



COMPARACION DE TRES METODOS DE COSTEO DE SERVICIOS DE TRANSPORTE DE CARGA FERROVIARIO

Eric Moreno Quintero

Publicación Técnica No. 120
Sanfandila, Qro, 1999

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Comparación de tres métodos
de costeo de servicios de
transporte de carga ferroviario**

**Publicación Técnica No. 120
Sanfandila, Qro, 1999**

Este trabajo fue realizado por Eric Moreno Q., investigador titular de la Coordinación de Integración del Transporte, en parte contando con el apoyo del proyecto 02390301 de servicio social de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Tocante a los ejemplos mostrados en el apartado del “Método Ingenieril”, el inicio de la exploración de las posibilidades del paquete TRCP se remonta a la iniciativa del Ing. Santiago Cardoso, antiguo colaborador del IMT, y al resguardo y asesoría de uso de los archivos del paquete por parte de la Ing. Carmen Guadalupe Morales. Las rutinas de depuración de archivos y la generación de corridas y reportes de simulación correspondieron a Verónica Soria, estudiante universitaria asignada al proyecto de servicio social ya citado.

Se reconocen también las atinadas sugerencias de la Ing. Morales para la construcción de las vías de prueba con pendientes variables y sus comentarios sobre las posibles formas de manejar el pago a tripulaciones, pese a la escasez de información al respecto.

Colaboraron igualmente con útiles comentarios y sugerencias al desempeño de las corridas del paquete, el Ing. Ricardo Arredondo, el Ing. Alfonso Herrera y el Ing. Roberto Aguerrebere, todos de la Coordinación de Integración de Transporte, quienes aportaron ideas diversas para mejorar la explotación del paquete, y que sin duda serán realizables hasta donde la información adicional requerida se obtenga con la veracidad suficiente.

Contenido.

Resumen.	III
Abstract.	V
Resumen Ejecutivo.	VII
Introducción.	1
1. El Enfoque Contable.	5
1.1. Antecedentes metodológicos: La “Rail Form A”.	6
1.2. La separación de los costos: el caso de F.N.M.	8
1.3. El método ABC: una alternativa al método contable tradicional.	11
1.3.1. Experiencias con ABC en la práctica logística norteamericana.	14
1.3.2. Aspectos de implantación del ABC y el caso de Chrysler.	16
2. El método Ingenieril.	19
2.1. Un ejemplo: el simulador de trenes TRCP de la A.A.R.	19
2.1.1. El modelo TEM (Train Energy Model) de la A.A.R.	22
2.1.2. El modelo físico.	22
2.1.3. La ecuación de movimiento.	23
2.1.4. Método numérico para la ecuación de movimiento.	24
2.1.5. Control del tren.	25
2.1.6. El modelo RECAP (Rail Energy Cost Analysis Package).	26
2.2. Los costos de mantenimiento de vía.	27
2.2.1. Un enfoque de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC).	30
2.3. Evaluaciones de desempeño de trenes.	33
2.4. Resultados de las corridas con el paquete TRCP.	34
3. El método estadístico.	45
3.1. El modelo de regresión lineal simple.	47
3.2. El modelo de regresión múltiple.	52
Conclusiones.	55
Anexo 1. Salida gráfica en pantalla de la simulación con TRCP.	57
Anexo 2. Formación de los trenes.	59
Anexo 3. Reporte económico del paquete TRCP.	61
Bibliografía.	65

Resumen.

El proceso de privatización del servicio de transporte ferroviario en México dio su primer resultado en 1996, con el concesionamiento del Ferrocarril del Noreste al grupo Transportación Ferroviaria Mexicana asociado con el Kansas City Southern Industries. Las discusiones previas a la privatización giraron alrededor de la idea de aumentar la eficiencia en el sistema ferroviario mexicano, y naturalmente, el abatimiento de los costos operativos fue uno de los tópicos comunes. El interés por los costos se manifestó no solamente para evitar algunas prácticas no deseadas como la existencia de subsidios cruzados, o la deficitaria recuperación de costos fijos, sino para tener una base de referencia tarifaria de transporte ferroviario que permita ponderar los nuevos precios de servicios con los cuales los nuevos operadores enfrentarán la competencia entre ellos y con los otros modos de transporte. Dicha referencia aportaría elementos útiles para la vigilancia de prácticas tarifarias en rutas y/o servicios no competidos, para la definición de tarifas en segmentos cuya operación no fuera concesionada al sector privado y para el diseño de tarifas de arrastre o de paso entre compañías.

Este trabajo hace una revisión de los tres métodos de costeo habitualmente usados en el transporte de carga ferroviario: el enfoque contable, el enfoque ingenieril y el enfoque estadístico. Cada método tiene ventajas y limitaciones, y el tener una idea de los supuestos en que se basan, le permite al analista de costos buscar alternativas para afrontar mejor sus tareas.

La reunión de las ideas básicas de estos métodos de costeo, en un solo documento, tiene además la intención de proporcionar un marco de referencia del tema que resulte de utilidad para los involucrados en las prácticas de costeo: nuevos operadores ferroviarios, usuarios del servicio de transporte y entidades gubernamentales ligadas a aspectos regulatorios aún vigentes.

Abstract.

Railroad privatization in Mexico took off in 1996 with Transportación Ferroviaria Mexicana-Kansas City Southern Industries consortium winning of the Ferrocarril del Noreste bidding. Previous discussions concerning privatization were developed around the efficiency of the railroad, and the search for lower operating costs was a usual question, of course. The interest in costs was evident not only to control inappropriate practices such as cross-subsidization or operating deficits, but to get a good reference basis for the assessment of the prices of the services managed by new rail operators when competing among them and with other transportation modes. Such reference might bring useful elements in supervising rating practices on routes and services out of concession, and in rate design for non privatized lines and trackage rights.

This work reviews three costing methods currently used in the rail industry: the accounting method, the engineering method and the statistical method. These methods exposed have advantages and disadvantages, and the knowledge of their basis offers alternatives to the cost analyst for better performance in costing tasks.

Joining these basic ideas of costing methodology in one document seeks to give a useful reference framework for railroad costing to people involved in the matter: new rail operators, shippers and government agencies dealing with regulatory issues still in effect.

Resumen Ejecutivo.

En este trabajo se presenta una revisión sobre las metodologías en uso corriente para la determinación de costos en el servicio de carga ferroviario.

La necesidad que tiene cualquier empresa transportista de un conocimiento preciso de sus costos de producción para lograr un buen desempeño y asegurar su supervivencia en el mercado, parece ser una idea que no requiere discusión alguna, y más aún si la empresa que genera el servicio enfrenta una intensa competencia con otros prestadores del servicio o con otros modos de transporte.

En México particularmente, esta situación de libre competencia en el mercado del servicio de transporte de carga se ha replanteado con claridad a los ferrocarriles, a consecuencia de los procesos de concesionamiento de los servicios de transporte ferroviario que comenzaron a promoverse en la primera mitad de la década de los años 90.

La exploración de la práctica corriente de costeo deja ver que la forma concreta para determinar los costos del servicio ferroviario no se resuelve de una sola manera, y que la aplicación errónea de algunos métodos en circunstancias en las que no se dan los supuestos con los que se desarrollaron dichos métodos, conduce a estimaciones incorrectas de los costos del servicio y por tanto a una deficiente recuperación de los mismos a través de las tarifas. La aparición de servicios con subsidios cruzados o el déficit en las cuentas de recuperación de costos fijos, son dos ejemplos comunes que surgen cuando los costos en que se basan las tarifas están medidos inadecuadamente.

Los tres enfoques de costeo que se revisan en este trabajo comprenden los tres tipos de métodos más comunes que se encuentran en la literatura y en la práctica sobre el tema:

- La metodología de base contable tradicional.
- La metodología de tipo ingenieril.
- La metodología de base estadística.

El primer caso corresponde a los sistemas de costeo basados en un sistema de contabilidad que utilizan alguna clasificación que permite hacer un desglose de los gastos (costos para la empresa) y asignarlos según algún criterio a diversos centros de costo. De este modo es posible comparar las unidades de servicio con los costos incurridos y generar costos medios. Como una extensión reciente, se da un vistazo a la metodología ABC (Activity Based Costing) que ya es usada en algunas empresas logísticas para refinamientos en el costeo.

El segundo caso corresponde a los sistemas de costeo que disponen de representaciones muy elaboradas y precisas del sistema de producción del servicio, así como de los insumos usados y de los precios unitarios de los mismos. De esta forma, conociendo el consumo total de los insumos utilizados en la generación del servicio, se conocen con suficiente exactitud los costos del mismo. Como caso concreto, se ejemplifica el uso del simulador de trenes TRCP de la Association of American Railroads.

El último caso corresponde a sistemas de costeo que relacionan categorías de costos con categorías diversas de unidades de servicio (ton-km, trenes-km, etc.), utilizando técnicas estadísticas. Este método permite hacer estimaciones de costos contando solamente con la información directa de los gastos incurridos y de las correspondientes unidades de servicio, aún cuando no se tenga una clasificación coincidente con el catálogo de cuentas del sistema contable o una buena representación del sistema productivo que permita medir con exactitud los insumos usados.

Los métodos estadísticos incluyen entre sus procedimientos criterios que permiten juzgar el grado de precisión estadística (por ejemplo, el nivel de confianza o la significación) con la cual se presentan los resultados. Por lo general, las técnicas utilizadas son regresión y correlación. Aún cuando estos temas son lugar común para los profesionales de la ingeniería y la economía, en el apartado de este trabajo dedicado al tema, se hace una síntesis breve de los aspectos esenciales de las técnicas de regresión, a fin de tener un esquema básico que permita al analista de costos ubicar rápidamente la técnica conveniente, así como las facilidades y ventajas que le ofrece para tratar diversas categorías de datos.

Considerando lo anterior, este trabajo plantea los tres objetivos básicos siguientes:

1. Revisar los aspectos fundamentales de cada uno de los métodos de costeo citados, exponiendo en cada caso las ventajas y limitaciones de los mismos.
2. Reportar los procedimientos o tendencias recientes encaminadas a la mejora del uso actual de estos métodos de costeo.
3. Aportar un marco básico de elementos que puedan servir de referencia a los interesados en el tema de costeo del servicio ferroviario: el propio Sector Transporte, los nuevos operadores de servicios concesionados y los usuarios del servicio.

Finalmente las conclusiones derivadas de la revisión de los métodos de costeo se centran en los siguientes puntos.

El método de enfoque contable, de gran difusión y con múltiples experiencias en su uso por empresas ferroviarias resulta sencillo de implantar y manejar, puede verse como una herramienta que proporciona respuestas razonables de costos generales y con utilidad práctica al transportista. El alma del sistema contable es su catálogo de

cuentas, el cual al irse refinando da mayor precisión a los costos medidos. Estos sin embargo, siguen siendo costos medios y no son muy buenas representaciones para los costos de largo plazo ni para los derivados de cambios tecnológicos. Una variante relativamente novedosa en el ambiente de métodos contables es el ABC (Activity Based Costing), desarrollado en la escuela de negocios de la Universidad de Harvard y que ha empezado a utilizarse en tareas de costos logísticos en varias empresas norteamericanas. La revisión de sus principios y el recuento de las experiencias reportadas puede sugerir una línea de acción prometedora para el manejo de costos en el transporte ferroviario.

El método ingenieril, que puede basarse en programas de simulación o en métodos estandarizados, mide muy bien los costos al comparar alternativas operativas o de cambios tecnológicos, pero requiere tener una información muy precisa y detallada del equipo usado y de la infraestructura. Entre el tipo de modelos estandarizados de costos de mantenimiento de vía está la propuesta de la UIC que da una buena sugerencia para coleccionar datos sobre deterioro y costos de mantenimiento de las vías.

El método estadístico se implanta con mucha facilidad, pues solamente requiere datos para operar, pero la calidad de sus respuestas es función de la calidad de los datos con los que se cuente. Los criterios de calidad estadística reflejados en los coeficientes de correlación (r) y de determinación (r^2), así como en los niveles de significación de las pruebas de hipótesis implícitas en las rutinas de regresión, dan niveles de la confianza con la que el modelo estadístico propuesto representa los datos, y si se maneja con moderación permite extrapolar a periodos futuros, no muy lejanos, el comportamiento de los costos en un esquema ligado al nivel de confianza reportado por el software estadístico que se utilice.

Introducción.

El servicio de transporte de carga ferroviario, al igual que cualquier otra actividad generadora de servicios tiene como una de sus tareas imprescindibles el conocimiento preciso o al menos con suficiente aproximación, de sus costos de producción. El objetivo básico de las tareas de costeo es aportar información relevante para la adecuada toma de decisiones que guíen a la empresa transportista. Entre las aplicaciones más comunes de los datos que proporciona una buena práctica de costeo están las siguientes:

- Cálculo y control de tarifas del servicio.
- Decisiones de continuar, ampliar o eliminar servicios específicos.
- Estudios económicos de rentabilidad de servicios potenciales o nuevos proyectos.
- Evaluación de la operación y/o productividad de servicios específicos.

En el modo ferroviario se han manejado tres clases de metodologías orientadas al costeo de los servicios de transporte de carga:

- Los métodos con enfoque contable.
- Los métodos de tipo ingenieril.
- Los métodos estadísticos.

Los métodos de enfoque contable generalmente trabajan alrededor de un sistema de contabilidad de costos que se encarga de asignar los gastos de las cuentas del sistema a actividades o movimientos particulares. Esta asignación puede ser tan simple como el dividir un total de gastos en la cuenta por el nivel total de unidades de servicio producidas a fin de obtener un costo medio, o podría efectuarse con mayor detalle usando análisis de regresión para obtener coeficientes de asignación de costos para diversas categorías del servicio de transporte producido. Gran parte de la metodología utilizada con propósitos de regulación en los Estados Unidos por el Surface Transportation Board (STB) ¹, así como la que utilizan empresas ferroviarias en México y Norteamérica es de este tipo.

¹ Es el Consejo de Transporte de Superficie de los Estados Unidos de Norteamérica. Establecido el 1 de enero de 1996 en reemplazo de la antigua Interstate Commerce Commission (ICC), la cual terminó funciones el 31 de diciembre de 1995.

Los métodos de tipo ingenieril tienen como idea básica realizar un seguimiento muy detallado de todo el proceso de producción del transporte, determinando con buena precisión las cantidades totales de insumos usados para generar el transporte, para luego aplicar los precios unitarios de dichos insumos y finalmente integrar el costo total del transporte realizado. Un buen conocimiento de los precios unitarios de los insumos utilizados es necesario para que este método opere satisfactoriamente.

Los métodos estadísticos están basados en técnicas de regresión y por lo general relacionan amplias categorías de costos con diversas categorías de unidades de servicio de transporte producidas, utilizando un modelo de ajuste para relacionar las variables. El método estadístico incluye en su desarrollo criterios de tipo probabilístico (el coeficiente de correlación o el coeficiente de determinación, por ejemplo) que dan una idea clara de la precisión con la que el modelo de ajuste representa los datos utilizados. Además, en caso de que las interrelaciones entre las variables representadas persistan en el tiempo, el modelo estadístico puede dar pronósticos razonables sobre el comportamiento de los costos.

Las tareas de costeo adquieren una particular importancia cuando el prestador del servicio de transporte ferroviario de carga enfrenta un ambiente de competencia con otros prestadores del servicio y/o con otros modos de transporte. La negociación de tarifas con los clientes, por ejemplo, que es una de las prácticas más comunes en este contexto, difícilmente puede ser un instrumento de promoción del servicio del transportista si éste no tiene un buen conocimiento del costo de producción del mismo, que en principio es el límite natural hasta el cual puede mover su margen de negociación.

En la primera mitad de la década de los años 90, México se ha adherido a la corriente de privatización de los servicios ferroviarios que ya se ha dado en otros países.

La Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario, publicada en el Diario Oficial de la Federación en mayo de 1995, señala como uno de sus objetivos la regulación de la operación y explotación de las vías férreas cuando sean vías generales de comunicación. Esta Ley, por una parte otorga a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) la facultad de establecer cuando sea necesario, bases de regulación tarifaria con opinión previa de la Comisión Federal de Competencia² y por otra, a los concesionarios y permisionarios del servicio ferroviario les da la libertad para fijar sus tarifas siempre que los servicios ofrecidos sean satisfactorios en cuanto a calidad, competitividad, seguridad y permanencia.

² Órgano desconcentrado de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), con autonomía técnica y operativa que tiene como funciones investigar y combatir prácticas monopólicas en cumplimiento de la Ley Federal de Competencia Económica.

Un ejemplo concreto de las exigencias de esta Ley Reglamentaria se puede ver en las concesiones de las líneas cortas Ojinaga-Topolobampo y Coahuila-Durango, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 12/dic/1997 y el 11/feb/1998, respectivamente, donde se establece en la cláusula 2.16 que: *“En la aplicación de las tarifas, el Concesionario deberá abstenerse de practicar ventas atadas, discriminación de precios o realizar subsidios cruzados”*.

La situación que se describe plantea al sector transporte la conveniencia de disponer de un marco de asesoría y evaluación de los procedimientos de costeo y tarificación usados por los nuevos concesionarios del servicio ferroviario de carga. Esto, por una parte, será un apoyo para que se cumpla con los señalamientos de la Ley, y por la otra, podrá mantener informados a los usuarios sobre las prácticas comunes de costeo, que es el antecedente de la elaboración de tarifas.

1. El enfoque contable.

La contabilidad de costos es una actividad necesaria en cualquier empresa de servicios de transporte. Desde el punto de vista del contador, los costos representan recursos cuyo uso se sacrifica o se difiere a fin de lograr un objetivo. Para guiar su toma de decisiones, la empresa transportista identifica objetivos de costo, que corresponden a aquellas actividades para las cuales una medida de costo separada es requerida. El costo de un servicio específico de transporte, o el costo de mantenimiento de una terminal son dos ejemplos de objetivos de costo. Resulta entonces, que los objetivos de costo que interesan a la empresa no se eligen por sí mismos, sino con la finalidad de tener un apoyo en la toma de decisiones.

Los costos para los objetivos que interesan a la empresa transportista se colectan usualmente en forma sistematizada por medio de un sistema de contabilidad, el cual además sirve a otras funciones diversas como son el control de gastos, la elaboración del presupuesto o la valuación de inventarios. Conviene resaltar aquí que el disponer de un sistema de contabilidad que cubra la totalidad de necesidades de la empresa no es algo común, y que las facilidades de un sistema contable que resultan correctas para el control de gastos o para el diseño presupuestal pudieran no ser tan adecuadas para otros fines, como por ejemplo, la fijación de tarifas del servicio producido.

En un esbozo muy básico, puede considerarse el suministro de servicio de transporte de carga ferroviario como integrado por dos elementos primarios:

- a) El servicio necesario para iniciar y terminar el recorrido.
- b) El movimiento de la carga desde su origen hasta su destino.

