



2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"PROYECTO DE AMPLIACIÓN DE
CAPACIDAD DE LA LÍNEA FÉRREA
MÉXICO - QUERÉTARO"

TESIS PROFESIONAL

ING. CIVIL

DIRECTOR DE TESIS
ING. FRANCISCO GOROSTIZA PÉREZ

ALUMNO
ALARCÓN MONTERO, RODRIGO ALEJANDRO

MÉXICO, D.F.

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

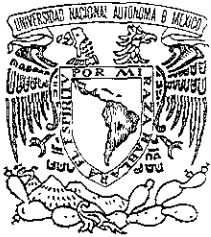


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/026/00

Señor
RODRIGO ALEJANDRO ALARCON MONTERO
Presente

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

"PROYECTO DE AMPLIACION DE CAPACIDAD DE LA LINEA FERREA MEXICO-QUERETARO"

- INTRODUCCION
- I. ANTECEDENTES
 - II. ANALISIS DE CAPACIDAD DE LA LINEA MEXICO-QUERETARO
 - III. PROYECCION DEL TRAFICO DE TRENES A FUTURO
 - IV. DETERMINACION DE PROYECTOS PARA AMPLIACION DE LA CAPACIDAD
 - V. CALCULO DE LAS INVERSIONES
 - VI. EVALUACION FINANCIERA
 - VII. PROGRAMACION DE LAS OBRAS
 - VIII. CONCLUSIONES

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 9 de marzo de 2000.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GEB/GMP/mstg

DEDICATORIA

A MIS PADRES, LUISA Y ALEJANDRO, POR SER EJEMPLO DE DIGNIDAD Y LUCHA

A MI ABUELA, ADRIANA, POR EL CARIÑO Y SU ENORME AMOR A LA VIDA

A MI HERMANO, PABLO, POR LO MUCHO COMPARTIDO

A MI FAMILIA POR SER FUNDAMENTO Y PARTE DE MI EXISTENCIA

A MIS AMIGOS DE TODA LA VIDA

A CLAUDIA POR SER MI COMPLICE Y COMPAÑERA

AGRADEZCO PARTICULARMENTE AL INGENIERO FRANCISCO GOROSTIZA, POR SU
APOYO Y ORIENTACIÓN A LO LARGO DEL DESARROLLO DE ESTA TESIS

AGRADEZCO A LA UNAM, POR DARMÉ LA OPORTUNIDAD DE FORJARME COMO HOMBRE
Y SER HUMANO

18 - JULIO - 2000

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

I. ANTECEDENTES

- 1.1) FERROCARRILES NACIONALES DE MÉXICO
- 1.2) ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA LÍNEA MÉXICO - QUERÉTARO.
- 1.3) BASES Y OBJETIVOS DE LA PRIVATIZACIÓN DE LOS FERROCARRILES.
 - 1.3.1) *Principios fundamentales.*
 - 1.3.2) *Objetivo del proceso.*
- 1.4) CONCESIONES.

II. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA LÍNEA MÉXICO - QUERÉTARO

- 2.1) CONSIDERACIONES TEÓRICAS.
- 2.2) SISTEMAS DE CONTROL Y DESPACHO DE TRENES.
 - 2.2.1) *Características principales de los sistemas de control OT, CDT, CTC.*
- 2.3) CAPACIDAD MÁXIMA EN TRENES POR DÍA EN UNA VÍA SENCILLA
 - 2.3.1) *Análisis de capacidad de líneas.*
 - 2.3.2) *Resultados.*

III. PROYECCIÓN DEL TRÁFICO DE TRENES A FUTURO

- 3.1) BASES PARA LA PROYECCIÓN DEL TRÁFICO DE TRENES A FUTURO.
- 3.2) CRITERIO PARA EL CÁLCULO DEL NÚMERO DE TRENES POR DÍA.
- 3.3) TONELAJE DE LOS TRENES.
 - 3.3.1) *Consideraciones teóricas.*
 - 3.3.2) *Cálculo de la capacidad de arrastre.*

IV. DETERMINACIÓN DE PROYECTOS PARA AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD

- 4.1) ELEMENTOS DE LA VÍA.
 - 4.1.1) *Rieles.*
 - 4.1.2) *Durmientes.*
 - 4.1.3) *Terraplenes.*
 - 4.1.4) *Balasto.*
 - 4.1.5) *Accesorios de los rieles.*
- 4.2) REHABILITACIÓN DE VÍAS
- 4.3) REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DE LADEROS
- 4.4) MODERNIZACIÓN DE SEÑALES.
- 4.5) REFORZAMIENTO DE PUENTES.

