocarriles extranjeros.

**Cuadro 13 Curva Vertical**

País	Radio de Curva Vertical	Mínima diferencia de pendiente para requerir la inserción de curva vertical
Alemania	$V \leq 160 \text{ km/h}, r \geq \begin{cases} 2000 \\ 0,4 V^2 \end{cases}$ $V > 160 \text{ km/h}, r \geq \begin{cases} 1000 \\ 0,25 V^2 \end{cases}$	
Francia	$V < 100 \text{ (km/h)} \quad R : 5000 \text{ m}$ $100 \leq V < 120 \quad R : 10000 \text{ m}$ $120 \leq V \quad R : 20000 \text{ m}$	4 o/oo
Holanda	$12000 < R \leq 20000 \text{ m}$	
Italia	3000 m	
Suiza	6000 m - 10000 m	
Suecia	$V \geq 100 \text{ km/h} \quad 15000 \text{ m}$	1 o/oo
EE.UU	Se inserta curva vertical para que la tasa de variación de pendiente por cuerda de 30,5 m (100 pies) sea inferior al 0,10% (31 mm) en convexidad y del 0,05% (15 mm) en concavidad.	Convexidad 2,5 o/oo, Concavidad 1,5 o/oo
URSS	10000 m (Excepción 5000 m)	3 o/oo

### 5.2.3 Método de Colocación

#### (1) Fórmula de Colocación

Ahora, se explicará el método de colocación de la curva vertical en caso de que dos pendientes de  $m/1000$  y  $n/1000$  se crucen en el punto P en Fig. 17.

Primero, calculando la longitud tangencial T de P a A, se determina la ubicación de A.

$$T = R \cdot \tan \frac{I}{2} = \frac{R}{2} \left| \frac{m - n}{1000} \right| = \frac{R}{2000} |m-n|$$

Se ponen el signo + en caso de pendiente ascendente y el signo - en caso de pendiente descendente respectivamente.

Luego, tomando como eje x la dirección tangencial de un lado, se calcula según la siguiente la longitud y en la distancia de A a X para determinar la ubicación de curva vertical.

$$y = \frac{X^2}{2R}$$

(2) Se muestra un ejemplo de cálculo en Nota 14.

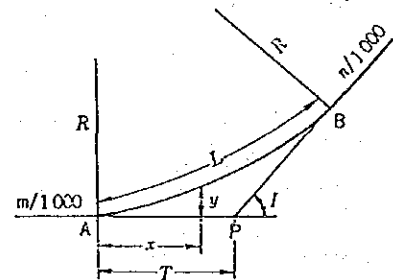


Fig. 17

## 6. Condición de Coexistencia de Varias Alineaciones

Si coexisten alineaciones y estructuras tales como curvas de transición, curvas circulares, pendientes, curvas verticales, aparatos de cambio, juntas de dilatación, puentes sin balasto, etc., se producen muchas veces influencias desfavorables para la seguridad de marcha de los trenes, la comodidad o el mantenimiento de vía; sin embargo, para evitar generalmente estas coexistencias, puede ser que se requieran enormes gastos de construcción en el trazado de la vía. Por eso, en caso de que coexistan diversas condiciones, se han estudiado normas de mitigación permisible para igualar en lo posible las malas influencias sobre la seguridad de marcha, la comodidad y el mantenimiento. A continuación se describe su contenido.

La idea de varias condiciones de coexistencia es como se muestra en el Cuadro 14.

**Cuadro 14 Varias Condiciones de Coexistencia (Línea de Trocha Angosta)**

	Curva de Transición	Curva Circular	Aparato de Cambio	Junta de Dilatación
Curva Vertical	Esforzarse por evitar	No prohibida en particular	No aprobada	Aprobada
Curva de Transición	---	---	No aprobada	No aprobada
Pendiente	Aprobada	Aprobada Sin embargo, evitar la alineación que necesite defensas contra descarrilamiento	•Menos de 3,50/00 •En caso de establecerlo inevitablemente, esforzarse por tomar medidas preventivas de deslizamiento longitudinal	
Puente sin Balasto	•Esforzarse por hacerlos con blasto •En caso de coexistir inevitablemente, será de estructura que varíe la altura de largueros laterales y el espesor del soporte de durmientes.	Aprobada	No Aprobada	No Aprobada

### (1) Coexistencia de Curva de Transición con Curva Vertical

En la curva de transición se realiza la disminución gradual del peralte, por lo cual aun con exclusión de la deformación de la vía, la planitud de su vía se encuentra en peor condición que la del trayecto general.

Por otra parte, como se ha mencionado antes, en un trayecto de curva vertical, obra una fuerza para hacer flotar coches debido a la fuerza centrífuga en caso de convexidad, causando la disminución del peso aplicado en la rueda en forma desequilibrada. Y en caso de concavidad, debido a la variación de la cantidad de movimiento en la dirección vertical obra una gran fuerza de impacto sobre la vía y coches y debido a la resistencia a la marcha que obra sobre la parte delantera de tren ocurre un fenómeno de flotación de coches en medio. Si coexisten las dos curvas con tales malas condiciones, será muy difícil de mantener la vía, resultando que es también desfavorable tanto para la seguridad de marcha de coches como para la comodidad. Por eso, se esfuerza por evitar esta coexistencia.

**(2) Coexistencia de Aparato de Cambio de Vía con Curva de Transición o Curva Vertical**

En los aparatos de cambio de vía hay curvas de pequeño radio de la desviación entre la aguja y el corazón o aberturas del corazón, así que su alineación y estructura son más complicadas que las del trayecto general. Debido a esto, los coches, al pasar por esta parte, producen una fuerza lateral muy grande y una aceleración de la vibración en la vía. Si coexisten en tales trayectos curvas de transición o verticales con los citados defectos, habrá mayor peligro para la seguridad de operación y será también difícil de mantener la vía. Por eso, se ha decidido prohibir esta coexistencia.

**(3) Coexistencia de Aparato de Cambio de Vía con Puente sin Balasto**

Está prohibido colocar aparato de cambio de vía sobre puentes sin balasto, pues hay muchos problemas para el diseño de puentes debido a que la estructura de la viga del puente se hace muy complicada. Generalmente, la cantidad de hundimiento de balasto es mucha en el revés del estribo. Por eso, si se coloca el aparato de cambio de vía cerca del revés del estribo, la incomodidad del tren se aumenta y el mantenimiento será también difícil. En cuanto a la distancia de separación para evitar esta mala influencia, es deseable en esta vía separarse más de 20 m por lo menos (más de longitud de un coche) del revés de estribo al aparato de cambio de vía.

## **7. Velocidad Permisible Al Pasar Por Curva**

### **7.1 Limitación de Velocidad en Curva**

Las razones para limitar especialmente la velocidad del tren en curva son como sigue:

#### **(1) Peligro de Vuelco**

Con la velocidad se aumenta la fuerza centrífuga que obra sobre los coches, y si la resultante con la gravedad llega a pasar por el lado exterior del riel exterior, se conduce al vuelco.

#### **(2) Peligro de Descarrilamiento**

A medida que se aumenta la fuerza centrífuga que obra sobre coches, la fuerza lateral que obra sobre el riel se aumenta en comparación con la carga por rueda vertical, conduciendo al vuelco.

#### **(3) Agravación de Incomodidad**

Debido a la fuerza centrífuga y otras razones, la incomodidad se agrava gradualmente con la velocidad.

#### **(4) Destrucción de la Vía**

Aumentado con la velocidad la relación de la fuerza lateral a la carga por rueda vertical, se acelera la destrucción de la vía. La pestaña de la rueda se aprieta fuertemente a la cabeza y al lado respectivamente del riel, acelerando así el desgaste de estas partes, o sea el desgaste excéntrico.

La velocidad del tren debe ser la permitida según dichas condiciones, pero con la velocidad aumenta la fuerza exterior que amenaza éstas. Por consiguiente, si se conoce su tendencia por coche, se puede calcular la velocidad permisible o la condición requerida de la vía, a saber la cantidad necesaria de refuerzo de la vía, mejoramiento de características principales de curva, etc.

### 7.1.1 Velocidad de Seguridad contra Vuelco

Generalmente en curva, según su radio de curva se limita la máxima velocidad para trenes de alta eficiencia y otros trenes. Esta velocidad limitada se refrena a bajo nivel para curva de menor radio. Esto se ha fijado en consideración a la seguridad contra el vuelco del tren en curva. El resumen de su base teórica es como sigue:

Considerando el peralte como 0 y calculando estática y teóricamente la seguridad contra el vuelco hacia fuera de la curva sin tomar en consideración la variación de las ballestas, la condición de que la distancia D entre el punto de aplicación de la gravedad y fuerza centrífuga del coche y el centro de trocha sea superior al coeficiente de seguridad  $\alpha$  es como sigue:

$$D = \frac{GV^2}{127R} \times \frac{1}{G} \times H \leq \frac{1}{a} \times \frac{G}{2}$$

donde H : Altura de centro de gravedad de coche (mm)

G : Trocha (mm)

R : Radio de curva (m)

a : Coeficiente de seguridad

Deformando ésta

$$V^2 \leq \frac{127GR}{2a \cdot H}$$

Suponiendo que son H = 1650 mm, G = 1067 mm (1000 mm), será

$$V \leq 6,4 \frac{1}{\sqrt{a}} \sqrt{R} \quad [ \quad V \leq 6,3 \frac{1}{\sqrt{a}} \sqrt{R} \quad ]$$

De dicha fórmula

en caso de a = 3     V ≤ 3,7√R (tren de alta eficiencia) (V ≤ 3,6√R)

en caso de a = 3,5   V ≤ 3,7√R (tren general) (V ≤ 3,3√R)

en caso de a = 5,5   V ≤ 2,75√R (curva del cambiavía) (V ≤ 2,64√R)

En base a lo dicho, ilustrando la velocidad limitada en unidades de 5 km/h por radio de curva, es como se muestra en la Fig. 18.

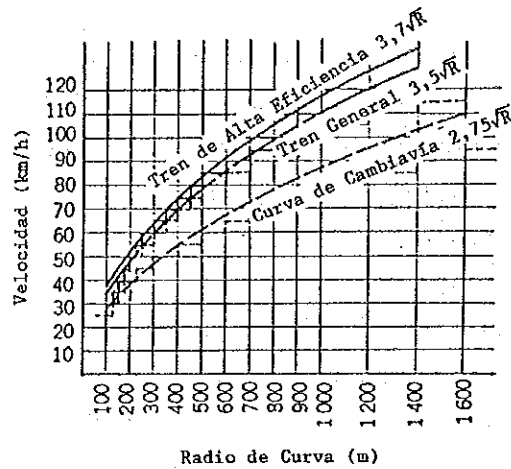


Fig. 18 Velocidad por Radio de Curva

Se calcula también la velocidad crítica de vuelco  $V_0$ .

Es decir, suponiendo que la cantidad de excentricidad de la resultante de la gravedad y la fuerza centrífuga que obra sobre coches, desde el centro de trocha en la superficie de riel sea  $b$  y la trocha sea  $G$ , la excentricidad es:

$$J = \frac{b}{G}$$

$$b = P \cdot H = H \left[ \frac{V^2}{127R} - \frac{C}{G} \right]$$

$$\therefore J = \frac{H}{G} \left[ \frac{V^2}{127R} - \frac{C}{G} \right]$$

En la fórmula, en caso de que la resultante que actúa sobre el coche pasa el riel exterior es el caso de que la excentricidad  $J$  llegó a ser de  $1/2$ . Por consiguiente, será

$$\frac{1}{2} = \frac{H}{G} \left[ \frac{V_0^2}{127R} - \frac{C}{G} \right]$$

$$V_0 = \sqrt{127R \left[ \frac{G}{2H} + \frac{C}{G} \right]}$$

Esta  $V_0$  se llama la velocidad crítica.

Lo dicho ha sido ideado suponiendo que coche y riel sean cuerpos rígidos, pero en realidad no son cuerpos rígidos, y no se puede hacer tampoco caso de la existencia de viento. Es necesario determinar la velocidad crítica tomando en consideración el sistema de ballestas del coche y la presión del viento, pero la velocidad crítica del viento correspondiente a la deficiencia de peralte admisible es:

$$V_o = \sqrt{\frac{WG_o}{\rho s h_{BC'} C_y}} \cdot \sqrt{1 - \frac{2 h_{G'}^1}{G'} \left\{ \left[ 1 - \frac{u}{1+u} \cdot \frac{h_{GT}}{h_{G'}^1} \right] \cdot \alpha_H + \frac{\Delta C}{G_c} \right\}}$$

En la fórmula

$$h_{BC'} = h_{BC} + (C_y - C_y \phi e) W_B$$

$$W = W_B + W_T$$

$$h_{BC} = h_{GB} + e$$

$$h_{G'} = h_G + \frac{1}{1+u} C_y W_B$$

$$h_G = \frac{h_{GB} + u h_{GT}}{1+u}$$

$$u = \frac{W_T}{W_B}$$

- donde  $W$  : 1/2 del peso de coche (kg),  $p$  = densidad del aire (kg-sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)
- $s$  : 1/2 del área proyectada lateral (m<sup>2</sup>) de la carrocería
- $h_{BC}$  : Altura de centro de gravedad de la carrocería desde la superficie de riel (m)
- $e$  : Distancia del centro de presión de aire (m) en relación con el centro de gravedad de la carrocería y el viento lateral
- $C_y$  : Coeficiente de resistencia de la carrocería al viento lateral
- $C_y \phi$  : Desplazamiento lateral por momento unitario de carrocería (1/kg)
- $W_B$  : 1/2 de peso de la carrocería (kg)
- $W_T$  : Peso del bogie
- $h_{GT}$  : Altura del centro de gravedad del bogie en la superficie del riel
- $\alpha_H$  : Aceleración de la vibración lateral de la carrocería en marcha (g)



A continuación, se explicará el caso de calcular la máxima velocidad permisible mediante la deficiencia de peralte y la cantidad de peralte real.

