



# Aplicación del enfoque sistémico en el diseño de los sistemas de transporte ferroviario de carga

C.A. Herrera-Morales

CVG. Ferrominera Orinoco C.A. Estado Bolívar, Venezuela  
E-mails: caralhm3@hotmail.com, carlosh@ferrominera.com

(recibido: enero de 2005; aceptado: marzo de 2005)

## Resumen

Aunque el diseño de los sistemas ferroviarios de carga no es un tema reciente, la constante evolución tecnológica en este ramo, junto al surgimiento de nuevas herramientas para la planeación, hacen que actualmente sea todo un reto lograr un diseño óptimo, y por consiguiente, una operación eficiente de tales sistemas. Parte del problema radica en que a pesar de que mucho se ha investigado sobre la mejora y modernización en la planeación de las operaciones y la circulación de los trenes, no se ha dedicado el mismo esfuerzo a la optimización del proceso de diseño. El siguiente trabajo, ofrece una guía para abordar el diseño de un sistema de transporte ferroviario de carga, bajo algunas premisas del enfoque de sistemas, la planeación normativa y la planeación por niveles, buscando como objetivo final, garantizar el funcionamiento eficiente de todo el diseño. Es necesario resaltar, que el enfoque "por elementos" que se ha dado a dicha guía, facilita extender su aplicación al diseño de otros sistemas modales de transporte, puesto que los elementos claves (vehículos, vías, sistemas de control, etc.) son comunes a todos los sistemas. Finalmente, cabe destacar que aunque la orientación del trabajo es hacia el diseño de los nuevos sistemas, las premisas y estrategias recomendadas pueden servir como referencia para la evaluación de diversas opciones de reingeniería en las explotaciones ferroviarias ya establecidas.

**Descriptores:** Enfoque de sistemas, planeación normativa, planeación por niveles, dinámica del tren, itinerario, nivel de servicio, capacidad de circulación.

## Abstract

*Al though the de sign of the cargo rail sys tems is not a re cent topic, the con stant tech no log i cal evo lu tion in this sub ject, next to the emer gence of new plan ning tools, now a days, make it an en tire chal lenge to achieve a good de sign and, con se quently, an ef fi cient op er a tion of such sys tems. A por tion of the pro blem dwells on the fact that re gard less of how much it has been in ves ti gated about the im prove ment and modern iza tion concern ing the plan ning of the op er a tions and the cir cu la tion of the trains, it has not been de voted the same ef fort to the op ti mi za tion of the de sign pro cess. The fol low ing work, of fers a guide to ap proach the de sign of a cargo rail way trans por ta tion sys tem, un der some pre mises of the sys tems ap proach, the nor ma tive plan ning and the plan ning by stages. With the fi nal ob jec tive of guar an tee ing the ef fi cient op er a tion of the whole de sign. It is nec es sary to high light that the ap proach "by el e ments" that has been given to this guide, aids its ex pan sion into the de sign of other modal sys tems of trans por ta tion as such key el e ments (ve hi cles, roads, con trol sys tem, etc) are com mon to all sys tems. Finally, it is pos si ble to high light that al though the ori en ta tion of the work is to ward the de sign of the new sys tems, the pre mises and recom mended strat e gies could also work as refer ence for the eval u a tion of var ious re en gineer ing op tions in the rail road op er a tions al ready es tab lished.*

**Keywords:** *Ap proach of sys tems, nor ma tive plan ning, plan ning by lev els, dy nam ics of the train, itine rary, level of ser vice, cir cu la tion ca pac ity.*

## Introducción

El trabajo inicia con una breve descripción del marco teórico considerado para abordar el diseño desde un enfoque sistémico, después propone un esquema para definir y delimitar el sistema. Con los principales elementos ya identificados se procede a examinar, para cada uno de ellos, algunos criterios que servirán de premisa en su diseño, así como las principales interacciones que tiene cada elemento con el resto de los que integran al sistema.

El propósito del trabajo, es ofrecer una guía que sirva de ayuda durante la elaboración del diseño, mediante el cuestionamiento de sus aspectos sistémicos. No obstante, se debe acotar que no existen experiencias "patrones", en primer lugar, porque la operación de estos transportes en la mayoría de los países, está bajo la responsabilidad de empresas privadas cuya planeación no se desarrolla en su totalidad bajo lineamientos o normativas gubernamentales, y en segundo lugar, porque la visión, los objetivos de utilidad, el nivel de tecnología y los propósitos conexos al diseño del sistema, varían significativamente entre las empresas (aún cuando existan claros estándares, aceptados internacionalmente, para lo referente a equipos rodantes e infraestructura). Sin embargo, parece razonable afirmar que un objetivo primario y común en todas esas administraciones será diseñar un sistema eficiente con capacidad para cumplir las metas de transporte, plenamente adaptado a las condiciones del entorno en que operará, con un mínimo impacto ambiental, flexibilidad para la expansión y con potencial para operar armónicamente en conjunto con las redes ferroviarias ya existentes.