V. CÁLCULO DE LAS INVERSIONES

- 5.1) REHABILITACIÓN DE VÍAS
- 5.2) REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DE LADEROS.
- 5.3) REFORZAMIENTO DE PUENTES
- 5.4) MODERNIZACIÓN DE SEÑALES
- 5.5) COSTO TOTAL DE LAS INVERSIONES.

VI. EVALUACIÓN FINANCIERA

- 6.1) ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD
- 6.2) ANÁLISIS DE COSTOS.
- 6.3) ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO.
- 6.4) MODERNIZACIÓN DE SEÑALES
- 6.5) COSTO TOTAL DE LAS INVERSIONES.

VII. PROGRAMACIÓN DE LAS OBRAS

VIII. CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

RELACIÓN DE TABLAS

II. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA LÍNEA MÉXICO - QUERÉTARO

- TABLA 2.1) CAPACIDAD ACTUAL PARA TRENES DE 90 CARROS.
- TABLA 2.2) CAPACIDAD ACTUAL PARA TRENES DE 45 CARROS.

III. PROYECCIÓN DEL TRÁFICO DE TRENES A FUTURO

- TABLA 3.1) PRODUCTO INTERNO BRUTO TRIMESTRAL
- TABLA 3.2) PRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES (1998 - 1999).
- TABLA 3.3) POBLACIÓN TOTAL (1990 - 1997).
- TABLA 3.4) VOLÚMENES DE CARGA (TRAMO MÉXICO - QUERÉTARO)
- TABLA 3.5) N° DE TRENES POR AÑO.
- TABLA 3.6) DISTRIBUCIÓN DE LOS TRENES POR DÍA.
- TABLA 3.7) N° MÁXIMO DE TRENES POR DÍA.
- TABLA 3.8) VELOCIDADES (CAPACIDAD DE ARRASTRE)
- TABLA 3.9) RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ARRASTRE.

IV. DETERMINACIÓN DE PROYECTOS PARA AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD

- TABLA 4.1) CÁLCULO DE LA VIDA ÚTIL DEL RIEL.
- TABLA 4.2) ANÁLISIS DE COSTOS DE LOS RIELES.

V. CÁLCULO DE LAS INVERSIONES

VI. EVALUACIÓN FINANCIERA

- TABLA 6.1) VELOCIDADES MÁXIMAS Y TIEMPOS DE RECORRIDO (TREN METALERO).
- TABLA 6.2) VELOCIDADES MÁXIMAS Y TIEMPOS DE RECORRIDO (TREN DE CONTENEDORES)
- TABLA 6.3) VELOCIDADES MÁXIMAS Y TIEMPOS DE RECORRIDO (TREN CEMENTERO)
- TABLA 6.4) VELOCIDADES MÁXIMAS Y TIEMPOS DE RECORRIDO (TREN DE FLETE VARIADO)

TABLA 6.5) ANÁLISIS DE COSTOS CON PROYECTO.
TABLA 6.6) ANÁLISIS ACTUAL DE COSTOS (SIN PROYECTO).
TABLA 6.7) EVALUACIÓN FINANCIERA (ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO).