Suponiendo que la deficiencia de peralte permisible sea  $C_{da}$  y el peralte real sea  $C_m$ , se puede calcular la velocidad permisible en este caso como la velocidad equilibrada de  $(C_m + C_{da})$ .

$$\text{De } C_m + C_{da} = 8,4 (V^2/R) ,$$

$$V = 0,345 \sqrt{R(C_m + C_{da})}$$

Suponiendo que sea  $C_{da} = 50 \sim 60$ ,

$$V = 0,345 \sqrt{R(C_m + 50 \sim 60)}$$

En caso de que  $C_m$  sea de 0,

$$\begin{aligned} V &= 0,345 \sqrt{R (50 \sim 60)} \\ &= 2,44 \sim 2,64 \sqrt{R} \end{aligned}$$

Suponiendo que  $C_m$  sea el máximo peralte de 105 mm,

$$\begin{aligned} V &= 0,345 \sqrt{R (155 \sim 165)} \\ &= 4,30 \sim 4,43 \sqrt{R} \end{aligned}$$

O sea, en caso de que el peralte real sea pequeño, se puede circular a mucho más baja velocidad que la velocidad normal. En caso de que el peralte real sea grande, por lo que se refiere sólo a este aspecto, se puede incrementar bastante la velocidad en comparación con la actual. En *Fig. 19* se muestra la situación en caso de  $C_{da} = 50$ .

Para su información, en el *Cuadro 15* se muestra la velocidad permisible al pasar por una curva en diversos países. Como se entiende esto, la velocidad permisible que se usa habitualmente al pasar por una curva no es necesariamente la que se obtiene combinando los respectivos máximos valores permisibles de la cantidad de peralte y de la deficiencia de peralte.

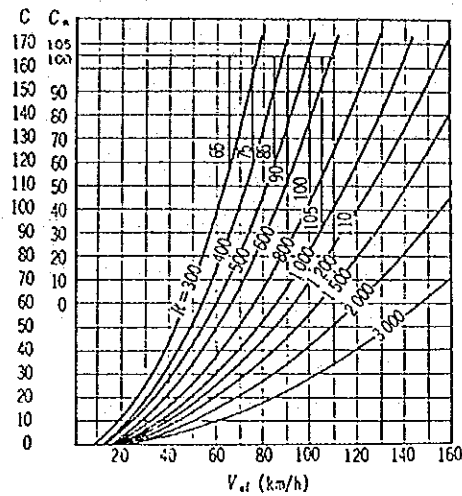


Fig. 19 Velocidad Permisible por Peralte Real (en caso de  $C_{da} = 60$ )

Cuadro 15 Radio de Curva y Máxima Velocidad Permisible

País	Fórmula de Cálculo	Observaciones
Alemania	$V = 4,33 \sqrt{R}$	Valor Teórico
Francia	$V = 5,3 \sqrt{R} - 5$	
	$V = 4,9 \sqrt{R} - 5$	Valor Real
Holanda	$V = 4,33 \sqrt{R}$	C : Peralte (mm)
Italia	$V = 4,6 \sqrt{R}$	
Suiza	$V = 4,33 \sqrt{R} - 5$	l : Longitud de Curva de Transición (m)
Inglaterra	$V = \sqrt{(7,5 + 0,064C) R}$	
Suecia	$V = \frac{C \cdot R}{8}$	
	$V = \frac{10001}{8 \cdot C}$	
EE. UU.	$V = 4,2 \sqrt{R}$	P : Permisible hasta que la aceleración centrífuga excedente sea de 0,7 m/seg <sup>2</sup> .
	$V = 4,2 \sqrt{R}$	
URSS	$V = \sqrt{(0,08C + 13P) R}$	

### 7.1.2 Velocidad de Seguridad contra Descarrilamientos

La seguridad contra descarrilamientos se juzga según la relación entre la fuerza lateral  $Q$  y la carga por rueda  $P$ , o sea el coeficiente de descarrilamiento  $Q/P$ . Las fuerzas laterales en la parte de línea recta son la debida a la vibración, la fuerza lateral de impacto debida al desalineamiento de la vía, etc. Todas aumentan con la velocidad. Al marchar a alta velocidad, especialmente la que es debida al movimiento sepenteado ejerce una influencia muy importante, pero si la vía está bien mantenida, casi no hay problemas a nivel de la velocidad actual.

Como la fuerza lateral en la parte de curva, además de las indicadas, existen la que se ocasiona cuando al virar el eje fijo a lo largo de la curva, la constante ocasionada por el desequilibrio del peralte, etc. En cuanto a aquélla, es siempre grande la fuerza lateral que obra sobre el riel exterior, ocupando la mayoría de fuerzas laterales en curva pronunciada. En cuanto a la fuerza lateral debida a la deficiencia de peralte, es naturalmente grande la que obra sobre el riel exterior al marchar a alta velocidad. Por consiguiente, de las fuerzas laterales en la parte exterior, la del riel exterior constituye un problema. Se considera que la fuerza lateral de viraje no se relaciona con la velocidad, pero estas fuerzas laterales en total aumentan con la velocidad, haciendo también su dispersión más grande.

Debido a que es difícil calcular teóricamente el valor de la fuerza lateral, se mide generalmente según experimentos. Pero, en la parte de curva el coeficiente de descarrilamiento excede pocas veces el límite a nivel de velocidad actual. En cuanto a este aspecto, se puede esperar un poco de incremento de velocidad. Sin embargo, si hay dealineamiento de vía, hay peligro de que ocurran fuerzas laterales imprevistas, disminución de carga por rueda y descarrilamiento debido a la coexistencia de éstas.

### 7.1.3 Velocidad Permisible en Relación con la Comodidad

La comodidad es una reacción psicológica y fisiológica del hombre y contiene muchos factores que se denomina mucho según la diferencia individual de los sentidos. Por eso, es difícil tratarla cuantitativamente. Sin embargo, su relación con el movimiento de los coches está casi aclarada. Lo principal es como sigue:

- (1) Aceleración de Vibración
- (2) Aceleración Constante (Aceleración de Desequilibrio)
- (3) Proporción de Variación Temporal de Aceleración de Desequilibrio

#### (1) Aceleración de Vibración

En cuanto a la comodidad de la vibración continua durante la marcha de los coches, se juzga la del movimiento perpendicular según el valor crítico que Janeway propuso en la Sociedad de Automóviles de EE.UU. Este límite se divide como se muestra en la *Fig. 20 (a)* y cada división se evalúa como sigue:

División	Coefficiente de Comodidad	Evaluación de Comodidad en Relación con la Vibración
①	Menos de 1	Muy Buena
②	1 - 1,5	Buena
③	1,5 - 2	Ordinaria
④	2 - 3	Mala
⑤	Más de 3	Muy Mala

Por consiguiente, se considera habitualmente que  $<2$  de coeficiente de comodidad y más o menos  $0,1$  g de aceleración lateral (En muchos casos el número de frecuencia de vibración es generalmente de  $1,5$  más o menos) son el límite de lo bueno o lo malo.

Aunque la aceleración de la vibración varía mucho según la clase de coche, el resultado de experimentos muestra que en todos los casos casi aumenta en proporción con la velocidad del tren. Por eso, el límite permisible de la velocidad del tren se determina según este aspecto.

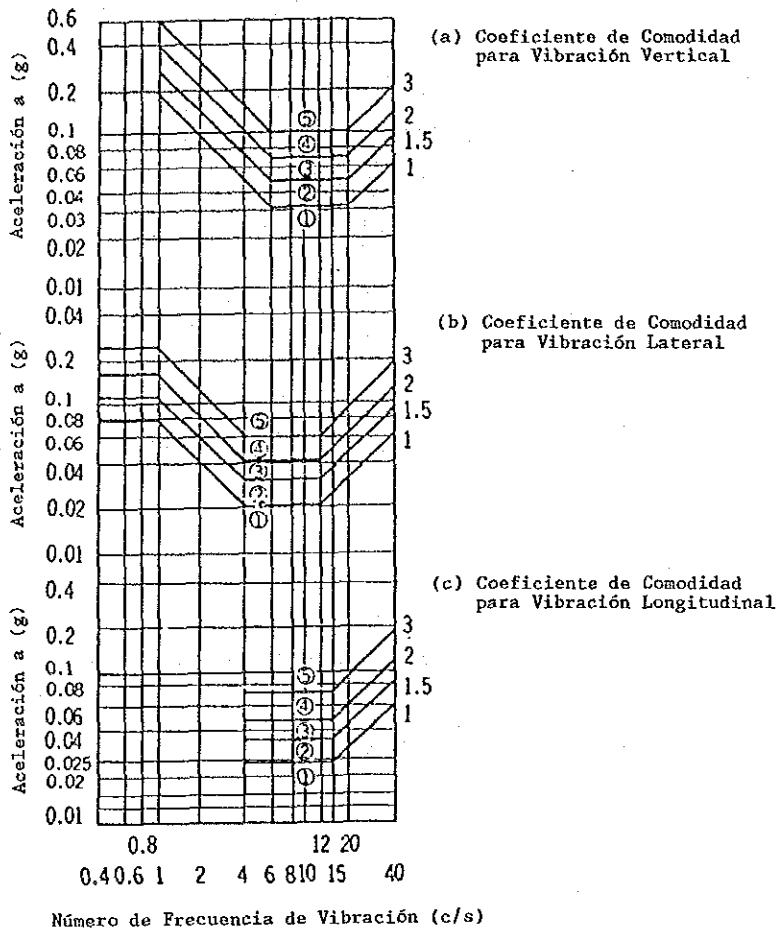


Fig. 20 Límite de Comodidad

(2) Aceleración Constante (Aceleración de Desequilibrio)

En caso de que se haga demasiado grande la aceleración constante que obra continuamente debido al exceso o deficiencia de peralte, se pierde la comodidad. Por es, es necesario limitarla bajo cierto grado. Este límite se ha considerado como 0,1 g según el resultado de los experimentos de AREA, pero examinándolo después, se considera que más o menos 0,08 g se vía adecuado. Esta aceleración de desequilibrio se trata como un problema de exceso o deficiencia de peralte, y considerando la acción de las ballestas del coche, dicho valor 0,08 g casi corresponde a la deficiencia de peralte de 70 mm más o menos. Consecuentemente, como se ejecuta ahora, si se mantiene limitada la defici-

encia de peralte a 50 - 60 mm desde el punto de vista de contramedidas de descarrilamiento, no hay problemas en cuanto a la comodidad.

### (3) Proporción de Variación Temporal de la Aceleración de Desequilibrio

Según ensayos en el pasado, es deseable que ésta sea inferior a 0,03 g/seg. Se considera que 0,04 g/seg es su límite práctico. Dicho valor corresponde a la variación por cada segundo de deficiencia de peralte unos 30 mm/seg y 40 mm/seg, constituyendo una base de la longitud de la curva de transición  $L_3 = 0,009 C_d V$  y  $0,007 C_d V$  que se requiere de éste. Por consiguiente, como la velocidad correspondiente a cada longitud de curva de transición y al menos la calculada en un sentido inverso de ésta, la siguiente es necesaria:

$$V < \frac{L}{0,007C_d}$$

Igual que éstas, se aplica a la variación por cada segundo de peralte real, necesitando la siguiente:

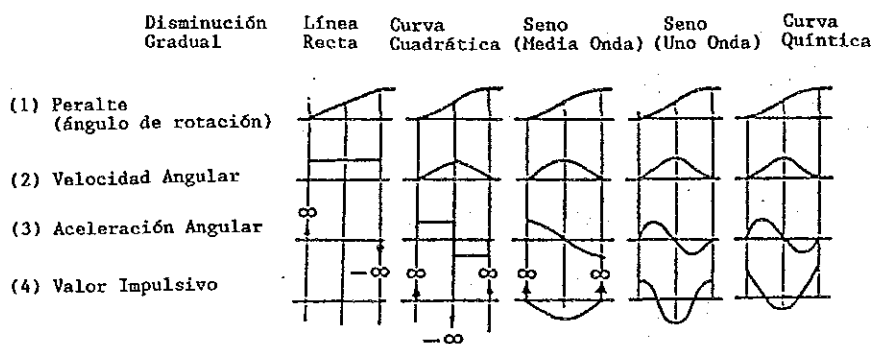
$$V < \frac{L}{0,007C}$$

#### 7.1.4 Destrucción de la Vía

La influencia que la velocidad ejerce sobre la destrucción de la vía en la parte de curva, se puede considerar que el aumento del peso por rueda, toda la fuerza lateral y coeficiente de descarrilamiento son sus factores. Por lo tanto, teniendo establecido cierto límite para éstos, se lo comparará con el valor obtenido según experimentos.

• **Nota 1: Explicación sobre Disminución Lineal y Disminución Compuesta**

Se explicarán un poco concretamente el caso de que el sistema de disminución gradual de peralte y curvatura sea lineal y el caso de que sea de diversas formas curvilíneas. En Fig. N-1 se muestran unos ejemplos.



**Fig. N-1 Comparación de Disminución Gradual de Peralte de Diversas Clases**

Ahora, se considera el coche como un punto material que marcha a determinada velocidad. (1) muestra la variación del peralte en la curva de transición, (2) la velocidad de variación del peralte (velocidad angular) y (3) la aceleración de variación del peralte (aceleración angular). Según la figura, la aceleración de variación del peralte (aceleración angular) se vuelve infinita en caso de disminución lineal del peralte, mientras en el caso de disminución curvilínea del peralte, el valor se vuelve finito tanto en la forma de parábola cuadrática (Sistema Alemán) como en la forma de media onda sinusoidal (Sistema de Nueva Línea Troncal), resultando que se mejore la comodidad respectivamente.