## Marco conceptual

De los diferentes sistemas creados por el hombre, los de transporte pueden considerarse de los más complejos por la gran cantidad de variables que interactúan en los mismos. Checkland (1997), establece una clasificación de los sistemas en cuatro grandes grupos: naturales, humanos, diseñados y abstractos. De acuerdo a dicha taxonomía, el sistema ferroviario puede catalogarse como un sistema "diseñado", es decir, una entidad hecha por el hombre que se trata o estudia como un todo y tiene propiedades emergentes.

Churchman (1997), por su parte, cita cinco premisas básicas al considerar un fenómeno como sistema:

1. Observar los objetivos del sistema y sus medidas de actuación como un todo.
2. Considerar el medio ambiente del sistema (las restricciones fijas).
3. Considerar los recursos del sistema.
4. Considerar los componentes del sistema.
5. Considerar la administración del sistema.

En alineación con los autores anteriores, uno de los primeros marcos conceptuales a utilizar será la consideración del transporte ferroviario como un "sistema", integrado a su vez por diferentes elementos o componentes, los cuales interactúan para lograr un objetivo.

El paso siguiente es delimitar claramente este "sistema" sobre el que se va a desarrollar el diseño, lo cual puede hacerse mediante un diagrama de desagregación por niveles, en donde el nivel base lo constituya el sistema de transporte ferroviario, representado con un mapa conceptual de tipo descriptivo; donde se indiquen los criterios estratégicos para cada elemento, las características que deben regir el proceso y los requisitos para el producto que debe entregar el sistema. Debe mostrarse también el nivel de su subsistema, que puede corresponder según cada caso, a la red global de la cual formará parte el sistema ferroviario que se diseña, o bien, al medio ambiente donde funcionará, resaltando qué elementos de estos niveles serán los relevantes para afectar las decisiones de diseño y de ser posible, sobre qué elementos en particular. En la figura 1, se muestra un ejemplo de cómo esquematizar este diagrama por niveles.

Una vez que se ha identificado el sistema y sus componentes, entra en consideración el marco de la Planeación Normativa o Prospectiva. Miklos y Tello (1993), definen este tipo de planeación como aquella que está fuertemente orientada hacia el futuro deseado (los ideales o fines últimos). El proceso inicia con el diseño de la imagen deseada, los ideales conforman criterios que guían la selección de objetivos, éstos a su vez, se formulan conforme a los fines y posteriormente se definen las políticas, estrategias y tácticas que procuran lograr la imagen final propuesta. Estos autores añaden como uno de los elementos claves: la visión

holística, luego al proyectar el futuro hay que centrar la atención, tanto en el conjunto y sus partes, como en la interacción entre éstos. Sobre este aspecto y ya con bastante anterioridad, Ackoff (1979) establecía que la planeación no es un acto único, sino un proceso o "ciclo" en el cual un conjunto de decisiones puede a su vez, subdividirse en otro subconjunto independiente y las decisiones que se toman primero deben considerarse al tomar las decisiones posteriores y viceversa.

La aplicación de estos postulados de la planeación normativa en el diseño, puede materializarse en dos estrategias:

- Utilizar la lógica de diseñar "yendo del producto al insumo", es decir, partir de las características del servicio que se desea producir (meta de transporte), y en función de ello, considerar los elementos adecuados (flota, infraestructura, nivel de servicio, etc).
- Questionar y analizar los diferentes aspectos de interrelación entre los elementos del sistema, antes de tomar decisiones sobre cada uno de ellos. De forma práctica, se proponen en este trabajo una serie de relaciones particulares de los sistemas

ferroviarios que pueden servir de guía en esta etapa del diseño.

Ahora bien, referente al nivel de detalle y la jerarquía en las decisiones de diseño, los investigadores del transporte Crainic y Laporte (1997), establecen que: "los sistemas de transporte son organizaciones complejas, las cuales involucran un gran número de recursos humanos y materiales, que despliegan intrincadas relaciones y negociaciones entre las varias políticas y decisiones, afectando a sus diferentes componentes". Estos autores identifican también que en la planeación de cualquier sistema de transporte existen decisiones correspondientes a tres niveles o dimensiones del sistema, las cuales se afectan entre sí. Estos tres niveles de planeación son:

a) *Nivel estratégico (largo plazo)*: las decisiones a este nivel determinan las políticas de desarrollo y las estrategias de operación del sistema e incluyen:

- Diseño de la red física.
- Localización de las facilidades principales (patios, muelles, talleres).
- Adquisición de material rodante.
- Definición del tipo de servicio y política de tarifas.