Esta separación de elementos del servicio de transporte, permite al enfoque contable iniciar de modo natural la separación de los gastos asociados al servicio para clasificarlos con el catálogo de cuentas del propio sistema de contabilidad. Clasificaciones adicionales de los gastos en costos fijos, costos de capacidad o costos variables completan el esquema. Así, se distribuyen los gastos hechos por el transportista entre la totalidad de servicios de transporte que ha producido y por tanto se dispone de costos unitarios para estos servicios.

De la descripción anterior se ve que los costos unitarios obtenidos en el enfoque contable son costos medios generales del sistema de producción del servicio. Para tener un costeo más refinado de cada una de las etapas de la operación de los trenes, sobre cada sección de las vías, en cada una de las estaciones y para cada uno de los productos que mueve el ferrocarril, se requerirá un sistema de costeo de mayor complicación y dificultad de manejo. Este gran nivel de detalle, sin embargo, es relevante sólo cuando se necesita un costeo muy preciso de servicios específicos, por ejemplo, para la fijación de tarifas especiales o para negociaciones con clientes particulares.

El sistema de costeo de enfoque contable es una respuesta razonable a la exigencia que tiene la empresa transportista de disponer de un instrumento de evaluación de costos de alcance general y al mismo tiempo de utilidad práctica.

En la mayoría de los casos, la empresa tiene como su necesidad más urgente un sistema de poca sofisticación que le permita evaluar más o menos los costos operativos para compararlos con el esquema tarifario en uso. Así, el enfoque contable da una primera visión del comportamiento de los costos y de las contribuciones que los ingresos por los servicios hacen a la recuperación de los costos fijos. Cuando el sistema de costeo se ha establecido y el personal que lo maneja se ha familiarizado con el mismo, ya se pueden buscar refinamientos del sistema de costeo a fin de dar mediciones de mayor precisión.

1.1. Antecedentes metodológicos: La “RAIL FORM A”.

El antecedente metodológico del enfoque contable actual de los sistemas de costeo usados en el ambiente ferroviario norteamericano, es primeramente la fórmula para determinación de costos del servicio ferroviario de carga llamada “Rail Form A” elaborada por la Interstate Commerce Commission (ICC)³ en 1943 y posteriormente el sistema de costeo ferroviario uniforme “Uniform Rail Costing System” (URCS) de la década de los 80.

El diseño de la Rail Form A permite separar el total de gastos del servicio ferroviario en diversas categorías, basándose en parámetros de operación. Estas categorías del gasto pueden entonces aplicarse a los movimientos individuales de los trenes, a fin de obtener estimaciones del costo en términos de los parámetros que describen dicho movimiento. El modo en que los costos se obtienen con la Rail Form A y con el sistema de costeo ferroviario uniforme, en términos generales es el siguiente:

- 1) Las cuentas individuales de gastos se separan en categorías según el tipo de operación involucrada. Por ejemplo, la cuenta “Mantenimiento de Equipo “ puede dividir sus gastos entre los que se relacionan al servicio en camino y los que se relacionan al servicio en terminales.
- 2) Las cuentas de gastos que tienen un origen operacional similar se agrupan y el gasto total del grupo se distribuye entre los parámetros de movimiento individual de los trenes, según los tipos de unidades de servicio que relacionan funcionalmente a los gastos de la cuenta. Un ejemplo de esto puede ser la asociación de los gastos de mantenimiento de los furgones, con los ingresos

³ Es el organismo que antecedió al actual Surface Transportation Board (STB).

por carro-km, o la relación funcional entre los gastos de operaciones y maniobras de patio, con carros enteros originados o recibidos.

- 3) Los gastos de cada movimiento son enseguida separados en fijos o variables con base en un valor porcentual de variabilidad previamente calculado para el grupo de gastos. Las estimaciones de estos porcentajes de variabilidad se obtienen generalmente con técnicas estadísticas de regresión utilizando datos de sección transversal, aunque en algunos casos se utiliza información derivada de la experiencia en la operación ferroviaria. Cuando se utiliza la regresión, los factores de variabilidad se determinan, para los niveles de producción promedio del servicio ferroviario, como el cociente entre el costo variable esperado (calculado de la regresión ajustando los factores fijos a cero) y el costo total determinado en ese nivel de producción. Para cada una de las cuentas individuales usadas en la integración del grupo de gastos, este factor es entonces usado para estimar la parte de la cuenta individual que corresponde al costo variable. Este costo variable así estimado se divide entre el valor de las unidades de servicio usadas como medida del servicio producido en el modelo de regresión, para de este modo obtener una estimación del correspondiente costo variable unitario.
- 4) Las cuentas individuales y sus estimaciones de costos variables pueden agregarse nuevamente basándose en las unidades de servicio asociadas con el tráfico específico bajo análisis, para así tener una estimación del costo variable total del servicio individual que refleje los parámetros operacionales de dicho movimiento.

El sistema de costeo ferroviario uniforme (URCS) fue diseñado para ofrecer un esquema más flexible y de mayor amplitud que la Rail Form A. En su diseño original, el sistema URCS teóricamente puede ofrecer la flexibilidad suficiente *como para ser usado tanto por los usuarios del servicio de transporte de carga, como por los propios transportistas ferroviarios en cualquier negociación dentro del marco regulatorio vigente*. El valor que tiene este atributo depende, por supuesto, de la precisión implícita en este sistema de costeo.

El método de costeo URCS mantiene varios de los enfoques metodológicos de la Rail Form A. Entre estos se tiene el formato de sistema de asignación de costos de base contable, la dependencia de estimaciones de variabilidad de costos estadísticamente calculadas, la capacidad de permitir algunos datos de entrada específicos del usuario en rangos mayores a los correspondientes de la estructura promedio de costos y el sustento en estudios históricos para conseguir información adicional a los gastos anuales reportados. Una de las mejoras notables del sistema URCS sobre la Rail Form A es el uso de un sistema de cuentas de mayor detalle. Esta mayor desagregación de las cuentas permite una estimación más fina de los costos en categorías para las cuales interesa conocer mejor la variabilidad del costo.

Por otra parte, mientras que las estimaciones de variabilidad de los costos de la Rail Form A se generan usando resultados promedios de varias regresiones en un año único, el sistema URCS permite el manejo de escenarios de varios periodos promediando los resultados en periodos de cinco años. De este modo se tiene una mayor precisión para medir el comportamiento del costo a largo plazo dentro de las variaciones estimadas en periodos de corto plazo, las cuales generalmente se encuentran fuera de la curva de largo plazo, balanceándose unas con otras por exceso o por defecto.

1.2. La separación de los costos: El caso de F.N.M.

La clasificación y separación de costos por categorías diversas es el primer paso en el tratamiento de costeo de enfoque contable. La idea elemental de mirar al servicio de transporte de carga como formado de dos partes: a) actividades en terminal y b) actividades en camino, se extiende más para incluir también al tipo de tren empleado en el servicio y al carácter del costo en cuanto a si es fijo o variable con la producción del servicio.

La Figura 1.1 muestra un procedimiento general de separación de los gastos de producción del servicio de transporte ferroviario que se ha usado en Ferrocarriles Nacionales de México (FNM).

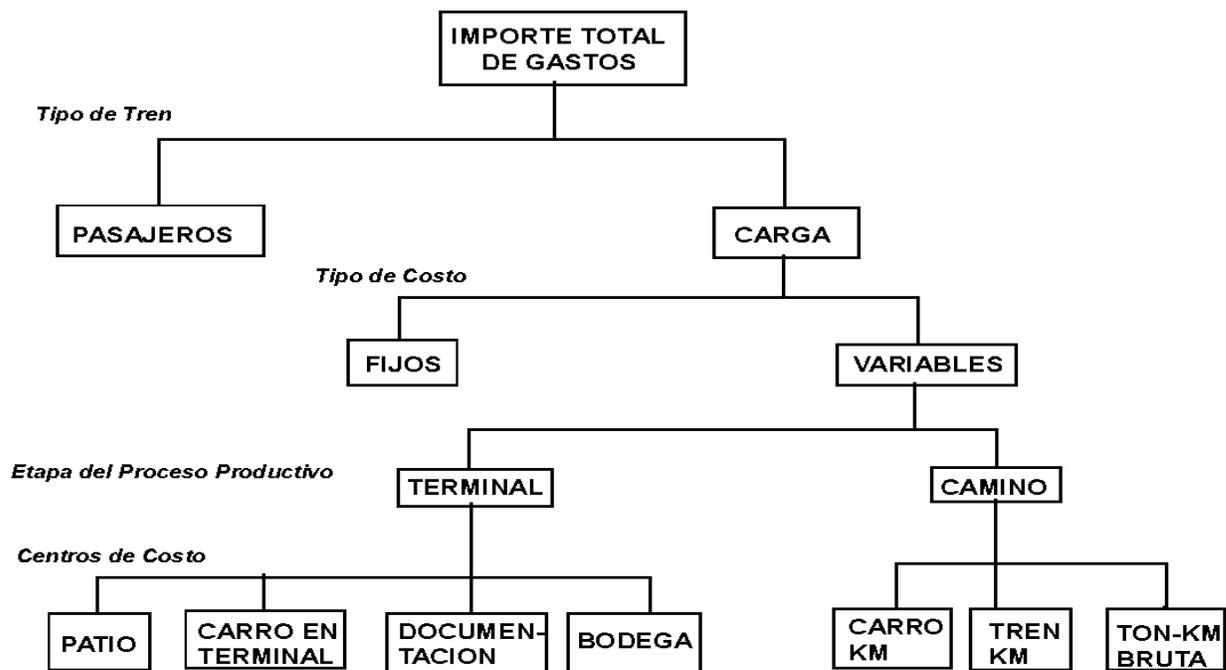


Figura 1.1 Esquema de Separación de Gastos (Costos)

Fuente: Gómez Madrigal, A. (1978). "Método para la determinación de costos del servicio de transporte de carga en los Ferrocarriles Nacionales de México". Revista de la Comisión Nacional del Congreso Panamericano de Ferrocarriles. Noviembre. Epoca II. Año 4.

El método de costeo ilustrado en la Figura 1.1 se integra por las siguientes etapas principales:

- 1) Separación de Gastos. Este paso consiste en coleccionar los gastos del periodo contable más reciente, haciendo los ajustes necesarios para reflejar los niveles de precios y salarios del momento y separar estos gastos entre los servicios de transporte de la empresa: trenes de pasajeros, trenes de carga o trenes mixtos.
- 2) Clasificación en costos fijos y variables. En esta etapa los costos se clasifican como fijos o variables, según sea que tengan una variación directa o no con el volumen del servicio producido. En muchos casos la determinación del tipo de costo es muy directa; por ejemplo, los gastos de combustible para locomotoras, sueldos de tripulaciones o reparaciones de equipo tractivo se pueden considerar como 100% variables. Hay otros casos en que los costos no son estrictamente fijos o estrictamente variables, y para clasificarlos

adecuadamente se utilizan coeficientes de variabilidad para separar la parte fija y la variable de esos gastos. Estos coeficientes de variabilidad se obtienen con técnicas estadísticas de regresión, y su actualización debe hacerse con regularidad.

- 3) Asignación de costos a sus centros generadores. En esta fase se asignan primeramente los costos variables del servicio de carga a las áreas generadoras del costo según la etapa del proceso de producción del servicio: Terminal y Camino. Los costos asignados al área de Terminal comprenden todos los gastos relacionados con el manejo de terminales, maniobras y operaciones de patio, etc. Los costos asignados al área de Camino son todos los gastos relacionados con la realización del movimiento del tren desde su origen hasta su destino. Dentro de las áreas mencionadas, los costos se asignan a los centros de costo que las conforman, que representan los servicios concretos que se realizan o las unidades de explotación que originan el costo. En el diagrama estos centros de costo forman la última fila de bloques: Patio, Carro en terminal, Documentación, etc.
- 4) Cálculo de costos unitarios. En este último paso, ya se pueden calcular los costos unitarios mediante la comparación de los gastos del centro generador de costo con las unidades del servicio proporcionado o con las unidades que se considere que originan el costo de dicho servicio.

Para completar el esquema anterior, es conveniente mencionar que el sistema contable que da soporte al método de costeo está integrado por varias cuentas principales, en las que se refleja la organización de la empresa para generar el servicio. Estas cuentas se apegan a la estructura del Catálogo de Cuentas para Empresas de Ferrocarril de Servicio Público, recomendado por la Association of American Railroads.

Las cuentas principales usadas en la separación de los gastos de operación son:

1. Conservación de Vía: incluye los gastos asociados a reparación y mantenimiento de las vías.
2. Conservación de Equipo: incluye los gastos de reparación y mantenimiento de equipo de transporte y maquinaria.
3. Tráfico: incluye los gastos asociados con la generación y supervisión del tráfico.
4. Transportes: Son los gastos del servicio en terminales, estaciones, patios, combustibles, lubricantes y telecomunicaciones.
5. Express: mantenimiento, reparaciones y operaciones del servicio express. (Este servicio dejó de operar en 1992).

6. Operaciones diversas: incluye gastos diversos como hoteles, restaurantes, Seguro Social, Fondo de Ahorro, etc.
7. Gastos Generales: incluye los gastos asociados a la dirección y la administración de la empresa.
8. Transportes para obras de construcción de crédito: incluye los gastos asociados con obras de construcción, ampliaciones y mejoras del ferrocarril.

1.3. El método ABC: una alternativa al método contable tradicional.

En el año 1991, Robin Cooper y Robert S. Kaplan de la Harvard Business School dieron a conocer un nuevo método de costeo encaminado a resolver el problema de la asignación de los costos indirectos de fabricación en la industria manufacturera. El método, llamado Activity Based Costing (ABC), que puede traducirse como Costeo Basado en las Actividades, surgió inicialmente como un intento de tener un cálculo más preciso de los costos de producción. Debido a que el enfoque ABC puede mostrar las ligas entre el desempeño de actividades particulares del proceso productivo y las demandas que esas actividades hacen de los recursos de la empresa, se puede tener una idea clara de la forma en que los productos, las marcas, los clientes, las regiones o los canales de distribución, generan ingresos a la vez que consumen recursos en la industria manufacturera.

El Método ABC analiza las actividades de los departamentos de apoyo a la producción, dentro de la empresa para calcular el costo de los productos terminados. Las ideas fundamentales que guían este enfoque de costos son las siguientes:

1. Los productos no son los causantes del costo, sino las actividades requeridas para producirlos.
2. Siendo los productos los que consumen las actividades, es posible ligar los costos a los productos por medio de dichas actividades.
3. En consecuencia, para asignar los costos indirectos de fabricación basta con distribuir los costos de las actividades por separado a cada tipo de producto con base en el consumo relativo que cada producto, haga de cada actividad particular.

El método ABC asigna los costos indirectos de fabricación a los productos de acuerdo a la siguiente secuencia:

1. Identificando y analizando separadamente las actividades de apoyo que ofrecen los diversos departamentos indirectos.

2. Asignando a cada actividad los costos correspondientes, de modo que se formen grupos de costo homogéneos; homogéneos en cuanto a que el comportamiento de este grupo de costos se identifica con la misma actividad.
3. Identificadas las actividades y formados los grupos de costos, se proponen “orígenes del costo” o “medidas de actividad” (llamadas “cost drivers” en la literatura inglesa) para explicar el origen y la variación de los gastos indirectos de fabricación. Estos orígenes del costo deben estar definidos en unidades de actividad claramente identificables.
4. Identificados los orígenes del costo, se calculan costos unitarios de cada actividad que apoya al proceso productivo.
5. Posteriormente se calcula el número de “unidades de actividad” que consume cada artículo en su producción.
6. Finalmente se asignan los costos indirectos de fabricación a los productos, multiplicando el costo unitario de cada actividad empleada por el número de unidades de actividad requerida en el producto.

Con este método de costeo, el costo unitario total de cada producto se formará por la suma de los siguientes *costos unitarios*:

$$\text{Materia prima} + \text{Mano de obra} + \sum (\text{Indirectos de las actividades usadas en la producción}).$$

En el ámbito del transporte, el concepto del método ABC se presentó en octubre de 1994 en la Conferencia del Council of Logistics Management como una prometedora alternativa al uso de los sistemas de costeo de base contable tradicional.

El punto de partida en la discusión del método ABC es el reconocimiento de que los sistemas tradicionales de costeo de base contable, no pueden dar información en la forma que se necesita para la determinación precisa de precios de los servicios o para estimar el impacto de los costos en la rentabilidad de la empresa. El costeo ABC permite obtener información sobre costos de mayor utilidad y usarla como apoyo a la toma de decisiones en la empresa.

EL método ABC implica efectuar un seguimiento cercano de los costos directos y los gastos fijos hasta los productos o servicios específicos o incluso hasta los clientes. El costeo ABC desagrega las cuentas tradicionales del costeo contable y reorganiza los costos para mostrar cómo realmente se están consumiendo los recursos usados en la producción del servicio. En la tabla siguiente se ilustra un ejemplo de desglose de gastos de almacenamiento (en dólares) de una empresa, para los dos enfoques: el tradicional y el método ABC.

Enfoque tradicional contable		Enfoque ABC	
Costos de Almacenamiento		Costos de Almacenamiento	
Almacenamiento y manejo	\$40.10	Almacenaje seco	\$25.00
Generales y administrativos	\$30.90	Almacenaje refrigerado	\$8.10
Transporte y entregas	\$14.50	Recepción	\$20.00
Consolidación de carga	\$2.40	Embarque	\$18.80
Servicios de valor agregado	\$3.30	Facturación	\$3.20
		Entrega	\$6.00
		Embalaje/documentación	\$1.80
		Consolidación de carga	\$3.00
		Equipo de manejo de materiales	\$5.30
Total	\$91.20	Total	\$91.20

Figura 1.2. El Costeo ABC desglosa la presentación tradicional de costos por centros de responsabilidad y reformula los costos en términos de cuántos recursos son consumidos y manejados en la producción del servicio.

Adaptado de: Harrington, Lisa H. "It's Time to Rethink Your Logistics Costing", Transportation & Distribution, July 1995.

Como puede verse de la tabla, el enfoque tradicional contable reporta las cantidades gastadas de cada uno de los recursos utilizados en la producción del servicio, pero no muestra el detalle de cómo las actividades específicas tales como la facturación, la generación de los embarques o las entregas, consumen dichos recursos.

El sistema ABC reorganiza el reporte de gastos para identificar los costos de llevar a cabo cada una de las actividades específicas de la empresa. Los costos de las actividades reflejan la suma de los recursos utilizados en la ejecución de cada una de las tareas individuales. Por ejemplo, un sistema de costeo ABC podría separar los

recursos administrativos y de tipo general, así como los costos asociados para indicar si el tipo de almacenaje efectuado es seco o refrigerado.

Los sistemas tradicionales de costeo de base contable trabajan bien cuando el uso de recursos generales varía en proporción directa con las horas de mano de obra directa. Sin embargo, estos sistemas producen apreciaciones inexactas cuando los consumos de recursos en la producción del servicio varían por otros motivos, por ejemplo los montos de materiales manejados, el apoyo secretarial, el embalaje o la intensidad de la supervisión. El enfoque ABC compensa estos errores utilizando múltiples medidas de actividad (referidas como “cost drivers” en la literatura inglesa) para asignar los costos según la cantidad de recursos utilizados.