Teóricamente, es deseable continuar hasta esta variación de aceleración. Por consiguiente, se necesitará la disminución curvilínea de orden superior, pero considerando la colocación y mantenimiento desde el punto de vista práctico, parece que pueda satisfacerse con la curva mostrada en la figura por lo que se refiere al efecto. Según la experiencia de la Nueva Línea Troncal desde su inauguración, esta es la prueba más positiva, pues no ha ocurrido ningún problema con la curva de transición con variación de curvatura de media onda sinusoidal.

• Nota 2: Parábola Cúbica

Según la Fig. N-2, se constituye la relación siguiente:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{x}{X} \cdot \frac{1}{R}$$

La alineación horizontal será parábola cúbica. (Fig. N-3) Como es el radio de curva, se constituye la fórmula siguiente:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\{1 + [\frac{dy}{dx}]^2\}^{3/2}}$$

A pesar de eso,

$$\{1 + [\frac{dy}{dx}]^2\}^{3/2} = (1 + \tan^2\phi)^{3/2}$$

Como  $\phi$  es un ángulo que la tangente del punto B forma con el eje X y es generalmente pequeño, suponiendo que sea  $\tan^2 \phi = 0$ , se puede considerar aproximadamente como la siguiente:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{d^2y}{dx^2}$$

Por consiguiente,

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{x}{X} \cdot \frac{1}{R}$$

Integrándola dos veces,

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

Esta es la base de la parábola cúbica.



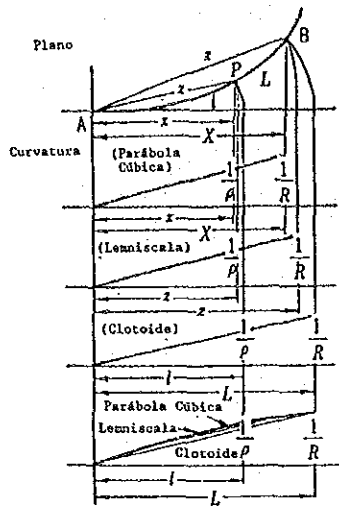


Fig. N-2 Disminución Lineal de Diversas Clases

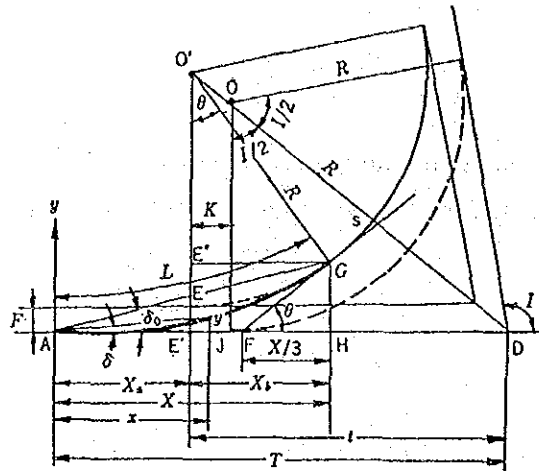


Fig. N-3 Curva de Transición de Parábola Cúbica

• Nota 3: Curva de Clotoide

De este caso (Fig. N-2) se constituye la relación siguiente:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{L}{L} \cdot \frac{1}{R}$$

Por otra parte, la curvatura es

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{d\phi}{dl}$$

Por eso,

$$\frac{d\phi}{dl} = \frac{l}{RL}$$

Integrando ésta, se obtiene la siguiente:

$$\phi = \frac{l^2}{2RL} = kl^2$$

donde  $k = \frac{1}{2RL}$

Esta es la curva llamada Curva de Clotoide (Fig. N-4).

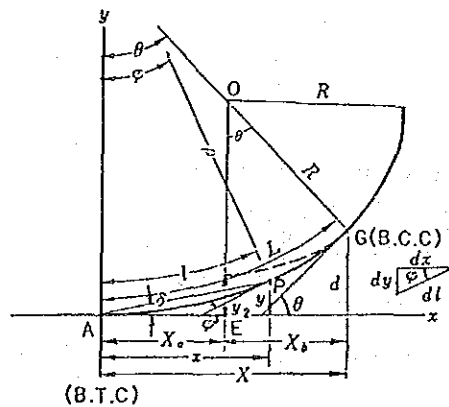


Fig. N-4 Clotoide

• Nota 4: Espiral AREA

(i) Espiral AREA

Esta curva es parecida a la curva de la clotoide y se usa principalmente en EE.UU.

Suponiendo que sea como sigue:

D : Grado de Curvatura (grado) de Curva Circular

S : Longitud de curva de Transición (número de unidad de 100 pies)

L : Longitud de Curva de Transición (pies)

k : Grado de Curvatura Creciente por cada 100 pies

$\Delta$  : Angulo de Espiral Total (Angulo de Tangente del Punto de Término en Curva de Transición)

d : Grado de curvatura de un punto dado en Curva de Transición (Grado)

s : Longitud de Curva hasta un punto dado en Curva de Transición

l : Longitud de Curva hasta un punto dado en Curva de Transición (pies)

$\delta$  : Angulo de Tangente de Un Punto Dado en Curva de Transición

$$d = ks = \frac{kl}{100}, \quad D = kS = \frac{kL}{100}$$

$$\delta = \frac{1}{2} ks^2 = \frac{dl}{200}, \quad \Delta = \frac{1}{2} kS^2 = \frac{DL}{200}$$

$$d = \frac{DI}{L}$$

Por eso,

$$\delta = \frac{DI^2}{200} \quad (\delta \text{ es grado})$$

$$\delta' = \frac{\gamma DI^2}{200L} \quad (\delta' \text{ es radián, pero } \gamma = \frac{\pi}{180} = 0,0174533)$$

$$dy = dl \sin \delta' = \left[ \delta' - \frac{\delta'^3}{6} \right] dl$$

$$y = \frac{\gamma DI^3}{600L} - \frac{\gamma^3 D^3 I^7}{336000000L^3}$$

De  $Dl = \sqrt{200\delta}$

$$y = \frac{\gamma l}{3} \delta - \frac{\gamma^3 l}{42} \delta^3$$

Sustituyendo  $l = 100s$  y  $\gamma = \pi/180$

$$y = 0,528\delta - 0,00001264\delta^3$$

y  $dx = dl \cos \delta' = \left[1 - \frac{\delta'^2}{2}\right] dl$

$$x = l - \frac{\gamma^2 D^2 l^5}{400000L^2}$$

De  $Dl = \sqrt{200\delta}$

$$x = l - \frac{\gamma^2 l}{10} \delta$$

Sustituyendo  $l = 100s$  y  $\gamma = \pi/180$ ,

$$x = l - 0,003048\delta^2 s$$

Todas las fórmulas se forman por el grado de curvatura y longitud en pies, pero convirtiéndolos en el radio de curva y metros, será como sigue:

$$y = \frac{l^3}{6RL} - \frac{l^7}{336R^3 L^3}$$

$$x = l - \frac{l^5}{40R^2 L^2}$$

(ii) Espiral AREA (Fórmula Simplificada)

Esta es la fórmula simplificada de Espiral AREA y es parecida a la espiral cúbica.

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{\phi}{3} l = \frac{k l^3}{3} & k &= \frac{1}{2RL} \\ x &= l \end{aligned} \right\}$$

Dividiendo la longitud de la curva de transición L en diez partes iguales y poniendo números n = 1,2, ..., 10 del punto de comienzo, se

divide como sigue:

$$I_n = \frac{n}{10} L$$

Sustituyendo ésta en dicha fórmula,

$$y_n = \frac{k}{3} \left[ \frac{n}{10} L \right]^3 = \frac{kn^3 L^3}{3000}$$

$$x_n = \frac{n}{10} L$$

### (iii) Espiral Cúbica

Siendo  $\sin\phi \doteq \phi$  en la fórmula de las coordenadas rectangulares,

$$dy = \phi dI$$

Sustituyendo la fórmula (N-9),

$$dy = \frac{I^2}{6RL} dI$$

Integrándola,

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

Como ésta corresponde a la fórmula de la parábola cúbica, se llama la espiral cúbica.

### • Nota 4: Curva de Lemniscata

Según la Fig. N-2, se constituye la relación siguiente:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{z}{Z} \cdot \frac{1}{R}$$

Esta se llama la curva de lemniscata. Expresada en coordenadas rectangulares, es como sigue (Refiérase a Fig. N-5):

$$(x^2 + y^2) = a^2(x^2 - y^2)$$

Pero,  $a$  es una constante.

Expresada en coordenadas polares, es como sigue:

$$z^2 = a^2 \sin 2\alpha$$

Igual que la curva de la clotoide, esta curva de transición se considera conveniente para carreteras con muchas curvas pronunciadas y ferrocarriles urbanos y se usa bastante en carreteras. Pero, parece que se usa poco en ferrocarril.

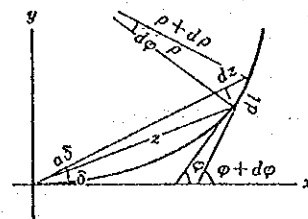
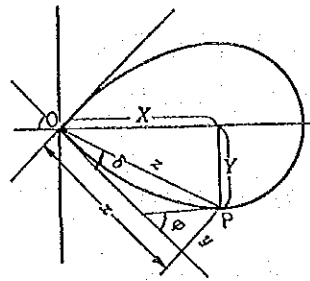


Fig. N-5 Lemniscata

• Nota 5: Curva de Transición con Variación de Curvatura de Media Onda Sinusoidal (En caso del Japón)

Esta curva de transición fue ideada originalmente para la Nueva Línea Troncal, y como se muestra en la Fig. N-6, es la que ha formado la disminución gradual del peralte y la curvatura en media onda sinusoidal.

Es decir, la curvatura es

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{1}{2R} \left[ q - \cos \frac{\pi}{X} x \right]$$

El peralte es

$$Cx = \frac{C}{2} \left[ 1 - \cos \frac{\pi}{X} x \right]$$

A continuación, es

$$\frac{1}{\gamma} \doteq \frac{d^2y}{dx^2}$$

Por eso, es

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{2R} \left[ 1 - \cos \frac{\pi}{X} x \right]$$

Integrándola, es

$$\frac{dy}{dx} = \tan\theta = \frac{1}{R} \left[ \frac{\pi}{2} - \frac{X}{2\pi} \sin \frac{\pi}{X} x \right]$$

donde  $\theta$ : ángulo de tangente

Integrándola otra vez,

$$y = \frac{x^2}{4R} - \frac{x^2}{2\pi^2 R} \left[ 1 - \cos \frac{\pi}{X} x \right]$$

Esta es la fórmula que da la alineación de la curva de transición con variación de la curvatura de media onda sinusoidal.

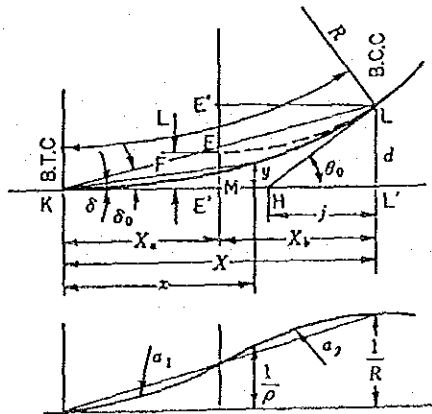


Fig. N-6

• Nota 6: Sistema Alemán

- (i) Se considera que en la vía de velocidad  $V \geq 100$  km/h es deseable la curva de transición de la parábola cuártica. Esta forma la disminución gradual de la curva y el peralte como la alineación de la parábola cuadrática.

En la Fig. N-7 se calcula dividiendo en dos : entre K y M y entre M y L.

La curvatura es

entre K y M

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{2x^2}{RX^2}$$

entre M y L

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{1}{R} \left\{ 1 - 2 \left[ 1 - \frac{x}{X} \right]^2 \right\}$$

La alienación es

entre K y M

$$y = \frac{x^4}{6RX^2}$$

entre M y L

$$y = \frac{1}{R} \left[ -\frac{x^4}{6X^2} + \frac{2x^3}{3X} - \frac{x^2}{2} + \frac{Xx}{6} - \frac{X^2}{48} \right]$$

(ii) En la vía de velocidad  $V \geq 200$  km/h será de la forma de disminución gradual de la sinusoide.

La curvatura es

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{1}{R} \left[ \frac{x}{X} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi x}{X} \right]$$

El peralte es

$$C_x = C \left[ \frac{x}{X} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi x}{X} \right]$$

La alineación es

$$y = \frac{x^3}{6RX} - \frac{X}{4\pi^2 R} \left[ x - \frac{X}{2\pi} \sin \frac{2\pi x}{X} \right]$$

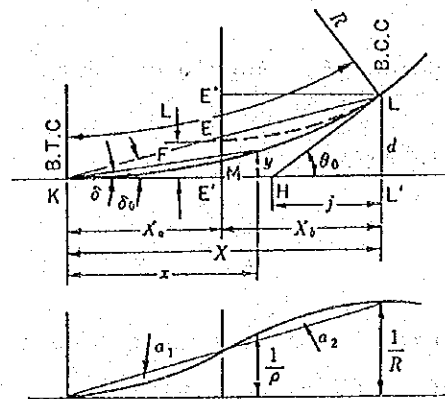


Fig. N-7 Curva de Transición de Parábola Cuártica

• Nota 7: Sistema Francés

Se considera que lo ideal es (ii) del Sistema Alemán, la forma de disminución gradual de la senoide, pero en la práctica se considera satisfactorio si se da un espacio cerca de los puntos de comienzo y término en la curva de transición de la parábola cúbica. Se ha decidido que se adopte este sistema también en la nueva línea troncal de París a la región sudeste.

• Nota 8: Comparación entre Curva de Transición de Parábola Cúbica y Curva de Transición con Variación de Curvatura de Media Onda Sinusoidal

En las líneas en operación con curva de transición de parábola cúbica, es muy efectivo que se pueda prolongar la longitud de la curva de transición como se muestra en la *Fig. N-8*, insertando una curva de transición con variación de curvatura de media onda sinusoidal sin trasladar la mayoría de la parte curvilínea.

