

Rey Valderrama, Fernando  
Comparaciones técnicas entre los anchos de trocha ferroviaria yarda y estandar a propósito del  
proyecto del tren de Cercanías  
Ciencia e Ingeniería Neogranadina, núm. 12, julio, 2002, pp. 65-80  
Universidad Militar Nueva Granada  
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101206>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

# Comparaciones técnicas entre los anchos de trocha ferroviaria yarda y estandar a propósito del proyecto del tren de Cercanías

FERNANDO REY VALDERRAMA<sup>1</sup>

## CONSIDERACIONES GENERALES<sup>2</sup>

Cuando se implantaron los primeros rieles de acero en las vías férreas a mediados del siglo XIX, se le reconocía al transporte ferroviario la gran importancia que tenía como medio de comunicación. La combinación de dos elementos: los autoguiados y la fuerza motriz, se debió al ingeniero inglés Richard Trevithick cuando el 24 de febrero de 1804 hizo circular una locomotora jalando 5 vagones cargados con 10 toneladas de acero y 70 hombres, en una distancia de 15 kilómetros que separaba a las poblaciones de Pennydarán y Abergynon en el País de Gales.

El principio del ferrocarril se sustenta en unos ejes que ruedan sobre carriles sujetos por unos elementos rígidos llamados traviesas, que transmiten las cargas al suelo a través de un colchón de agregados (roca triturada y tamizada) llamado balasto. Este fundamento ha permanecido inalterable en el tiempo, pese a los grandes cambios en las velocidades, en las cargas por eje, en

los automatismos de la explotación y en la calidad del material rodante del conjunto.

Así como tienen amplísimas ventajas, el ferrocarril tiene sus limitaciones, como consecuencia de sus dos características fundamentales:

- El rozamiento de metal sobre metal: rueda sobre vía.
- Mantenimiento de trayectorias definidas, limitando la libertad.

El bajo rozamiento del metal sobre metal (3 kg/ton remolcada) permite movilizar miles de toneladas con potencias reducidas y moderado consumo de energía. Esta misma característica exige unas distancias de parada que aumentan con la velocidad y obliga a extremar la señalización y los sistemas de frenado, además de limitar las pendientes en los tramos de mayor tránsito.

El mantener una trayectoria precisa permite un buen aprovechamiento de la plataforma con economía de espacio y gálibos reducidos dando origen, entre otras, a algunas ventajas:

- La capacidad para transportar personas y mercancías
- Facilidad de automatización y aplicación de la informática moderna
- Seguridad a velocidades muy altas
- Independencia de la plataforma que evita la congestión

## COMPONENTES DE LA VÍA FÉRREA

### La plataforma:

Es la base del camino de rodadura del ferrocarril, sobre el cual se asienta la superestructura. Las distintas administraciones ferroviarias establecen unos mínimos para la plataforma en distintas circunstancias, en relación con el terreno (terraplén o trinchera), número de vías (sencilla o doble) y el entorno (rural, suburbano o urbano).

### El ancho de la vía:

Este gálibo también se conoce como trocha y es la mínima distancia, en alineaciones rectas, entre las superficies de las caras laterales interiores de las cabezas de los dos rieles, medida a 14 milímetros por debajo del plano de rodadura. Aunque el ancho de la vía varía en muchos países, se conoce como estándar el de 1.435 mm según la conferencia de Berna de 1887. En Colombia se adoptó como ancho de vía el de 915 milímetros, conocida como trocha "angosta" o "yárdica".

### El peralte:

Se denomina peralte a la diferencia de cota entre los dos carriles, en un plano normal al eje de la vía. El peralte sirve para compensar total o parcialmente la fuerza centrífuga que se origina en la circulación de una curva, para equilibrar la distribución de cargas entre ambos rieles, para disminuir el desgaste en los rieles y el equipo rodante, manteniendo el confort de los pasajeros. En línea recta el peralte es = 0

$$\text{Fuerza centrífuga se expresa como: } F_c = mV^2/g \quad (1)$$

Donde  $m$  = masa,  $V$  = velocidad y  $g$  = aceleración de gravedad.

### El trazado en planta y perfil:

El proyecto de trazado de una nueva vía de ferrocarril combina las alineaciones en recta y en perfil y debe tener en cuenta la disposición de la sección transversal. Esto hace posible, en óptimas condiciones de seguridad y estabilidad, el mantenimiento simultáneo de las circulaciones a la velocidad específica establecida. En un proyecto de transporte de pasajeros, se deben

ten  
las  
alin  
Est  
con  
roden  
rad  
pen  
más  
lo tfact  
loci  
pue  
nos  
los  
pes  
los  
gasdo  
velo  
bles  
tab260  
noz  
cha

3

FACU

e vías (sen-  
burbano o

como tro-  
ciones rec-  
s laterales  
eles, medi-  
plano de  
ría en mu-  
el de 1.435  
1887. En  
el de 915  
ngosta" o

cía de cota  
mal al eje  
sar total o  
se origina  
guilibrar la  
eles, para  
el equipo  
os pasaje-

$\frac{v^2}{R} = g$  (1)  
teleración

nueva vía  
en recta  
sposición  
sible, en  
tabilidad,  
irculacio-  
la. En un  
se deben

tener en cuenta las reacciones que producen en las personas las fuerzas debidas al cambio de alineamiento para que no afecte su comodidad. Este objetivo depende, además de la vía y su conservación, de las características del material rodante.

La velocidad de un tren puede expresarse en función de variables tales como el peralte, el radio de la curva y el de un coeficiente K que depende del ancho de la vía y del tipo de riel. Entre más ancha es la trocha el factor K aumenta y, por lo tanto, aumenta la velocidad. La ecuación puede expresarse así<sup>3</sup>:

$$V^2 = \frac{H \times R}{K} \quad \left. \begin{array}{l} H: \text{peralte expresado en mm.} \\ V: \text{velocidad en kilómetros/hora} \\ K: \text{coeficiente} \end{array} \right\} \quad (2)$$

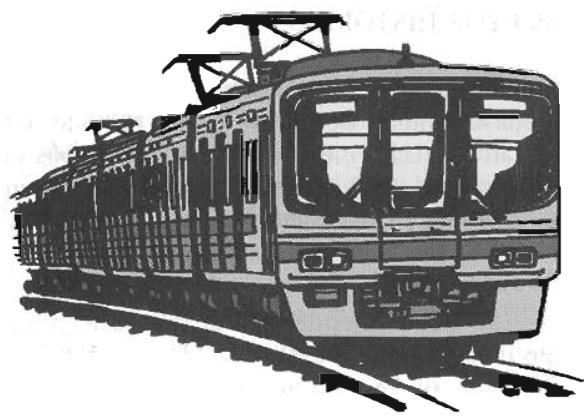
De la expresión anterior se deduce que el factor K tiene una importancia relevante en la velocidad de un tren; por otra parte, en una línea pueden circular trenes rápidos y lentos, lo cual nos permite calcular un peralte teórico, ya que los trenes lentos pueden corresponder a los más pesados y el esfuerzo del peralte puede aumentar los esfuerzos en el carril interior y originar desgastes anormales.