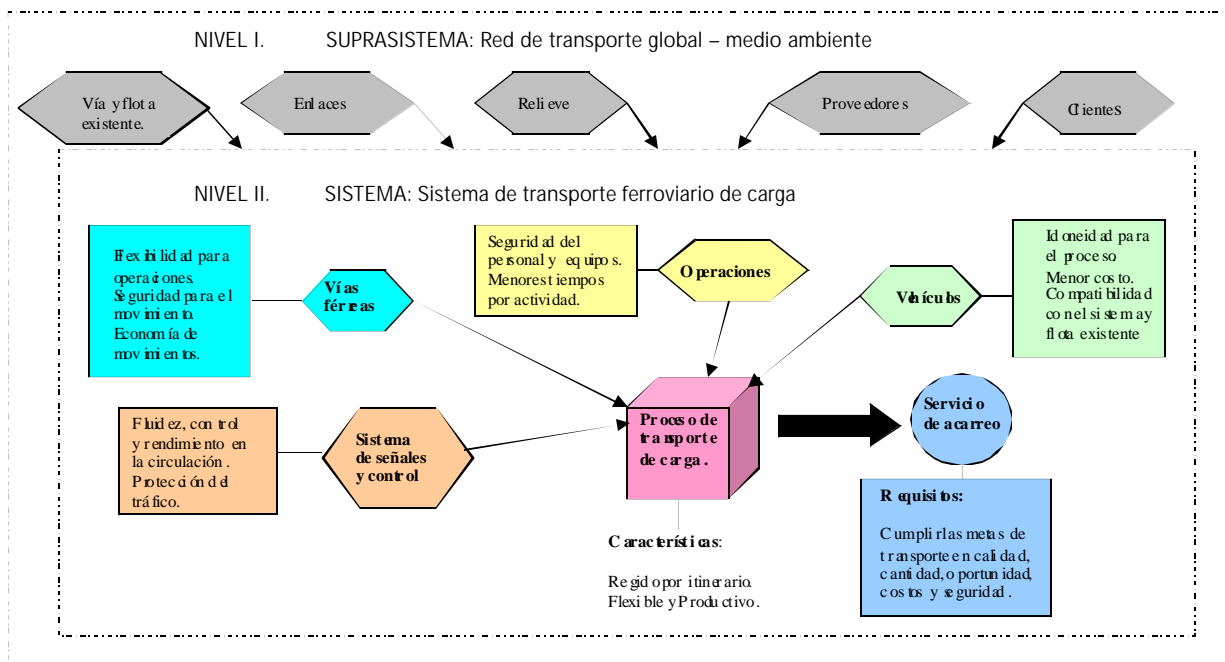


Figura 1. Diagrama de un sistema de transporte ferroviario

b) *Nivel táctico (mediano plazo)*: busca asegurar sobre un horizonte de mediano término, el eficiente y racional aprovechamiento de los recursos con que se cuenta para lograr un óptimo desempeño del sistema en todo su conjunto. Estas decisiones apuntan principalmente al diseño del servicio que prestará la red, por ejemplo:

- Selección de rutas y tipo de servicio.
- Reglas de operación en cada terminal o patio.
- Política de vehículos vacíos, etc.

c) *Nivel operacional (corto plazo)*: la planeación es realizada por los “gerentes locales” de los procesos, en un ambiente dinámico donde el factor tiempo es relevante y todos los recursos de vehículos, facilidades y actividades deben presentarse claramente detallados. Algunas actividades típicas de este nivel son:

- Itinerarios del servicio.
- Ruteo y asignación de vehículos y tripulaciones.
- Ubicación de recursos y reposicionamiento de vehículos vacíos.
- Programación de mantenimientos, etc.

El marco conceptual de *Planeación a tres niveles* se aplica al combinar durante el diseño de los distintos elementos del sistema, decisiones que corresponden a cada uno de los tres niveles de planeación ya descritos.

A continuación, se presentan una serie de pautas para el diseño de cada uno de los elementos que conforman el sistema ferroviario de carga.

## **Diseño de los vehículos**

Esta fase corresponde al nivel de planeación *Estratégico*.

En la selección de los equipos rodantes o vehículos del sistema ferroviario, se sugiere dar prioridad a los criterios de selección basados en la eficiencia y seguridad de la tracción (locomotoras), así como la rapidez de desalajo de la carga (vagones), sin dejar de considerar los aspectos de costos, facilidad y requerimientos de mantenimiento.

### *Selección de los vagones*

En la selección del vehículo de carga (vagones) el aspecto más importante es la idoneidad del mismo, tanto con la carga que va a contener y desalojar, como con la infraestructura en que va a traficar. La combinación de ambas circunstancias impactará en los rendimientos de todo el proceso.

#### *Interacción entre vagones y sistema*

##### *Vagones ⇔ Locomotora, Vía férrea*

La relación carga/tara de los vagones, impacta en el tonelaje total que arrastra el tren, así como el consumo de combustible de la locomotora, las cargas totales por eje sobre la vía y el desgaste del sistema de frenos del vagón.

##### *Vagones ⇔ Operación*

El mecanismo de operación de las compuertas (si se trata de vagones tolva) y el sistema de acoples rotatorios (para vagones que vacían mediante volteo), contribuyen al tiempo total de descarga, afectando a su vez el tiempo de ciclo del tren.

##### *Vagones ⇔ Vía férrea*

Las dimensiones del vagón influyen en la longitud de diseño de los patios, los muelles de mina, la fosas de descarga, las vías de escape y los desvíos, así como en el galibo de diseño de las infraestructuras de vía.