En caso de la curva de transición de parábola cúbica, en la *Fig. N-3* es como sigue:

$$y = \frac{1}{6Rx} x^3$$

Por eso,

$$\frac{dy}{dx} = \tan\theta = \frac{x^2}{2RX}$$

En el punto G, es  $\theta = \theta_0$  y  $x = X$ .

$$\tan\theta_0 = \frac{X}{2R}$$

Como  $\theta$  es pequeño,

$$\overline{E''G} = R\sin\theta \doteq R \times \frac{X}{2R} = \frac{X}{2}$$

El punto E' divide AH en dos partes iguales.



Calculando el desplazamiento F

$$F = \overline{GH} - \overline{E''E}$$

$$\overline{E''E} = R - \sqrt{R^2 - \left[\frac{X}{2}\right]^2} = R - R\left\{1 - \left[\frac{X}{2R}\right]^2\right\}^{1/2}$$

$$= R - R\left[1 - \frac{X^2}{8R^2}\right]$$

$$= \frac{X^2}{8R}$$

$$\overline{GH} = \frac{X^2}{6R}$$

$$\therefore F = \frac{X^2}{6R} - \frac{X^2}{8R} = \frac{X^2}{24R}$$

y, la longitud del punto central M

$$y_{1/2} = \frac{X^2}{48R}$$

Es decir, M divide EE' en dos partes iguales.

Por otra parte, en caso de la curva de transición con variación de curvatura de media onda sinusoidal, en Fig. N-6

$$y = \frac{x^2}{4R} - \frac{X^2}{2\pi^2 R} \left[1 - \cos \frac{\pi}{X} x\right]$$

$$\frac{dy}{dx} = \tan\theta = \frac{1}{R} \left[\frac{x}{2} - \frac{X}{2\pi} \sin \frac{\pi}{X} x\right]$$

En el punto G, es

$$\theta = \theta_0, \quad x = X$$

y

$$y = \left[\frac{1}{4} - \frac{1}{\pi^2}\right] \frac{X^2}{R} = 0,14868 \frac{X^2}{R}$$

$$\tan\theta_0 = \frac{X}{2R}$$

Calculando "shift" F,

$$F = \overline{E'E''} - \overline{EE''}$$

$$\overline{EE''} = \frac{X^2}{8R}$$

$$\overline{E'E''} = 0,14868 \frac{X^2}{R}$$

$$\therefore F = \overline{E'E''} - \overline{EE''} = \left[ \frac{1}{8} - \frac{1}{\pi^2} \right] \frac{X^2}{R} = 0,023679 \frac{X^2}{R}$$

Comparando ambas curvas de transición según lo dicho, el desplazamiento F es de  $1/24 \cdot X^2/R$  en caso de la parábola cúbica, mientras en el caso de la curva de transición con variación de curvatura de media onda sinusoidal, se disminuye a  $0,023679 X^2/R$ . Por lo tanto, en caso de que "shift" sea igual, la longitud de curva de transición con variación de curvatura de media onda sinusoidal será 1,32652 veces más grande como sigue:

$$\sqrt{\frac{1}{24} \times \frac{1}{0,023679}} = 1,32652$$

En este caso, la pendiente de variación del peralte es

$$\frac{d}{dx}(Cx) = C \frac{\pi}{2X} \sin \pi \frac{x}{X}$$

El máximo valor de la misma será en el centro

$$\frac{d}{dx}(Cs) \ x/2 = \frac{\pi}{2} \frac{C}{X}$$

En caso de la curva de transición de parábola cúbica, la pendiente de variación es fija como sigue:

$$\frac{d(Cx)}{dx} = \frac{C}{X}$$

Por eso, el máximo valor de la pendiente de variación del peralte en caso de la curva de transición con variación de curvatura de media onda sinusoidal es  $\pi/2$  veces más grande, es decir es 1,57080 veces más pronunciada.

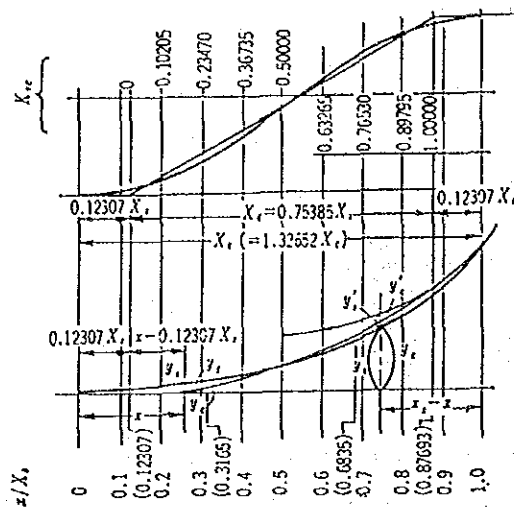


Fig. N-8 Comparación entre Curva de Transición de Parábola Cúbica y Curva de Transición con Variación de Curvatura de Media Onda Sinusoidal

• Nota 9: Curva de Transición y Sostén con Tres Puntos

En cuanto a un coche de 4,6 m de la máxima base rígida (Tipo TORA 6000), se considera la flotación de ruedas.

La cantidad de flexión de resorte (resorte base de clase 6) por tonelada será de 9,2 mm, el peso de coche vacío de 9,1 t (de dicho peso, el peso suspendido 6,8 t, el peso no suspendido 2,3 t). En Fig. N-9, A, B, C y D serán ubicaciones de resorte y la carga que obra sobre el respectivo resorte será W.

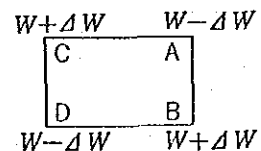


Fig. N-9

Suponiendo que el punto A flote como resultado del sostén con tres puntos, el resorte de punto D va a hacer saber el punto A empujando, aumentando la carga sobre los resortes de puntos B y C. Es decir, la carga sobre A y D será  $W - \Delta W$ , y la carga sobre B y C  $W + \Delta W$ .

En caso de que el resorte de punto A pierda su fuerza de empuje hacia abajo, prolongándose a su límite de largo, y al mismo tiempo el resorte de punto D pierda su fuerza de empuje hacia arriba, la cantidad de hundimiento

de punto A será de  $31 \times 2 = 62$  mm, pues la cantidad de compresión de resorte de puntos B y C es de

$$9,2 \times \frac{6,8}{2} = 31 \text{ mm}$$

Suponiendo que la distancia entre centros de resorte sea de 1,93 m, el hundimiento de la parte de rueda será,

$$62 \times \frac{1,067}{1,93} = 34 \text{ mm} \qquad 62 \times \frac{1,000}{1,93} = 32 \text{ mm}$$

En realidad, si se supone que la cantidad de dilatación y contracción del resorte debido a la vibración durante la marcha del coche sea del 30% (a una velocidad de 65 km/h en la parte curvilínea),

$$34 \times 0,7 = 24 \text{ mm} \qquad 32 \times 0,7 = 22 \text{ mm}$$

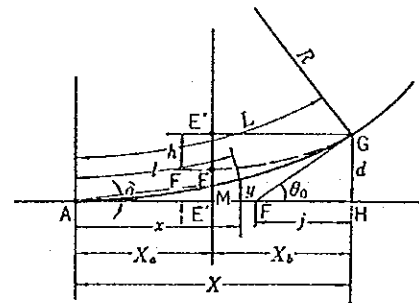
O sea, para que en este caso no obre la fuerza de hacer flotar ruedas, se deberá disminuir refrenar la cantidad de flotación debido al sostén con tres puntos dentro de 24 mm (22 mm).

• **Nota 10: Método de Colocación de la Curva de Transición de Disminución Lineal**

(a) **Método de Cálculo Aproximado**

En la *Fig. N-10*, suponiendo que sea la longitud de curva  $l \cong x$  longitud de eje  $x$ , será  $L \cong X$  en el punto final.

Como  $\theta$  es pequeño, será  $\tan\theta \cong \theta \cong \sin\theta$  y  $\cos\theta \cong 1 - \theta^2/2$ . Es decir, el punto final, será  $\tan\theta_0 = X/2R \cong \theta_0 \cong \sin\theta_0$ ,  $\cos\theta_0 = 1 - X^2/8R^2$ .



*Fig. N-10*

Basándose en dicha aproximación, se determinarán varios valores de curva y ubicaciones relacionadas.

$$X_b = R \sin \theta_0 = \frac{X}{2} \quad \therefore X_a = \frac{X}{2}$$

De la longitud del punto de término  $d = X^2/6R$  y de  $EE'' = R(1 - \cos \theta_0) = X^2/8R$ ,

$$\text{Desplazamiento } F = d - EE'' = \frac{X^2}{24R}$$

$$\text{Forma de Tangente } j = d \cos \theta_0 = \frac{X^2}{6R} \cdot \frac{2R}{X} = \frac{X}{3}$$

En cuanto a la *Fig. N-11*, hay caso en que las curvas de transición son diferentes en el lado del punto de partida y en el lado del punto final. Suponiendo que los desplazamientos sean respectivamente  $F_1$  y  $F_2$ ,

$$K_1 = F_1 \operatorname{cosec} I - F_2 \cot I$$

Generalmente, ambas curvas de transición son iguales,

$$F_1 = F_2 = F$$

Por eso,

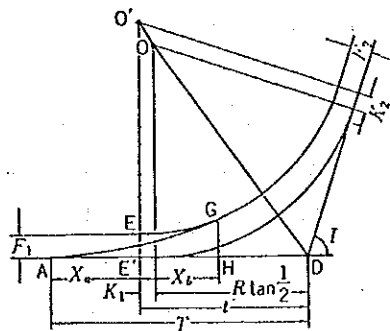
$$K = F(\operatorname{cosec} I + \cot I) = F \tan \frac{I}{2}$$

Luego, la ubicación del punto de partida A en la curva de transición será

$$AD = T = R \tan \frac{I}{2} + K + \frac{X}{2}$$

En general, es  $K = F \tan I/2$ , por lo cual

$$T = (R + F) \tan \frac{I}{2} + \frac{X}{2}$$



*Fig. N-11*

Después de determinadas así las ubicaciones relacionadas, se calculará para cada punto en la curva de transición de la manera siguiente. Tomando la respectiva distancia  $x$  en la tangente inicial, y tomando la longitud correspondiente

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

o tomando el argumento

$$\delta = \tan^{-1} \frac{y}{x} = \frac{x^2}{6RX}$$

se determinará cada punto en la curva de transición.

**(b) Método de Cálculo Preciso**

En caso de que  $L/R$  o  $L$  sea grande, a medida que  $L^2/R$  llega a ser generalmente de más de diez más o menos, varios errores se hacen más grandes. Por eso, será necesario aplicar el método de cálculo preciso.

i) Relación entre Longitud de curva de Transición y Longitud de Eje x

La fórmula general de la longitud de la curva de transición l

$$l = \int_0^x \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \doteq \int_0^x \left\{1 + \frac{1}{2} \left[\frac{dy}{dx}\right]^2\right\} dx$$

y  $dy/dx = x^2/2RX$

por eso,

$$\begin{aligned} l &= \int_0^x \left\{1 + \frac{x^4}{8R^2 X^2}\right\} dx \\ &= x + \frac{x^5}{40R^2 X^2} \end{aligned}$$

En el punto final,

$$L = X + \frac{x^5}{40R^2}$$

De ésta se obtiene aproximadamente la siguiente fórmula:

$$x = 1 - \frac{1^5}{40R^2 L^2}$$

En el punto final,

$$X = L - \frac{L^3}{40R^2}$$

ii) Ubicación Relacionada

En cuanto a la *Fig. N-7*,

$$X_b = R \sin \theta_0 = R \sin \left[ \tan^{-1} \frac{X}{2R} \right]$$

o

$$X_b = R \frac{X}{2R} \frac{1}{\sqrt{1 + \left[ \frac{X}{2R} \right]^2}}$$

$$X_a = X - X_b$$

$$\begin{aligned} F = d - h &= \frac{X^2}{6R} - R(1 - \cos \theta_0) \\ &= \frac{X^2}{6R} - R \left\{ 1 - \cos \left[ \tan^{-1} \frac{X}{2R} \right] \right\} \end{aligned}$$

o

$$F = \frac{X^2}{6R} - R \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left[ \frac{X}{2R} \right]^2}} \right\}$$

$$j = d \cot \theta_0 = \frac{X^2}{6R} \cdot \frac{2R}{X} = \frac{X}{3}$$

En cuanto a la *Fig. N-8*,

$$K_1 = F_2 \operatorname{cosec} I - F_1 \cot I$$

Generalmente es  $F_1 = F_2$ , por lo cual

$$K = F \tan \frac{I}{2}$$

La distancia entre el punto inicial en la curva de transición A y el punto de intersección de la tangente D es

$$AD = T = R \tan \frac{I}{2} + K + X_a$$

Generalmente es  $K = F \tan I/2$

Por eso

$$T = (R + F) \tan \frac{I}{2} + X_a$$

### iii) Método de Colocación

Se calculan las latitudes en el eje x,  $x_1, x_2 \dots X$  que corresponden a las longitudes de curva  $l_1, l_2 \dots L$  desde el punto inicial A en la curva de transición hasta los respectivos puntos de medida en la curva de transición. Calculando la longitud que corresponde a esta latitud x, se determina cada punto en la curva de transición.

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

o calculando  $\delta$  sobre el respectivo l en la curva de transición según la siguiente fórmula, se determina cada punto en curva con el argumento.

$$\delta = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

## • Nota 11: Curva de Transmisión con Disminución Sinusoidal

### (a) Método de Cálculo Aproximado

En la Fig. N-7, es la longitud de curva  $l = x$ , y en el punto final será  $L = x$ .

Como  $\theta$  es pequeño, será  $\tan \theta \cong \theta \cong \sin \theta$  y  $\cos \theta \cong 1 - \theta^2/2$ . Es decir, en el punto final será  $\tan \theta_0 = X/2R = \theta_0 = \sin \theta_0$ ,  $\cos \theta_0 = 1 - X^2/8R^2$ .