En la operación de una empresa transportista, por ejemplo, el método de costeo contable tradicional podría estar asignando los costos de horas de trabajo y de gastos generales de igual manera en todas las subcuentas. De este modo no se considera el hecho de que algunos de los clientes atendidos requieren más servicio o más embalaje que otros, y por tanto resulta más costosa su atención. En consecuencia, la empresa podría estar cargando precios en exceso a algunos clientes mientras que a otros podría estar cobrando precios menores a sus propios costos. Esto podría llevar a la errónea conclusión de juzgar a un cliente redituable como un cliente que no lo es.

Cuando se empieza a utilizar el enfoque ABC, se pueden percibir las eficiencias e ineficiencias del sistema de producción. El ejemplo siguiente ilustra lo anterior: un cliente solicita al transportista que envíe por fax la información de las excepciones en las entregas a cada uno de sus propios centros de carga. Este servicio solicitado naturalmente tiene un costo. El chofer del camión tiene que detenerse para hacer el envío del fax a las oficinas de despacho del transportista, el cual a su vez difunde adecuadamente la información. Con el uso del método ABC, el transportista puede determinar los costos adicionales de proporcionar este servicio pedido por el cliente y presentar este dato a consideración del mismo. El cliente entonces puede decidir si vale la pena o no solicitar el servicio de fax. En pocas palabras: lo que determina la tarifa que se cobra al cliente es el costo de las actividades que dicho cliente solicita al transportista que efectúe, para realizar el servicio de transporte deseado. De este modo es posible trabajar junto con el cliente y negociar tarifas con base en las actividades que el transportista se ve obligado a efectuar, a fin de llenar todas las necesidades de su cliente. Por el lado del transportista, se logra una mayor rentabilidad del negocio, por el lado del cliente se logran avances en la reducción de sus costos de transporte.

El resultado final de utilizar el método ABC es que se logra una imagen más realista de dónde se están consumiendo los recursos y en donde se está incurriendo en costos en la producción del servicio.

1.3.1. Experiencias con ABC en la práctica logística norteamericana.

Las primeras aplicaciones del método ABC al iniciar la década de los años 90 en los Estados Unidos se centraron en el costeo de las actividades y recursos consumidos en la industria de manufactura, a fin de determinar los precios de los productos con mayor precisión. Sin embargo, los encargados de la logística en las empresas reconocieron que la toma de decisiones en su área podría tener beneficios semejantes a los logrados en manufactura al disponer de información más exacta de los costos.

Alrededor de 1992, la Ohio State University en los Estados Unidos, realizó una encuesta para investigar el uso del enfoque ABC en la logística de empresas norteamericanas. La mayoría de las aplicaciones ABC hasta entonces habían sido referidas a la industria manufacturera, y las aplicaciones a la logística habían permanecido sin explorar. El objetivo principal de este estudio fue determinar si empresas logísticas líderes utilizaban el enfoque ABC en su manejo de costos. Las empresas encuestadas representaron el grupo líder del ramo logístico, y aunque no podía generalizarse el resultado a la totalidad de las empresas, se obtuvieron algunos indicadores útiles de las tendencias futuras de costeo en ese ramo.

Los resultados principales de la encuesta de la Universidad de Ohio, mostraron que varias de las empresas líderes en logística ya habían iniciado la implementación de sistemas de costeo con enfoque ABC. La motivación más común que se encontró en estos desarrollos fue tener mediciones mucho más precisas de los costos logísticos dentro de la empresa. Los sistemas de costeo ABC que empleaban estas empresas proporcionaban información complementaria a la información financiera ya existente, y la mayor parte de las empresas no manifestaron tener intención de reemplazar sus sistemas de costeo tradicionales con un sistema de enfoque ABC. Otro factor de interés detectado fue la necesidad de que las aplicaciones del enfoque ABC resolvieran satisfactoriamente los problemas relacionados con el cambio al interior de la organización y el uso del nuevo tipo de información, por los diversos departamentos que conformen la empresa. La actitud del elemento humano respecto al cambio de enfoque resaltó como un elemento de gran importancia para un desempeño adecuado del enfoque ABC.

Las aplicaciones del enfoque ABC reportadas, mostraron tener beneficios para las empresas encuestadas, y la mayoría de ellas mencionaron planes para extender el enfoque ABC, hacia otro tipo de funciones dentro de la organización para obtener información mucho más completa sobre costos de manufactura, procedimientos de marketing y distribución de sus productos.

Respecto de desarrollos posteriores, el estudio de la Universidad Estatal de Ohio reveló tres posibles líneas para el enfoque ABC en las empresas logísticas:

1. La necesidad de la empresa logística para rastrear costos y determinar rentabilidad a nivel de cliente y a nivel de canal de distribución.
2. El interés en varias empresas en usar el enfoque ABC para medir el desempeño de la organización, llevando este enfoque a lo que se conoce como Activity Based Management (ABM) que extiende las ideas de ABC a nivel gerencial, de modo que se disponga de información con base en las actividades que permita hacer evaluaciones del funcionamiento de la empresa.
3. El interés en usar el enfoque ABC a nivel de cadenas de abasto, a fin de ubicar ventajas competitivas a través de menores costos en la colocación de los productos en los mercados y de mejoras en la calidad de servicio.

1.3.2. Aspectos de implantación del ABC y el caso de Chrysler.

Otro aspecto de interés en la encuesta de la Universidad de Ohio fue el proceso de implantación del método ABC en las empresas. En casi todos los casos la secuencia de implantación fue semejante al enfoque usado en la industria manufacturera. Las etapas de este proceso de implementación se pueden resumir en cinco puntos:

- Identificación de las actividades.
- Reconstrucción de las cuentas generales de mayor (de libro mayor).
- Selección de las medidas de actividad (cost drivers) de primera etapa -resultantes de rastrear el costo de los recursos en las actividades.
- Selección de las medidas de actividad de segunda etapa -resultantes de rastrear las medidas de actividad en los productos, servicios o clientes consumidores de actividades.
- Determinación de los costos de producto, servicio o de clientes -resultantes de sumar los costos de las respectivas actividades consumidas.

El diagrama siguiente ilustra este diseño conceptual del sistema ABC.

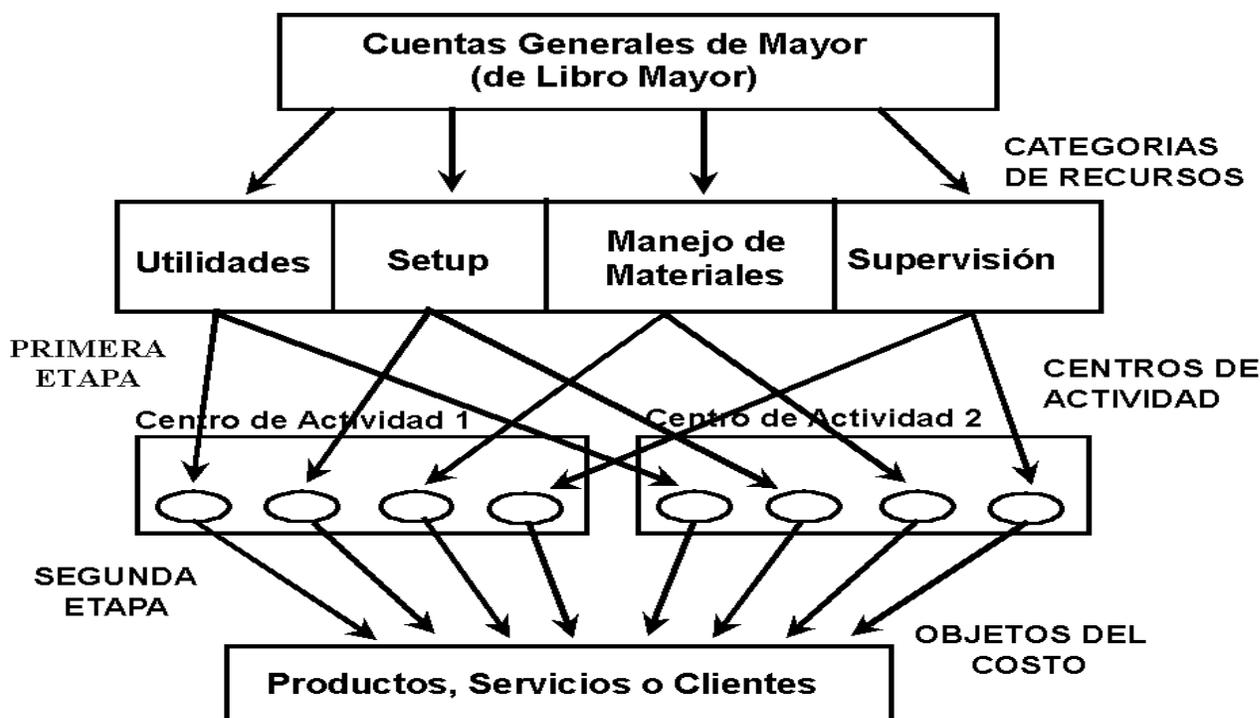


Figura 1.3. Proceso de implantación del sistema ABC en dos etapas.

Adaptado de: Pohlen, Terrance L., "Applications of Activity-based Costing within Logistics: who is using activity-based costing and where?", Council of Logistics Management, Annual Conference Proceedings, 1993..

El tiempo y el costo requerido para la implementación de los sistemas ABC, en las empresas encuestadas tuvieron grandes variaciones según la complejidad y el grado de sofisticación de los sistemas ABC desarrollados. Tal como ya se había observado en la industria manufacturera, muchas de las empresas reportaron como factible la implementación de un sistema ABC, por un equipo de entre tres y seis personas trabajando intensivamente por un periodo de tres a cuatro meses. Un par de empresas, en la encuesta de Ohio University, reportaron tiempos de implantación de 18 meses o más, las cuales por supuesto, correspondieron a los diseños más elaborados para sus sistemas ABC.

Del análisis de casos provistos por la encuesta, se encontró que el impedimento más evidente para la implantación de los sistemas ABC, fue la colecta de los datos necesarios. Los equipos de trabajo encargados de las implantaciones, encontraron que muchos de los costos logísticos requeridos simplemente no existían o al menos no, en una forma utilizable para los propósitos del método ABC. Este hallazgo coincide con las conclusiones a las que se había llegado en reuniones previas del Council of Logistics Management, relativas a que los sistemas de costos usados habitualmente en tareas de transporte y almacenaje, no proporcionaban la información de costos necesaria para que los gerentes de logística y distribución manejaran sus operaciones con eficiencia.

La mayoría de las empresas, sin embargo, suelen subestimar el gran esfuerzo que se debe realizar para dar el salto hacia la metodología ABC. Al tener un desglose más detallado de las cuentas de costos y al utilizar un mayor número de medidas estadísticas de esos costos, un sistema ABC típico puede estar usando docenas de centros de actividad (cost drivers), que pueden ir desde el número de partes producidas hasta el número de telefonemas asociados a ventas, a fin de asignar con mayor precisión los costos de esas actividades.

La circunstancia descrita se nota muy claramente en la experiencia de implante de ABC de la empresa norteamericana Chrysler. Cuando esta empresa implantó por vez primera un sistema ABC en una de sus plantas en Warren, Michigan, tuvo que coleccionar tres veces la información que finalmente pudo utilizar de modo práctico. Este excesivo esfuerzo de colecta llevó a que Chrysler tuviera que gastar en colecta de datos, el doble de presupuesto que originalmente había previsto. Los resultados de la implantación piloto, sin embargo, fueron sumamente alentadores. Esta implantación desarrollada en 1991, en la planta de Warren, mostró con costos obtenidos por el método ABC que el verdadero costo de algunas de las partes producidas en bajos volúmenes, eran hasta 30 veces mayores a los costos reportados por los sistemas contables normalmente utilizados. De este resultado fue claro para Chrysler, que le resultaba más rentable contratar a terceros para el manejo de estas partes de bajos volúmenes y concentrar su esfuerzo en la producción de partes de volúmenes masivos.

De modo semejante, la subsidiaria de refacciones Mopar de Chrysler se vio atrapada por una verdadera inundación de datos, cuando intentó por vez primera implantar su sistema ABC de costos para el manejo de las aproximadamente 250,000 partes que incluyen sus catálogos Mopar; finalmente decidió generar costos para 60 grupos de productos, con lo cual redujo la cantidad de datos a un nivel más manejable, pero que le resultó todavía de gran utilidad.

2. El método ingenieril.

El método ingenieril de cálculo de costos llamado también método de costos unitarios, se fundamenta en el seguimiento detallado de todo el proceso de producción del servicio de transporte de carga, de modo que en cada etapa del proceso se determina con una exactitud razonable la cantidad de insumos que se utilizan. Una vez que se conocen con buena aproximación las cantidades de todos los insumos empleados en la producción del servicio, la aplicación de precios unitarios de los mismos permite obtener el costo total de producción del servicio.

Una característica que resalta en el método ingenieril es que la tecnología utilizada en la generación del servicio de transporte se considera de modo explícito. Así, el método ingenieril permite evaluar los costos implicados en la generación del servicio con distintos tipos de equipos de tracción y de arrastre, o con equipos de nueva tecnología, circunstancia que no es sencilla de manejar con el método contable o con el estadístico.

Adicionalmente, el uso del método ingenieril permite estimar con gran facilidad costos marginales y costos variables, dada la mecánica de cálculo del propio método.

2.1 Un ejemplo: el simulador de trenes TRCP de la A.A.R.

La simulación de la operación de un tren es un ejemplo de los métodos de estimación de costos llamados ingenieriles o de costos unitarios.

Como se indicó anteriormente, dos ventajas que presenta este método de costeo son:

- a) La posibilidad de tomar en cuenta los cambios de tecnología; por ejemplo, al cambiar los parámetros de definición de los equipos o de la infraestructura usados y
- b) La posibilidad de agrupar los costos de producción del transporte según las necesidades del analista; por ejemplo, en costos de operación, costos de infraestructura o costos de tripulación.

A continuación se presentan los resultados del uso del paquete de simulación de trenes TEM/RECAP Control Program (TRCP) versión 1.0 de la American Association of Railroads (AAR). Este paquete controla simultáneamente el programa Train Energy Model (TEM) que simula el comportamiento físico de un tren, así como el módulo Rail Energy Cost Analysis Package (RECAP) que es el programa de cálculo de costos asociados a la corrida del tren.

El paquete computacional realiza simulaciones de la marcha de un tren calculando parámetros físicos de operación en cualquier punto del camino como son: consumo de combustible, fuerza de acoplamiento, velocidad y aceleración del convoy o

comportamiento del frenado dinámico. Al término de la simulación, el módulo económico del paquete calcula los costos resultantes de la operación del tren, permitiendo obtener costos de la operación misma, del uso de la infraestructura y del pago de tripulaciones.

Utilizando algunos de los equipos de tracción y de arrastre incluidos en la biblioteca original del paquete, se realizaron varias simulaciones de corridas de trenes y se muestran los resultados obtenidos para diferentes variaciones de parámetros en la conformación de los trenes.

Los programas principales usados en la simulación física son el PRE, que efectúa un pre-proceso de la información básica del *consist*⁴ utilizado en el tren, y el TEM que recibe la información procesada por PRE más los datos del perfil de vías, el plan operativo del tren y datos sobre vientos dominantes en el camino. Para la evaluación económica de la corrida, el programa ejecutable es el ECON2, el cual recibe como datos de entrada la información procesada por TEM, más datos sobre costos de mantenimiento de vía, precio del combustible, formas de pago a tripulaciones y tasa de actualización de los equipos para efectos de depreciación. En la Figura 2.1 se ilustra la organización general del paquete TRCP.

⁴ El término se refiere a la configuración usada para el tren: número y tipo de locomotoras, número y tipo de furgones, posicionamiento de las locomotoras en el convoy, etc.

“TRCP”: PROGRAMA DE CONTROL DE TEM Y RECAP

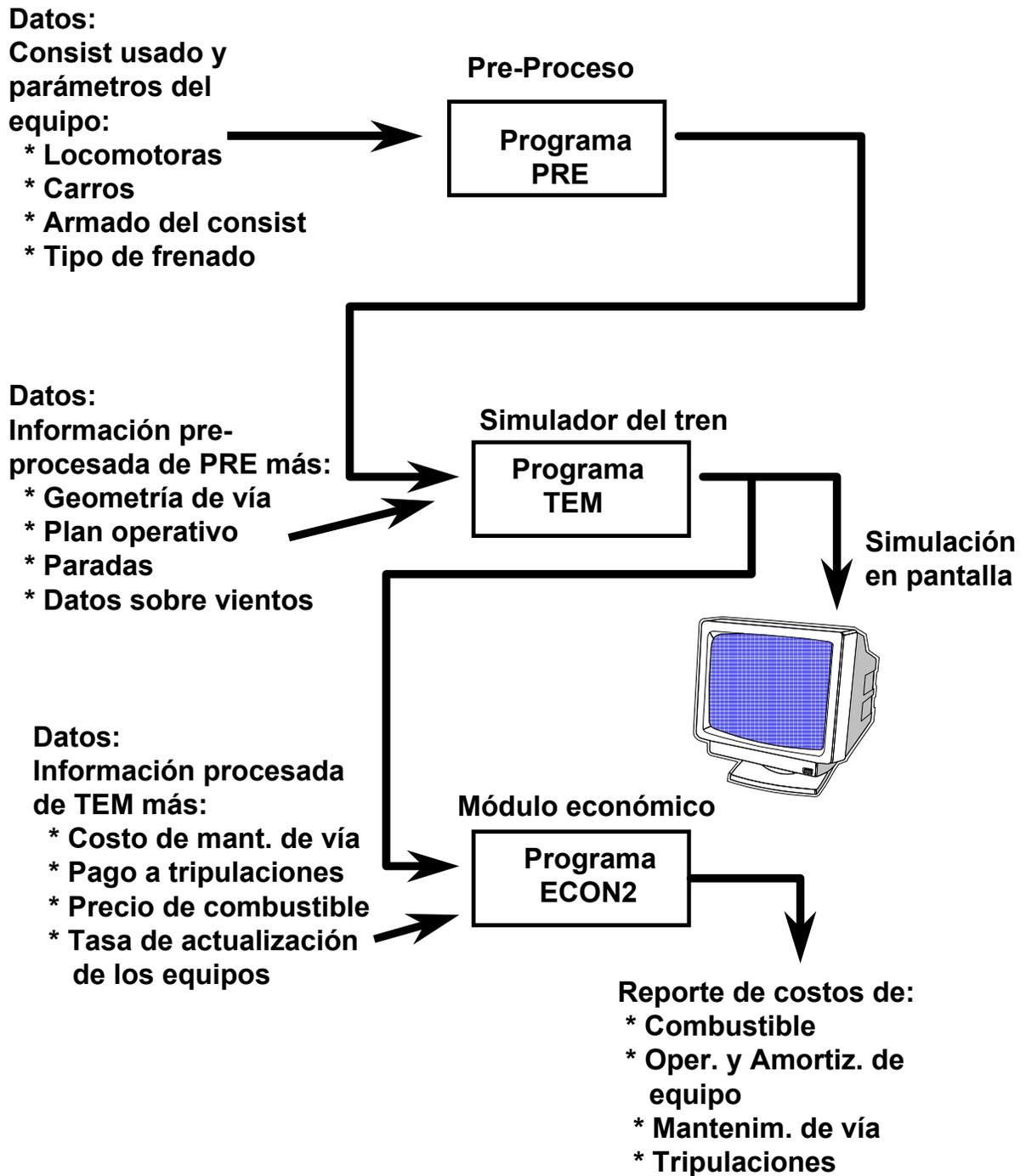


Figura 2.1. Entradas y salidas de información al paquete TRCP

2.1.1. El modelo TEM (Train Energy Model) de la A.A.R.

El Modelo de Energía para Trenes (Train Energy Model o TEM), es un simulador de trenes desarrollado por la AAR (Association of American Railroads) en 1982, con la finalidad de estudiar el consumo de combustible en relación con los métodos de reducción de resistencia de los trenes y con sus técnicas de manejo.