Desarrollando la ecuación anterior y sabiendo que para cada radio de curva se define una velocidad máxima la relación entre estas variables, teniendo en cuenta el peralte, se puede establecer así:

$$V = K \sqrt{\frac{R}{H}} \quad (3)$$

Resumiendo: Mientras más ancha sea la trocha, la velocidad es mayor.

<sup>3</sup> *La voie ferrée*. Jean Alias. 1996.



En el caso de las vías que cruzan la Sabana de Bogotá, para un hipotético servicio de tren de cercanías, cuál decisión convendría adoptar: mantener el ancho actual o ampliarlo al valor estándar? Llegar a este tipo de determinación exige un cuidadoso examen multicriterio, quizás complejo para una diferencia de tan sólo 52 centímetros entre las dos trochas<sup>4</sup> (ver figura 1).

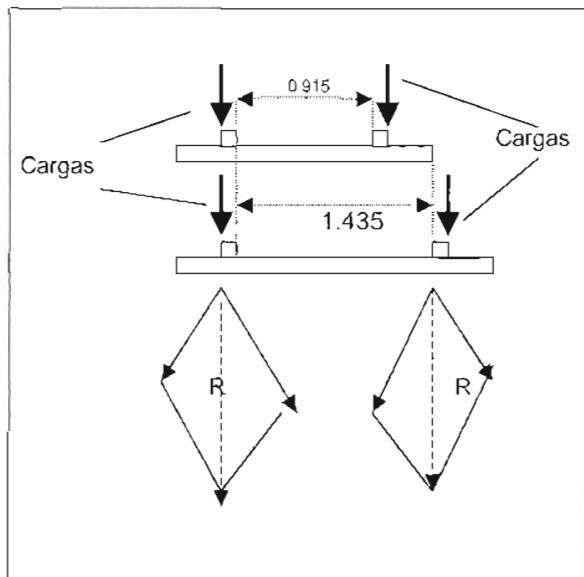


Figura 1

<sup>4</sup> Informe Veeduría Transmilenio. Ingeniero Fernando Rey Valderrama.

## ASPECTOS HISTÓRICOS<sup>5</sup>

El ingeniero B. de Fontgalland, a la sazón secretario general de la Unión Internacional de Ferrocarriles (U.I.C.), escribió hace veinte años el artículo titulado *El Porvenir de la Trocha Angosta* en el que desfiende la existencia de la vía "métrica" y por ello se transcriben algunos apartes:

¿Se debe considerar a la trocha angosta como un signo de subdesarrollo? El tema preocupó al Grupo de Redes Tropicales de trocha angosta de la U.I.C.<sup>6</sup>, que debatió el tema en el ámbito de presidentes de directorio. Es necesario informar a los gobiernos y a las organizaciones internacionales sobre las implicaciones que tienen a largo plazo, ciertas decisiones irreversibles como la elección de la trocha.

1. "La trocha angosta engloba esencialmente a las ferrovías de un metro y de 3 pies 6 pulgadas. Representa actualmente poco más de 20% del total de vías férreas del mundo y predomina en algunas de las grandes zonas continentales. Prácticamente ausente de Europa, de la U.R.S.S., de China y de América del Norte, resulta en cambio mayoritario en el Sudoeste de Asia, América Latina y sobretodo en África: la totalidad de las redes tendidas al sur del Sahara cuentan con vías de trocha angosta."
2. "Hace 100 años, cuando se buscaba la apertura al comercio internacional de países de porvenir económico incierto, los inversores iniciales -que por lo general eran los gobiernos- se fijaron como legítimo objetivo la reducción de los costos de construcción. Resulta geométricamente evidente que la superficie ocupada por una vía de trocha angosta es menor que la ocupada por una de media o ancha. Además, en una época en que la velocidad era un parámetro de explotación secundario, dado

que no existía la competencia aérea o de carretera, la trocha angosta podía "adherirse" al terreno y adaptarse a los trazados de características más accidentadas (pendientes y curvas). Finalmente, por la escasa densidad inicial del tráfico ferroviario, las líneas de doble vía resultaban casi innecesarias. De modo que la trocha angosta se asoció, en su origen, a la imagen de un ferrocarril de interés local y desempeños limitados. Contribuyó a desacreditar la trocha angosta la coexistencia en Europa de una red general de trocha media, en constante mejoramiento y de redes «secundarias», casi siempre de trocha angosta, en general mal provistas y tendidas paralelamente a las carreteras."

### 3. ¿Qué se constata hoy en día?

"Donde el mercado lo exigió, la trocha angosta demostró ser capaz de rendimientos análogos a los de la trocha media por ejemplo:

- ◆ Trenes mineros de más de 10.000 toneladas brutas circulan por líneas de trocha angosta, sobre todo en Brasil, Australia y África del Sur.
- ◆ Los contenedores ISO se cargan en vagones de trocha angosta.
- ◆ Algunos servicios suburbanos de transporte de pasajeros y otros subterráneos, como en Tokio (Shin - Juku) tienen un alto flujo de pasajeros.
- ◆ La automatización en todas sus formas se desarrolla al mismo ritmo tanto en trocha angosta como en estándar.

En Europa misma, algunas líneas secundarias de trocha angosta que aún sobreviven, son objeto de constantes rehabilitaciones y modernizaciones, sin que, aparentemente, el reemplazo por otro tipo ofrezca mayores ventajas económicas."

<sup>5</sup> Revista Asociación Latinoamericana de Ferrocarriles. 1979.

<sup>6</sup> Unión Internacional de Ferrocarriles. Sede en Bélgica.

o de caratterizarse" al característico "curvas). Inicialmente la vía realizó la trocha en la imagen esemperar la trocha de una parte mente menor, así siemprevistas ras."

a angostas análogas al piso:

toneladas trocha angosta y África

n vagos-

ansportes, como el flujo

mas se trocha

ndarias en, son y monte, el es ven-

"Hay un sólo campo, económicamente marginal, en que la trocha angosta no nos permite acceder al nivel de los logros más recientes de los trenes de trocha media: el del transporte de pasajeros a altas velocidades. Sin embargo, trenes diesel de larga distancia alcanzaron los 150 km / hora desde 1973."