##### *Vagones ⇔ Infraestructura*

La capacidad del vagón está en relación directa con el tamaño de la flota o parque requerido y este a su vez, determina las necesidades de infraestructura adicional (talleres, vías de almacenamiento, etc).

### *Selección de las locomotoras*

En la selección de los vehículos tractivos, como factor de seguridad, debe considerarse un escenario donde estén presentes las máximas restricciones al desempeño de estos equipos; conviene tener en cuenta además la idoneidad entre equipo

e infraestructura, así como los esquemas operativos (arreglos de tren) y la cantidad de locomotoras que son necesarias para cada etapa del transporte (no necesariamente serán las mismas en cada fase), a fin de lograr un máximo aprovechamiento de la energía de tracción.

### *Interacción entre locomotoras y sistema*

#### *Locomotoras ⇒ Operación*

El rendimiento del equipo a nivel de los consumibles (es decir, el tiempo entre reabastecimientos o autonomía de viaje), en conjunto con su tecnología, mecanismos de autopuebas, monitoreo y corrección de fallas, definen la productividad de las locomotoras (horas de servicio sin interrupción) y por lo tanto, de la operación ferroviaria.

#### *Locomotoras ⇒ Infraestructura*

La autonomía de las locomotoras incide en la necesidad y ubicación de talleres o áreas para el servicio de las mismas, afectando directamente los costos de infraestructura logística.

#### *Locomotoras ⇒ Vía férrea*

Los radios de giro de los equipos, principalmente la locomotora que es el más pesado, definen la geometría de la vialidad ferroviaria interna y externa, ya que por razones de seguridad el radio de curvatura mínimo de la vía, debe ser "mayor" que el mínimo radio de giro de los equipos.

## **Diseño de la vía férrea e instalaciones**

Esta fase corresponde al nivel de planeación *Estratégico*.

### *Interacción entre vías e instalaciones con el sistema*

El principal impacto que tiene la infraestructura de la vía férrea, se aprecia en el desempeño o funcionamiento del sistema como tal. Es así como puede establecerse una relación directa entre la capacidad física de las facilidades (el máximo número de toneladas, carros o trenes, que pueden

pasar a través de la facilidad, durante un período dado) y las demoras en el tránsito o los problemas de congestión.

Aunque los sistemas de señalización y control son determinantes para agilizar el movimiento y dar fluidez al tránsito de los trenes sobre la vía, existirá una capacidad finita de la misma, la cual caracterizará en mayor medida el desarrollo de las operaciones. Las principales interacciones que se pueden identificar son:

#### *Vía férrea ⇒ Dinámica del tren*

El tipo de perfil que presente la vía tiene una influencia directa en la dinámica del tren y por lo tanto, en su modo de conducción, así como se indica:

- Perfil de vía recto y horizontal: es el idóneo para un movimiento estable del tren. Se puede aumentar la velocidad hasta los límites permisibles y asegurar una buena reserva de energía cinética para las cuestas.
- Perfil de vía quebrado: cuando hay bajadas y subidas cortas, así como reiteradas y además se conduce el tren con el máximo de peso, es conveniente la conducción a plena carga (con tracción del motor) y no en vacío, ya que así puede aprovecharse mejor la energía cinética que se acumula en las bajadas y no se aminora la velocidad del tren.
- Pendientes de grandes longitudes: este tipo de perfil requiere la máxima pericia del operador. En el tramo que antecede a una subida hay que ganar el máximo de impulso; una vez iniciado el ascenso la resistencia aumenta y la velocidad disminuye, por lo que la tracción de la locomotora se incrementa hasta que se equilibra con la resistencia al movimiento.

A partir de este momento hay que prevenir los aumentos súbitos de tensión porque pueden ocasionar un "deslizamiento" del tren. En las bajadas en cambio, no se emplea la tracción y se controla el tren con ayuda de los frenos.

### Vía férrea ⇒ Equipos

La capacidad portante de la vía, condiciona el máximo peso/eje de los vehículos que circularán por ella. Por otra parte, la máxima pendiente de vía orienta sobre la necesidad de una mayor tasa de frenado en los carros y la exigencia de contar con sistemas de frenos adicionales (como el freno directo) en locomotoras y vagones.

### Vía férrea ⇒ Operaciones

El disponer de una vía del tipo doble o sencilla, define el tipo de encuentros o cruces que tendrán los trenes cargados y vacíos.

La ubicación de los patios de maniobras, los patios de carga y el tipo de enlace entre ambos, definen los tiempos de tránsito del tren, por tanto, la productividad del sistema.

El grado de inclinación de las pendientes limita también en la máxima velocidad de descenso para las operaciones en las cuestas.

### Vía férrea ⇒ Sistema de señalización y control

Hay una relación muy cercana entre estos dos elementos, pues del diseño de las vías dependerá la dimensión y alcance del sistema de señalización y control, en cuanto al número y la ubicación de las señales y los dispositivos de protección del tren, tales como detectores de ejes calientes, detectores de aparejos caídos, señales de alcantarillado y el control para las vías de escape (Figuras 2, 3 y 4).