El TEM se desarrolló de modo ascendente, de manera que cada nivel desarrollado sirviera como una base sólida para el siguiente nivel. En orden ascendente, estos niveles de desarrollo son:

1. El modelo físico y la ecuación de movimiento.
2. El método numérico para resolver la ecuación de movimiento.
3. El control de trenes y la lógica de las instrucciones de conducción.
4. Un algoritmo de manejo automático de trenes.
5. La interfaz con el usuario.

En las secciones a continuación se explican con detalle estos niveles de desarrollo.

El Anexo 1 al final, muestra un ejemplo de la representación gráfica que genera el paquete en la pantalla de la computadora durante la simulación de la corrida de un tren.

2.1.2. El modelo físico.

El programa TEM modela al tren como un bloque único, de modo que este bloque representa un grupo de vehículos que mantienen la misma posición relativa. En un intervalo de tiempo dado, todos los vehículos en el tren tienen en común la misma velocidad y aceleración.

Sin embargo, el hecho de que el tren se represente por un solo bloque, no significa que el tren esté modelado como una partícula. Más bien, el modelo físico del tren puede compararse con una cadena (donde cada eslabón representa un vehículo) que sigue en su movimiento las pendientes y curvaturas del perfil de vía por donde corre el tren.

Esta forma de modelar al tren tiene dos grandes ventajas.

La primera es que, al tener los vehículos del tren la misma posición relativa durante toda la simulación, solamente se requiere resolver una ecuación de movimiento para encontrar la aceleración, la velocidad y la posición del primer vehículo de la cadena respecto al punto de partida del tren.

La segunda es que, al conocerse la posición de cada vehículo en el tren, las fuerzas en cada vehículo pueden sumarse para calcular la fuerza total que actúa en el tren en cada intervalo de tiempo en la simulación. Una consecuencia de esto es que el tiempo computacional requerido, para una simulación dada del tren, variará directamente (aunque no necesariamente de forma lineal) con el número de vehículos en el mismo.

La gran desventaja de este modelo es que las fuerzas de acoplamiento (intervehiculares) no pueden calcularse directamente. El cálculo de todas las fuerzas de acoplamiento en un tren con un número relativamente pequeño de vehículos, involucra la solución de un sistema de ecuaciones de movimiento simultáneas (una ecuación por cada vehículo), lo que limita la utilidad del modelo para algunos estudios paramétricos, ya que cada solución con un cambio de parámetros significa un gran esfuerzo computacional. Para esos estudios podría bastar el cálculo de la fuerza de acoplamiento entre el equipo de arrastre y la última locomotora del grupo de tracción del convoy. El programa TEM proporciona una buena estimación de esta fuerza de acoplamiento en cada instante de tiempo de la simulación.

Sin embargo, para fines de estudio de consumo de combustible, el error debido a la omisión de pérdidas por interacciones es poco significativo en comparación con la resistencia total del tren.

2.1.3 La ecuación de movimiento.

El programa TEM encuentra la aceleración del tren determinando las fuerzas de adhesión (que proporcionan las locomotoras y el sistema de frenado), la resistencia (incluyendo los efectos del viento), y las fuerzas generadas por la pendiente del camino. La ecuación de movimiento del tren es la relación que existe entre la aceleración y la suma de esas fuerzas aplicando la segunda ley del movimiento de Newton.

En un momento dado, si la suma de las fuerzas que actúan en el tren se conoce, la aceleración puede calcularse directamente de la ecuación de movimiento. Sin embargo, puesto que la aceleración es la razón de cambio de la velocidad respecto al tiempo, y la velocidad es la razón de cambio de la posición respecto al tiempo, la ecuación de movimiento tendría que ser *integrada* (resuelta) para obtener la velocidad y posición del tren.

Desafortunadamente, la solución de la ecuación de movimiento, no es tan simple, pues muchas de las fuerzas que actúan no son lineales.

2.1.4 Método numérico para la ecuación de movimiento.

La tarea básica en una simulación de TEM consiste en resolver la ecuación de movimiento para cada incremento de tiempo, iniciando en un tiempo cero en la posición

inicial (cuando el tren inicia la marcha) y terminando hasta el tiempo en el que el tren llega a su destino.

Debido a que la ecuación de movimiento del tren no es lineal, no puede integrarse directamente. Para encontrar la solución se requiere de un método numérico adecuado.

El método numérico que usa TEM para resolver la ecuación de movimiento es el método TAME (TAylor and Modified EEuler), que combina características de los métodos de Taylor y de Euler Modificado que se utilizan para soluciones numéricas de ecuaciones diferenciales.

El método TAME fue introducido por William F. Drish y Walter J. Wild en el artículo "Numerical solutions of Van der Pol's equation", publicado en mayo de 1983 en el American Journal of Physics. Y aunque en el artículo original la atención se centra en resolver la ecuación de Van der Pol (una ecuación diferencial no lineal usada en teoría de oscilaciones de relajación), el método se muestra muy adecuado para resolver ecuaciones diferenciales no lineales. TAME es adecuado para programas de simulación de trenes en una PC, ya que es sencillo y fácil de programar, es estable para soluciones de términos muy grandes, y además, es estable para soluciones que involucran la variación del incremento del tiempo.

El modelado del tren como bloque único y las características del método TAME permiten al simulador TEM integrar la ecuación de movimiento con incrementos de tiempo de simulación inversamente proporcionales a la aceleración del tren. Por otra parte, ya que en los movimientos típicos de un tren, la mayor parte del tiempo la aceleración mantiene valores pequeños (no mayores a 5 MPH/min), la simulación de una corrida del tren utilizando incrementos variables de tiempo, permite que dichos incrementos sean en general relativamente grandes (mayores a 2 segundos) sin que se tenga una reducción en la precisión de los cálculos.

De esta forma, el programa TEM tiene una buena eficiencia computacional, ya que simula los movimientos del tren más rápido que si manejara la simulación con incrementos de tiempo fijos. El manejo de los incrementos de tiempo en TEM, sin embargo, se encuentra acotado entre 1 segundo y 10 segundos, dependiendo de la aceleración del tren y además, el programa impone la condición de no permitir que los incrementos de tiempo provoquen cambios en la velocidad mayores de 1 MPH ni cambios en el posicionamiento del tren mayores a 180 pies en ninguno de los pasos intermedios de la simulación.

2.1.5 Control del tren.

Como ya se mencionó, el programa TEM simula el movimiento del tren determinando las fuerzas de adhesión, la resistencia y la fuerza de la pendiente. Las locomotoras y los sistemas de frenos son controlados por instrucciones que resultan consistentes con el

movimiento deseado para el tren. Estas instrucciones, se pueden generar desde tres fuentes:

1. El usuario del programa; que puede hacer el manejo “manual” del tren.
2. Un algoritmo de manejo automático del tren, llamado ATA (Automatic Train-Handling Algorithm).
3. Archivos de órdenes para un manejo pre-programado de la corrida.

Las instrucciones de control del tren determinan el manejo del regulador de la locomotora, del freno dinámico, del freno de aire automático, así como los controles de frenos de aire independientes. Estas operaciones determinan las fuerzas de adhesión aplicadas al tren por la(s) locomotora(s) y los sistemas de frenos de aire. A la larga, la resistencia y las fuerzas de la pendiente del tren, determinan la aceleración, la velocidad y la posición del tren para cada instante de la simulación

El movimiento deseado para el tren (el cual tal vez no fuera posible debido a limitaciones físicas) debe ser:

1. Iniciar la marcha del tren sin inducir una fuerza excesiva de acoplamiento entre las locomotoras y los vehículos de arrastre.
2. Mantener una velocidad de referencia constante o una velocidad límite según el tramo de circulación en la vía.
3. Detener el tren dentro de una distancia aceptable en su punto de destino.

La mayoría de usuarios del simulador TEM utilizan el algoritmo ATA para manejar los trenes en casi todas sus simulaciones. A modo de ejemplo, el uso del algoritmo ATA resulta adecuado en estudios paramétricos orientados a observar los efectos en el consumo de combustible o algunos otros factores de desempeño del tren, de alguna variable no directamente relacionada con el manejo de trenes. De este modo, para un tren dado en una vía dada, la utilización del algoritmo ATA asegura un manejo consistente del tren.

El algoritmo ATA es un programa de "inteligencia artificial" que intenta lograr el movimiento deseado para el tren durante toda la corrida.

El algoritmo ATA toma las decisiones de manejo del tren, determinando los ajustes necesarios a la configuración del control de las locomotoras. Para hacer esto se basa en las velocidades de equilibrio conocidas, las configuraciones de equilibrio de los controles del tren simulado, y el error en la velocidad y/o en la aceleración.

El error en la velocidad es la diferencia entre la velocidad de referencia (velocidad constante o velocidad límite en el tramo) y la velocidad “real” del tren. En la etapa de

simulación correspondiente al movimiento del tren sobre la vía, el error en la velocidad es el principal factor con el que ATA determina los ajustes necesarios a los controles del tren (posición del regulador de velocidad, frenado dinámico o frenado de aire).

El error en la aceleración es la diferencia entre la aceleración de referencia y la aceleración “real” del tren. En la etapa de inicio de la marcha del tren y en la etapa de frenado en su destino final, este error de aceleración es el factor principal que utiliza ATA para decidir los ajustes a los controles del tren.

Según la experiencia que se reporta en el manual del programa TEM, el algoritmo ATA aun cuando no promete resolver satisfactoriamente el 100% de los casos de todos los trenes que se pueden armar y en todas las posibles rutas, ha resultado confiable para los usuarios que han trabajado con el simulador. Concretamente se reporta un manejo adecuado de las instrucciones para manejar el tren en 19 de cada 20 casos, es decir un 95% de confiabilidad.

2.1.6 El modelo RECAP (Rail Energy Cost Analysis Package).

El modelo RECAP es el módulo de cálculos de costos asociados a la operación de un tren que ha simulado el programa TEM. El programa utiliza los datos generados en la simulación física del tren, como son: cantidades y tipo de equipo usado, combustible consumido, tiempo transcurrido en el movimiento o distancia recorrida, junto con técnicas de ingeniería económica para hacer las estimaciones de los costos resultantes de la corrida del tren.

RECAP calcula los costos incrementales de las corridas de cualquier conjunto lógico de trenes que haya simulado TEM; por ejemplo, la corrida de un tren unitario y su regreso vacío, los movimientos de un tren intermodal o los ciclos de rutinas de las locomotoras. Si se tiene el diseño de un conjunto de movimientos de trenes para proporcionar un servicio específico y se han simulado previamente con TEM, el paquete RECAP realiza las estimaciones de costo para cada uno de los segmentos del servicio.

Al combinarse con los resultados de las simulaciones de TEM, el paquete RECAP puede utilizarse para comparar alternativas de operaciones de trenes como pueden ser:

- Estrategias para armado de los *consist* para los trenes.
- Efectos de la lubricación en rieles.
- Efectos de incrementos en las cargas por eje.
- Efectos del uso de furgones con taras reducidas.

- Efectos del uso de equipos con nuevos diseños aerodinámicos.
- Efectos del uso de sistemas mejorados de suspensión.
- Métodos nuevos de pagos a tripulaciones.
- Cambios en velocidades de circulación de los trenes.

La tarea básica de RECAP es usar modelos aceptados de ingeniería económica para traducir la información física (tipo de equipo, combustible usado, distancia recorrida, etc.) y financiera (costos de adquisición de los equipos, costo de mantenimiento por milla recorrida, tiempo de vida útil de los equipos, etc.) de las actividades y equipo utilizados en la producción del transporte en estimaciones de costos resultantes de: pago a tripulaciones, costo de combustible, y costos de mantenimiento de equipo y vías.

RECAP da al analista del transporte ferroviario una alternativa para evaluar costos que difiere del enfoque tradicional contable de asignación de costos. Esta alternativa es un ejemplo del método ingenieril de estimación de costos, y tiene dos ventajas principales que no ofrecen los métodos contables:

1. La estimación de costos puede hacerse sobre una ruta o diseño de servicio específico.
2. Los efectos de las innovaciones tecnológicas de los equipos a usarse o diversas opciones operativas para un tren que usualmente no se emplean, pueden evaluarse si se conocen los parámetros técnicos y de operación que las definen.

Un enfoque de estimación de costos de tipo contable usa para su análisis el proceso total de producción de transporte del ferrocarril tal como se ha dado en el pasado, y con ello describe la transformación de insumos empleados en transporte producido. De este modo, este proceso productivo refleja la tecnología y las estrategias operativas que se han utilizado hasta el momento mismo en que se hace la evaluación, y por tanto no puede incidir sobre los posibles impactos que el uso de equipos con otras tecnologías o estrategias operativas distintas pudieran tener sobre los costos.

Por otra parte, el enfoque contable de la estimación de costos genera resultados que son valores promedio del proceso productivo de todo el ferrocarril, o en el mejor de los casos, de subdivisiones mayores del proceso de generación de transporte, que muy bien podría diferir de estimaciones precisas del costo de movimiento de un tren específico.

2.2 Los costos de mantenimiento de vía.

Los costos de mantenimiento de vía son una parte importante de la determinación de los costos de operación de un tren. Este tipo de costos son influenciados por las características del camino, el tipo de equipo usado y el plan operativo del servicio de transporte ofrecido. Lamentablemente, los modelos de costos con enfoque contable de asignación de costos no han resultado muy exitosos en la determinación de los efectos en el costo de factores como: la geometría de la vía, los estándares de construcción, las cargas por eje de los equipos o las velocidades de operación.

Dada la dificultad de evaluar esta clase de efectos sobre los costos, RECAP utiliza los resultados de un modelo de costos, también desarrollado por la AAR, llamado TMCOST, para estimar los costos de mantenimiento de vía para un servicio específico de tren. El modelo TMCOST no forma parte de RECAP, sino que más bien fue usado para generar información de costos incrementales de deterioro de vías, la cual se encuentra entre los archivos que integran las descripciones del tren a simular.

RECAP cuenta con la información de estos costos incrementales de deterioro de vías para cinco casos, que corresponden a lo siguientes tipos de *consist*:

- Tren unitario para carga a granel, cargado con furgones de 100 toneladas, (32.5 ton por eje).
- Tren unitario para carga a granel, cargado con furgones de 125 toneladas, (39 ton por eje).
- Tren unitario para carga a granel, vacío.
- Tren declarado mixto.
- Tren intermodal.

Cada uno de los *consist* anteriores fue descrito en el modelo TMCOST con valores adecuados para las características físicas del equipo que tuvieran un impacto significativo en el deterioro de la vía, como son: carga por eje, altura del centro de gravedad, diámetro de la rueda, etc. Además de lo anterior, en el modelo TMCOST se usaron valores típicos de razones peso/potencia, velocidades de circulación y longitudes de trenes. Una vez con esta información, el modelo TMCOST se corrió sobre una matriz de geometrías y estructuras de vía típicas para generar los archivos de costos de mantenimiento de vía que utiliza el programa RECAP. El usuario de RECAP debe seleccionar la opción de archivo de costos de mantenimiento de vía que más se asemeje al *consist* que pretende simular.

Cada uno de los cinco archivos de costos de TMCOST contiene los costos por millón de toneladas brutas para mantener una milla de vía. Estos costos son sensibles a los siguientes factores:

- Peso total del *consist* del tren simulado.
- Tipo de riel en la vía: se manejan 8 tipos, desde el ligero hasta el pesado, premium y CWR (Continuous Welded Rail).
- Grado de curvatura.
- Porcentaje de pendiente.
- Densidad de tráfico (en millones de toneladas brutas por año).
- Lubricación de rieles.
- Tipo de *consist*.

El manual de referencia de RECAP reporta que los archivos de costos incrementales de mantenimiento de vía generados con TMCOST y usados en las estimaciones de costos, resultan indicadores adecuados de los costos relativos de deterioro de las vías que pueden encontrarse en la mayoría de los casos de comparación de estrategias alternativas de operación. Asimismo, advierten al usuario que estos costos no son adecuados para efectuar una medida de los costos absolutos de mantenimiento de las vías. Una razón de esto es que los costos de mano de obra y materiales, así como la productividad de las cuadrillas de mantenimiento, se basan en promedios industriales y podrían no coincidir con los valores exactos que se presenten en un tren particular. Además, el manual hace notar que en los factores de costo incremental no se incluyen factores como mantenimiento de puentes o trabajos para deshierbar, los cuales aparecen frecuentemente en la práctica.

De cualquier modo, los costos incrementales que utiliza RECAP cubren una gran mayoría de las evaluaciones de costos requeridas con los equipos actualmente en uso, y por tanto resultan de utilidad para las evaluaciones de estrategias operativas alternas.

2.2.1 Un enfoque de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC)⁵

Desde hace algunos años, la Oficina de Investigaciones y Ensayos (ORE, Office de Recherches et d'Essais) de la UIC, ha abordado el estudio de la degradación de la calidad de la vía y la evolución temporal de la misma como consecuencia del tráfico ferroviario.

Los requerimientos de seguridad y comodidad habituales en el transporte ferroviario, así como la reciente necesidad de costear y tarificar el uso de la infraestructura como consecuencia de la apertura de redes ferroviarias europeas a concesionarios privados, ha reforzado el interés en el tema del mantenimiento de las vías.

Los factores que a juicio de la ORE influyen en los costos de conservación de la vía son los siguientes:

- a) El trazo de la vía: radios de curvatura, peraltes, etc.
- b) Superestructura de la vía: tipo de rieles, peso, dureza, tipo de durmientes y fijaciones, etc.
- c) El balasto: naturaleza del material, granulometría, espesor de la capa, etc.
- d) La base de terracería: características reológicas como módulo de elasticidad, índice California Bearing Resistance (CBR) de los suelos, etc.
- e) El tráfico: total acumulado y toda la diversidad de cargas estáticas, dinámicas y velocidades empleadas sobre las vías.