"Esta situación es totalmente lógica. La infraestructura básica del ferrocarril (vía, señalización), el material motor y el rodante son independientes de la trocha. El verdadero parámetro es el gálibo que condiciona las dimensiones de las unidades. Un análisis de los gálibos de las principales redes de trocha angosta muestra que, por lo general, se adoptaron modelos análogos a los que circulan por vías de trocha media e inclusive más anchos, si se los compara con los ferrocarriles británicos. No existen obstáculos para la construcción de vehículos de las mismas características que los que circulan por vías de trocha media. Y esto explica la posibilidad de hacer circular por la trocha angosta cargueros de gran capacidad, utilizando rieles pesados, de mayor capacidad, diseñando unidades más anchas. Solo unidades largas y anchas apoyadas sobre «bogies» tienen dificultades para lograr su estabilidad transversal, cuando circulan a altas velocidades por trocha angosta."

#### 4. ¿Cuál es de menor costo?

"La respuesta depende de los objetivos de la línea: si se opta por un gálibo análogo a los de las unidades de trocha media, las dimensiones de la plataforma resultarán parecidas y la única economía cierta, pero no determinante, residirá en la reducción de peso de los durmientes y de la cantidad de balasto. Pero cuando la velocidad no es objetivo prioritario, la trocha angosta posibilita economías substantiales en el trazado de la línea. Lo confirman estudios comparativos realizados en numerosos casos".

#### 5. El criterio de la elección

"El criterio de elección debe basarse en otros aspectos y en primer lugar, según la opinión del Grupo de Redes Tropicales de trocha angosta de la U.I.C., en la noción de "compatibilidad de redes ferroviarias". El problema planteado por la diferencia de trochas se resolvió satisfactoriamente mediante el recurso de cambio de "bogies", con lo que perdieron interés los ambiciosos proyectos de unificación de las trochas de 1 metro 3 pies 6 pulgadas. Pero evidentemente, es preferible ahorrarse ese problema eligiendo el ancho de trocha de cada línea nueva en función de la infraestructura presente y de la proyectada."

"El análisis de la política seguida en el caso de ciertas grandes redes ferroviarias de doble trocha resulta significativo; Japón, por ejemplo, que adoptó la trocha media, lo hizo para una parte de su red ferroviaria, especializada en el transporte de pasajeros a altas velocidades. India y Brasil prosiguen el desarrollo de ambos sistemas con el doble objetivo de optimización económica y de compatibilidad operacional, teniendo en cuenta la situación existente."

"El ancho de la trocha no limita sus posibilidades y se pueden adelantar programas de modernización sin tener que acudir a reemplazos que, con idénticos resultados, gravitarían inútilmente durante largos años sobre sus presupuestos de inversión, complicarían la explotación y comprometerían las interconexiones futuras".

#### Estudio técnico comparativo entre trocha estándar y trocha de yarda<sup>7</sup>.

Durante el desarrollo de los estudios técnicos y de factibilidad para la nueva línea del

<sup>7</sup> Ferrocarriles nacionales. Estudio del trazado "Línea del Carare". 1980.

Ferrocarril del Carare (1980), los consultores internacionales dedicaron un capítulo de evaluación entre la trocha actual de la red férrea (yarda) y la estándar.

El análisis, sobre parámetros técnicos y operativos, se sustentó en la hipótesis de demanda de carga prevista para este año 2000 y calculada entre 3 y 5 millones de toneladas por año y un aumento hipotético de tráfico general de carga.

*Datos básicos independientes del diseño plano - altimétrico de la línea.*

Parámetros básicos:

- ◆ Tipo de riel y peso admitido por eje
- ◆ Tipo y características de los carros
- ◆ Tipo, características y capacidad de tracción de locomotoras
- ◆ *Tipo de riel y peso admitido por eje:*

En la actualidad y para el caso de las líneas que cruzan la Sabana de Bogotá, están equipadas con rieles de 75 lbs/yarda y con un peso máximo admitido por eje de 16 toneladas. Los trenes de cercanías en Europa, con referencia a las normas de la Unión Internacional de Ferrocarriles (U.I.C.) adoptaron rieles de perfil 100 y 120 lbs/yarda para pesos máximos admitidos por eje de 20 y 25 toneladas para las estructuras.

- ◆ *Tipo y características de un tren de cercanías (incluido carro de tracción):*

Aunque son variables para cada tipo de proyecto y demanda de servicio, en general las características principales se pueden resumir así: Longitud de una rama compuesta por dos carros motores y dos remolques = 104 metros, peso de una rama = 205 toneladas, potencia

de una rama = 2.800 Kw, velocidad máxima = 140 km/h, capacidad de pasajeros, partiendo de un índice de comodidad de 4 personas/m<sup>2</sup>, 843 pasajeros.

*Datos básicos que dependen del diseño plano - altimétrico de la línea.*

La velocidad de los trenes, su composición y la longitud, la relación entre la tara y el peso de los pasajeros transportados, así como de la capacidad de la línea, varían en función de las características plano - altimétricas de la vía y del tipo de trocha adoptada.

La pendiente de las vías que cruzan la Sabana es, en promedio, máximo de 2%; los valores de los radios de las curvas superan, en promedio, los 500 metros, lo cual garantiza amplias velocidades.

La velocidad máxima de diseño de una línea que garantice una calidad de marcha aceptable, depende directamente del valor del radio, del peralte y de la aceleración lateral no compensada admitida para los tipos de ramas que vayan a circular. Como se vio anteriormente, la fórmula universalmente adoptada es la siguiente:

$$V_{\text{máxima}} = K \sqrt{R} \quad (4)$$

Para la trocha estándar, el valor del coeficiente K universalmente adoptado es de 4.6 con un peralte de 15 a 16 cm y aceleración lateral no compensada de 0.6 m / seg<sup>2</sup>, según la norma de la U.I.C. Para la trocha de yarda, a falta de normas definidas al respecto, el valor del coeficiente K es de 3.36, partiendo de la hipótesis de que la variación porcentual de carga entre rueda y riel fuese la misma para ambas trochas en todas las condiciones de carga. La fórmula que se utilizó para el cálculo de la variación de carga rueda - riel, es la siguiente:

náxima =  
tiendo de  
s/m2, 843

o plano -

mposición  
el peso de  
e la capa-  
es caracte-  
el tipo de

cruzan la  
% los va-  
dejan, en  
garantiza

o de una  
; marcha  
valor del  
n lateral  
os de ra-  
vio ante-  
adoptada

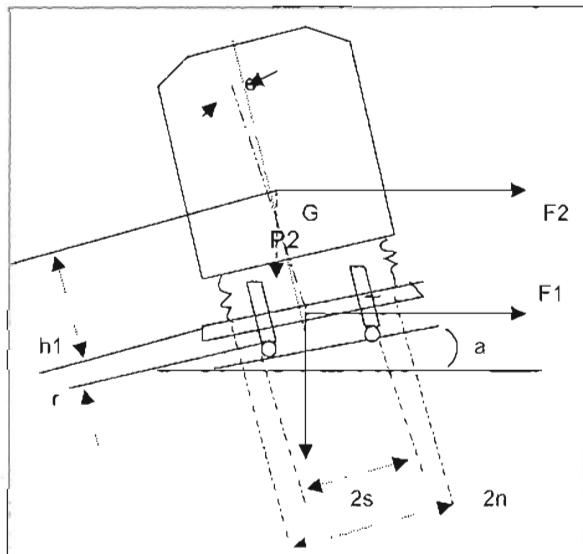
)