Figura 2. Detector de aparejos caídos



Figura 3. Detector de ejes calientes



Figura 4. Aparato de cambio para vía de escape

## Diseño del sistema de señalización y control

Esta fase corresponde al nivel de planeación Estratégico.

### Interacción de la señalización y control con el resto del sistema

El principal efecto es sobre la eficiencia y seguridad de la corriente de tránsito ferroviario. En tal sentido, hay que destacar las siguientes interacciones:

### Sistema de señalización y control ⇒ Vehículos

Según el tipo de arquitectura elegida para el sistema de señalización y control, se tendrá un mayor o menor grado de "control a bordo" en los

equipos rodantes (locomotoras y vagones), facilitando la automatización de las operaciones y añadiendo seguridad al proceso. A tales fines, la administración podrá decidir entre algunas de las siguientes opciones:

- a) Control de Tráfico Centralizado (CTC): permite "centralizar" el movimiento de trenes en un territorio de despacho, proporcionando al controlador la situación del tráfico mediante un tablero o panel, desde el cual puede actuar a control remoto todas las señales, cambios de vía u otros dispositivos.
- b) Supervisión Automática de Trenes (ATS): es un sistema complementario del CTC, basado en circuitos de vía colocados en las entradas y salidas de las estaciones para supervisar la operación de las tripulaciones. Consta de dispositivos de vías que interactúan con receptores a bordo de los equipos del tren y pueden detener su marcha si hay violación de alguna orden de circulación desplegada mediante las señales.
- c) Control Automático de Tren (ATC): es un sistema aún más sofisticado, que puede ser discreto o continuo y transmite las señales directamente a la cabina del maquinista. Su ventaja sobre el ATS es que la vía es más discreta, permitiendo implementar "perfiles de código de velocidad" entre origen y destino de una ruta, elevando así el desempeño global del sistema y dando mayor flexibilidad a la circulación. El ATC por tener "control" tanto en la vía como a bordo de los equipos, posibilita más recursos operacionales.

#### *Sistema de señalización y control ⇔ Vía férrea*

Su mayor impacto es la conservación de la vía férrea, mediante los dispositivos de precaución que evitan y alertan ante el tránsito del tren sobre un tramo de vía en condiciones de alto riesgo (como las señales de alcantarilla), impiden que el tren continúe su trayecto cuando se ha producido un descarrilamiento (detectores de aparejos caídos) o existe un riesgo potencial de accidentes y daños a la vía y los equipos (detectores de ejes calientes).

#### *Sistema de señalización y control ⇔ Operaciones*

Hay una relación directa entre las características operacionales de los elementos del sistema de señalización y con trol, con la fluidez y seguridad del movimiento de trenes, así como la capacidad de circulación en la vía.

La velocidad de actuación de los cambiavías (tiempo en que se alinea una determinada ruta), afecta considerablemente los tiempos de maniobras de las tripulaciones, especialmente en sitios estratégicos y de alta densidad de tráfico, como los patios. Por otra parte, la operación automatizada de los desvíos en las líneas principales, es determinante para programar y agilizar los encuentros de trenes, disminuyendo al máximo las demoras por paradas.

La tecnología "fail safe" de los dispositivos que controlan las vías de escape, añaden seguridad a las maniobras más riesgosas del proceso, ayudando en la conservación de un patrimonio vital para las empresas (en personas, vías y equipos). Finalmente, la posibilidad de una integración y comunicación total, en "tiempo real", entre los centros de despacho, las tripulaciones de los trenes y la situación en el campo, permite a los diferentes actores involucrados con el proceso, una continua toma de decisiones en forma certera, dinámica y con "conocimiento global" o visión sistémica del entorno de las operaciones, determinando al final la eficiencia y armonía en la explotación ferroviaria.

#### **Diseño de las maniobras**

Esta fase corresponde al nivel de planeación *Táctico*.

Los procedimientos operativos para cada sistema, deben formularse teniendo como ejes la reducción de los tiempos de ciclo, las mejores prácticas para la conformación de trenes, la consolidación de vagones cargados y vacíos, la logística de carga y descarga, el acceso al tráfico en línea principal y las maniobras de entrada y salida a los patios. Durante toda esta fase, es crucial la consideración y adaptación del reglamento ferroviario internacional para garantizar la seguridad del personal involucrado en las tareas.

No debe descuidarse tampoco durante esta etapa, el análisis de la estrecha relación que existe entre los costos y el nivel de servicio que se desea brindar con el ferrocarril. Sussman (2000), por ejemplo, establece que aun cuando existen límites de tipo "operativo" para la longitud de los trenes (longitud de los desvíos, muelles y líneas de patio, aspectos de seguridad y de control de tráfico, etc) siempre será menor el costo por carro en un tren largo que en uno corto. Esto explica por qué muchos ferrocarriles sacrifican la frecuencia del servicio (nivel de servicio) en aras de disminuir los costos de operación (Figura 5).

Otra de las relaciones propias de este sistema de transporte se observa en la figura 6, de la cual puede inferirse que:

- Trenes más cortos, más frecuentes y directos, generan un mayor nivel de servicio, por lo tanto, un mayor "costo por tren".