Aun cuando estos factores se interrelacionan de un modo complejo para determinar el costo de mantenimiento de la vía, los trabajos de los comités técnicos de la ORE permitieron publicar en 1979 la ficha 715-I que trata el problema. En este documento se muestra una evaluación de la importancia relativa que tienen los factores ya señalados, utilizando para cada uno de ellos valores típicos y asignando un índice inicial de 100. Seguidamente se muestran las variaciones de los factores de uno en uno, manteniendo los índices constantes iguales a 100 en el resto de los factores y observando las variaciones porcentuales resultantes en el costo de mantenimiento.

⁵ U.I.C. son la siglas de la Union Internationale des Chemins de Fer, organismo internacional fundado en 1922 y que tiene como objetivos centrales promover la cooperación y la estandarización, así como ofrecer consultorías técnicas en el ámbito del transporte ferroviario a nivel mundial. Tiene su sede en París.

Con estos cálculos se tiene una primera aproximación, a partir de un caso dado, del impacto que sobre el costo de mantenimiento de vía tienen los cambios efectuados en factores como el tráfico, la velocidad de los trenes o las cargas por eje de los vehículos utilizados.

Una de las primeras conclusiones derivadas por la UIC, con este enfoque, es la caracterización del tráfico como el principal causante del deterioro de las vías, ya que la totalidad de cargas dinámicas y estáticas que se transmiten a los rieles se manifiestan como fatiga en los materiales, desgaste en los elementos constitutivos de la vía y distorsión de la geometría del trazo original.

Con base en esta observación, la UIC señala que, una vez que el deterioro ha superado límites de tolerancia previamente fijados, se hace necesario el mantenimiento correctivo a la infraestructura para recuperar las condiciones iniciales de funcionamiento. El tipo de acciones recomendadas y los porcentajes de participación en los costos de mantenimiento de acuerdo a lo anterior son los siguientes:

- a) Sustitución de rieles 20%
- b) Trabajos de rectificación y ajuste de perfiles 10%
- c) Reemplazo de durmientes, balasto y sujeciones 30%
- d) Trabajos de nivelación y alineación 10%
- e) Terraplenes, obra civil y otras 30%

Adicionalmente a lo anterior, la UIC ha desarrollado fórmulas que permiten estimar de modo aproximado la relación entre el deterioro de la vía y las variaciones en el tráfico que circula sobre ella.

La ecuación básica que describe el deterioro en términos del tráfico es la siguiente:

$$D = kT^{\alpha} P^{\beta}$$

- donde:
- D = deterioro de la vía desde el último mantenimiento.
 - k = constante para ajuste del modelo.
 - T = tonelaje acumulado.
 - P = carga total dinámica por eje.

Análisis estadísticos efectuados por la ORE, han determinado algunos valores típicos para los exponentes α y β para varios de los factores que afectan los costos. En la tabla siguiente se resume la información.

Factor del costo	Valor de α	Valor de β
Fatiga de los rieles	3	3
Defectos superficiales del riel	1	3.5
Fatiga de durmientes, fijaciones, etc.	3	3
Degradación de la geometría	1	3

Usando los valores de α y β se puede estimar, para distintos grupos de operaciones de mantenimiento de vía, los correspondientes aumentos en los costos que resultarán de las modificaciones de las características del tráfico en los tramos de interés.

Cabe hacer notar que estas fórmulas derivadas de los estudios de la ORE, tienen validez dentro del rango de tráficos y condiciones para los cuales se efectuaron las mediciones, de modo que su posible utilización debe hacerse en condiciones semejantes. Una revisión detallada de la ficha técnica 715-I puede ser una buena orientación al respecto.

Otro elemento considerado en estos estudios de costos de mantenimiento fue la calidad de la vía. Varios ensayos realizados por la ORE llevaron a determinar, para distintas calidades de vía, el impacto sobre los costos de mantenimiento de la nivelación longitudinal de los rieles que resultaron de cambios en el peso por eje de los vagones, manteniendo sin cambios la velocidad de los trenes.

La calidad de la vía se definió por la desviación estándar σ , respecto del parámetro de nivelación longitudinal de los rieles, con el siguiente criterio:

- Buena para $\sigma = 1$ mm
- Regular para $\sigma = 2$ mm
- Mala para $\sigma = 3$ mm

La velocidad de referencia fue de 120 km/h y se manejaron dos tipos de tráfico con el mismo tonelaje acumulado, del cual 30% fue de trenes pesados.

El primer tráfico correspondió a vagones con cargas de 20 t/eje, mientras que el segundo correspondió a cargas de 20 t/eje en el 10% del total y 22.5 t/eje en el 20% restante de trenes pesados.

Las conclusiones principales de este estudio fueron las siguientes:

- 1) A igualdad de condiciones de calidad de la vía y tonelaje, el costo de mantenimiento aumenta linealmente con la velocidad, a partir de un determinado valor.
- 2) La tasa de crecimiento del costo (pendiente de la recta de ajuste) aumenta con rapidez con el deterioro de la vía (50 km/h en este caso).
- 3) El aumento de la carga por eje induce un aumento de costos de mantenimiento que crece a medida que se tienen peores calidades de vía.
- 4) En condiciones semejantes de tráfico, el costo de mantenimiento es prácticamente constante por debajo de cierta velocidad (50 km/h en este caso), independientemente del estado de la vía.

La conclusión final que aporta la ORE de estos estudios es que, a mediano plazo resultará más caro mantener una vía de mala calidad, sin permitir que se degrade indefinidamente, que una vía de buena calidad, ya que el deterioro de una vía mala -suponiendo el resto de los factores sin cambios- ocurre mucho más rápido que el de una vía en buen estado. Con base en esto, la recomendación final es que, cuando la vía ha llegado a cierto grado de deterioro, es más rentable económicamente efectuar reposiciones de los materiales de vía a través de un programa de renovación de la misma.

2.3 Evaluaciones de desempeño de trenes.

Como puede apreciarse de la descripción hecha hasta ahora de las características del paquete TRCP, su utilidad reside principalmente en la evaluación de opciones operativas alternas, más que en la determinación de costos absolutos. Considerando esto, enseguida se enlistan algunos de los usos típicos que se pueden dar a TRCP:

- Análisis de costos incrementales, variando parámetros como: carga en los furgones, número de furgones usados en el *consist*, o número y tipo de locomotoras.
- Evaluación de trazos geométricos alternos de vías, para comparar los costos de modernización de las vías, con distintas pendientes y curvaturas.
- Evaluación de tecnologías alternas, siempre que se conozcan los parámetros de los distintos tipos de equipos usados: locomotoras, furgones, diseños aerodinámicos, características de la suspensión, carros de tara reducida, etc.

- Evaluación de estrategias alternas de armado de trenes, que se reflejan en variaciones del *consist*: uso de distintos tipos de locomotoras, cambios en el posicionamiento de locomotoras, furgones cargados y furgones vacíos, etc.
- Evaluación de diseños alternativos de operación, como pueden ser trenes unitarios, arrastre de furgones vacíos, uso de locomotoras ayudadoras, etc.
- Evaluación de rutas alternas para proporcionar un servicio de transporte.

Resulta conveniente resaltar también los usos para los cuales el paquete no resulta adecuado. Esta información también se encuentra en el manual de referencia TRCP, e incluye lo siguiente:

- TRCP no da información de factores que no estén relacionados directamente con la marcha del tren, como es el caso de operación de terminales o gastos administrativos.
- El paquete no permite determinar la viabilidad *a largo plazo* de algún servicio de transporte o los costos totales del mismo con vistas a fijar precios de venta.

2.4 Resultados de las corridas con el paquete TRCP.

Para ilustrar las características de TRCP, se hicieron algunas corridas en las que se utilizó equipo incluido en la biblioteca original del paquete y cuyo uso dentro de la flota de F.N.M. fue confirmado como común.

Las locomotoras usadas fueron dos modelos diesel-eléctricas: el modelo SD40 y el modelo GP40. El equipo de arrastre usado fue el furgón de 70 toneladas, y en algunos casos se incluyó el arrastre de un cabús. Las características de locomotoras resumidas son:

Locomotora	No. de ejes	Peso (tons.)	Potencia (HP)	Velocidad máx.
SD40	6	167	3000	65 mph
GP40	4	120	3000	65 mph

En las corridas se utilizó una de las vías incluidas en los archivos originales con longitud de 99 millas, pendientes entre 1% y 1.5% (terreno de lomerío, en la práctica ferroviaria) y curvaturas entre 4° y 6°.

Respecto de los *consist* usados, se manejaron dos configuraciones típicas conforme a los criterios utilizados por F.N.M según el tipo de terreno por donde circula el tren:

a) 3 Locomotoras + 89 furgones + cabús.

b) 3 locomotoras + 45 furgones + 3 locomotoras + 44 furgones + cabús.

Un breve resumen sobre estos criterios se muestra en el Anexo 2. Una muestra completa de un reporte de salida típico conteniendo la información de los costos asociados a la corrida puede verse en el Anexo 3.

En cuanto a la variación de parámetros, se hicieron las siguientes variaciones: tipo de locomotora usado, número de furgones usados en el convoy y carga en cada furgón.

Las Figuras 2.2A y 2.2B a continuación muestran la composición de los costos para la configuración b), ya citada usando los dos tipos de locomotora (SD40 y GP40) y variando la carga en cada furgón desde 45 toneladas/furgón hasta 100 toneladas/furgón. El movimiento se simuló sobre la vía de 99 millas referida anteriormente. El eje vertical de las gráficas representa la fracción del costo para el caso base, que es la configuración de menor peso.

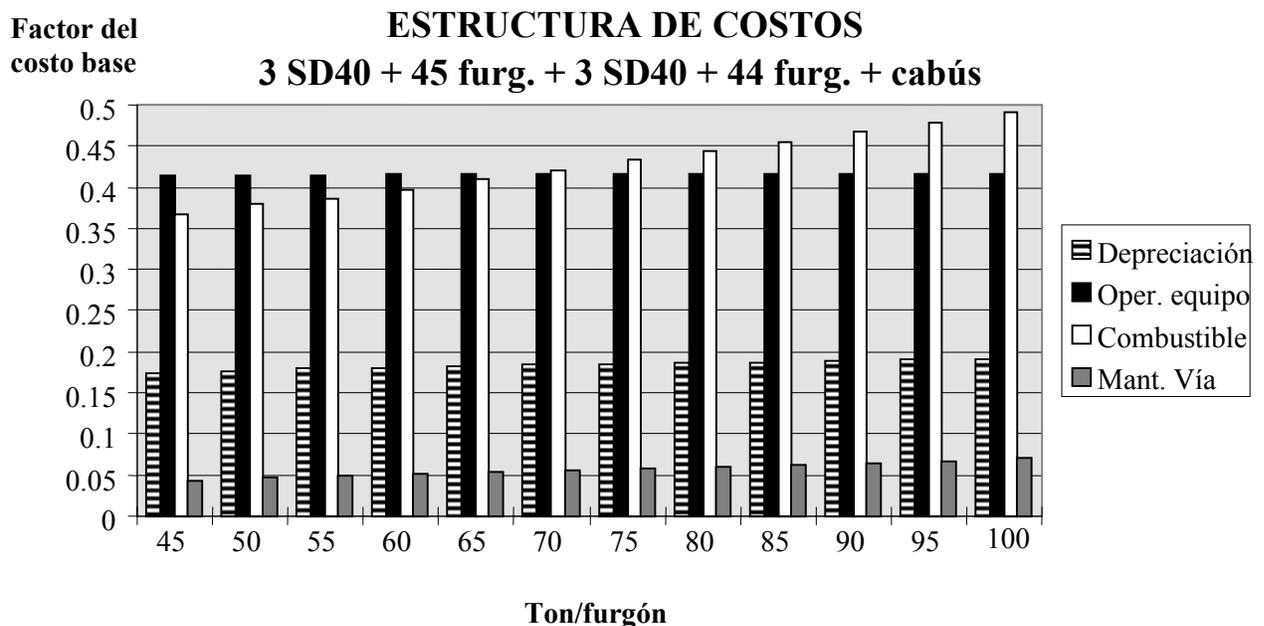


Figura 2.2A. Estructura de Costos variando carga por furgón. Equipo SD40.

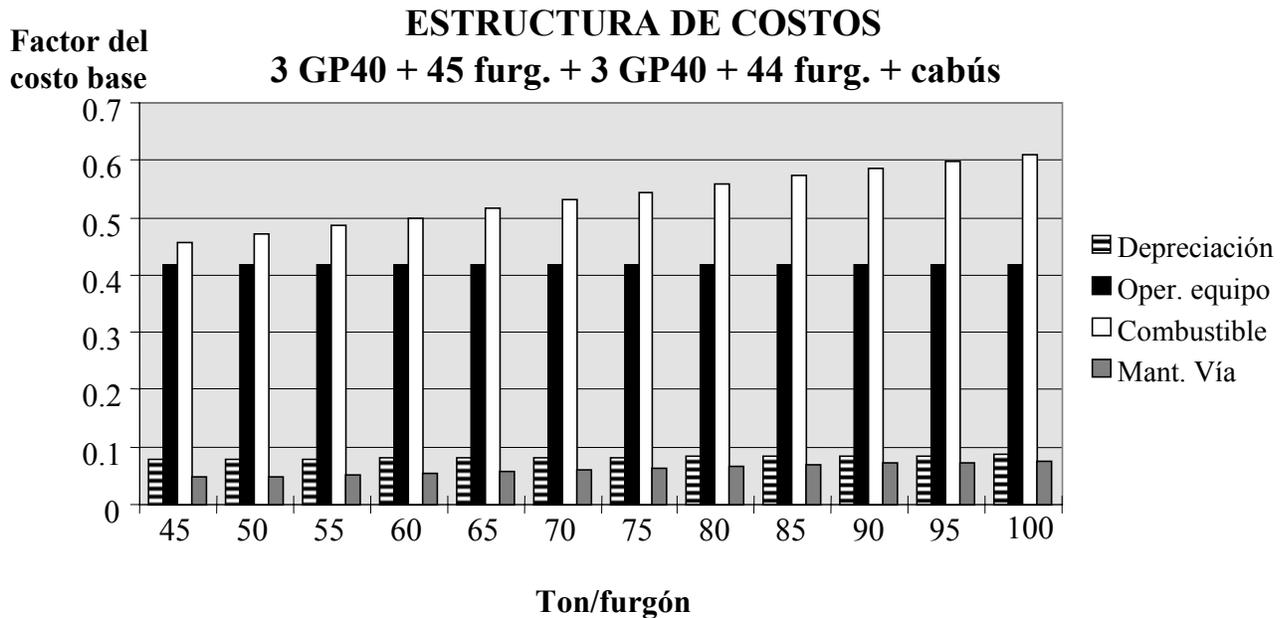


Figura 2.2B. Estructura de Costos variando carga por furgón. Equipo GP40.

De las Figuras 2.2A y 2.2.B se puede ver que los conceptos de combustible y operación del equipo son los que mayor participan en la composición del costo de operación. El costo de operación se basa en datos de gastos de mantenimiento definidos en los archivos que describen los equipos y es sensible básicamente a la distancia recorrida. Los costos de mantenimiento de vía y los de depreciación de los equipos también son sensibles al aumento de la carga en el tren, según se aprecia de la misma gráfica. Por otra parte, las Figuras 2.2A y 2.2.B muestran diferencias en los costos de operación de los dos tipos de locomotoras, ya que el equipo SD40 tiene costos de adquisición y de mantenimiento mayores que el GP40.

Otra variante ensayada en las simulaciones fue la longitud del convoy, manteniendo constante la carga por furgón. En la Figura 2.3, se ve la tendencia creciente del costo de operación para ambos modelos de locomotora. La carga por furgón se tomó de 70 toneladas. En el eje horizontal se tiene el número de furgones usados en el *consist* y en el eje vertical los factores del costo base, el cual corresponde al costo de la configuración más corta en cada caso. El número de furgones se varió desde 5 hasta 100.

La tasa de aumento del costo es mayor en el equipo GP40 que en el SD40, lo cual puede ser reflejo del rendimiento de combustible en las distintas posiciones del regulador de velocidad en las máquinas. El regulador de velocidad tiene 9 posiciones, desde "0" para tiempos holgando, hasta "8" en máxima potencia. En la Figura 2.4 se

muestran los valores de consumo de combustible en las distintas posiciones del regulador para los dos modelos de locomotora, obtenidos de los archivos que describen el equipo.

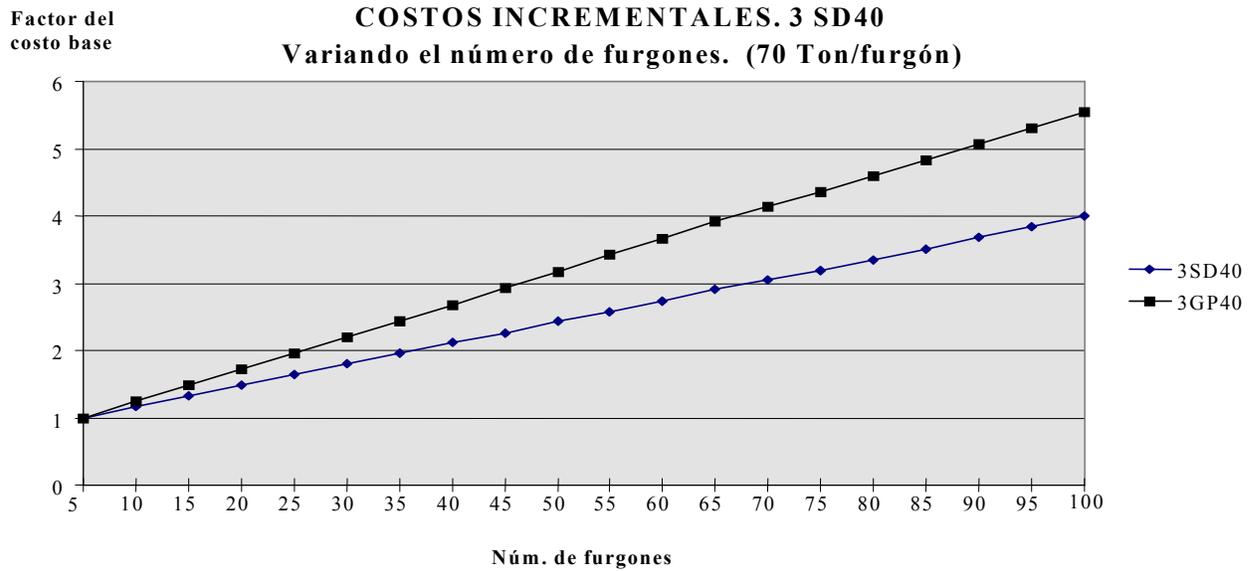


Figura 2.3. Costos incrementales variando el largo del convoy.