del coefi-  
e 4.6 con  
ateral no  
norma de  
de nor-  
oeficien-  
is de que  
rueda y  
en todas  
se uti-  
arga rued-

$$W = \frac{V^2}{g \times R} (P_1 + P_2) \frac{r}{2s} - (P_1 + P_2) \frac{r \cdot a}{2s} + \frac{h_1}{2s} - \frac{P_2 \left[ \frac{V^2}{g \cdot R} - \frac{a}{1 - \frac{P_2 h_1 i}{2 n}} \right]}{(5)}$$

Donde  $i$  = Flexibilidad de los resortes de los bogies  
de los coches.

Los demás parámetros se indican en la siguiente figura:



#### Resistencia al avance en recta y en curva:

Para el cálculo de la resistencia al avance, en plano y en recta, promedio por unidad de peso, expresada en kg / ton, se utiliza la fórmula de Davies para una rama completa, es decir, vehículos remolques y vehículos tractores, haciendo la consideración para ambos tipos de trocha. Las ecuaciones, para cada caso, se expresan de la siguiente forma:

Para trocha de yarda:

$$r = 2.77 + 0.03 V + 0.00035 V^2 \quad (6)$$

Para trocha estándar:

$$r = 2.77 + 0.014 V + 0.0003 V^2 \quad (7)$$

De acuerdo con el tipo de trenes que se desplazan sobre trocha estándar o de yarda y para diferentes radios, el resultado de aplicar la ecuación anterior se resume así:

Tabla 1.

DESCRIPCIÓN	TROCHA DE YARDAS			TROCHA ESTÁNDAR		
	K	R (m)	V (km/h)	K	R (m)	V (km/h)
VELOCIDAD MAX. CURVA I/2 $V = K \cdot R$	3.36	150	40	4.60	150	50
		200	45		200	65
		250	53		250	73
		300	58		300	79
		500	75		500	103

Fuente: estudio ferrocarril del Carare, 1980

Los valores de la resistencia al avance en recta, en función de la velocidad, se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 2.

TROCHA DE YARDA			TROCHA ESTÁNDAR		
R (m)	V (km/h)	r(kg/ton)	R (m)	V (km/h)	r(kg/ton)
150	40	4.53	150	50	4.22
200	45	4.83	200	60	4.69
250	50	5.15	250	70	5.22
300	55	5.48	300	75	5.50
500	75	6.99	500	100	7.17

Fuente: Estudio ferrocarril del Carare 1980

Para el cálculo de la resistencia al avance en curva, promedio por unidad de peso (kg/ton) se utiliza la ecuación de Gerhard Schramm:

$$K = \frac{U}{R} \sqrt{\frac{2}{a^2 + 4e^2} + 2e} \quad (8)$$

Donde: K= coeficiente de rozamiento entre la rueda y el riel

R= radio de la curva

a= distancia entre los ejes de los truques (metros)

e= 1/2 ancho entre los puntos de apoyo de rodadura de la rueda (mts)

Los valores de la resistencia al avance en curva, en función del radio, se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 3.

TROCHA DE YARDA		TROCHA ESTÁNDAR	
R (mts)	K (kg/ton)	R (mts)	K (kg/ton)
150	2.68	150	4.16
200	2.07	200	3.12
250	1.61	250	2.49
300	1.34	300	2.08
500	0.80	500	1.25

Fuente: estudio ferrocarril del Carare 1980

umén en el

(kg/ton)
4.22
4.69
5.22
5.50
7.17

kg/ton) se

El valor de K entre 0.25 y 0.30 es usual para el arranque y depende de si el riel está seco, mojado, grasoso o si se utiliza arena. (Ferrocarriles. Togno. Pág. 216).

La capacidad de arrastre y velocidad de régimen en pendiente (subida) se calcula a partir de la máxima potencia de los carros tractores hasta el límite de la adherencia. Hacen parte otras variables como la velocidad y la pendiente compensada, expresada en porcentaje.

La evaluación de la intensidad de tráfico o trenes /día sobre una línea, se adelanta a partir de las hipótesis de demanda de transporte de pasajeros (puede ser por año) y una previsión al futuro de tráfico a 15 años. Es sabido que la distancia entre las estaciones de cruce y el tiempo de recorrido relativo, son los parámetros básicos que determinan la capacidad de la línea en trenes/día, existiendo varias expresiones como "escuelas" que permiten calcularla. Por ejemplo una de tales ecuaciones se expresa de la siguiente manera:

$$C = \frac{12 \text{ horas} \times 60 \text{ min.}}{Tr + Ta + Tm.} \quad (9)$$

Donde C es la capacidad, significa la capacidad de una línea, Tr el tiempo medio de recorrido del tramo más crítico de la línea, Ta es el tiempo para arranque y deceleración de la rama o tren, fijado en minutos. Tm es el tiempo muerto para operaciones (en el caso de vía única) y K el coeficiente de regularidad. 12 es un número de horas (por ejemplo) que el diseñador estimó dejar diariamente para el mantenimiento de la vía y otras necesidades de la operación; es una variable propia de cada proyecto. Aplicando la ecuación anterior, podemos calcular el tiempo medio de recorrido en el sector más crítico.

Establecidas las características altimétricas de la línea y tomando los radios críticos que más convengan a la morfología del trazado, se calcula la velocidad media para los dos sentidos y todos

los trenes que circulen sobre esa vía. Se supone que en el caso del Tren de Cercanías de Bogotá, la vía (única) se debe compartir entre trenes de carga y pasajeros, razón suficiente para realizar los cálculos con sumo cuidado.

Con los valores de capacidad y el tiempo de recorrido en minutos, se puede establecer el tiempo promedio para recorrer 1 km de vía, la distancia relativa entre las estaciones de cruce y el número de estaciones intermedias correspondientes.

La elección del tipo de trocha que se adoptará para una vía férrea que satisfaga la demanda del tránsito, es fundamental en lo que concierne a las características geométricas y, en particular, a la elección de las distancias entre las estaciones de cruce y su longitud.

Este criterio cobra más importancia si el tren de pasajeros se inscribe en la malla urbana de Bogotá, donde deberá circular por un camino propio integral.