- Trenes más cortos, más frecuentes y directos, generan un menor tiempo de ciclo, por lo tanto, se requiere menor cantidad de vagones y el "costo por carro" disminuye.

Combinando las dos situaciones anteriores puede obtenerse una curva que brinde el nivel de servicio óptimo (para el cual hay el menor costo total de operación), el cual no necesariamente coincide con el mejor nivel de servicio para el proceso o el más atractivo para los clientes. Puede observarse también, que a medida que los costos fijos del tren bajan, el punto óptimo del nivel de

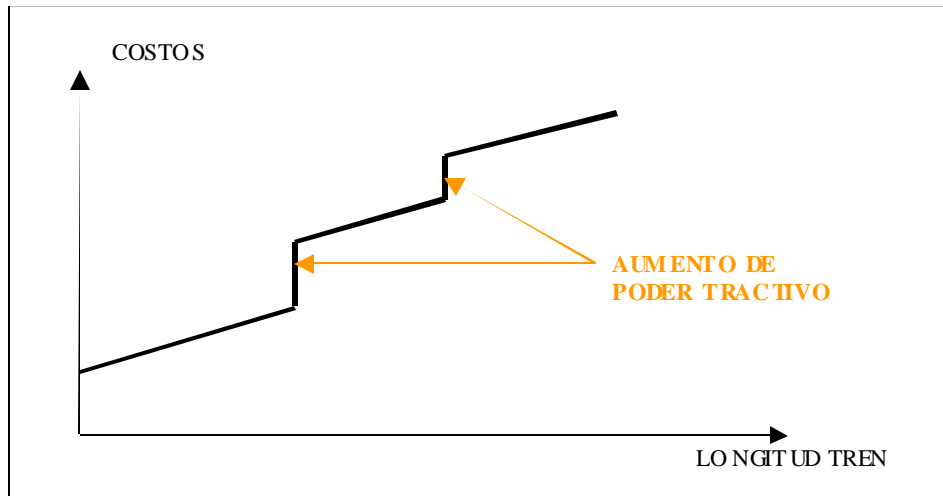


Figura 5. Costo operativo del tren en función de su longitud

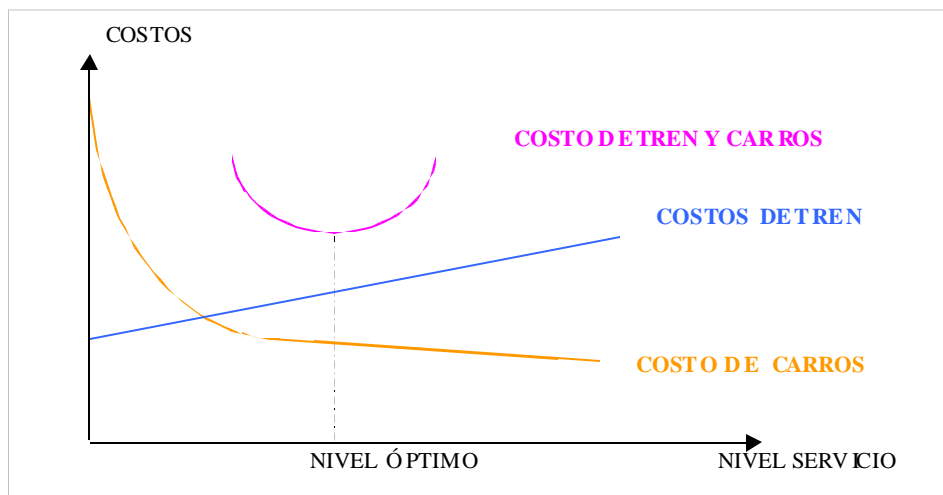


Figura 6. Costos vs Nivel de servicio



servicio se desplazará hacia la derecha, puesto que será “más barato” prestar un mejor servicio al cliente. Finalmente, vale destacar que algunas investigaciones en el campo de la logística ferroviaria indican que el nivel de servicio no se afecta tanto por la distancia de acarreo, como por el número de veces que se realizan maniobras con la carga.

### Interacción de las maniobras con el sistema

El principal efecto de las maniobras, se aprecia en los tiempos de operación y la fluidez del tránsito en la red. A este respecto conviene considerar los siguientes aspectos:

A mayor cantidad de acoplamientos y desacoplamientos en el tren (maniobras de separación de la locomotora) no sólo se incurre en más tiempo, sino que aumenta el riesgo de fallas y/o fugas en el sistema de freno, lo cual puede traducirse en demoras adicionales.

La norma o filosofía debe ser ejecutar la tarea “con el menor número de movimientos posibles, pero también de la forma más segura”, a tal fin, deben evitarse cortes de tren innecesarios, transportar vagones recorriendo el mismo trayecto en dos sentidos diferentes, pero sin realizar tarea alguna con ellos (pasear carros), empujar o halar

cortes de vagones o trenes cuando las condiciones de visibilidad o comunicación de la tripulación estén mermadas, etc.