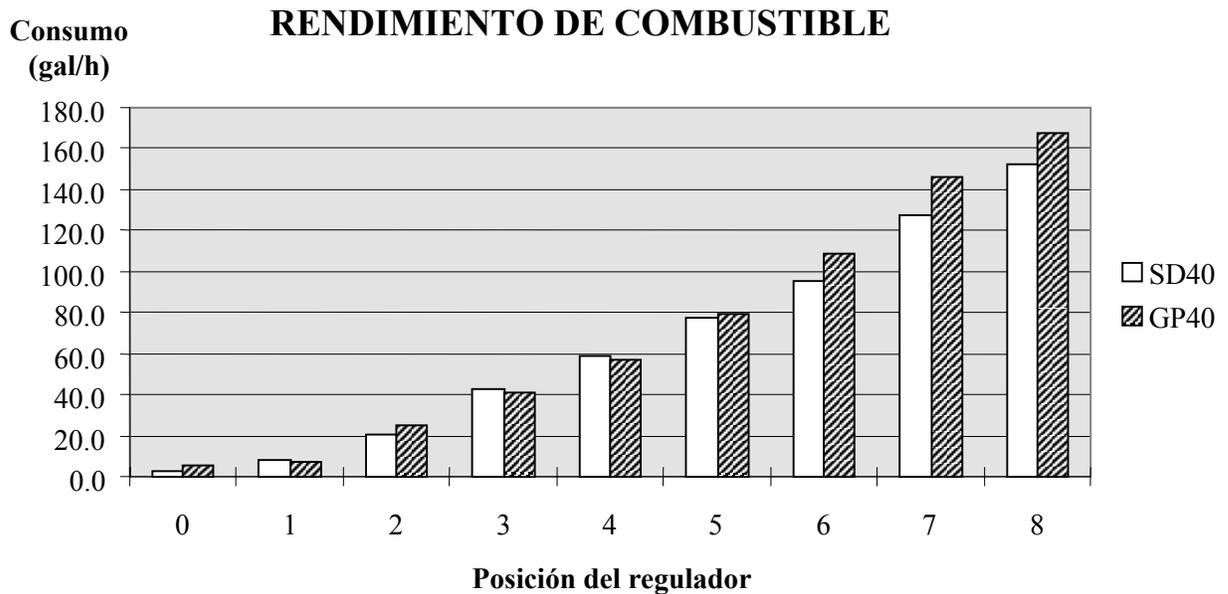


Figura 2.4. Rendimiento de combustible en el regulador.

Para evaluar los posibles efectos de la pendiente del camino, se hicieron varias simulaciones sobre tramos de vía recta con distintos valores de pendiente constante. La Figura 2. 5 ilustra el resultado de un *consist* con 3 locomotoras SD40 y 80 furgones cargados con 45 toneladas cada uno.

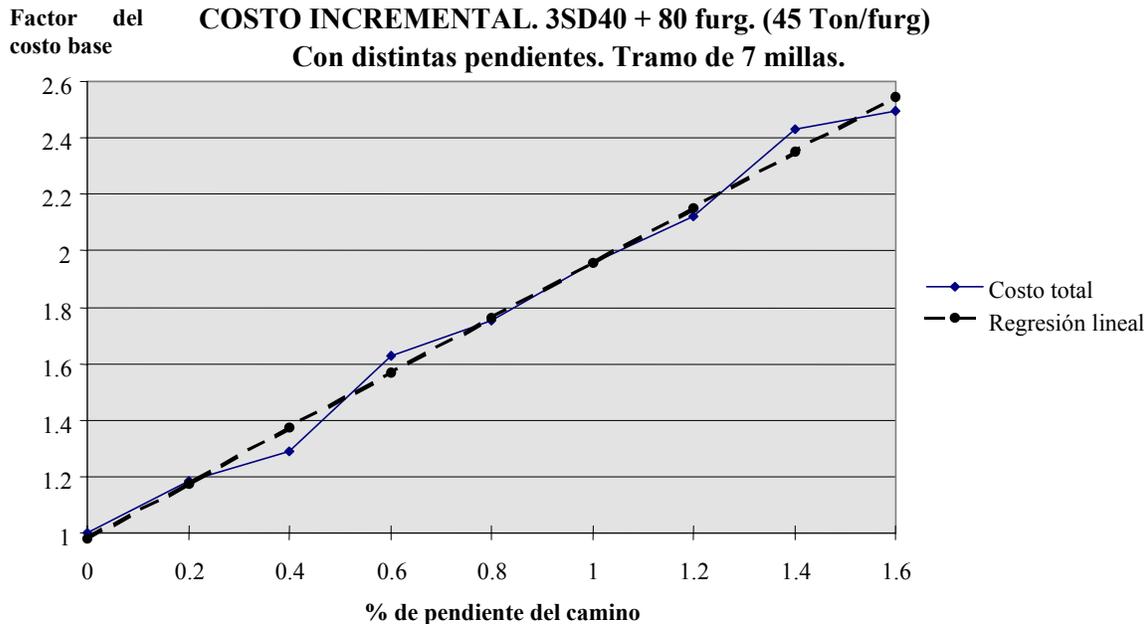


Figura 2.5. Variación del costo total con la pendiente.

Los tramos de vía se construyeron usando el editor de archivos de vía incluido en el paquete TRCP. En la Figura 2.5 se aprecia el efecto en el costo total de 9 simulaciones hechas sobre un tramo de vía recta de 7 millas, variando la pendiente del tramo desde 0% hasta 1.6%. En el eje vertical se tiene el factor del costo base, el cual corresponde a la corrida con pendiente cero. La tendencia lineal del aumento del factor del costo base, con la pendiente, se verificó con un ajuste de regresión, obteniéndose el modelo:

$$\text{Factor de costo} = 0.98156 + (0.97637)(\text{Porcentaje de pendiente})$$

El valor del coeficiente de correlación de Pearson para este modelo fue $r = 0.99559$, y el valor del coeficiente de determinación $r^2 = 0.99121$, que indican un muy buen ajuste lineal en el rango de variaciones de pendientes simuladas. Este ajuste lineal sugiere entonces, que para el *consist* formado por 3SD40 + 80 furgones cargando 45 ton/furgón, el factor de costo aumenta 0.97637 por cada punto porcentual de pendiente del terreno. En particular, puede verse de la gráfica que al pasar de un tramo completamente plano (0% de pendiente) a uno con pendiente del 1%, prácticamente se duplica el costo total.

Combinando los datos de costos resultantes de variar, tanto carga por furgón, como número de furgones, se obtuvieron algunas gráficas más. En la Figura 2.6A, se tiene una superficie de respuesta para el costo total relativo de los *consist* con 3 locomotoras SD40. Los ejes de las variables son: número de furgones y toneladas por furgón, mientras que el eje de la respuesta corresponde al costo relativo, referido al costo de la configuración mínima. Los datos de la Figura 2.6A son los costos relativos estimados

para variaciones de número de furgones, desde 40 hasta 95, y de cargas por furgón desde 45 hasta 70 toneladas. En la Figura 2.6B se aprecian las curvas de nivel de la superficie, que representan líneas de isocosto, a lo largo de las cuales se tienen combinaciones de número de furgones y carga por furgón que tienen un costo relativo constante.

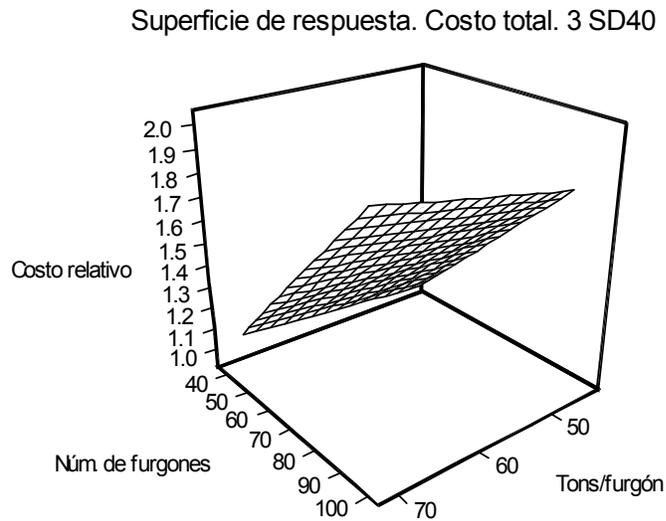


Figura 2.6A. Superficie de respuesta del costo total relativo.

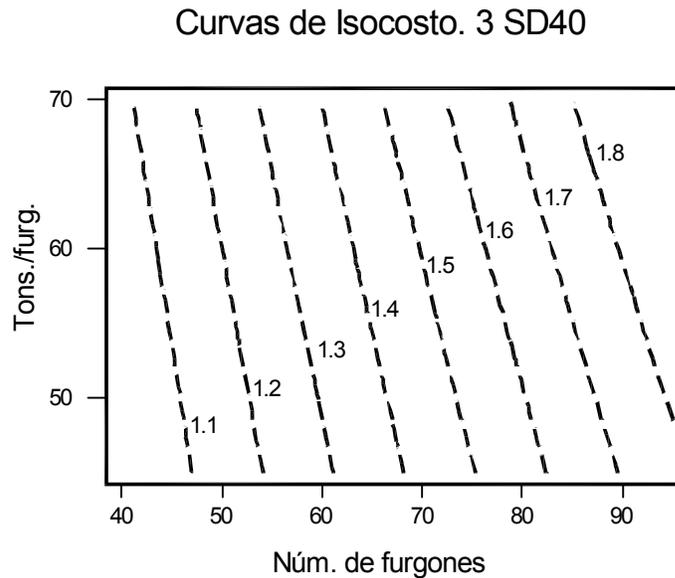


Figura 2.6B. Curvas de costo total relativo constante.

Análogamente, en la Figura 2.7A se tiene una superficie de respuesta para el costo unitario. En este caso, los ejes de las variables son los mismos que en el caso anterior, mientras que el eje de la respuesta expresa el valor del costo unitario por tonelada transportada, referida al caso base, que es el costo unitario de la configuración mínima de 40 furgones cargados con 45 toneladas cada uno. En la Figura 2.7B se muestran las curvas de isocosto unitario, para las distintas combinaciones de número de furgones en el convoy y carga llevada por furgón.

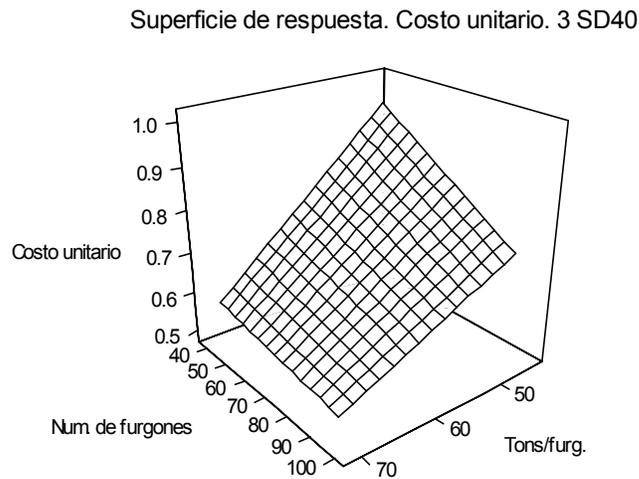


Figura 2.7A. Superficie de respuesta del costo unitario relativo.

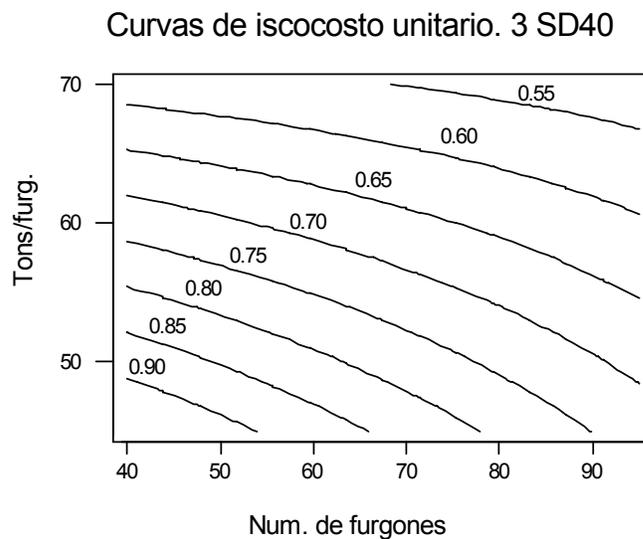


Figura 2.7B. Curvas de costo unitario relativo constante.

Las superficies de respuesta de las Figuras 2.6 y 2.7 se generaron con los datos obtenidos de las simulaciones utilizando el paquete estadístico MINITAB. Las rutinas invocadas fueron las del menú de diseño experimental, concretamente las que se

refieren al análisis de los datos obtenidos de un experimento, en el cual se pretende evaluar los efectos sobre una respuesta de las variables que pudieran ser explicativas.

Estas superficies de respuesta se pueden tratar estadísticamente del mismo modo que un modelo de regresión, y son una propuesta para modelar una variable (por ejemplo costo relativo total) en función de otras variables (dos o más) que influyan en los costos de operación.

En este contexto, el uso del simulador equivale a un muestreo controlado, donde la colecta de datos de campo sobre los costos de operación, es sustituida por corridas del simulador en las que se mueven las variables que se consideran de interés y se observan los resultados obtenidos de las simulaciones. Los ejemplos mostrados en las figuras 2.6 y 2.7 tratan de ilustrar el tipo de resultados que se pueden obtener en el caso de una dependencia de solamente dos variables.

3. El método estadístico.

La relación de costos básica en la teoría económica, es la que se da entre un nivel estipulado de producto y el mínimo gasto que se requiere para lograr dicho producto. Esta relación puede derivarse de la función tecnológica de producción y del conocimiento de los precios de los factores que intervienen en la misma. Por otra parte, debido al gran número de factores que intervienen en los modernos procesos de producción, generalmente es más sencillo trabajar con los costos que con la producción o las relaciones tecnológicas. La función de costos puede considerarse como una forma resumida de representar estas relaciones tecnológicas y económicas básicas. Una forma de encontrar esta relación básica costo-producto es el método estadístico.

Las técnicas estadísticas de estimación de costos utilizan muestras de datos de corte transversal o de series de tiempo extraídas de diversas circunstancias operativas del proceso de producción. El procedimiento habitual consiste en especificar una forma esperada de relación entre el costo y las unidades de servicio, en la cual la forma funcional de la relación entre las variables se conoce, pero no los valores numéricos de los parámetros de dicha forma. Los datos sobre los costos en que se ha incurrido en el suministro del servicio se examinan y los valores para los parámetros de la forma funcional se estiman, generalmente usando métodos de regresión o semejantes. Estos métodos también conllevan el desarrollo de medidas del grado en el que el modelo usado con sus parámetros numéricos estimados, representa con fidelidad los costos en que se incurre realmente en la producción del servicio. Frecuentemente, cuando el modelo propuesto con las estimaciones iniciales de sus parámetros no pronostica o reproduce adecuadamente los valores del costo, el modelo es modificado o refinado hasta que se obtiene un grado de correspondencia aceptable.

El procedimiento estadístico contrasta con el enfoque ingenieril, en que no exige un detallado conocimiento de todos los aspectos técnicos del proceso productivo, sino que centra la atención solamente en los datos de costos y unidades de servicio logradas.

En el caso de que un estudio de costos se tenga que efectuar en un ambiente donde las relaciones causa-efecto resulten más o menos evidentes y donde no sea complicado realizar experimentos para medir con buena precisión las relaciones entre recursos consumidos y unidades de servicio generadas, el enfoque ingenieril puede tener buenos resultados. Sin embargo, en circunstancias donde aparecen diversas relaciones simultáneas entre el servicio generado, la capacidad del sistema de transporte y los insumos utilizados sin tener otra información más que las observaciones de la experiencia en la operación, los procedimientos estadísticos resultan muy adecuados.

Los datos que se usan en las estimaciones estadísticas, tanto los de corte transversal como los de series de tiempo tienen algunas características que el analista debe considerar para un uso razonable de ellos.

En el caso de datos de corte transversal, uno de los aspectos que se debe controlar es la influencia de los distintos niveles de capacidad utilizada de las unidades, regiones o subsistemas de transporte, correspondientes a los datos usados. La principal dificultad cuando se tienen datos originados en unidades con distintos niveles de uso de capacidad es que la estimación del costo marginal a largo plazo, muy probablemente puede estar sesgada. De hecho, cuando se emplean modelos de ajuste por mínimos cuadrados con las suposiciones habituales sobre las variables en datos de sección transversal, se manifiesta una tendencia a sobrestimar los costos marginales de largo plazo.

Se pueden manejar los distintos niveles de capacidad utilizada en los datos de corte transversal, incluyendo en los modelos de costo, medidas de los valores de los bienes de capital usados o de las capacidades instaladas para los distintos subsistemas o regiones que producen el servicio de transporte, “ponderando” en cierto modo los datos de producción de acuerdo a las capacidades de los subsistemas que los generan.

En el caso de los datos en forma de series de tiempo, la característica de más interés para el analista es el cambio en tecnología. El enfoque de estimación estadística implícitamente supone que los datos de costos y unidades de servicio fueron generados por una misma estructura productiva. El hecho de que aparezcan cambios de tecnología (por ejemplo, el reemplazo de tracción diesel por tracción eléctrica) naturalmente introduce distorsiones en los datos de series de tiempo, y presenta el dilema de restringir el análisis a un periodo temporal corto con pocos datos o ampliar el análisis a un periodo temporal mayor, pero que no es homogéneo en características tecnológicas.

Una manera sencilla de abordar esta dificultad es añadir al modelo de costos una variable que represente la tendencia del factor tecnológico, aunque debe notarse que esto implica que se esperan cambios tecnológicos graduales a lo largo del tiempo. Una alternativa a lo anterior, para el caso en que se presenten cambios tecnológicos notables en periodos de tiempo breves, es la inclusión de *variables ficticias*⁶ en el modelo de costos, a fin de capturar diferencias sustanciales de costos entre periodos con marcadas diferencias tecnológicas de sus procesos productivos. Este procedimiento, sin embargo, supone implícitamente que los efectos del cambio tecnológico se manifiestan de un solo golpe sobre la totalidad de costos de producción.

Otro aspecto que es de importancia al usar métodos estadísticos de estimación de costos es la práctica de extrapolar el modelo más allá de los datos históricos o experimentales con los que se cuenta, a fin de estimar comportamiento de costos en el futuro. La extrapolación en muchas ocasiones es la única propuesta de estimación de

⁶ Llamadas “dummy variables” en la literatura inglesa. Se utilizan para representar en los modelos lineales factores como: efectos temporales, efectos espaciales o información cualitativa de interés para el fenómeno modelado.

costos de que puede disponer el analista, pero no se debe olvidar que este procedimiento supone que las condiciones actuales que determinaron los costos y la producción, se mantendrán sin mucho cambio en el futuro. En muchas circunstancias resultará evidente que la suposición anterior no se cumplirá. Por ejemplo, al considerar los costos futuros del uso de nuevas tecnologías, como es el caso de los trenes de gran velocidad (con velocidades de 250 km/h en adelante). En este caso, el modelo de costos debe completarse con factores de corrección a fin de reflejar lo mejor posible las nuevas condiciones en que se producirán los datos de costos y unidades de servicio.