VII. PROGRAMACIÓN DE LAS OBRAS

TABLA 7.1) PROGRAMACIÓN DE LAS OBRAS.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el intercambio comercial entre la mayoría de las naciones se ha incrementado en virtud de innovaciones tecnológicas y cambios radicales en los conceptos del transporte y de la distribución masiva. Dicho intercambio, enmarcado en una economía mundial que tiende a la globalización, incide directamente en la economía nacional, haciendo del sector transporte una de las bases fundamentales para el desarrollo de nuestro país. Bajo este contexto, el subsector ferroviario toma particular importancia, ya que presenta una opción sumamente competitiva, en cuanto a eficiencia, seguridad y rentabilidad, en relación con otros medios de transporte, como es el autotransporte.

Lamentablemente en nuestro país, durante la década de los años 80, el ferrocarril perdió competitividad frente a otros medios de transporte, debido principalmente a las restricciones presupuestales para realizar inversiones en infraestructura, equipos y mantenimiento. Para inicios de los noventa surgió la necesidad de incrementar la capacidad y la eficiencia en la operación de las líneas ferroviarias, de tal forma que conjuntamente con otros modos de transporte, en operaciones intermodales y multimodales, contribuyeran al aumento de la captación de altos volúmenes de carga, permitiendo canalizar un número mayor de clientes, nacionales e internacionales. Pero no fue hasta 1994 que se permitió a la iniciativa privada invertir en el subsector ferroviario, participando directamente en su proceso de modernización.

Un aspecto importante que ayudó al fortalecimiento del sistema ferroviario mexicano fue el Tratado de Libre Comercio (TLC), pues las nuevas condiciones de mercado establecidas por el intercambio comercial con dos países altamente tecnificados, forzaron el mejoramiento en cuanto a su infraestructura y su operación dentro de la estandarización obligada que dichos tratados implantaron como reglamentaria.

Con base en lo expuesto anteriormente, la importancia de conocer los procedimientos que constituyen la transición del proceso modernizador del subsector ferroviario, surge como eje medular de esta tesis, tomando como ejemplo uno de los tramos más importantes de la red ferroviaria: El tramo México - Querétaro (línea "B"), ya que éste es paso obligado de las principales vías troncales del país, las cuales son:

VIAS TRONCALES MAS IMPORTANTES	LONGITUD (Km)
MÉXICO - Puebla - Orizaba - VERACRUZ	418
MÉXICO - Querétaro - San Luis Potosí - Monterrey - NUEVO LAREDO	1.200
MÉXICO - Querétaro - Irapuato - Aguas Calientes - Zacatecas - Chihuahua - CD. JUÁREZ	1.967
MÉXICO - Querétaro - Irapuato - Guadalajara - Tepic - Culiacán - Hermosillo - NOGALES	2,353

Dichos procedimientos se ven ejemplificados de manera global en el trabajo aquí presentado, el cual muestra, bajo los principios de la planeación, el siguiente método de análisis y evaluación:

- Análisis de la capacidad actual de la línea.
- Análisis de la demanda.
 - Obtención de las tasas de crecimiento aplicadas a los volúmenes de carga.
 - Número máximo de trenes esperado por día.
 - Análisis de la capacidad de arrastre. Obtención del número máximo de locomotoras por tren en función de la pendiente y el peso bruto transportado.
- Evaluación de la infraestructura de la vía.
- Evaluación de los sistemas de operación de la línea (Despacho de trenes).
- Propuestas para el mejoramiento de la infraestructura y sistemas de operación de la línea.
- Cálculo de las inversiones.
- Evaluación Financiera.
 - Análisis del incremento en la capacidad de la línea una vez realizadas las obras de modernización.
 - Cálculo de los costos de operación y mantenimiento.
 - Análisis Costo-Beneficio.
- Programación de las Obras

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1) FERROCARRILES NACIONALES DE MÉXICO

Los ferrocarriles mexicanos han desempeñado a lo largo de su historia distintos e importantes papeles, como la integración territorial y consolidación económica, social y política de la Nación. Sin embargo, como resultado de problemas acumulados por años, Ferrocarriles Nacionales de México mostró en la segunda parte de la década de los ochenta su incapacidad para seguir creciendo y para superar el deterioro progresivo en el que estaban cayendo. Dichos problemas se debieron a varios factores, tales como:

- a. *Disminución de la demanda.* El tráfico de carga disminuyó debido al lento crecimiento de algunos sectores de la economía ligados fuertemente a la actividad ferroviaria, así como por la competencia y mejor servicio proporcionado por los autotransportistas.
- b. *La política de saneamiento de la economía nacional emprendida por el Gobierno Federal.* Dicha política implicó una disminución de subsidios a la operación ferroviaria, así como la aplicación de aumentos tarifarios por encima de la inflación y por arriba de las cuotas del autotransporte, disminuyendo una de las ventajas competitivas del ferrocarril, su bajo costo relativo.
- c. *Disminución en la productividad.* Debido a la falta de agresividad comercial y flexibilidad tarifaria, así como al atraso tecnológico en el área operativa, los altos costos fijos (principalmente de mano de obra), la ausencia de autonomía en decisiones fundamentales y la falta de recursos para mantenimiento de activos, provocaron deficiencias en la calidad de los servicios ofrecidos, ocasionando la pérdida de competitividad e incapacidad para captar volúmenes de carga no tradicional y de alta rentabilidad
- d. *Disminución en las inversiones para la modernización y ampliación de la capacidad.* Éstas estuvieron limitadas a transferencias decrecientes del Estado para este fin (con una disminución importante a partir de 1988) y restringidas a la contratación de nuevos créditos y la capacidad para pagar los servicios de la deuda.

1.2) ANTECEDENTES HISTORICOS DE LA LÍNEA MÉXICO - QUERÉTARO

Desde el siglo XIX, entre México y Querétaro hubo dos líneas ferroviarias:

1. La línea "A" del Ferrocarril Central Mexicano que corría de México a Ciudad Juárez.

2. La línea "B" del Ferrocarril Nacional Mexicano, que comunicaba la Capital de la República con Nuevo Laredo.

Ambas líneas fueron originalmente privadas, pero pasaron a formar parte de Ferrocarriles Nacionales de México a principios del siglo XX.

Posteriormente a principios de la década de los setenta se empezó a construir la vía doble México - Querétaro. En 1978 se decide su electrificación, obra que no se concluye y no se pone en operación sino hasta 1994. Al tomar el sector privado la concesión de esta nueva ruta, se determina el levantamiento parcial de la catenaria, por falta de rentabilidad. Con la nueva vía doble desaparece casi en su totalidad la línea "A" y la línea "B" permanece en servicio como una ruta secundaria en beneficio de las empresas cementeras de las zona y para los trenes con plataformas de doble estiba, pero siempre, con volúmenes relativamente reducidos y gastos de mantenimiento insuficientes.

En la distribución que se hizo de la red ferroviaria mexicana como parte del proceso de concesión al sector privado iniciado en 1995, la doble vía electrificada México - Querétaro quedó en manos de Transportación Ferroviaria Mexicana (TFM) y la línea "B" es operada por Ferrocarril Mexicano (Ferromex). Al entrar en vigor la concesión de Ferromex, la línea "B" se convierte en una de las vías troncales más importantes de esta empresa, por ser su único acceso a la Capital de la República. Sin embargo, por sus especificaciones geométricas y malas condiciones físicas, se hizo necesario realizar de inmediato diversas inversiones para poder competir con TFM, principalmente rehabilitación de vías con riel nuevo de alto calibre, soldado continuo sobre durmiente de concreto y sujeción elástica, reforzamiento de puentes, ampliación de laderos y modernización integral del sistema de señales. Estas obras fueron iniciadas en 1999 y se tiene programada su terminación durante el año 2000.

1.3) BASES Y OBJETIVOS DE LA PRIVATIZACIÓN DE LOS FERROCARRILES

Fue a partir de la modificación al párrafo cuarto del artículo 28 constitucional y de la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario (Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de mayo de 1995), que la iniciativa privada se vio ante la posibilidad de invertir en el sector ferroviario de nuestro país, en áreas como concesión de líneas; nuevas obras de infraestructura; equipamiento y operación de terminales; trenes unitarios privados; explotación de ramales; arrendamiento de equipo; consolidación, distribución y acopio de fletes; almacenamiento de carga; comercialización de trenes de pasajeros; zonas de abasto, telecomunicaciones y señales; talleres y mantenimiento mecanizado de vía, entre un sinnúmero de opciones.