Basándose en dichas aproximaciones, se deciden varios valores de la curva y posición relacionadas.

$$X_b = R \sin \theta_0 = \frac{X}{2}$$

$$\therefore X_a = \frac{X}{2}$$

La longitud del punto final

$$d \left[ \frac{1}{4} - \frac{1}{\pi^2} \right] \frac{X^2}{R} = 0,14868 \frac{X^2}{R}$$

$$EE'' = R(1 - \cos \theta_0) \doteq \frac{X^2}{8R}$$

$$\text{Desvío } F = d - EE'' = \left[ \frac{1}{8} - \frac{1}{\pi^2} \right] \frac{X^2}{R} = 0,023679 \frac{X^2}{R}$$

La subtangente del punto final es

$$j = d \cot \theta_0 = \left[ \frac{1}{4} - \frac{1}{\pi^2} \right] \cdot 2X = 0,297358X$$

En caso de que la longitud de la curva sea diferente en el lado del punto inicial y en el lado de punto final, suponiendo que los respectivos desplazamientos sean  $F_1$  y  $F_2$ , en *Fig. N-11*

$$K_1 = F_2 \operatorname{cosec} I - F_1 \cot I$$

Generalmente,  $F_1 = F_2$

Por consiguiente

$$K = F(\operatorname{cosec} I + \cot I) = F \tan \frac{I}{2}$$

La distancia entre el punto inicial en la curva de transición A y el punto de intersección de la tangente D

$$AD = T = R \tan \frac{I}{2} + K + X_a$$

Generalmente,  $K = F \tan I/2$

Por eso,

$$T = (R + F) \tan \frac{I}{2} + \frac{X}{2}$$

Tomando del punto A la respectiva latitud  $x$  en el punto inicial, la longitud correspondiente será:

$$y = \frac{1}{R} \left\{ \frac{x^2}{4} - \frac{X^2}{2\pi^2} \left[ 1 - \cos \frac{\pi}{X} x \right] \right\}$$

o el argumento

$$\delta = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

o

$$\delta = \tan^{-1} \frac{1}{R} \left\{ \frac{x}{4} - \frac{X^2}{2\pi^2} \left[ 1 - \cos \frac{\pi}{X} x \right] \right\}$$

Tomando lo dicho, se determina cada punto en la curva de transición.

#### (b) Método de Cálculo Preciso

Como diversos errores se hacen más grandes en caso de que  $L^2/R$  sean más o menos 10, se necesita el cálculo preciso.

i) Relación entre longitud de curva de transición y longitud de eje  $x$

La fórmula general de la longitud de curva de transición  $l$  es,

$$l = \int_0^x \sqrt{1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2} dx \cong \int_0^x \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[ \frac{dy}{dx} \right]^2 \right\} dx$$

o

$$\frac{dy}{dx} = \frac{x}{2R} - \frac{X}{2\pi R} \sin \frac{\pi}{X} x$$

Por eso

$$l = \int_0^x \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[ \frac{x}{2R} - \frac{X}{2\pi R} \sin \frac{\pi}{X} x \right]^2 \right\} dx$$

$$= x + \frac{X^2 x}{16\pi^2 R^2} + \frac{x^3}{24R^2} - \frac{X^2}{4\pi^2 R^2} \left[ \frac{X}{\pi} \sin \frac{\pi}{X} x - x \cdot \cos \frac{\pi}{X} x \right] \\ - \frac{X^3}{16\pi^3 R^2} \sin \frac{\pi}{X} x \cdot \cos \frac{\pi}{X} x$$

En el punto final

$$L = X + 0,0226685 \frac{X^3}{R^2}$$

De ésta, se conduce aproximadamente a la fórmula siguiente:

$$x = l - \frac{L^2 l}{16\pi^2 R^2} - \frac{l^3}{24R^2} + \frac{L^2}{4\pi^2 R^2} \left[ \frac{L}{\pi} \sin \frac{\pi}{L} l - l \cdot \cos \frac{\pi}{L} l \right] \\ + \frac{L^3}{16\pi^3 R^2} \sin \frac{\pi}{L} l \cdot \cos \frac{\pi}{L} l$$

En el punto final  $l = L$  es  $x = X$ . En este caso

$$X = L - 0,0226685 \frac{L^3}{R^2}$$

## ii) Ubicación Relacionada

En cuanto a la *Fig. N-11*,

$$X_b = R \sin \theta_0 = R \sin \left[ \tan^{-1} \frac{X}{2R} \right]$$

o

$$X_b = R \frac{X}{2R} \frac{1}{\sqrt{1 + \left[ \frac{X}{2R} \right]^2}}$$

$$X_a = X - X_b$$

$$\cos \theta_0 = \cos \left[ \tan^{-1} \frac{X}{2R} \right]$$

o

$$\cos \theta_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[ \frac{X}{2R} \right]^2}}$$

$$\begin{aligned} \text{Desplazamiento } F = d - h &= \left[ \frac{1}{4} - \frac{1}{\pi^2} \right] \frac{X^2}{R} - R(1 - \cos\theta_0) \\ &= 0,14868 \frac{X^2}{R} - R \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + \left[ \frac{X}{2R} \right]^2}} \right] \end{aligned}$$

Subtangente del punto final j

$$j = d \cot\theta_0 = \left[ \frac{1}{4} - \frac{1}{\pi^2} \right] \frac{X^2}{R} \cdot \frac{2R}{X} = 0,29736X$$

En cuanto a la Fig. N-8,

$$K_1 = F_2 \operatorname{cosec} I - F_1 \cot I$$

Generalmente, es  $F_1 = F_2 = F$ , por lo cual

$$K = F \tan \frac{I}{2}$$

Distancia entre el punto de comienzo en la curva de transición A y el punto de intersección de la tangente D

$$AD = T = R \tan \frac{I}{2} + K + X_a$$

### iii) Método de Colocación

Se calculan latitudes  $X_1, X_2, \dots, X$  en el eje x correspondientes a longitudes de curva  $l_1, l_2, \dots, L$  desde el punto de comienzo en la curva de transición A hasta cada punto de medida en la curva de transición.

Calculando el longitud correspondiente a esta latitud x, se determina cada punto en la curva de transición.

$$y = \frac{1}{R} \left\{ \frac{x^2}{4} - \frac{X^2}{2\pi^2} \left[ 1 - \cos \frac{\pi}{X} x \right] \right\}$$

O el argumento

$$\delta = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

0, según la siguiente fórmula se calcula  $\delta$  sobre cada  $l$ , y se determina cada punto en la curva según el argumento.

$$\delta = \tan^{-1} \left[ -\frac{1}{R} \left\{ \frac{x}{4} - \frac{X^2}{2\pi^2 x} \left( 1 - \cos \frac{\pi x}{X} \right) \right\} \right]$$

• **Nota 12: Curva de Transición con Disminución Lineal**

(a) **Método de Cálculo Aproximado**

$$R = 800 \text{ m}, \quad L = 100 \text{ m}, \quad I = 35^\circ 17' 00''$$

y la longitud de la curva de transición será igual tanto en el lado del punto inicial como en el lado de punto final.

Será  $L \doteq X = 100 \text{ m}$  y  $I = x$ .

$$X_a \doteq X/2 = 50 \text{ m}$$

$$\text{Desplazamiento } F = \frac{X^2}{24R} = \frac{100^2}{24 \times 800} = 0,521 \text{ m}$$

$$K = F \tan \frac{I}{2} = 0,521 \times \tan 16^\circ 08' 30'' = 0,151 \text{ m}$$

La ubicación de punto inicial en la curva de transición A es

$$\begin{aligned} Ad &= R \tan \frac{I}{2} + K + \frac{X}{2} \\ &= 800 \times \tan 16^\circ 08' 30'' + 0,151 + 50,000 \\ &= 231,538 + 0,151 + 50,000 = 281,689 \text{ m} \end{aligned}$$

Después, se determina cada punto en la curva de transición. Generalmente, como se sigue la progresiva desde el punto inicial, la progresiva del punto inicial en la curva de transición tiene una fracción. Por ejemplo, el punto inicial A será como 168K372m465mm. Por consiguiente, si se determina los puntos de medida por cada 10 m, el siguiente punto de medida es 168K380m, siendo de 7m535mm desde A, y el siguiente punto de medida en adelante se aumentará por 10 mm menos de 17m535mm. Por lo tanto, será  $x_1 = 7,535$ ,  $x_2 = 17,535$ ,  $x_3 = 27,535$ . Suponiendo que el punto inicial sea de 0 para que se pueda entender

fácilmente y se tome el punto de medición por cada 10 m, se muestra un ejemplo.

$$I \doteq 0, 10, 20 \dots 100 \text{ m}$$

$$y = \frac{X^3}{6RX} = \frac{X^2}{6 \times 800 \times 100}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{y}{x} = \tan^{-1} \frac{X^2}{6RX} = \tan^{-1} \frac{X^2}{6 \times 800 \times 100}$$

Calculando esto, se obtienen los siguientes valores:

$I \doteq x$	$y$	$\delta$
0 m	0,000 m	-
10	0,002	0°00'43"
20	0,017	0°02'52"
30	0,056	0°06'27"
40	0,133	0°11'28"
50	0,260	0°17'54"
60	0,450	0°25'47"
70	0,715	0°35'06"
80	1,067	0°45'50"
90	1,519	0°58'00"
100	2,083	1°11'37"

La subtangente del punto final G

$$j = \frac{X}{3} = \frac{100}{3} = 33,333 \text{ m}$$

**(b) Método de Cálculo Preciso**

$$R = 800 \text{ m}, \quad L = 100 \text{ m}, \quad I = 32^\circ 17' 00''$$

y será en caso de que la longitud de la curva de transición sea igual tanto en el lado de punto inicial como en el lado del final.

$$X = L - \frac{L^3}{40R^2}$$

$$= 100 - \frac{100^3}{40 \times 800^2} = 99,961 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 X_b &= R \sin\left[\tan^{-1} \frac{X}{2R}\right] \\
 &= 800 \times \sin\left[\tan^{-1} \frac{99,961}{2 \times 800}\right] = 49,883 \text{ m}
 \end{aligned}$$

o

$$\begin{aligned}
 X_b &= \frac{X}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{X}{2R}\right]^2}} \\
 &= \frac{99,961}{2} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{99,961}{2 \times 800}\right]^2}} = 49,885 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_a &= X - X_b \\
 &= 99,961 - 49,883 = 55,078 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Desplazamiento } F &= \frac{X^2}{6R} - R\left\{1 - \cos\left[\tan^{-1} \frac{X}{2R}\right]\right\} \\
 &= \frac{99,961^2}{6 \times 800} - 300\left\{1 - \cos\left[\tan^{-1} \frac{99,961}{2 \times 800}\right]\right\} \\
 &= 0,525 \text{ m}
 \end{aligned}$$

o

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{X^2}{6R} - R \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{X}{2R}\right]^2}} \right\} \\
 &= \frac{99,961}{6 \times 800} - 800 \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{99,961}{2 \times 800}\right]^2}} \right\} = 0,525 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$K = F \tan \frac{I}{2} = 0,525 \times \tan 16^\circ 08' 30'' = 0,152 \text{ m}$$

La ubicación del punto final en la curva de transición A es

$$\begin{aligned}
 AD &= R \tan \frac{I}{2} + K + X_a \\
 &= 800 \times \tan 16^\circ 08' 30'' + 0,152 + 50,078 \\
 &= 281,768 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Como se ha mencionado antes, la progresiva del punto inicial en la curva de transición A será de cifras fragmentarias, pero aquí se muestran ejemplos de cálculo de cada punto de medida por cada 10 m desde el punto A para que sea más fácil comprender.

$$x = l - \frac{l^5}{40R^2 L^2} = l - \frac{l^5}{40 \times 800^2 \times 100^2}$$

$$y = \frac{x^3}{6RX} = \frac{x^3}{6 \times 800 \times 99,961}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{x^2}{6RX} = \tan^{-1} \frac{x^2}{6 \times 800 \times 99,961}$$

Calculando éstos sobre cada valor de l 10, 20 ... 100 m, se obtienen los siguientes valores:

l	x	y	$\delta$
0 m	0,000 m	-	-
10	10,000	0,002 m	0°00'43"
20	20,000	0,017	0°02'52"
30	30,000	0,056	0°06'27"
40	40,000	0,133	0°11'28"
50	49,999	0,261	0°17'55"
60	59,997	0,450	0°25'48"
70	69,993	0,715	0°35'06"
80	79,987	1,067	0°45'51"
90	89,977	1,519	0°58'02"
100	99,961	2,084	1°11'38"

La subtangente del punto final G

$$j = \frac{X}{3} = \frac{99,961}{3} = 33,320 \text{ m}$$



• Nota 13: Curva de Transición con Disminución Sinusoidal

(a) Método de Cálculo Aproximado

$$R = 800 \text{ m}, \quad L = 100 \text{ m}, \quad I = 32^{\circ}17'00''$$

y la longitud de la curva de transición será igual tanto en el lado del punto inicial como en el lado del punto final.