Como complemento a las consideraciones precedentes, es necesario hacer referencia al estudio elaborado por INECO sobre el trazado y construcción de una variante que reemplazaría el tramo actual de vía férrea, proveniente del norte y nordeste, a partir de la vieja estación de La Caro.

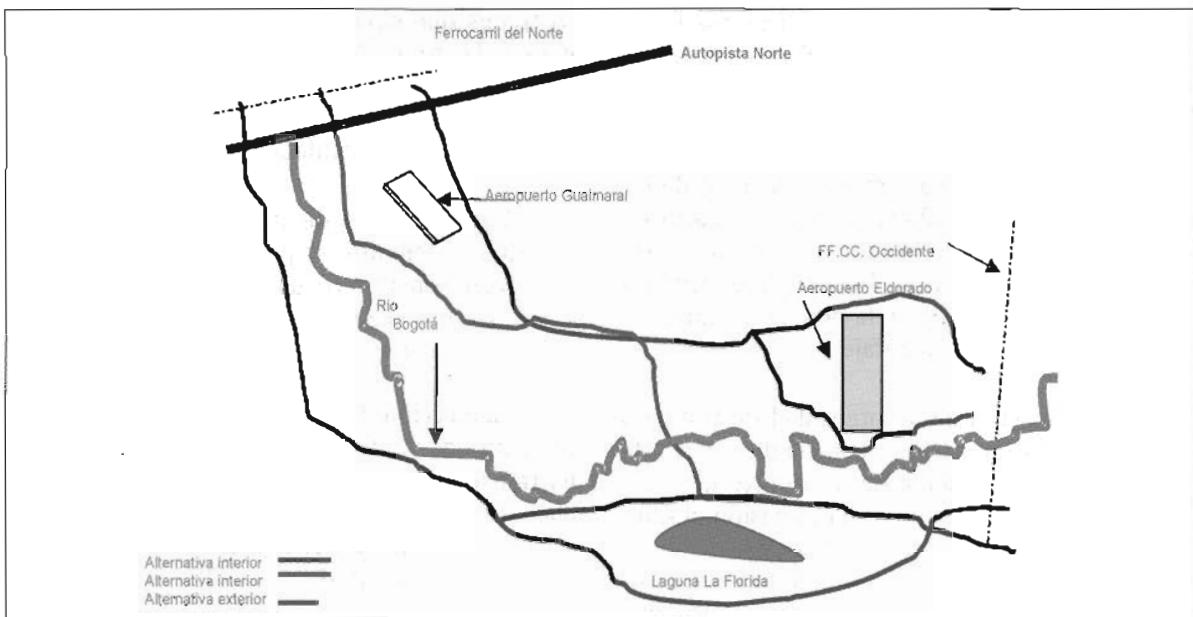
#### ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE VARIANTE A LA RED FERROVIARIA DE BOGOTÁ<sup>8</sup>

En el mes de mayo de 1994, se hizo entrega del estudio de alternativas de trazado para una nueva conexión ferroviaria entre la línea del norte y la del occidente, evitando el actual paso por el interior de la zona urbana de Bogotá.

Se analizaron dos alternativas de trazado uno interior y otro exterior, partiendo de la situación con respecto al Río Bogotá. Igualmente se planteó un tramo de enlace entre los dos grupos de alternativas. Esquema de las alternativas estudiadas:

<sup>8</sup> Estudio variante "La Caro- El Corso". Ingeniería y Economía de España, (INECO). 1996; Estudio contratado por Ferrovías

e cuadro:



Fuente: Estudio variante "La Caro- El Corso". Ingeniería y Economía de España, (INECO). 1996

Los siguientes criterios sirvieron de referencia para enmarcar la alternativa más ventajosa, atendiendo a conceptos técnicos, económicos y administrativos:

- Utilizar lo más posible la mediana de la Avenida Regional Longitudinal (Hoy A.L.O.)
- Interferir lo menos posible con el tejido urbano.
- Que pase lo menos posible por fuera de los límites del Distrito.

- Que no afecte las ampliaciones del aeropuerto El Dorado.

#### *Desarrollo de la alternativa seleccionada:*

Dicha alternativa estaba compuesta por dos subalternativas similares, siendo la única diferencia entre ellas el tramo final de la conexión con la línea norte, según se desarrolle por el norte (interior) o por el sur (exterior) del aeropuerto de Guaimaral. Se trata de una alternativa básica con un tramo común y dos tramos alternativos: exterior e interior.

#### *Parámetros básicos de diseño:*

Tabla 4.

Parámetros	TRAMO		
	Común	Interior	Exterior
Rampa máxima	4.2%	1.6%	9.2%
Pendiente máxima	3.5%	4.9%	4.6%
Radio mínimo	650 mts	350 mts	650 mts

Fuente: Estudio variante "La Caro- El Corso". Ingeniería y Economía de España, (INECO). 1996

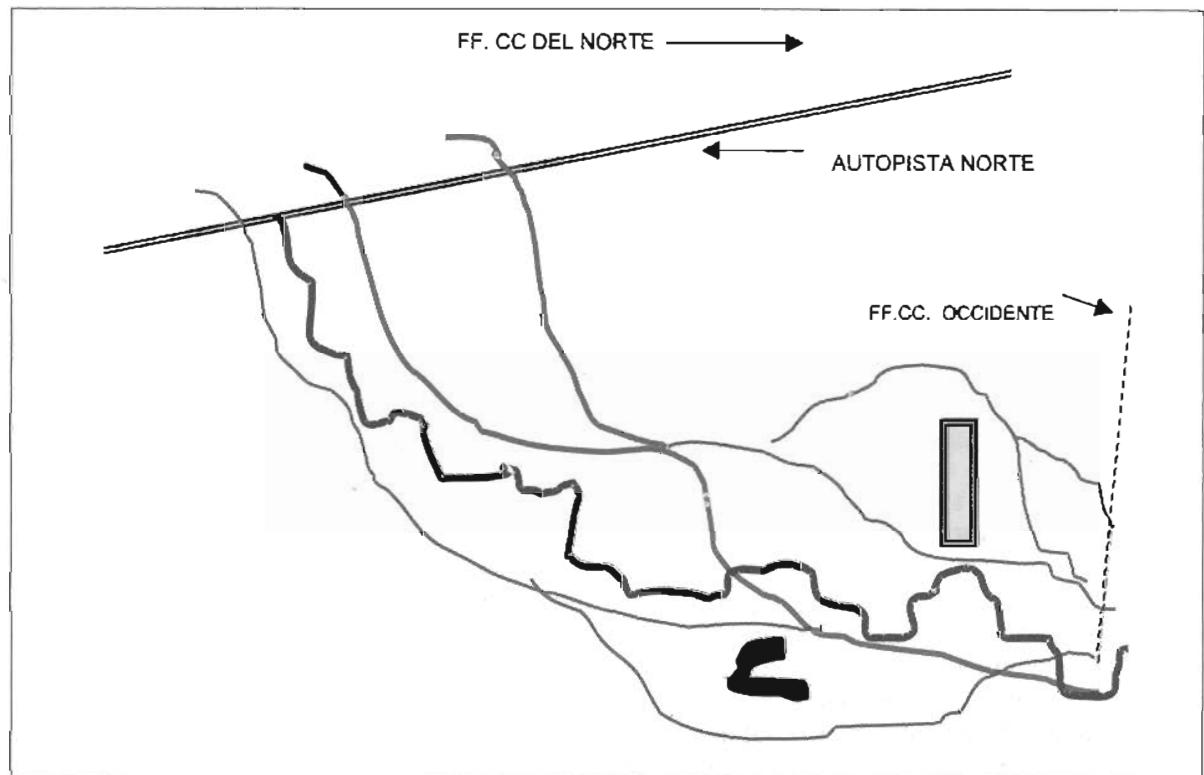
Las longitudes de las subalternativas seleccionadas fueron de 23.1 kilómetros para el interior y 25.2 kilómetros para el exterior. Para el cruce a desnivel de las autopistas a Medellín y del Norte, la laguna de la Florida y el Río Bogotá se requerían una serie importante de estructuras, las cuales, para la época fueron valoradas así (costos de 1994):