3.1 El modelo de regresión lineal simple.

El modelo más sencillo que expresa los costos en función del transporte producido es el de regresión lineal simple, que utiliza el conocido método de ajuste por mínimos cuadrados. En este modelo, la relación entre costos (variable dependiente) y unidades de servicio (variable independiente) se expresa por la relación lineal:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon$$

donde Y , representa los costos; X_1 las unidades de servicio (ton-km, trenes-km, etc.) y ε representa un error aleatorio entre el valor de “ Y ” observado y el valor que en promedio toma “ Y ” cuando se tienen “ X_1 ” unidades de servicio. Este error aleatorio se considera provocado por un sinnúmero de causas y por tanto se supone que es una variable aleatoria normalmente distribuida con media cero y varianza σ^2 .

Cuando se analizan datos de costos y unidades de servicio asociados a un grupo específico de gastos usando la forma lineal propuesta, los coeficientes β_0 y β_1 representan respectivamente, el costo fijo y el costo variable unitario por unidad de servicio del grupo bajo estudio. De este modo, es posible estimar el llamado coeficiente de variabilidad del grupo de gastos, que representa el porcentaje del gasto total que corresponde al costo variable.

Usualmente las rutinas de ajuste de un modelo de regresión lineal se ejecutan con algún programa de cómputo que efectúa todos los cálculos necesarios y genera un reporte de resultados. Los resultados básicos que se obtienen en el reporte son los valores estimados para β_0 y β_1 , el coeficiente de correlación r de Pearson de los datos, el coeficiente de determinación r^2 y alguna información adicional de pruebas de hipótesis sobre los coeficientes del modelo que sirven para evaluar la bondad del ajuste a los datos usados. Habitualmente se tiene la posibilidad de tener una representación gráfica de los datos usados y de la recta de ajuste obtenida.

A continuación se muestra un ejemplo de regresión lineal simple con su respectivo reporte de computadora conteniendo los resultados.

Los datos que aparecen en la Tabla 3.1 se refieren a movimientos de carga de Ferrocarriles Nacionales de México en el año 1993, y en la regresión lineal usada se relaciona al número de carros utilizados (que en cierto modo representa un costo) con las unidades de servicio expresadas en toneladas-kilómetro, para productos industriales. De la tabla puede verse que también podrían considerarse la relación entre el número de carros cargados y las toneladas netas movidas o la distancia media recorrida, que reflejan también unidades de servicio de transporte producido.

PRODUCTOS INDUSTRIALES	Carros cargados (miles)	Toneladas netas (miles)	Toneladas-km (millones)	Distancia media (kms)
1. Aceites y grasas vegetales	6.1	425.7	330.2	776
2. Alimentos preparados para animales	2.4	182.8	143.7	786
3. Aparatos de uso doméstico	7.0	85.8	75.3	878
4. Botellas de vidrio vacías	3.2	97.7	95.7	980
5. Cerveza	5.1	292.7	406.5	1389
6. Contenedores y remolques s/plataforma	38.4	1308.9	1701.7	1300
7. Desperdicios de fierro	10.3	649.0	470.7	725
8. Envases vacíos	10.5	146.0	130.9	897
9. Fertilizantes	14.0	888.2	830.0	934
10. Industria automotriz	54.8	1537.5	1058.6	689
11. Industria azucarera	10.8	652.1	352.4	540
12. Industria cementera	125.0	8497.6	3592.1	423
13. Industria del papel	44.6	2057.0	1995.7	970
14. Industria química	6.1	386.8	334.3	864
15. Productos terminados del acero	14.2	849.3	706.5	832
16. Otros productos industriales	69.6	3184.5	2396.0	752

Tabla 3.1 Productos Industriales transportados en 1993

Fuente: Ferrocarriles Nacionales de México. "Series Estadísticas 1993". México, D.F.

Las variables consideradas en la regresión, fueron: “Y” = número de carros cargados (en miles) como variable dependiente, “X1” = toneladas-kilómetro (en millones) generadas para los productos industriales. Los cálculos se efectuaron directamente en una hoja de Excel, obteniéndose los siguientes resultados.

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-2.45373	3.54952	-0.69129	0.50069	-10.06669	5.15923
Variable X1	0.03156	0.00265	11.88929	0.00000	0.02586	0.03725

Este primer cuadro contiene los valores estimados para la ordenada al origen y la pendiente del modelo lineal, resultando $\beta_0 = -2.45373$ y $\beta_1 = 0.03156$. Aparecen también los errores típicos de cada medida, que son las desviaciones estándar de los respectivos estimadores de los parámetros.

En particular, la pendiente $\beta_1 = 0.03156$ indica el cambio producido en la variable dependiente (miles de carros usados) por cada cambio unitario de la variable independiente (millones de toneladas). La ecuación de regresión ajustada es:

$$Y = -2.45373 + 0.03156 X$$

En el mismo cuadro aparece el resultado de una prueba de hipótesis sobre los coeficientes β_0, β_1 del modelo, que en ambos casos se plantea como:

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_A: \beta_i \neq 0$$

para los casos $i = 0, 1$.

El caso de mayor interés es para β_1 , la pendiente de la recta, ya que si la hipótesis nula $H_0: \beta_1 = 0$ no puede rechazarse en la prueba estadística, eso significa que no existe relación lineal entre “X1” y “Y”, o que al menos la relación que pudiera existir entre las variables no es lineal. Esta característica del modelo de regresión se conoce como *significación del modelo* y refleja la posibilidad de que la variable independiente X1 pueda dar información para predecir los valores de la variable dependiente Y.

Si la muestra de datos contiene “n” casos, la estadística para la prueba de hipótesis mencionada es una *t* de Student con $(n - 2)$ grados de libertad, cuyo valor calculado para la muestra usada se ve en el cuadro bajo el título “Estadístico t”. El número que sigue a la derecha es la probabilidad o nivel de significación con el que ocurre tal valor.

En el cuadro mostrado, la estadística t toma el valor 11.88929 con una probabilidad muy pequeña (ajustado a cinco decimales vale cero), por lo que puede rechazarse la hipótesis nula de que el coeficiente $\beta_1 = 0$; es decir, puede afirmarse que la variable X_1 realmente proporciona información para predecir los valores que tomará Y .

Si se sigue el procedimiento usual de fijar un nivel de significación del 5% para la prueba estadística, la consulta en tablas de una distribución t con $16 - 2 = 14$ grados de libertad da el valor $t_{0.025,14} = 2.1448$, que es el llamado valor crítico para el 5% de significación⁷. Claramente, el valor 11.88929 obtenido en la prueba es mayor que el crítico, de donde la hipótesis nula $\beta_1 = 0$ se rechaza. En el mismo cuadro aparecen al final los extremos inferior y superior del intervalo confianza al 95% de estimación de los valores para los coeficientes β_0 y β_1 .

El cuadro de resultados de Excel se muestra a continuación.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple r	0.95388
Coefficiente de determinación r^2	0.90988
r^2 ajustado	0.90345
Error típico	10.36690
Observaciones	16

Los valores de mayor interés en el cuadro son los coeficientes de correlación r de Pearson y el de determinación r^2 . El coeficiente r , reportado como “Coeficiente de correlación múltiple” con un valor muy cercano uno, indica una buena correlación lineal entre los datos. Conviene recordar que en casos en que los datos producen valores bajos de r , por ejemplo de 0.5 o menores, lo que puede ocurrir no es precisamente ausencia de correlación entre Y y X , sino que pudiera ser una correlación no-lineal (cuadrática, cúbica, o alguna otra).

El coeficiente de determinación r^2 , aparece en el cuadro con un valor de 0.90988. Este coeficiente es una de las medidas que indican qué tan bueno es el ajuste de los datos al modelo. Una interpretación común de r^2 , es que mide el porcentaje de la variación total

⁷ Nótese que se trata de una prueba de dos colas, ya que la hipótesis alterna es $\beta_1 \neq 0$

de los valores de “Y” que el modelo es capaz de explicar. Así, del cuadro puede decirse que el modelo lineal estimado explica el 90.988% de la variación total de los valores observados de Y. Naturalmente un alto valor de r^2 , siempre indica que el modelo construido se ajusta de muy buena manera a los datos de la muestra. El último dato en el cuadro es el error típico de la estimación, que es la desviación estándar de los datos observados *respecto a la recta de regresión*, lo que permite dar una idea gráfica de la dispersión de los datos alrededor de la recta.

La gráfica de los datos y la recta ajustada reportada por Excel, se ve en la Figura 3.1.

Variable X 1 Curva de regresión ajustada

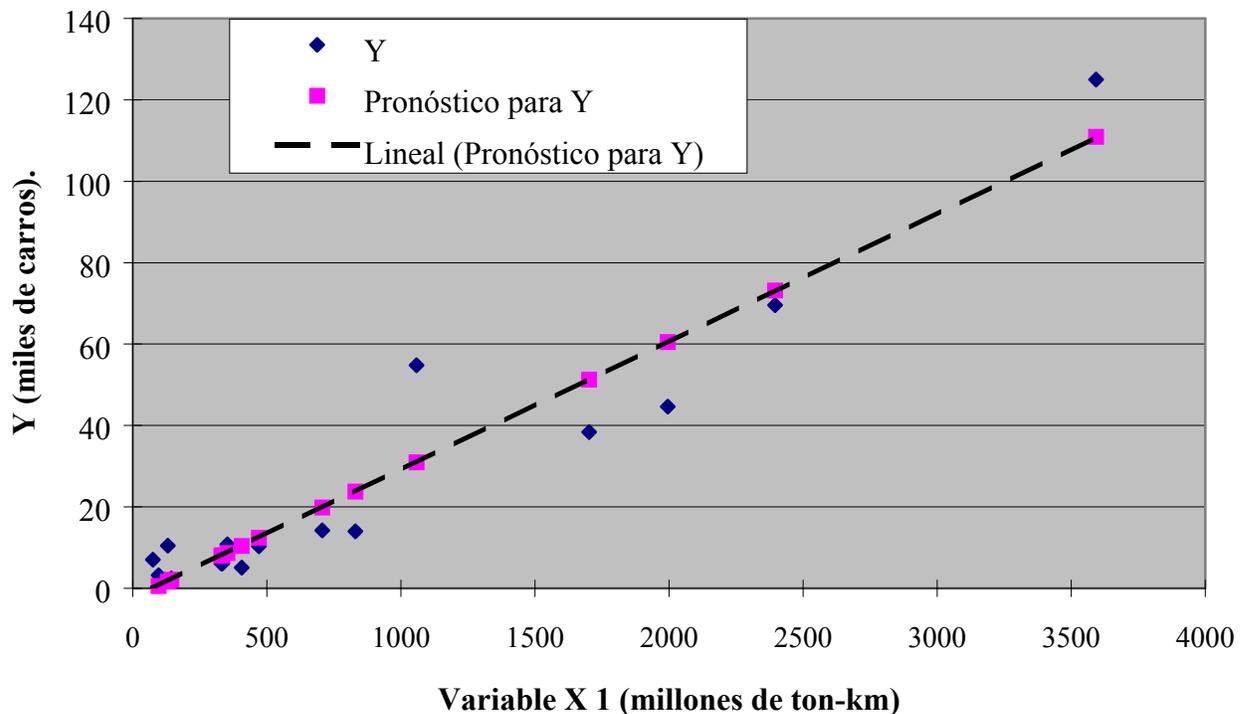


Figura 3.1. Recta de ajuste a los datos del modelo lineal

3.2 El modelo de regresión múltiple.

Las ideas que sustentan al modelo de regresión simple, se generalizan fácilmente al caso en que varias variables independientes se utilicen para determinar los valores que toma una variable dependiente. El modelo lineal considerado sería entonces el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

siendo el propósito de la rutina de regresión estimar los coeficientes β_i y obtener medidas de la bondad con la que el modelo se ajusta a los datos.

Utilizando los datos de la tabla 3.1 se corrió la rutina de regresión múltiple del paquete STATGRAPHICS para el modelo siguiente:

$$\text{Carros} = \beta_0 + \beta_1 \text{Ton_km} + \beta_2 \text{Dist_media}$$

El archivo de datos usados fue nombrado "PRODS93" y las variables aparecen en el reporte referenciadas con el nombre de archivo como prefijo. La información generada por STATGRAPHICS es la siguiente.

Model fitting results for: PRODS93.carros				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	20.210904	9.43308	2.1426	0.0517
PRODS93.ton_km	0.030003	0.002335	12.8502	0.0000
PRODS93.dist_media	-0.024749	0.009761	-2.5355	0.0249
$r^2 = 0.939702$		Std. Error of est. = 8.800157		
r^2 (Adj. For d.f.) = 0.930426		Durbin-Watson statistic = 2.79103		
16 observations fitted, forecast(s) computed for 0 missing val. of dep. var.				

Lo primero que se observa son los valores estimados para los coeficientes del modelo, con lo que la ecuación de regresión resultante es:

$$\text{Carros} = 20.210904 + 0.030003 \text{Ton_km} - 0.024749 \text{Dist_media}$$

Los valores de la prueba de hipótesis con la t de Student sobre la nulidad de los coeficientes: $\beta_j = 0$ para $j = 0, 1, 2$ se muestra también en el cuadro. Los bajos niveles

de probabilidad reportados en el cuadro para β_1 y β_2 muestran que las pruebas fueron significativas y que por tanto, las variables *ton_km* y *dist_med* realmente proporcionan información para predecir el valor de la variable *carros*. Al final del cuadro aparece el coeficiente de determinación r^2 igual a 0.939702, indicando que el modelo propuesto explica el 93.97% de la variación total observada en la variable dependiente (Carros).

Adicionalmente, en la tabla aparece el coeficiente r^2 *ajustado*, igual a 0.930426 que es una variante del coeficiente de determinación que incluye información sobre los grados de libertad asociados al tamaño de la muestra y al número de coeficientes estimados en el modelo.

Finalmente aparece el valor de la estadística de Durbin-Watson, que es una prueba diseñada para detectar autocorrelación en los errores residuales⁸ del modelo y que depende del tamaño de la muestra y del número de parámetros (coeficientes β_j) calculados. Para el ejemplo mostrado, los valores críticos de la prueba Durbin-Watson para $N=16$ datos y $K = 2$ variables explicativas a un nivel de significación del 5%, se encuentran en las tablas apropiadas dando los límites: 0.98 y 1.54, con lo que el valor 2.79103 mostrado en el reporte permite rechazar la hipótesis de autocorrelación en los errores residuales del modelo.

Una información complementaria sobre las correlaciones entre las variables se tiene en el siguiente cuadro generado por STATGRAPHICS, donde se ve claramente que la correlación entre los coeficientes de las variables explicativas “*ton_km*” y “*dist_med*” es apenas de 0.2624.

Correlation matrix for coefficient estimates			
	CONSTANT	PRODS93. ton_km	PRODS93. dist_med
CONSTANT	1.0000	-0.4592	-0.9476
PRODS93.ton_km	-0.4592	1.0000	0.2624
PRODS93.dist_med	-0.9476	0.2624	1.0000

⁸ El error residual es la diferencia entre el valor observado y el valor pronosticado por el modelo para la variable dependiente.

Finalmente, los intervalos de confianza al 95% para estimar los parámetros del modelo se proporcionan en el siguiente cuadro.

95 percent confidence intervals for coefficient estimates				
	Estimate	Standard error	Lower Limit	Upper Limit
CONSTANT	20.2109	9.43308	-0.17323	40.5950
PRODS93.ton_km	0.03000	0.00233	0.02496	0.03505
PRODS93.dist_med	-0.02475	0.00976	-0.04584	-0.00366

Conclusiones.

El costeo del servicio de transporte de carga es una actividad regular en la empresa ferroviaria. Muy aparte de los usos cotidianos en determinar bases tarifarias mínimas, medir eficiencia y productividad de los procesos de generación del servicio o evaluar proyectos de ampliación o supresión de servicios, el ambiente de privatización del servicio de transporte ferroviario suscitado en México en la década de los 90, plantea al sector transporte la necesidad de tener un marco de discusión de temas de costos y tarifas, que permita aclarar los procedimientos utilizados por los concesionarios de los servicios y mantener los lineamientos impuestos por la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario y la Ley Federal de Competencia Económica actualmente vigentes.

Por otra parte, las conocidas experiencias en las empresas ferroviarias de falta de recuperación de costos fijos, de existencia de subsidios cruzados y de las consecuentes apariciones crónicas de déficit operativo, refuerzan la idea de que es conveniente buscar mejoras a los métodos regularmente usados para costeo, a fin de eliminar todas esas deficiencias. Adicionalmente, el nuevo ambiente de competencia entre los operadores ferroviarios y entre los otros modos de transporte, abren espacio para que la información sobre los métodos de costeo usados en el servicio ferroviario de carga sean accesibles para todos los interesados en el tema, incluyendo por supuesto, a los usuarios del servicio.

Los tres métodos analizados en este trabajo se usan en la práctica en diversas condiciones y según las facilidades de manejo e implementación disponibles en la práctica.

El método de enfoque contable tiene una gran difusión, resulta relativamente sencillo de implementar y manejar, y tiene como fundamento el catálogo de cuentas que use la empresa ferroviaria y que finalmente es el criterio de separación de gastos que le permitirá hacer los cálculos de *costos medios*, para generar posteriormente los costos unitarios en función de las unidades de servicio proporcionadas. Es claro que a medida que el catálogo de cuentas refleje mejor la desagregación real de los gastos en la empresa, los resultados obtenidos con un método de costeo de base contable mejorarán. Queda sin embargo, la dificultad de manejar eficientemente la distribución de los costos fijos y la estimación de los costos de mantenimiento de infraestructura. El enfoque planteado por el sistema ABC (Activity Based Costing) parece ser prometedor y posiblemente en un futuro no muy lejano, las experiencias exitosas detectadas con este método de costeo en el ambiente del autotransporte de carga puedan ser también observadas en el servicio ferroviario.