Será  $L \cong X = 100 \text{ m}$  y  $I = x$ .

$$X_a \cong \frac{X}{2} = 50.000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Desplazamiento } F &= 0,023679 \frac{X^2}{R} \\ &= 0,023679 \times \frac{100^2}{800} = 0,296 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= F \tan \frac{I}{2} \\ &= 0,296 \times \tan 16^{\circ}08'30'' = 0,086 \text{ m} \end{aligned}$$

La ubicación del punto inicial en la curva de transición

$$\begin{aligned} AD &= R \tan \frac{I}{2} + K + \frac{X}{2} \\ &= 800 \times \tan 16^{\circ}08'30'' + 0,086 + 50,000 \\ &= 281,624 \text{ m} \end{aligned}$$

Al igual que lo dicho anteriormente, se muestra un ejemplo de cálculo de cada punto de medida por cada 10 m desde el punto inicial en curva de transición A.

$$I = x = 0, 10, 20 \dots 100 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y &= \frac{1}{R} \left\{ \frac{x^2}{4} - \frac{X^2}{2\pi^2} \left[ 1 - \cos \frac{\pi}{X} x \right] \right\} \\ &= \frac{1}{800} \left\{ \frac{x^2}{4} - \frac{100^2}{2\pi^2} \left[ 1 - \cos \frac{\pi}{100} x \right] \right\} \end{aligned}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

Calculando éstos, se obtienen los siguientes valores:

$l = x$	$y$	$\delta$
0 m	-	-
10	0,000 m	0°00'00"
20	0,004	0°00'41"
30	0,020	0°02'18"
40	0,062	0°05'20"
50	0,148	0°09'50"
60	0,296	0°16'58"
70	0,526	0°25'50"
80	0,854	0°36'42"
90	1,296	0°49'30"
100	1,858	1°03'52"

La subtangente del punto final  $j$

$$j = 0,297358X = 0,297358 \times 100 = 29,736 \text{ m}$$

(b) Método de Cálculo Preciso

$$R = 800 \text{ m}, \quad L = 100 \text{ m}, \quad I = 32^\circ 17' 00''$$

y la longitud de curva de transición será igual tanto en el lado del punto inicial como en el lado del punto final.

$$X = L - 0,0226685 \frac{L^3}{R^2}$$

$$= 100 - 0,0226685 \times \frac{100^3}{800^2} = 99,965 \text{ m}$$

$$X_b = R \cdot \frac{X}{2R} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{X}{2R}\right]^2}}$$

$$= \frac{99,965}{2} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{99,965}{2 \times 800}\right]^2}} = 49,885 \text{ m}$$

$$X_a = X - X_b$$

$$= 99,965 - 49,885 = 50,080 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Desplazamiento } F &= 0,14868 \frac{X^2}{R} - R \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{X}{2R}\right]^2}} \right) \\
&= 0,14868 \times \frac{99,965^2}{800} - 800 \times \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{99,965}{2 \times 800}\right]^2}} \right) \\
&= 1,857 - 1,557 = 0,300 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K &= F \tan \frac{I}{2} \\
&= 0,300 \times \tan 16^\circ 08' 30'' = 0,087 \text{ m}
\end{aligned}$$

La ubicación del punto inicial en la curva de transición A

$$\begin{aligned}
AD &= R \tan \frac{I}{2} + K + X_a \\
&= 800 \times \tan 16^\circ 08' 30'' + 0,087 + 50,080 \\
&= 231,539 + 0,087 + 50,080 = 281,706 \text{ m}
\end{aligned}$$

La progresiva del punto A será generalmente en cifras fraccionadas, pero aquí se muestran ejemplos del cálculo de puntos de medidas por 10 m desde el punto A para que se pueda entender fácilmente.

$$\begin{aligned}
x &= l - \frac{L^2 l}{16\pi^2 R^2} - \frac{l^3}{24R^2} + \frac{L^2}{4\pi^2 R^2} \left[ \frac{L}{\pi} \sin \frac{\pi}{L} l - \cos \frac{\pi}{L} l \right] \\
&\quad + \frac{L^3}{13\pi^3 R^2} \sin \frac{\pi}{L} l \cdot \cos \frac{\pi}{L} l \\
&= l - \frac{100^2 l}{16\pi^2 800^2} - \frac{l^3}{24 \times 800^2} + \frac{100^2}{4\pi^2 \times 800} \left[ \frac{100}{\pi} \sin \frac{\pi}{100} l - l \cos \frac{\pi}{100} l \right] \\
&\quad + \frac{100^3}{13\pi^2 800^2} \sin \frac{\pi}{100} l \cdot \cos \frac{\pi}{100} l
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y &= \frac{1}{R} \left\{ \frac{x^2}{4} - \frac{X^2}{2\pi^2} \left[ 1 - \cos \frac{\pi}{X} x \right] \right\} \\
&= \frac{1}{800} \left\{ \frac{x^2}{4} - \frac{99,965^2}{2\pi^2} \left[ 1 - \cos \frac{\pi}{99,965} x \right] \right\}
\end{aligned}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

o

$$\delta = \tan^{-1} \left[ \frac{1}{R} \left\{ \frac{x}{4} - \frac{X^2}{2\pi^2 x} \left( 1 - \cos \frac{\pi}{X} x \right) \right\} \right]$$
$$= \tan^{-1} \left[ \frac{1}{800} \left\{ \frac{x}{4} - \frac{99,965^2}{2\pi^2 x} \left( 1 - \cos \frac{\pi}{99,965} x \right) \right\} \right]$$

Calculando éstos sobre los respectivos valores 10, 20 ... 100 m de  $l$ , se obtienen los siguientes valores:

$l$	$x$	$y$	$\delta$
0 m	0,000 m	0,000 m	0°00'00"
10	10,000	0,000	0°00'05"
20	20,000	0,004	0°00'41"
30	30,000	0,020	0°02'18"
40	40,000	0,062	0°05'20"
50	49,999	0,148	0°10'11"
60	59,998	0,296	0°16'58"
70	69,995	0,526	0°25'50"
80	79,990	0,855	0°36'44"
90	89,980	1,295	0°49'28"
100	99,965	1,857	1°03'51"

La subtangente de punto de término

$$j = 0,29736X$$
$$= 0,29736 \times 99,965 = 29,726 \text{ m}$$

#### • Nota 14: Ejemplo de Cálculo para Colocación de Curva Vertical

Se calcula la forma de la curva vertical en caso de que se cambien la pendiente descendente de 15/1000 y la ascendente de 10/1000 en la curva plana de 600 m de radio.

El radio de curva vertical será de 4000 m.

$$\therefore T = \frac{4000}{2000} |-15-10| = 50 \text{ m}$$

Calculando  $y$  de  $x = 10$  m unidad,

$$y_{10} = \frac{(10)^2}{2 \times 4000} = 0,0125 \text{ m} \approx 13 \text{ mm}$$

$$y_{20} = \frac{(20)^2}{2 \times 4000} = 0,050 \text{ m} = 50 \text{ mm}$$

$$y_{30} = \frac{(30)^2}{2 \times 4000} = 0,1125 \text{ m} \approx 113 \text{ mm}$$

$$y_{40} = \frac{(40)^2}{2 \times 4000} = 0,2000 \text{ m} = 200 \text{ mm}$$

$$y_{50} = \frac{(50)^2}{2 \times 4000} = 0,3125 \text{ m} \approx 313 \text{ mm}$$

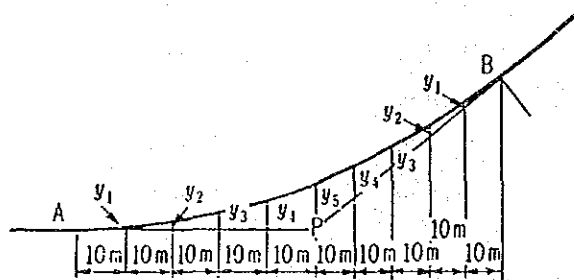


Fig. N-13

## APENDICE 11-7 ADMINISTRACION DE LA VIA

### 1. De las Irregularidades de la Vía

Debido a que la vía recibe constantemente la carga de los trenes, ocurren irregularidades como cambio de posición, distorsión, deformación, etc. de la vía, haciendo que los pasajeros se sientan incómodos y si la situación empeora, sucede la mala alineación y mala nivelación combinadas que a veces resulta en serios accidentes, como descarrilamiento de los trenes.

#### 1-1 Definición de las Irregularidades de la Vía

##### 1. Irregularidad del Ancho de Vía

La irregularidad en el ancho o trocha de la vía significa el grado de irregularidad en relación con la medida básica (vía estrecha - 1.000 a 1.067 mm) y en las curvas se dice de la irregularidad en relación con la medida básica más el huelgo. Cuando la irregularidad es mayor que la medida básica, se expresa con el signo (+) y cuando es menor, con el signo (-).

##### 2. Irregularidad del Nivel

La irregularidad del nivel significa la diferencia del nivel entre los rieles del lado derecho y del lado izquierdo, en relación con la medida básica, mientras que en las curvas donde hay elevación, se dice del grado de aumento/disminución en relación con la elevación o peralte normal.

Los códigos de irregularidad de nivel, cuando es en línea recta, se basan en el riel del lado izquierdo visto desde el punto de partida, y cuando el riel del lado derecho está más elevado se expresa con (+) y si está más bajo se indica con (-), mientras que en las curvas cuando la elevación o peralte es mayor que la normal se expresa con (+) y cuando es menor, con (-).

### 3. Irregularidad en Nivel Longitudinal

La irregularidad en nivel longitudinal significa la irregularidad longitudinal de la cara superficial del riel. Normalmente se alinea un cordón de 10 m de largo sobre la cara del riel y en la parte central se mide y se expresa la distancia vertical entre el cordón y el riel. Cuando hay curva vertical alrededor del punto de cambio de la pendiente, se agrega o se reduce el grado de senoverso del valor obtenido (en caso de que la curva vertical sea de forma convexa, se resta el grado de senoverso del valor obtenido y si es de forma cóncava se le agrega).

Los códigos de irregularidad de nivel son; para el caso de forma convexa (+) y para el caso de forma cóncava (-).

### 4. Irregularidad en Alineación

La irregularidad en alineación significa la distorsión lateral del riel en dirección longitudinal. Normalmente se alinea un cordón de 10 m de largo en la parte interior lateral del riel y en la parte central se mide y se expresa la distancia horizontal entre el cordón y el riel. En la parte de curva, se resta del valor obtenido el grado de senoverso medido a base del radio de la curva.

El grado de senoverso se obtiene de la fórmula siguiente (también en el caso de la curva vertical es igual).

$$V = \frac{c^2}{8R}$$

donde: V: Grado de senoverso

R: Radio de la curva

c: Largo del cordón de medición (normalmente 10 m)

Los códigos de irregularidad en alineación son; para el caso de irregularidad hacia afuera del ancho de vía (+) y hacia adentro del ancho de vía (-).

## 5. Irregularidad de Distorsión de Vía

La irregularidad de distorsión de vía significa la situación de distorsión de la vía en relación con la superficie plana y esta se obtiene mediante la diferencia algebraica de las irregularidades de nivel entre dos (2) puntos a una distancia fija. Además, debido a que en la parte de la curva de transición se disminuye gradualmente la elevación, aún en el caso de que la irregularidad de nivel sea cero (0), la vía se encuentra en estado de irregularidad. Por ejemplo, cuando el múltiple de disminución gradual de la elevación es de 400 veces mayor, en el tramo de 5 m de extensión de la vía, la irregularidad de distorsión de vía es de  $5000/400 = 12,5$  mm. Para juzgar si la irregularidad de distorsión de vía es buena o no, se deberá considerar al mismo tiempo la irregularidad necesaria que ocurre con la disminución gradual de la elevación.

La distancia de medición de la irregularidad de distorsión de vía es de cinco (5) m porque es un valor cercano a 4,6 m que es la distancia máxima entre ejes del material rodante en vía estrecha.

### 1-2 Norma de Acondicionamiento de las Irregularidades de Vía (En Japón)

#### 1. Norma de Acondicionamiento

La norma de acondicionamiento/rehabilitación es como se muestra en el Cuadro 1 cuyas características y manera de realizar son las siguientes.

##### (1) Norma de acabados

La norma de acabados se refiere a la reparación de vías, trabajos de construcción y en caso de la construcción de nueva vía, excepto algunos casos especiales, los valores de los acabados deberán ser menores que los indicados.



Esta norma no se había establecido anteriormente en la norma de acondicionamiento pero se reglamenta esta vez porque es eficaz para mejorar la calidad de los trabajos en el sistema de reparaciones periódicas y también para extender el ciclo de conservación o mantenimiento. En la norma de acabados, cuanto más pequeño sea el valor, se extiende el ciclo de mantenimiento y se necesita mucha mano de obra en los trabajos de corrección o ajuste.

Si el factor de la mano de obra es grande, los trabajos de corrección o ajuste se hacen con mayor facilidad y el ciclo de mantenimiento se hace más corto.

Por esto, para decidir la norma de acabados se deberá considerar las posibilidades técnicas así como la manera de asegurar el ciclo de mantenimiento necesario.

En lo que se refiere a las posibilidades técnicas de los trabajos de corrección/ajuste, según la experiencia en el pasado, los valores de acabado obtenidos en los trabajos de los subcontratistas han sido alrededor de 1/2 de los valores de referencia (límite) de acondicionamiento. Aún en el resultado de las investigaciones sobre las vías, se ha confirmado que es relativamente fácil obtener valores del mismo o menor nivel y por lo cual el valor de referencia de los acabados de nivel, de nivel longitudinal, de alineación y de distorsión, se establece en  $\pm 4$  mm.

En lo que se refiere al ancho de vía, considerando que la corrección/ajuste es más fácil que en los otros trabajos, se establece el valor que es un poco más severo (+1, -3 mm).

**Cuadro 1 Norma de Acondicionamiento y Valores de Referencia de Acabado**

Items	Valores de referencia de reparación B				Valores de referencia de reparación C				Valores de referencia de acabado, comunes para todas las líneas (Tramos en general)
	Vía A	Vía B	Vía C	Vía sencilla	Vía A	Vía B	Vía C	Vía sencilla	
Trocha		+10 +5	(+6) (-4)						(+1) (-3)
Nivel	11 (7)	12 (8)	13 (9)	16 (11)					(4)
Nivel longitudinal	13 (7)	14 (8)	16 (9)	19 (11)	23 (15)	25 (17)	27 (19)	30 (22)	(4)
Alineación	13 (7)	14 (8)	16 (9)	19 (11)	23 (15)	25 (17)	27 (19)	30 (22)	(4)
Distorsión					23 (18)				(4)
					(Con el grado de disminución gradual de elevación)				(Sin el grado de disminución gradual de elevación)

- (Notas)
1. Los valores son dinámicos, medidos por el carro de inspección de la vía. Los valores estáticos se indican entre paréntesis.
  2. La distorsión indica el grado de variación de nivel por cada 5 m.
  3. En la parte de curva no se incluye el huelgo, la elevación y el grado de senoverso (se incluye la curva vertical).
  4. El desvío o vía auxiliar, igual que para la vía C.