- Subalternativa interior: \$16.38 millones de dólares.
- Subalternativa exterior: \$18.84 millones de dólares

De acuerdo con el perfil longitudinal de cada subalternativa, el trazado en terraplén y desmonte en cada una de ellas sería:

	<b>SUBALTERNATIVAS</b>	
	<b>Interior</b>	<b>Exterior</b>
En terraplén	14.2 km	15.2 km
En desmonte	8.9 km	10.0 km
<b>TOTAL</b>	<b>23.1 km</b>	<b>25.2 km</b>

#### ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA



Fuente: Estudio variante "La Caro- El Corso". Ingeniería y Economía de España, (INECO). 1996

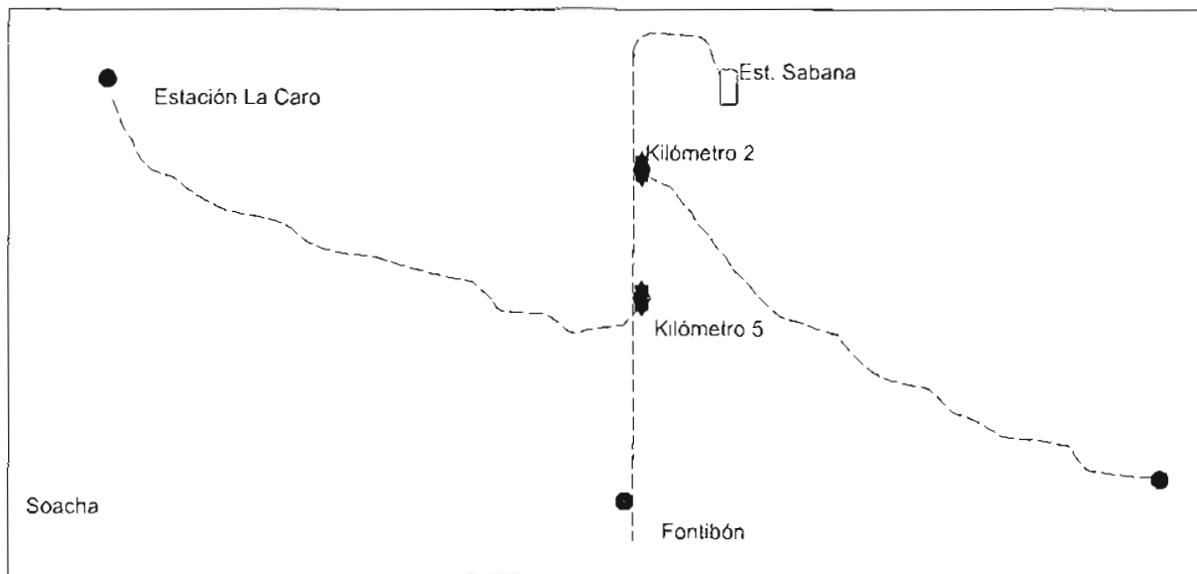
La red férrea de Bogotá se compone de tres líneas que llegan a la zona urbana de la ciudad. La línea de occidente sale de la Estación de La Sabana, comunicándola con Fontibón, Funza, Mosquera, Madrid y Facatativá. A partir de esta último conglomerado, la vía férrea se extiende a Santa Marta y su futura operación y explotación depende del éxito del consorcio Ferrocarril Norte Colombia «Fenoco», entidad con la cual se debe tratar el tema del Tren de Cercanías.

Otra línea proviene de la explotación de las carboneras de Lenguazaque y Belencito situadas al norte de Bogotá. Estas dos vías se unen a la

altura de la estación La Caro y entra al tejido urbano por el norte, se desvía al occidente y se encuentra con la de occidente en inmediaciones del antiguo terminal de carga de los Ferrocarriles Nacionales, llamado "Kilómetro 5".

La tercera línea une el suroccidente de la Sabana, a partir de Soacha, con la línea que viene de occidente en el punto denominado Km 2 a la salida de la antigua Estación de La Sabana. Este tramo está sin uso hace más de 15 años y fue entregado al Distrito por parte de Ferrovías; la empresa Transmilenio S.A. tiene prevista la implementación de una futura troncal de buses articulados.

#### ESQUEMA DE LA RED FERREA EN LA SABANA<sup>9</sup>



#### LA OPERACION FERROVIARIA:

De las tres líneas férreas que llegan al interior de la ciudad, la proveniente de Soacha quedó suprimida y sometida, por parte del IDU, a un levantamiento topográfico en detalle como paso previo a la implantación de una troncal de TransMilenio. Cabe recordar que, de acuerdo con estudios recientes de tránsito y demanda, este sector

tiene el mayor volumen de pasajeros en horas pico de la mañana y tarde, en relación con los sectores que cubren las otras vías férreas.

El ferrocarril del norte apenas soporta tránsito en el sentido norte al kilómetro 5, salida ha-

<sup>9</sup> Informe Veeduría transporte masivo, Personería de Bogotá, 2000. Ing. Fernando Rey Valderrama.

tejido urbano y se enlaza con las vías del sistema de los Ferrocarriles Nacionales.

de la Sabana viene de la salida del tramo estádo al Disenamiento futura

ras pico de sectores

ta tránsito lida ha-  
otá. 2000.

cía al occidente. La carga movilizada corresponde fundamentalmente a carbón, cemento, y acero, la cual no supera las 120.000 toneladas / año.