El método ingenieril se manifiesta con grandes probabilidades de éxito siempre que se tenga la información técnica suficiente, para modelar adecuadamente las relaciones tecnológicas y económicas que describen el proceso de producción del servicio ferroviario. En el caso concreto presentado en este trabajo, con los resultados del

paquete TRCP, resulta claro que la simulación puede ser un elemento de mucha ayuda en la implantación de modelos de costeo de enfoque ingenieril. Una ventaja que el método ingenieril tiene y que no comparte con los otros métodos de costeo, es que puede en principio modelar los costos de operación resultantes de cambios tecnológicos en el sistema productivo, por ejemplo, al introducir nuevo equipo tractivo o de arrastre. Del mismo modo, el método ingenieril puede resultar una muy buena aproximación a la determinación de los costos de mantenimiento de infraestructura, siempre que se obtenga toda la información técnica adecuada para hacer el modelado. Un ejemplo de este tipo de trabajo es el desarrollo logrado por la U.I.C. en trabajo experimental para determinar los costos de mantenimiento de vías, mencionado en la sección 2.2.1

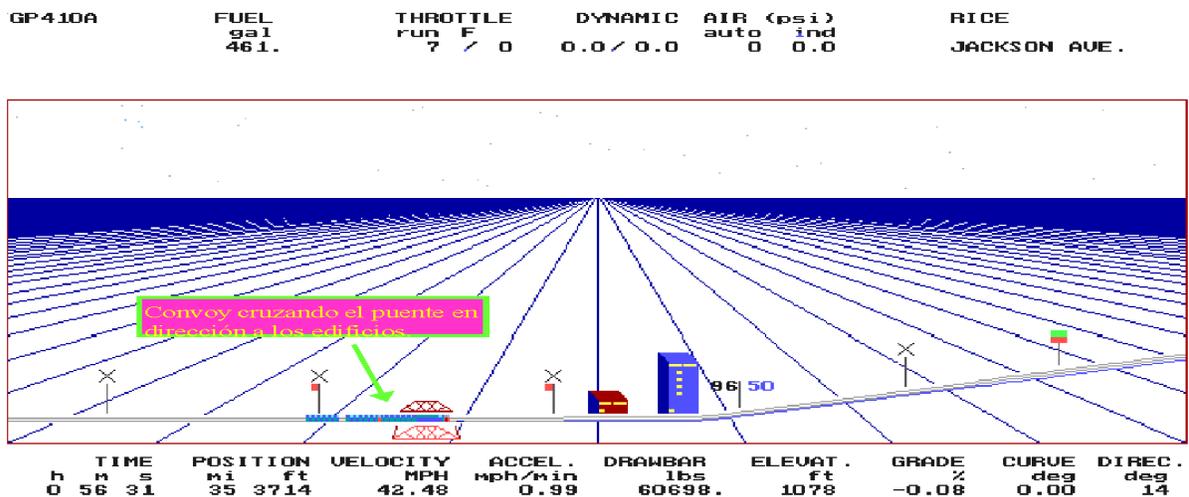
Finalmente, el método de tipo estadístico puede implantarse fácilmente y cuenta además con una gran oferta de paquetes de cómputo que realizan las rutinas de cálculo requeridas. En general los modelos usados emplean técnicas de regresión o de correlación entre las variables de interés para el analista. El hecho de que el método estadístico pueda trabajar sencillamente con datos históricos de costos incurridos y unidades de servicio generadas, le permite obtener resultados prácticamente inmediatos. Sin embargo, es conveniente no olvidar las recomendaciones básicas de la literatura estadística al respecto del uso de estos modelos. Los modelos estadísticos son construcciones matemáticas precisas que dan información de tipo probabilístico. Los valores logrados por los modelos son *estimaciones* de los parámetros de interés para el analista, y como tales tienen asociados niveles de confianza o de significación, los cuales miden *exactamente* la probabilidad con la que dichos valores resultan confiables para su manejo.

La gran debilidad del método estadístico es su evidente dependencia sobre la existencia de datos adecuados para operar eficientemente. La dificultad usual que en nuestro país se encuentra para obtener datos confiables y en suficiente cantidad, no resta mérito a la metodología estadística, pero sí al uso eficaz de la misma. Por consiguiente, una de las necesidades que salta a la vista al discutir el uso de estos métodos es la de sistematizar la colecta, conservación y organización de los datos de costos que las empresas ferroviarias generan, como una estrategia orientada al refinamiento progresivo de los resultados que los métodos de costeo estadístico (y también contable) podrán proporcionar en el futuro.

Anexo 1.

SALIDA GRÁFICA EN PANTALLA DE LA SIMULACIÓN CON TRCP

Esta gráfica muestra la salida en pantalla del paquete TRCP. Aunque el cuadro se ve en blanco y negro, el paquete genera la gráfica a color, siendo fácil su lectura. El convoy se representa por una cadena de vagones cruzando sobre la vía. En este ejemplo el tren circula de izquierda a derecha y en el instante de simulación representado, está cruzando el puente en dirección a los edificios que aparecen en el cuadro.



En la parte superior izquierda se lee: “GP410A” que es la etiqueta de referencia de la corrida (nombre del grupo de archivos de *consist*, de vía, tripulaciones, etc. utilizado). Enseguida se lee un consumo acumulado de combustible de 461 galones en el instante de la simulación que representa el cuadro; luego aparece la posición “7” del regulador de velocidad (Throttle), los valores de control del frenado dinámico y del frenado de aire y al final se ve la identificación geográfica del lugar por donde está cruzando el convoy.

En la parte inferior del cuadro se lee el tiempo simulado: 56 minutos con 31 segundos, la posición en la milla 35 con 3714 pies, la velocidad en ese instante (42.48 MPH), los valores de aceleración (0.99 mph/min), fuerza de acoplamiento (60,698 libras), así como la elevación (1,078 ft), pendiente (-0.08%) y curvatura del tramo por donde circula el tren en ese instante.

Anexo 2.

FORMACIÓN DE LOS TRENES

En este anexo se describen brevemente los criterios usados en la formación del *consist* del tren. Cada descripción incluye una clasificación del terreno por donde corre la vía con la información básica de pendientes y curvaturas, para decidir el tipo de armado del tren. Las locomotoras de referencia se suponen de 3,000 HP.

1. TERRENO PLANO: Pendientes menores a 1%. Curvas suaves, menores a 4°. Se recomienda:

1 Locomotora + 89 carros + 1 cabús, Tonelaje \leq 3,000 toneladas.

****NOTA:** se pueden armar trenes hasta de 95 carros, pero hay limitaciones por las longitudes de los escapes y por los requerimientos de tripulación adicional.

2. TERRENO DE LOMERIO: Pendientes entre 1% y 1.5%. Curvas moderadas, de 4° a 6°. Se recomiendan:

3 Locomotoras + 89 carros + 1 cabús . Tonelaje \leq 4,500 toneladas.

...o se puede armar con 6 locomotoras:

3 Locomotoras + 45 carros + 3 Locomotoras + 44 carros + 1 cabús. Tonelaje de 4,500 a 9,000 toneladas.

3. TERRENO DE MONTAÑA: Se tienen dos casos:

a) Pendientes entre 1% y 2%. Curvas fuertes, de 6° a 10°. Se recomienda:

3 Locomotoras + 30 carros + 3 Locomotoras + 29 carros +1 cabús. Tonelaje \leq 6,000 toneladas.

b) Pendientes de 2% a 3%. Curvas fuertes, de 10° a 12°. Se recomienda:

2 Locomot. + 20 carros + 2 Locomot. + 20 carros + 2 Locomot. + 20 carros +1 cabús. Tonelaje \leq 4,200 toneladas.

Fuente: Div. de Educación Continua, Facultad de Ingeniería UNAM. "ADMINISTRACION Y OPERACION FERROVIARIA", Cursos Institucionales, México, D.F., 1997.

ANEXO 3

REPORTE ECONÓMICO DEL PAQUETE TRCP

En este anexo se muestra un ejemplo del listado que proporciona el módulo económico RECAP del paquete TRCP.

En la página 1 del reporte se tiene la lista de los archivos utilizados en la simulación. Estos archivos contienen la información sobre pagos a la tripulación, paradas en el camino, *consist* usado, vía y tipo de costos de mantenimiento de vía. La etiqueta de referencia para este grupo de archivos con los que se corre la simulación aparece en el reporte como "MSD401".

```

-----
RAIL ENERGY COST ANALYSIS PACKAGE (RECAP) Ver. 2.04 Jun 6, 1988                               Page 1
INPUT FILES FOR SIMULATION MSD401:                                                           03/04/98 10:10am
FILE DESCRIPTION          PATH          NAME          LAST FILE UPDATE
-----
Crew data file           C:\TRCP      MSD401.CRW    4 Mar 1998 at 10:38
TEM Initialization file  C:\TRCP      MSD401.INI    4 Mar 1998 at 10:38
TEM Stop file            C:\TRCP      MSD401.STP    4 Mar 1998 at 10:38
TEM simulation output file C:\TRCP      MSD401.OUT    3 Mar 1998 at 17:01
Consist description file C:\TRCP      MSD401.CON    4 Mar 1998 at 10:38
Track description file   C:\TRCP      SAMPLE.TRK    13 Dec 1989 at 13:48
Track maintenance cost file C:\TRCP      MIXED.TMC     6 Feb 1987 at 10:31
*****

```

En la página 2, aparece un resumen de los pagos para las tripulaciones, considerando el tiempo y el millaje acumulados en el movimiento del convoy. En este ejemplo se usaron formas de pago incluidas en la biblioteca de archivos del paquete TRCP y que corresponden a algunas formas de pago usadas en ferrocarriles norteamericanos.

Todos los costos que se muestran en el reporte están en dólares.

```

-----
RAIL ENERGY COST ANALYSIS PACKAGE (RECAP) Ver. 2.04 Jun 6, 1988                               Page 2
CREW COSTS FOR SIMULATION MSD401:                                                           03/04/98 10:10am
CREW  PAYMENT  TOTAL  CUM.  TOTAL  CUM.  BASIC  O-MILE  O-TIME  ARBIT &  BENEFITS  TOTAL
#    METHOD    TIME   TIME  MILES  MILES  PAY $  PAY $  PAY $  OTHER $  $         COMP $
-----
1  0.Hourly  01:12  01:12  48.29  48.29  342.60  0.00  0.00  100.00  92.50  535.10
2  1 Intra-D  01:46  02:59  51.33  99.62  400.00  0.00  0.00  200.00  140.00  740.00
-----
TOTAL:                                                                                       1,275.10
*****

```

La página 3 contiene un resumen de los costos de depreciación y utilización del equipo empleado en el movimiento. En el ejemplo, a continuación se describe un *consist* que

utiliza 3 locomotoras tipo SD40 y 100 furgones de carga. Aparecen también el tiempo y el millaje durante los cuales se utilizó el equipo y el cálculo final de los costos involucrados. La tasa de descuento usada fue 12%.

```

-----
RAIL ENERGY COST ANALYSIS PACKAGE (RECAP) Ver. 2.04 Jun 6, 1988                               Page 3
EQUIPMENT COSTS (at 12.00% discount rate) FOR SIMULATION MSD401:                               03/04/98 10:10am
EQUIP-  NUMBER   PURCHASE   HOURLY   TOTAL   TOTAL   REPAIR   TOTAL   TOTAL   TOTAL
MENT    OF        PRICE      OWNERSHP  HOURS   OWNERSHP  COST PER  MILES   REPAIR   COST
TYPE   UNITS      (EACH)     COST $    OPER.   COST $    MILE $    OPER.   COST $    DOLLARS
-----
SD40    3      1,250,000   21.21    2.99    190.32    1.00     99.62   298.86   489.18
BOXCAR  100     38,000      0.58     2.99    173.57    0.07     99.62   697.34   870.92
-----
MSD401  103                                     363.90                                     996.20   1,360.10
-----
TOTAL                                     363.90                                     996.20   1,360.10
-----
*****
    
```

La página 4 del reporte da información de los costos generados en el movimiento en sus diversas etapas. En el ejemplo que se muestra enseguida aparecen las millas acumuladas en cada segmento de la vía, los tiempos usados en los recorridos, el uso del combustible en los tiempos que las locomotoras están holgando y el consumo de combustible por tramo y el valor acumulado. Para el ejemplo usó un costo de US\$ 1.27 por galón.

```

-----
RAIL ENERGY COST ANALYSIS PACKAGE (RECAP) Ver. 2.04 Jun 6, 1988                               Page 4
FUEL COSTS (at 1.27 per gallon) FOR SIMULATION MSD401:                               03/04/98 10:10am
STOP    SEGMENT   ELAPSED   RUNNING   IDLE   ELAPSED   IDLE   RUNNING   FUEL   CUM. FUEL   CUM. FUEL
NUMBER  LENGTH    MILES     TIME      TIME   TIME      FUEL   FUEL     COST $  CONSUMED    EXPENSE
-----
MSD401-1  48.29     48.29     01:12     00:15   01:28     0      491     623.57   491         623.57
MSD401-2  51.33     99.62     01:31     00:15   03:14     0      565     717.55   1,056       1,341.12
-----
TOTAL                                     02:44     00:30
NOTE:  MSD401 stop 2 ocured 1,612 feet beyond the scheduled stop.
-----
*****
    
```

La página 5 desglosa los costos relacionados con el mantenimiento de la vía del recorrido. En el listado se muestran las referencias geográficas de los lugares de inicio y fin del movimiento, las millas de los segmentos, los valores de tonelada-milla totales y los correspondientes al *consist* usado (que aparecen en millones de ton-mi brutas, Million Gross Ton Miles = "MGTM") y finalmente aparecen los costos asociados a la circulación sobre tramos tangentes y tramos con curvas.

```

-----
RAIL ENERGY COST ANALYSIS PACKAGE (RECAP) Ver. 2.04 Jun 6, 1988                               Page 5
TRACK MAINTENANCE COSTS FOR SIMULATION MSD401:                                           03/04/98 10:10am
START      END          LENGTH  TOTAL  CONSIST  TANGENT  TANGENT  CURVED  CURVED  TOTAL TRACK
STATION    STATION    MILES   MGTM   MGTM     MILES    COST $   MILES  COST $  MAINT.COST
-----
80 WOODLAND D -HOLLY HILLS  99.93  2,591.811  1.086  99.223  161.04   0.703  12.63   173.67
-----
TOTAL                99.93  2,591.811  1.086  99.223  161.04   0.703  12.63   173.67
-----
*****

```

La página 6 resume la información de los costos de las páginas anteriores del reporte, mostrando organizada la información según el concepto que genera el costo. En el primer subtotal se acumulan los costos asociados con el movimiento del convoy solamente, y en el segundo subtotal se agregan los pagos a las tripulaciones para dar el costo total del servicio de transporte. Se muestra en este resumen los costos totales, así como los correspondientes a cada 1000 ton-mi brutas (100 GTM = 1000 Gross Ton-Miles), los costos por cada 1000 ton-mi netas y los costos por millón de pies cúbicos-milla (Cubic Feet-Mile = CFM), para el caso en que la carga tenga una caracterización de volumen más que de peso.

Comparación de tres métodos de costeo de servicios de transporte de carga ferroviario

```

-----
RAIL ENERGY COST ANALYSIS PACKAGE (RECAP) Ver. 2.04 Jun 6, 1988                               Page 6
RECAP COST SUMMARY FOR SIMULATION MSD401:                                               03/04/98 10:10am

```

CATEGORY	TOTAL COST	COST PER 1000 GTM	COST PER 1000 NTM	COST PER MILLION CFM
Locomotive Ownership Costs	190.32	0.176	0.273	4.776
Locomotive Running Costs	298.86	0.276	0.429	7.500
Car Ownership Costs	173.57	0.160	0.249	4.356
Car Running Costs	697.34	0.644	1.000	17.500
Fuel Costs	1,341.12	1.239	1.923	33.656
Track Maintenance Costs	173.67	0.160	0.249	4.358

MSD401 SUBTOTALS:	2,874.89	2.655	4.123	72.146

Locomotive Ownership Costs	190.32	0.176	0.273	4.776
Locomotive Running Costs	298.86	0.276	0.429	7.500
Car Ownership Costs	173.57	0.160	0.249	4.356
Car Running Costs	697.34	0.644	1.000	17.500
Fuel Costs	1,341.12	1.239	1.923	33.656
Track Maintenance Costs	173.67	0.160	0.249	4.358
Crew Costs	1,275.10	1.178	1.829	31.999

MSD401 TOTALS:	4,150.00	3.833	5.951	104.145

Bibliografía.

- Auzmendi, Alvaro R., *"TEM/RECAP CONTROL PROGRAM (TRCP)"*. Version 1.0. User's Manual, Association of American Railroads, Research and Test Department, Washington, D.C., 1989.
- Bereskin, Gregory C., *"An econometric alternative to URCS (Uniform Railroad Costing System)"*, The Logistics and Transportation Review, Volume 25, Number 2, 1989.
- Cooper, Robin and Kaplan, Robert S., *"Profit priorities from Activity-Based Costing"*, Harvard-Business Review, may-june 1991.
- División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería UNAM. *"ADMINISTRACION Y OPERACION FERROVIARIA"*, Cursos Institucionales, México, D.F., 1997.
- Drish, William F. Jr., *"TRAIN ENERGY MODEL"*. User's Manual. Version 1.5, Association of American Railroads, Research and Test Department, Washington, D.C., 1989.
- Gómez Madrigal, Alfonso, *"Método para la determinación de costos del servicio de transporte de carga en los Ferrocarriles Nacionales de México"*, Revista de la Comisión Nacional del Congreso Panamericano de Ferrocarriles, Organismo técnico de la OEA, noviembre, 1978.
- Gujarati, Damodar. *"Econometría"*, Editorial McGraw-Hill, México, D.F., 1983.
- Harrington, Lisa H., *"It's time to rethink your logistics costing"*. Transportation & Distribution. July 1995.
- Meyer, John R. And Straszheim Mahlon R., *"Techniques of transport planning"*. Volume One, Pricing and Project Evaluation, The Brookings Institution, Transport Research Program, Washington, D.C. 1970.
- Minitab Inc. *"MINITAB USER'S GUIDE"*. Release 11 for Windows. State College, PA, USA, 1996.
- Morlok, Edward K., *"Introduction to transportation engineering and planning"*, McGraw-Hill, Inc., U.S.A., 1978.
- Ness, Joseph A. and Cucuzza Thomas, *"Tapping the Full Potential of ABC"*, Harvard Business Review, July-August 1995.
- Pérez Sanz, Javier, *"La variabilidad de los costos de conservación de la vía frente a las variaciones del tráfico"*, Simposio sobre la Reestructuración y Privatización de los Ferrocarriles. ALAF/CEPAL, Santiago de Chile, noviembre de 1992.

Pohlen, Major Terrance L., *Applications of activity-based costing within logistics: who is using activity-based costing and where ?*, Council of Logistics Management, Annual Conference Proceedings, Washington, D.C., October 1993.

Romero Ceceña, Alfredo, *“La contabilidad gerencial y los nuevos métodos de costeo”*, Instituto Mexicano de Contadores Públicos, A.C., México, 1993.

Stephens, G.W., *“RAIL ENERGY COST ANALYSIS PACKAGE (RECAP)”*. User’s Manual, Association of American Railroads, Research and Test Department, Washington, D.C., 1989.

The World Bank, *“Mexico. Transport pricing study”*, Report No, 6580-ME, Projects Department, Latin America and the Caribbean Regional Office, 1987.



CIUDAD DE MEXICO

Av. Patriotismo 683
Col. Mixcoac
03730, México, D. F.
Tel (55) 56 15 35 75
55 98 52 18
Fax (55) 55 98 64 57

SANFANDILA

Km. 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro.
Tel (442) 2 16 97 77
2 16 96 46
Fax (442) 2 16 96 71

Internet: <http://www.imt.mx>
publicaciones@imt.mx