## (2) Norma de reparación B

La reparación B se refiere principalmente a los trabajos programados de corrección/ajuste de las irregularidades de la vía con el fin de mantenerla en buenas condiciones y se realiza hasta antes de realizar la reparación A (reparación global de las vías que se hace periódicamente por cada 2 a 4 años). Además, esta norma de reparación B, se ha establecido con el propósito de que los pasajeros se encuentren cómodos durante el viaje y reducir los trabajos relacionados con la reparación C.

En lo que se refiere a la comodidad de los pasajeros, del resultado de las diversas pruebas de recorrido, se obtiene como coeficiente de comodidad un valor menor que 2.

Respecto a la relación con la cantidad de trabajo de la reparación C, se ha considerado lo siguiente en los trabajos de nivelación de las vías que son los principales en la reparación B. O sea que en la reparación de las vías, si los trabajos de reparación B se hacen con

frecuencia, se reduce lógicamente la frecuencia de los trabajos de reparación C y al contrario, si se reduce la frecuencia de los trabajos de reparación B, aumenta la frecuencia de los trabajos de reparación C. Por otra parte, desde el punto de vista de la cantidad de trabajos, debido a que la reparación C se realiza parcialmente, esto no es económico porque se necesitan más trabajadores en comparación con la reparación B que se hace de una manera programada y en grupos.

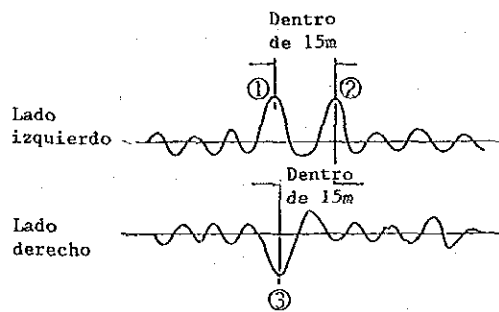
En general, aunque se desea reducir en todo lo posible la reparación C, pero por otro lado, para anularla totalmente los trabajos de la reparación B aumentarían considerablemente y el resultado no sería económico.

Por estos motivos, se hace el cálculo para que la suma de las cantidades de trabajos de la reparación B y la reparación C resulten en un valor mínimo y haciendo la comparación con el coeficiente 2 de comodidad de los pasajeros indicado anteriormente, se nota que no existe gran diferencia.

Considerando estos datos, se ha decidido la norma de reparación B y los valores de referencia de esta reparación B se aplican al plan de trabajos como se explica a continuación:

- a) En el gráfico de medición de las irregularidades de vía, la distancia de vía se divide cada 500 m y en cada división se obtiene el número de los casos cuando hay exceso del valor de referencia de la reparación B por cada ítem de reparación. En los tramos de vía donde se obtienen más de 2 o 3 casos por división (respecto a las irregularidades de trocha, si dentro de una división o tramo las irregularidades que sobrepasan el valor de referencia se extienden por más de 30 m, también se incluyen), se deberá realizar la reparación B.
- b) La manera de calcular los casos de exceso de los valores de referencia de la reparación B en el diagrama de medición de las irregularidades de vía, es como se indica abajo.

- ① En las irregularidades del nivel longitudinal y de alineación, se obtiene la suma de los rieles en el lado derecho e izquierdo.
- ② Cuando hay más de 2 irregularidades que sobrepasan el valor de referencia de la reparación B, y si estas irregularidades se encuentran dentro de una distancia de 15 m (para las irregularidades de trocha 30 m), se considera como un (1) caso (véase Fig. 1). Respecto a las irregularidades del nivel longitudinal y de alineación, si las irregularidades del lado derecho y del lado izquierdo se encuentran dentro de 15 m, se calcula de la misma manera, o sea, como un sólo caso.



Distancia entre ① y ②, dentro de 15 m      Se considera como  
 Distancia entre ① o ② / ③, dentro de 15 m      (1) un caso

Fig. 1

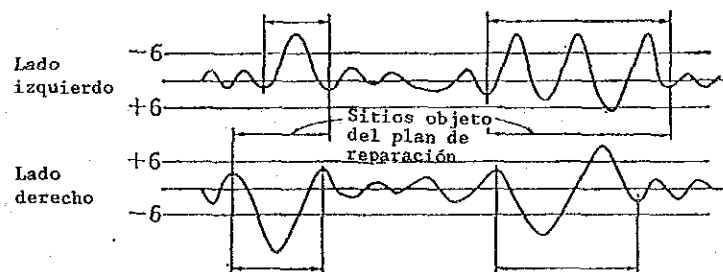


Fig. 2

- c) En caso de la medición estática, es igual que como en A y B.
- d) Los sitios de las reparaciones B dentro de las divisiones, se muestran en la *Fig. 2*. En el diagrama de medición de las irregularidades de vía, los sitios a reparar son esos donde el grado de irregularidad es mayor que 6 mm (en caso de la trocha +2, -4 mm). En caso de la medición estática, los sitios objeto de la reparación son esos donde la irregularidad es mayor que el valor de acabado de referencia.

### (3) Norma de reparación C

La reparación C se refiere a los trabajos que se realizan esporádicamente sin que sea posible programarlos, o aquellos que no son económicos por ser en pequeña escala. O sea que la reparación C tiene como objeto la corrección o ajuste parcial de las irregularidades que suceden inevitablemente entre las reparaciones programadas A y B, por lo que los valores de referencia de reparación se deberán establecer considerando la seguridad en la operación o marcha de los trenes.

El límite de seguridad de las irregularidades de la vía, difiere de acuerdo con el manejo, material rodante, estado de la vía, etc., situación mixta de irregularidades de vía, etc., siendo difícil hacer la definición. Sin embargo, aquí se establecen los valores de referencia de reparación C tomando en cuenta los valores establecidos como meta de apreciación de la seguridad de tráfico (nivel longitudinal 40 mm, alineación 36 mm, distorsión 27 mm) y considerando el grado de desarrollo de las irregularidades desde que éstas se descubren hasta que se reparan.

Además, aunque los valores de referencia de reparación C se establecen para las irregularidades de nivel longitudinal, alineación y distorsión, no se establece la norma para la trocha. Esto se debe a que normalmente el desarrollo de irregularidad de la trocha es lento y la seguridad se puede obtener suficientemente aplicando la reparación programada B con sus valores de referencia. En cuanto al nivel, lo más importante para obtener la seguridad de tráfico es el grado de alteración de la irregularidad.

El método de aplicación de los valores de referencia de la reparación C es como sigue:

- ① Si las irregularidades de vía alcanzan los valores de referencia de la reparación C y también en el caso de que aunque las irregularidades sean de valores más bajos que los de referencia pero si el desarrollo es rápido, la reparación se deberá hacer dentro de 15 días. Cabe mencionar que al tiempo de descubrir las irregularidades de la vía si los valores sobrepasan los valores de referencia de la reparación C, la reparación se deberá hacer con mayor prontitud.
- ② En caso de que el estado de la vía se encuentre en tiempo de hacer la reparación C pero inevitablemente no se puede reparar dentro de 15 días, o cuando las irregularidades sobrepasan considerablemente los valores de referencia de la reparación C y la reparación no se puede hacer con mayor prontitud, se adopta la medida de reducción de velocidad.

(4) Valores de reparación urgente de la trocha

En el Cuadro 2 se indican los valores de reparación urgente de la trocha.

*Cuadro 2 Valores de reparación urgente de la trocha (mm)*

Clasificación por huelgo	Dinámica	Estática
Sitios de línea recta y huelgo menores que 20 mm	20	14
Sitios donde el huelgo es mayor que 25 mm	15	9

Estos valores se han decidido de las medidas relacionadas con la rueda y el riel, calculando la medida máxima de la trocha para que la rueda no se caiga y considerando al mismo tiempo el huelgo y el margen de reserva, por lo que se deberán considerar al igual que los valores de referencia de la reparación C.

(5) Norma de reparación de las irregularidades combinadas de alineación y de nivel

La norma actual de reparación se refiere a los valores límite de referencia sobre las irregularidades independientes en el pasado y de acuerdo con los estudios relacionados con la forma de onda de las irregularidades de vía, para evitar los accidentes de descarrilamiento en medio camino, se ha aclarado que las irregularidades combinadas y continuas, aunque sus valores sean pequeños, especialmente cuando las irregularidades de alineación y de nivel se encuentran combinadas y continuas en fases invertidas, esto afecta negativamente a la seguridad en el tráfico de los trenes de carga.

Por esto, las reparaciones se realizan a base de la norma siguiente:

a) Alcance de la aplicación

Tramos donde hay tráfico de trenes de carga (velocidad mayor que 45 km/h)

b) Forma de onda irregular, objeto de la reparación

Cuando la forma de onda de irregularidades combinadas del diagrama de medición de las irregularidades de la vía indica valores mayores que los indicados abajo (véase Fig. 3), se realiza la reparación.

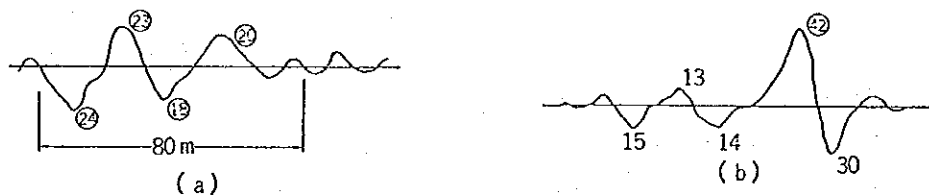


Fig. 3 Irregularidades combinadas objeto de la reparación

- ① Tramos donde dentro la distancia de 80 m existen más de 4 sitios cuyas irregularidades combinadas indican un valor mayor que 18 mm de alto de la onda.
- ② Irregularidades combinadas mayores que 35 mm.

**c) Tiempo de reparación**

- ① Al descubrirse la irregularidad, la reparación se hace dentro de un (1) mes.
- ② En caso de b)- ① de arriba, si en el tramo relacionado existen otras irregularidades, se deberá acelerar la reparación.

**1-3 Inspección de las Irregularidades de Vía**

La inspección de las irregularidades en vía estrecha, se deberá realizar de la manera siguiente:

**1. Vía Principal**

En la vía ordinaria y aparatos de cambio anexos de la vía principal, la inspección relacionada con la trocha, nivel, nivel longitudinal, alineación y distorsión, se deberá realizar más de 4 veces al año. Sin embargo, respecto a la distorsión, la inspección se limita a los tramos donde se utiliza el carro de inspección a alta velocidad.

En las vías de cuarta categoría y en esos tramos donde no hay tráfico de trenes expresos o de mayor velocidad, la frecuencia de inspección podrá ser mayor que 2 veces al año.

**2. Vías Auxiliares**

En las vías auxiliares o desvíos, en relación con la vía ordinaria y aparatos de cambio de vía anexos, la inspección de la trocha, nivel, nivel longitudinal y alineación, la inspección se deberá realizar más de una (1) vez al año.

La inspección de las irregularidades de vía en la vía ordinaria de la vía principal, se realiza generalmente con el carro de inspección. Actualmente la frecuencia de esta inspección con carro es como se indica abajo:



* 120 km/h - tramos de vías principales	6 veces/año
* Tramos de vía ordinaria	4 veces/año
* Especialmente tramos de vía sencilla, en las vías de cuarta categoría	2 veces/año

#### 1-4 Administración del Tramo con Irregularidades de Vía

##### 1. Índice P de Irregularidades de Vía

En caso de las irregularidades de vía, aparte de la administración o control independiente de las diversas irregularidades, es necesario también indicar en conjunto el estado de las irregularidades de la vía clasificada por tramos, para llevar el control global.

En Japón, como indicación del estado (bueno o malo) de las irregularidades de vía en cierto tramo, se utiliza el índice P cuyo contenido es como se explica abajo.

Por ejemplo, en un tramo de cierta distancia, donde existen irregularidades continuas de vía, se hace el muestreo o selección aleatoria de los valores de irregularidades en grupo y la distribución de estos grupos se considera generalmente como distribución formal.

Suponiendo aquí que la categoría de la irregularidad es  $x_i$  (mm), la frecuencia es  $f_i$ , el valor medio del grupo de valores es  $m$  y que la desviación normal es  $\sigma$ :

$$m = \frac{\sum f_i x_i}{\sum f_i}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i (x_i - m)^2}{\sum f_i}} = \sqrt{\frac{\sum f_i x_i^2}{\sum f_i} - m^2} = \sqrt{\sigma_0^2 - m^2}$$

además, la distribución de los grupos de valores se expresa con la fórmula de abajo (véase Fig. 4):

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp - \frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}$$

de esta manera, el estado de las irregularidades de vía en ciertos tramos, se puede expresar con 2 índices  $m$  y  $\sigma$ , pero es más conveniente expresar el estado de los grupos de irregularidades de vía con un sólo índice que conecta los índices anteriores.