El ferrocarril de occidente entre el Km 5 y la Estación de La Sabana está fuera de servicio y la operación entre este punto y hacia Santa Marta es relativamente baja, como quiera que el sector Facatativá - Puerto Salgar no ha sido rehabilitado en su totalidad. Si la concesión FENOCO, encargada del sistema ferroviario, inicia sus labores a partir de Santa Marta, este proceso tardaría en atender este tramo y, por consiguiente, se mantendría la reducción del movimiento de carga.

De lo anterior se desprende que la vía férrea que viene del norte atraviesa la zona urbana de Bogotá con un único itinerario posible y tan sólo, en función de la demanda de carga; la alternativa de disponibilidad total del corredor para un servicio de pasajeros es la construcción de una de las dos alternativas seleccionadas que conecte La Caro con la vía férrea al occidente y a la altura de los talleres El Corzo.

#### Problema de la red férrea en Bogotá:

Como se ha visto anteriormente, el ingreso de los corredores ferroviarios del norte y occidente a la Estación de La Sabana se hace pasando por el tejido urbano de Bogotá. Esta situación propició uno de los problemas más graves en su operación, debido al cruzamiento a nivel con calles, carreras y avenidas, interfiriendo el tránsito que rueda por la ciudad. Este conflicto empezó con el crecimiento de Bogotá, el cual no tuvo como hito las vías del antiguo ferrocarril; por el contrario, los rieles generaron incomodidades y la imposición de pasos a nivel según las áreas urbanas que pretendían intercomunicarse por automóvil o bus.

Los Ferrocarriles Nacionales fueron incapaces de contener la apertura desmesurada de pasos a nivel, además, porque el poco movimiento de trenes iba presagiando su desaparición. Esta situación, que hoy es imperceptible por el poco tránsito ferrovia-

rio, puede llegar a complicarse si la concesión adjudicada logra revivir la movilización de la carga entre norte, nordeste y el tramo a Santa Marta.

Siendo un tanto escépticos a un incremento sustancial de la carga, pero también sin descartar que pueda presentarse un volumen (a mediano y largo plazo) de 1.000.000 de toneladas / año, equivalente a 1.670 trenes / año / sentido, implicaría una media de 34 trenes semanales / sentido. Este hecho hace muy difícil compartir los corredores con un sistema masivo de pasajeros hacia y desde la Estación de La Sabana que requeriría, para una operación atractiva de demanda, disponer por los menos de 17 horas continuas de servicio.

Así las cosas, se plantean tres alternativas para resolver el interrogante de la operación de dos servicios simultáneos carga y pasajeros manteniendo una vía única:

- Construir una variante por el sector occidental aprovechando, por ejemplo, el corredor de la A.L.O. para liberar el uso de los actuales corredores y dedicarlos exclusivamente al Tren de Cercanías.
- Cercenar de la red férrea nacional el tramo conocido antiguamente como "Ferrocarril de Cundinamarca" entre Facatativá y Puerto Salgar y operar por carretera desde y hacia allí, la carga que viene o se origina en Bogotá.
- Compartir el mismo corredor; sin embargo, surge el problema de las diferencias de tecnología entre el material rodante que dispone Ferrovías para mover carga y el que exige un servicio moderno para pasajeros.

Evaluando sucintamente cada una de las alternativas se puede llegar a la solución más aceptable del problema, siempre y cuando se parte del concepto que el ancho del actual corredor ferroviario es insuficiente y los materiales de la superestructura obsoletos y que, por las razones expuestas

en el análisis sobre el ancho de trocha, es indispensable insertar la vía estándar de 1.435 mm.

### Evaluación de la alternativa No. 1

En el primer protocolo de entrega de la vía férrea del sur por parte de FERROVIAS al Distrito, se incluyó una cláusula mediante la cual la administración distrital se comprometía a dejar una franja de 10 metros de ancho (suficiente para trocha de 915 mm acorde con el material rodante actual de ferrovías) a lo largo de la A.L.O., a manera de compensación y disponible para construir la nueva carriera, liberando así los tramos que entran a Bogotá y previendo hacia el futuro un tren de cercanías.

Infortunadamente, el estado del proyecto de la Avenida Longitudinal Occidental está causando un grave retraso a Bogotá al no disponer de una autopista que desembotte el tránsito pesado proveniente del norte del país y con destino al sur occidente, el cual no tiene otra opción de paso que las vías urbanas de la Capital.

Esta alternativa es la más ventajosa según la descripción anterior por cuanto, al tener disponibles las franjas del viejo ferrocarril, se podía implementar una vía moderna, con trocha estándar y nuevos materiales: balasto, traviesas en concreto, planchuelas, rieles soldados y fijaciones doblemente elásticas, indispensables para un tren rápido de pasajeros.

### Evaluación de la alternativa No. 2

En la historia de las inversiones de mantenimiento de la vía férrea por cuenta de los Ferrocarriles Nacionales, la más onerosa correspondió siempre al tramo comprendido entre las abscisas K 48 y K 200, estaciones Tribuna y Puerto Salgar respectivamente.

Las razones de este gasto se justificaban por un trazado de montaña que en trechos alcanza una pendiente de 3.8%, por la alta inestabilidad

geológica de la cordillera (suelos limo - arcillosos, con alto grado de lutitas del tipo villeta), por la proximidad de la vía al cauce del Río Negro Occidental que corre paralelo y encajonado, con aguas turbulentas que golpean la base del talud de la plataforma férrea, por el mantenimiento de 23 puentes y ocho túneles y, como consecuencia de estos factores, una lenta y difícil operación de los trenes de carga propensos a numerosos descarrilamientos.

Para ganar la altiplanicie de la Sabana desde la estación México, la carga por ejemplo, de 30 vagones provenientes de Santa Marta se tenía que dividir en tres trenes de 10 carros, cada uno traccionado por un trío de locomotoras U10B o un par de la serie U20, incrementando los costos de la explotación del transporte. Esta gama de inconvenientes trajo como consecuencia demoras excesivas en la entrega de la carga y una justificada competencia del transporte por carretera.

En criterio del Banco Mundial y de varios consultores internacionales, la mejor propuesta para el Ferrocarril es prescindir de ese tramo, crear un puerto seco en el municipio de La Dorada y recibir la carga del ferrocarril para luego traerla a la Capital por tractocamiones. El estudio del trazado y construcción del nuevo ferrocarril del Carare fue otra opción que se valoró para unir los puertos del Caribe con el centro del país, aprovechando sectores del ferrocarril a Barbosa (Santander). Esta investigación alcanzó a definir el corredor, el volumen de carga, la capacidad de la línea, las características de la construcción y la futura operación, pero se perdió en la transición de Ferrocarriles Nacionales a Ferrovías.