Deben planificarse los desplazamientos de los trenes por las vías menos demandadas o con menor potencial momentáneo de ocupación, a fin de disminuir los riesgos de congestión.

## Diseño del itinerario

Esta fase corresponde al nivel de planeación *Operacional*.

Para la elaboración de los itinerarios pueden tomarse como marco de referencia las siguientes premisas generales:

- Utilizar estrategias de avance local con prioridad en los encuentros para los trenes cargados.
- Considerar modelos de avance basados en velocidades promedio por tramo.
- Seleccionar secuencias de marcha que favorezcan la dinámica del tren.
- Centrar la atención en el ciclo de rotación de los vagones vacíos.

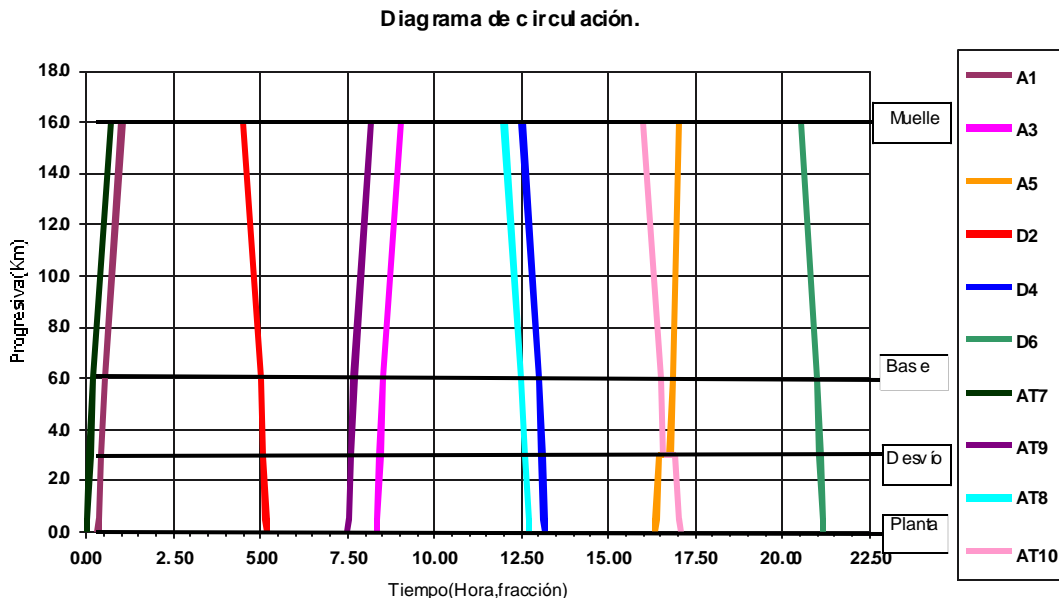


Figura 7. Gráfico de circulación para itinerario

### *Interacción del itinerario con el sistema*

#### *Itinerario ⇒ Vehículos.*

El gráfico de circulación (ver modelo en la figura 7) de fine los lapsos para el mantenimiento y servicio de las locomotoras y los vagones, actividades que deben realizarse dentro de los tiempos asignados para la permanencia en las estaciones terminales.

Una adecuada rotación de los trenes, que se adapte a sus necesidades particulares de mantenimiento y revisión entre viajes, contribuye a una mayor confiabilidad de los equipos y a una mayor regularidad de su marcha en la vía.

#### *Itinerario ⇒ Vías férreas.*

Esta es una de las relaciones más importantes, dinámicas y conflictivas en todos los ferrocarriles. A diferencia de los equipos rodantes, por estar la vía férrea en permanente uso, su conservación diaria debe programarse "bajo condiciones de tráfico".

Las ventanas de mantenimiento que establece el itinerario, es decir, el intervalo que transcurre entre el paso de dos trenes por un mismo punto de la vía, impactan toda la logística relacionada con el personal de mantenimiento de la infraestructura (traslados de las cuadrillas a los sitios de vía, ubicación de los materiales de reparación y los equipos de conservación, turnos de trabajo, etc) y sus respectivos costos. Adicionalmente, la presencia en ocasiones in ev i ta ble de trenes ex tras (no programados en el itinerario), complica aún más este escenario.

#### *Itinerario ⇒ Señales.*

Aunque el sistema de señalización y control, por estar incluido en la infraestructura, se mantiene de igual forma "bajo tráfico", sus requerimientos son menores y más esporádicos que los de la vía.

Lo importante en ambos casos (señales y vía) es que el itinerario sea realmente "regular" y "estable" en sus ventanas de mantenimiento, a fin de no perturbar y afectar las labores de conservación, ya que esto puede repercutir en la ocurrencia de fallas y una degradación general de las condiciones de circulación en el sistema ferroviario.

### *Itinerario ⇒ Operaciones.*

El impacto del itinerario es tan relevante en las operaciones ferroviarias como en las de sus clientes y proveedores, ya que los tres procesos (proveedor – ferrocarril – cliente) deben estar engranados perfectamente para que se realice de forma efectiva el ciclo productivo. Luego es preciso "negociar" con los extremos de la cadena de transporte, el itinerario de los trenes, el cual debe satisfacer los requerimientos del ferrocarril y también ser acorde con los programas de producción y recibo de sus proveedores y clientes.