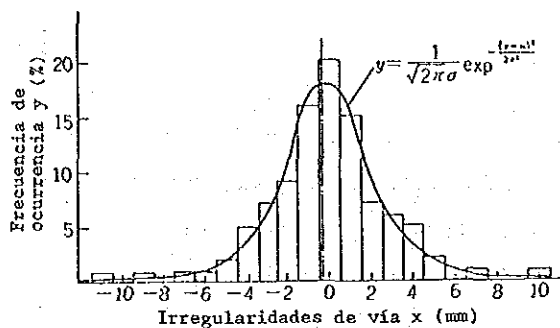


Fig. 4

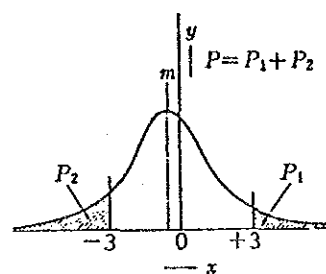


Fig. 5

El método de hacer esta expresión, tal como se muestra en la Fig. 5, la curva de distribución de las irregularidades de vía se divide con las líneas límite  $\pm a$  mm para obtener el porcentaje de las irregularidades que sobrepasan el límite. A esto se le dice índice P.

$$P_1 = \int_{+a}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp - \frac{(x-m)^2}{2\sigma^2} dx \times 100$$

$$P_2 = \int_{-\infty}^{-a} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp - \frac{(x-m)^2}{2\sigma^2} dx \times 100$$

$$P = P_1 + P_2$$

Actualmente, como valor límite "a" se adopta "3 mm" y la razón se debe a que en caso de ser 3 mm, el valor P fluctúa dentro de una gama ancha de más o menos 20 a 60 de acuerdo con la característica buena o mala de las irregularidades de la vía y esto facilita la comparación de los estados de las irregularidades. Cabe mencionar que si el valor de "a" se hace más grande, la gama de fluctuación se hace mas pequeña y consecuentemente se dificulta la comparación.

## 2. Métodos de Obtener el Índice P de las Irregularidades de Vía

Como métodos para obtener el índice P de las irregularidades de vía hay 2 métodos que se hacen en forma manual, o sea, el primer (1er.) y segundo (2ndo.) métodos, y otro más o sea el tercer (3er.) método que es mediante el aparato de medición automática del carro de inspección a alta velocidad. En caso de la JR (Japan Railways) se utiliza principalmente el 3er. método.

### (1) 1er. Método

En la zona donde se hace la inspección, la extensión de la vía se divide en secciones de 1 km y en cada sección se seleccionan de una manera pareja más de 120 sitios de medición y a base de las fórmulas anteriores se obtiene por cada sección los valores de  $m$ ,  $\sigma_0^2$  y  $\sigma$ .

Seguidamente, de  $m$  y  $\sigma$  y el Cuadro 3, se obtiene el índice P de irregularidades de la vía.

Para obtener el índice P clasificado por cuadrillas de trabajo, distritos y departamentos de operaciones, o por vías, categoría de vías, etc., se obtiene  $\bar{m}$ ,  $\bar{\sigma}_0^2$  y  $\bar{\sigma}$ , de la fórmula siguiente y a base de  $\bar{m}$  y  $\bar{\sigma}$ , se calculan los valores correspondientes del índice P.

$$\bar{m} = \frac{\Sigma m}{K}$$

$$\bar{\sigma}_0^2 = \frac{\Sigma \sigma_0^2}{K}$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\bar{\sigma}_0^2 - \bar{m}^2}$$

donde: K: Número de divisiones



Cuadro 3 Cuadro para obtener el valor P con m y  $\sigma$

$\sigma$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	12.0	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8	12.9	13.0	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8	13.9	14.0
0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.3	15.9	50.0	84.1	97.7	99.9	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.
0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	2.3	6.7	15.9	30.9	50.0	69.2	84.1	93.3	97.7	99.4	99.9	100.	100.	100.	
0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.0	2.3	4.8	9.1	15.9	25.2	37.0	50.0	63.0	74.8	84.1	90.9	95.2	97.7	99.0	99.6	99.9	100.
0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.6	1.2	2.3	4.0	6.7	10.6	15.9	22.7	30.9	40.1	50.0	59.9	69.2	77.3	84.1	89.4	93.3	96.0	97.7	98.8	99.4
0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.5	2.3	3.6	5.5	8.1	11.5	15.9	21.2	27.4	34.5	42.1	50.0	57.9	65.5	72.6	78.8	84.1	88.5	91.9	94.5	96.4	97.7
0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	4.8	8.7	9.1	12.2	15.9	20.3	25.2	30.9	37.0	43.4	50.0	56.6	63.0	69.2	74.8	79.8	84.1	87.8	90.9	93.3	95.2
0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.1	1.6	2.3	3.2	4.3	5.8	7.7	9.9	12.7	15.9	19.6	22.8	28.4	33.4	38.7	44.3	50.0	55.7	61.3	66.6	71.6	77.2	80.4	84.1	87.4	90.1	92.4
0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.9	1.2	1.7	2.3	3.0	4.0	5.2	6.7	8.5	10.6	10.6	13.0	15.9	19.1	22.7	26.6	30.9	35.4	40.1	45.0	50.0	55.0	59.9	64.6	69.2	73.4	77.3	80.9	84.1	87.0	89.4
0.9	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	1.0	1.3	1.7	2.3	3.0	3.8	4.8	6.0	7.4	9.1	11.1	13.3	13.3	15.9	18.7	21.8	25.2	28.9	32.9	37.0	41.2	45.6	50.0	54.4	58.8	63.0	67.1	71.1	74.8	78.2	81.3	84.1	86.7
1.0	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.1	1.4	1.8	2.3	2.9	3.6	4.5	5.5	6.7	8.1	9.7	11.5	13.6	15.9	18.4	21.2	24.2	27.4	30.9	34.5	38.2	42.1	46.1	50.0	53.9	57.9	61.8	65.5	69.2	72.6	75.8	78.8	81.6	84.1
1.1	0.6	0.7	0.7	0.8	1.0	1.2	1.5	1.9	2.3	2.8	3.5	4.2	5.1	6.1	7.3	8.6	10.2	11.9	13.8	15.9	18.2	20.7	23.4	26.2	29.3	32.5	35.8	39.2	42.8	46.4	50.0	53.6	57.2	60.8	64.2	67.5	70.7	73.8	76.6	79.3	81.8
1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	2.0	2.4	2.9	3.4	4.1	4.8	5.7	6.7	7.8	9.1	10.6	12.2	14.0	15.9	18.0	20.3	22.7	25.2	28.0	30.9	33.8	37.0	40.1	43.4	46.7	50.0	53.3	56.6	59.9	63.0	66.2	69.2	72.0	74.8	77.3	79.8
1.3	2.1	2.1	2.3	2.5	2.7	3.1	3.5	4.1	4.7	5.5	6.3	7.3	8.4	9.8	11.0	12.5	14.1	15.9	17.8	19.9	22.1	24.5	26.9	29.5	32.2	35.0	37.9	40.9	43.9	46.9	50.0	53.1	56.1	59.1	62.1	65.0	67.8	70.5	73.1	75.6	77.9
1.4	3.2	3.3	3.4	3.6	3.9	4.3	4.8	5.4	6.1	6.9	7.9	8.9	10.1	11.3	12.7	14.3	15.9	17.4	19.6	21.6	22.8	26.0	28.4	30.9	33.4	36.1	38.7	41.5	44.3	47.2	50.0	52.8	55.7	58.5	61.3	64.0	66.6	69.2	71.6	74.0	77.2
1.5	4.6	4.6	4.7	5.0	5.3	5.8	6.3	7.0	7.7	8.5	9.5	10.6	11.8	13.1	14.5	16.0	17.7	18.4	21.3	23.2	25.3	27.5	29.7	32.1	34.5	37.0	39.5	42.1	44.7	47.3	50.0	52.7	55.3	57.9	60.5	63.0	65.5	68.0	70.3	72.6	74.8
1.6	6.1	6.1	6.3	6.5	6.9	7.3	7.9	8.6	9.3	10.2	11.2	12.3	13.5	14.8	16.2	17.7	19.3	21.0	22.8	24.7	26.7	28.7	30.9	33.1	35.4	37.8	40.2	42.6	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	59.9	62.3	64.6	66.9	69.2	71.3	73.4
1.7	7.8	7.8	8.0	8.2	8.6	9.1	9.6	10.3	11.1	11.9	12.9	14.0	15.2	16.4	17.8	19.1	20.8	22.5	24.3	26.1	28.0	30.0	32.0	34.1	36.3	38.5	40.8	43.1	45.3	47.7	50.0	52.4	54.7	57.0	59.3	61.6	63.8	66.0	68.1	70.2	72.2
1.8	9.6	9.6	9.8	10.0	10.4	10.9	11.4	12.1	12.8	13.7	14.6	15.7	16.9	18.1	19.4	20.9	22.4	24.0	25.6	27.3	29.2	31.1	33.1	35.0	37.1	39.2	41.3	43.5	45.6	47.8	50.0	52.3	54.5	56.7	58.8	61.0	63.1	65.1	67.2	69.2	71.1
1.9	11.4	11.5	11.6	11.9	12.2	12.7	13.2	13.9	14.6	15.5	16.4	17.4	18.5	19.7	21.0	22.1	23.8	25.4	27.0	28.8	30.4	32.1	34.0	35.9	37.8	39.8	41.8	43.9	45.9	48.0	50.1	52.2	54.2	56.3	58.4	60.4	62.4	64.4	66.3	68.2	70.1
2.0	13.4	13.4	13.6	13.8	14.1	14.6	15.1	15.7	16.4	17.3	18.1	19.1	20.2	21.4	22.6	23.9	25.3	26.7	28.3	29.8	31.5	33.2	34.9	36.7	38.6	40.4	42.3	44.3	46.3	48.2	50.1	52.1	54.0	56.0	58.0	59.9	61.8	63.7	65.6	67.4	69.2
2.1	15.3	15.4	15.5	15.7	16.1	16.5	17.0	17.6	18.3	19.0	19.9	20.8	21.9	22.9	24.1	25.4	26.7	28.1	29.5	31.0	32.6	34.2	35.8	37.5	39.3	41.0	42.9	44.6	46.5	48.3	50.2	52.1	53.9	55.8	57.7	59.5	61.3	63.1	64.9	66.7	68.3
2.2	17.3	17.3	17.4	17.7	18.0	18.4	18.9	19.4	20.1	20.8	21.6	22.5	23.5	24.5	25.6	26.8	28.1	29.4	30.7	32.2	33.6	35.2	36.7	38.3	40.0	41.6	43.3	45.1	46.8	48.6	50.3	52.1	53.9	55.6	57.4	59.1	60.9	62.6	64.3	66.0	67.6
2.3	19.2	19.2	19.4	19.6	19.9	20.3	20.7	21.3	21.9	22.6	23.3	24.2	25.0	26.1	27.1	28.2	29.4	30.7	31.9	33.3	34.7	36.1	37.6	39.1	40.6	42.3	43.8	45.5	47.1	48.8	50.5	52.1	53.8	55.5	57.2	58.8	60.5	62.1	63.8	65.4	66.9
2.4	21.1	21.2	21.3	21.5	21.8	22.1	22.6	23.1	23.6	24.3	25.0	25.8	26.7	27.6	28.6	29.6	30.8	31.9	33.1	34.4	35.7	37.1	38.5	39.9	41.4	42.9	44.4	45.9	47.5	49.0	50.6	52.2	53.8	55.4	57.0	58.6	60.2	61.8	63.3	64.8	66.4
2.5	23.0	23.1	23.2	23.4	23.6	23.9	24.3	24.8	25.4	26.0	26.7	27.4	28.2	29.1	30.0	31.0	32.1	33.2	34.3	35.5	36.7	38.0	39.3	40.7	42.1	43.5	44.9	46.4	47.8	49.3	50.8	52.3	53.9	55.4	56.9	58.4	59.9	61.4	62.9	64.4	65.8
2.6	24.9	24.9	25.0	25.2	25.4	25.7	26.1	26.6	27.1	27.6	28.3	29.0	29.8	30.6	31.5	32.4	33.4	34.4	35.5	36.6	37.7	39.0	40.2	41.4	42.8	44.1	45.4	46.8	48.2	49.6	51.1	52.5	53.9	55.4	56.8	58.2	59.7	61.2	62.5	63.9	65.4
2.7	26.7	26.7	26.8	26.9	27.2	27.5	27.8	28.2	28.7	29.3	29.9	30.5	31.2	32.0	32.8	33.7	34.6	35.6	36.6	37.7	38.8	39.9	41.1	42.2	43.5	44.8	46.0	47.3	48.6	50.0	51.3	52.7	54.0	55.4	56.8	58.2	59.5	61.0	62.2	63.6	64.9
2.8	28.4	28.4	28.5	28.7	28.9	29.2	29.5	29.9	30.3	30.8	31.4	32.0	32.7	33.4	34.2	35.0	35.9	36.8	37.7	38.7	40.0	40.8	41.9	43.1	44.2	45.4	46.6	47.8	49.1	50.3	51.6	52.9	54.2	55.5	56.8	58.1	59.4	60.7	62.0	63.3	64.6
2.9	30.1	30.1	30.2	30.3	30.6	30.8	31.1	31.5	31.9	32.4	32.9	33.5	34.1	34.8	35.5	36.3	37.1	38.0	38.8	39.3	40.7	41.8	42.8	43.9	44.9	46.1	47.2	48.3	49.5	50.7	51.9	53.1	54.4	55.6	56.9	58.1	59.3	60.6	61.8	63.0	64.3
3.0	31.7	31.8	31.8	32.0	32.2	32.4	32.7	33.0	33.4	33.9	34.4	34.9	35.5	36.1	36.8	37.5	38.3	39.1	39.9	40.8	41.7	42.7	43.6	44.7	45.7	46.7	47.8	48.9	50.0	51.1	52.3	53.4	54.6	55.8	56.9	58.1	59.3	60.5	61.7	63.0	64.0
3.1	33.3	33.4	33.4	33.5	33.7	34.0	34.2	34.5	34.9	35.3	35.8	36.3	36.8	37.5	38.1	38.7	39.5	40.2	41.0	41.8	42.7	43.6	44.5	45.4	46.4	47.4	48.4	49.4	50.5	51.6	52.7	53.7	54.9	56.0	57.1	58.2	59.4	60.5	61.6	62.7	63.9
3.2	34.8	34.8	34.9	35.0	35.1	35.2	35.4	35.7	36.0	36.3	36.7	37.2	37.6	38.1	38.7	39.3	40.0	40.6	41.3	42.1	43.6	44.5	45.3	46.2	47.1	48.1	49.0	50.0	51.0	52.0	5										