### Evaluación de la alternativa No. 3

El compartir los corredores actuales de occidente y norte entra en un "conflicto" técnico por las siguientes razones:

- La trocha angosta garantiza el paso de los trenes de carga, cuyo material rodante en su

- arcillo-lleta), por el Negro iado, con del talud niente de secuencia ración de merosos

Sabana des-  
empleado, de  
se tenía  
cada uno  
s U10B o  
os costos  
gama de  
la demo-  
una justi-  
arretera.

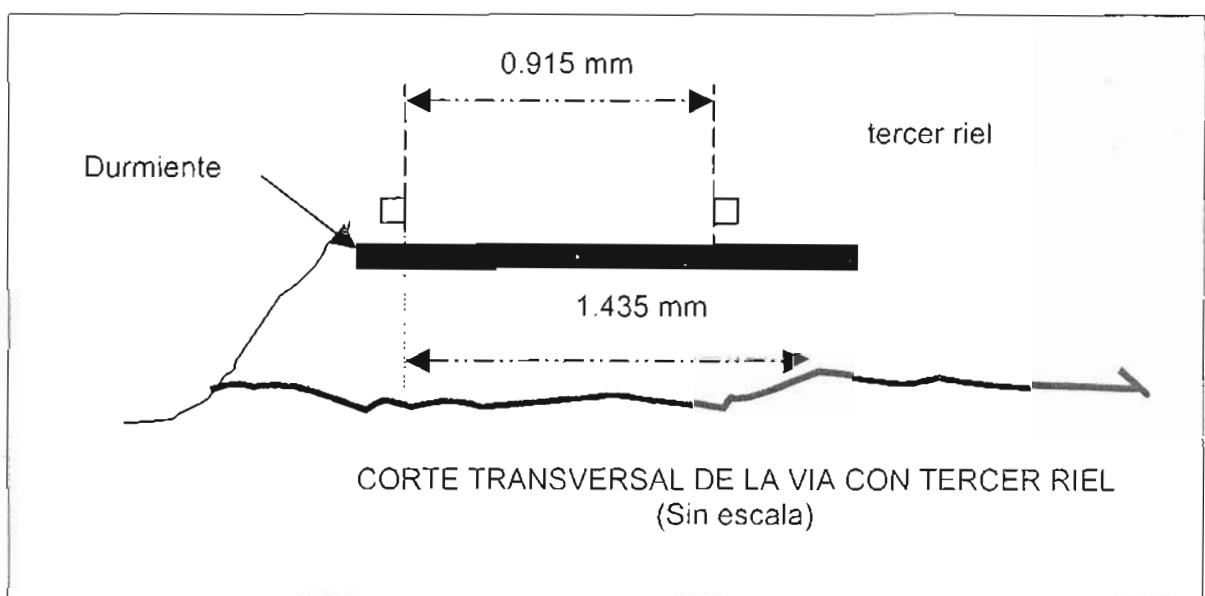
le varios  
ropuesta  
no, crear  
Dorada y  
traerla a  
del tra-  
el Carare  
los puer-  
ovechan-  
tander).  
redor, el  
inea, las  
ura ope-  
Ferroca-

totalidad está diseñado para este tipo de vía. Es impensable modificar ese gálibo en los tramos de la Sabana por cuanto implicaría variar el resto de la red nacional incluidos puentes, túneles, viaductos y demás obras de infraestructura.

- b. El Tren de Cercanías para pasajeros, según las consideraciones expuestas en este análisis, requiere un ancho de trocha estándar no sólo por las condiciones de explotación sino por los costos del material rodante. Es más económico para un operador adquirir coches y locomotoras de producción universal para este tipo de vía, que el equipo para la "yárdica".

- c. La operación de un tren de pasajeros por vía única exige cruces perfectamente cronometrados en las estaciones, lo cual obliga a modificar los aspectos geométricos de las mismas. Esto se complica cuando se suma el factor "tren de carga".

Por los altísimos costos que implica construir una nueva vía, considerando las alternativas 1 y 2 descritas antes, sumados a los de ampliar la trocha de los ejes norte y occidente, puede plantearse la inserción de un tercer riel, de tal modo que el mismo corredor permita el cruce de trenes para las dos diferentes trochas. El siguiente diagrama intenta explicar el corte transversal de una vía equipada con tres rieles:



Fuente: Infurine Veeduría transporte masivo, Personería de Bogotá. 2000. Ing. Fernando Rey Valderrama

#### Consideraciones sobre el tercer riel:

- Se debe evaluar la disponibilidad de ampliar la zona de seguridad de los corredores actuales para vía única, con ancho de trocha de 1.435 mm
- Se deben evaluar las obras de arte (alcantarillas o sumideros) existentes en relación con el

nuevo ancho estándar, para definir si requieren una prolongación.

- Las traviesas existentes deben cambiarse en su totalidad por otras de mayor volumen, preferiblemente en concreto y equipadas para asegurar el riel mediante fijaciones doblemente elásticas.

- d. Las cajas de soporte de los rieles deben estar diseñadas para perfiles de 100 libras / yarda y su respectiva planchuela antideslizante.
- e. Es necesario calcular una mayor cantidad de balasto y material de base, que puede superar la proporción de un metro cúbico por un metro lineal de vía.
- f. Los tres rieles deberán conformar largas barras soldadas para evitar un mantenimiento sistemático de juntas.

## CONCLUSION GENERAL

En cuanto se refiere a la circulación de los trenes dentro del tejido urbano, si el proyecto fuera rentable para un concesionario, se debe tener en cuenta el visto bueno del taller del espacio público sobre la mitigación del impacto negativo que generarían los cruces a desnivel (puentes o box couverts), el cierre de pasos a nivel y los puntos de parada.

La inversión que se le exija al Distrito Capital deberá estar garantizada por un alto índice de

movilidad de pasajeros y este sistema debe integrarse al programa Transmilenio. Sin embargo, no es descartable un fracaso por la baja demanda de usuarios.

## BIBLIOGRAFÍA

1. La Vía Férrea. Jean Alias. 1994. Editorial EYROLL.
2. Ferrocarriles. Hugo Togno. 1970. México.
3. U.I.C. Unión Internacional de Ferrocarriles. Rue de Charles Roi, Bruxelles. 1973.
4. Reflexiones sobre la trocha métrica.
5. Ingeniería y Economía de España INECO. estudios de variante del ferrocarril de La Sabana.
6. Ministerio de Transporte. Estudio de oferta y demanda para el Tren de Cercanías. 1998.
7. Ing. Fernando Rey Valderrama. Veeduría al Sistema Integral de Transporte Masivo. Personería Distrital. 2000.
8. Ferrocarriles Nacionales de Colombia. Archivos sobre censo de vías férreas en Colombia.
9. Rehabilitación de los corredores férreos de la Sabana de Bogotá, para adaptarlos a un sistema masivo de transporte. Ministerio de Obras Públicas. 1992.