Por otra parte, los turnos de inicio y final de los trenes afectan también todos los costos asociados con la mano de obra (salarios, horas ex tras, primas por turnos especiales, etc).

## **Conclusiones**

El trabajo desarrollado centra su aporte en proponer una guía para el análisis de las principales interacciones existentes entre los elementos de un sistema de transporte ferroviario de carga, con el objeto de dar a todo el proceso de diseño un carácter sistémico.

La aplicación de dicho enfoque, facilita la detección oportuna de propuestas o alternativas que puedan generar "conflictos de intereses" entre los principales elementos, permitiendo rectificar en las decisiones del diseño.

Cabe señalar además, que antes de iniciar el diseño, es tan importante contar con una adecuada base de datos del proceso, como conocer la visión y misión de la empresa dueña y operadora del sistema, ya que estos criterios deben incluirse en varias de las decisiones, principalmente en los niveles táctico y operacional.

Algunos otros aspectos relevantes, cuya aplicación puede generalizarse para la planeación de sistemas de transporte de este tipo son:

- El tipo de señalización y control en conjunto con la infraestructura de vías, definen en mayor grado el nivel de servicio que podrá prestar el sistema, puesto que ellos establecen la "lógica de la circulación". Aunque se pueda incrementar o disminuir el número de vehículos en el sistema, dicha flota será gobernada en su desplazamiento

por la infraestructura, la cual impone a fin de cuentas los límites operacionales. El tipo de sistema de señalización y control, otorga además una "visión sistémica" para la toma de decisiones, por lo que de su nivel tecnológico dependerá la velocidad de respuesta y la efectividad de los operadores del sistema para decidir.

– En cuanto a la capacidad del sistema para expandirse o crecer a futuro, aunque la misma depende de cada una de las capacidades localizadas, son la vía férrea y el sistema de control los elementos más impactantes y en ocasiones los menos costosos a los cuales se puede acudir.

– Existe una relación entre las operaciones y el itinerario de un sistema con los objetivos a corto y largo plazo de la empresa, como se explica a continuación:

La política operacional alineada con la misión de la empresa de transporte, apunta a "lo que ésta hace" y por ello, su enfoque es primordialmente hacia el proceso interno del sistema, las metas son lograr la eficiencia y seguridad en el transporte, es decir, producir lo necesario para lograr las metas pero sin afectar los activos.

Los itinerarios en cambio, reflejan la visión de la empresa, apuntan hacia "cómo lo hace". En los itinerarios el enfoque incluye el interior y el exterior del sistema, se busca lograr un equilibrio entre el nivel de servicio, los costos de operación y la conservación del patrimonio de la empresa.

– La flexibilidad para operar el sistema de transporte, proviene de un adecuado ma-

nejo de las diferentes capacidades "localizadas" a lo largo del sistema. En el caso ferroviario, se pueden efectuar ajustes en las capacidades de: circulación, manejo de terminales, inventario (dependiente de la flota de carros) y acarreo (dependiente de la distribución de los equipos tractivos).

## Referencias

- Ackoff R. (1979). *Planeación de empresas*. Editorial Limusa, México.
- Checkland P. (1997). *Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas*. Editorial Limusa, México.
- Churchman W. (1993). *El enfoque de sistemas*. 1ra. Edición. Editorial Diana. México.
- Crainic y Laporte (1997). *Planning Models for Freight Transportation*. European Journal of Operational Research, pp. 409-438.
- Miklos T y Tello M. (1993). *Planeación interactiva*. Editorial Limusa, México.
- Sussman J. (2000). *Introduction to Transportation Systems*. Editorial Artech House, Londres.

## Bibliografía sugerida

- Hurtado J. (1980). *Tracción de trenes*. Editorial Pueblo y Educación, La Habana.
- Instituto de Capacitación Ferrocarrilera (1991). *Dinámica Vía-tren*. Ferrocarriles Nacionales de México, México.
- Oliveros F. y Rodríguez M. (1983). *Tratado de explotación de ferrocarriles (I)*. Editorial Rueda, Madrid.
- Togno F. (1982). *Ferrocarriles*. Representaciones y servicios de ingeniería SA, 2da. Edición, México.

---

## Semblanza del autor

Carlos A. Herrera-Morales. Es ingeniero mecánico egresado de la Universidad Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (Venezuela) en 1991, magister en ingeniería mecánica en la misma universidad en 1999, especialista en transportes terrestres, diplomado por la Universidad Politécnica de Madrid en el 2000 y maestro en transportes por la Universidad Nacional Autónoma de México en el 2005. Actualmente es miembro del Colegio de Ingenieros de Venezuela y la Asociación Venezolana de Ferrocarriles y Metros. Desde 1991, labora en el sector del transporte ferroviario de carga, habiendo desempeñado diferentes cargos tanto en el área de operación como de mantenimiento.