Dicha apertura a la iniciativa privada se inició bajo las premisas de promover un servicio seguro y eficiente, así como de fomentar una mayor competencia con otros modos de transporte, promoviendo la coordinación con los mismos y conservando la propiedad del derecho de vía e infraestructura para el Estado. Se

buscó contar con nuevos instrumentos legales y administrativos para asegurar que los ferrocarriles cumplan con el sentido de servicio público que la sociedad necesita, sin eliminar las responsabilidades del Estado.

Por otro lado, se procuró una adecuada rentabilidad para los inversionistas privados, bajo un proceso de licitaciones transparentes, rápidas y de amplia participación mediante el otorgamiento de concesiones (mediante concursos públicos) y permisos estimulando el sano crecimiento de la economía, creando fuentes de empleo directos e indirectos, y abatiendo los costos de transportación. Asimismo, con el objetivo de sanear las finanzas de la empresa el Gobierno Federal aceptó hacerse cargo de la deuda externa a fin de dejar la economía de la paraestatal sin mayores recargos para los compradores.

1.3.1) Principios fundamentales

El proceso de apertura a la inversión privada en el sistema ferroviario mexicano se normó, en todo momento, por los siguientes principios fundamentales.

1. Promover el desarrollo de la infraestructura ferroviaria del país y el incremento de la eficiencia en el sistema de transporte en general, para la conformación de un sistema de Transporte Multimodal.
2. Conformar un sistema ferroviario más seguro, competitivo, moderno y eficiente, que coadyuve al intercambio de mercancías y al impulso del comercio exterior de nuestro país y, en general, a comunicar de mejor manera a los mexicanos.
3. Fortalecer al Estado en el cumplimiento de su función de rectoría y autoridad, para asegurar que la prestación del servicio ferroviario se realice en condiciones que beneficien a la sociedad, preservando la soberanía nacional.
4. Fomentar la inversión privada y social en el sector para acelerar su proceso de modernización, así como generar empleos productivos y permanentes.
5. Garantizar, en términos de ley, que los derechos de los trabajadores ferrocarrileros activos, jubilados y pensionados, sean respetados.
6. Asegurar al Gobierno Federal las mejores condiciones y contra prestaciones en cuanto a precio, oportunidad y demás circunstancias pertinentes, como resultado de un proceso transparente y con reglas claras.

1.3.2) Objetivo del proceso

Es objetivo de este proceso, la apertura a la inversión privada en el sistema ferroviario mexicano, mediante licitaciones públicas para:

- a. La enajenación de títulos propiedad del Gobierno Federal, representativos del capital social de cada una de las Empresas Ferroviarias.

- b. El otorgamiento de concesiones no comprendidas en las Empresas ferroviarias para la operación y exploración de Vías Cortas, construcción, operación y exploración de Vías Nuevas y, en su caso, para la presentación del servicio público de transporte ferroviario.

Para otorgar una concesión, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) puntualiza que el usufructuario, además de poder contratar con terceros la construcción, operación, conservación o mantenimiento de las vías férreas, será el único responsable ante el gobierno federal del mejoramiento y calidad de los servicios prestados durante el tiempo que dure la concesión. Por otro lado, la SCT no sólo tomará en cuenta la oferta monetaria, sino también el plan de negocios y la capacidad técnica y jurídica de las empresas postoras.

Los concesionarios del servicio ferroviario mexicano podrán fijar libremente las tarifas cuando exista competencia efectiva, es decir, cuando haya dos o más prestadores del servicio entre los diferentes modos de transporte en la misma ruta o por rutas alternativas, o cuando habiendo un solo prestador no existan barreras relevantes de acceso al mercado de que se trate.

En cuanto al papel del Gobierno Federal, éste conservará en todo momento la propiedad de las vías férreas y su derecho de vía, además de que establecerá un esquema de concesiones que permita generar los ingresos suficientes para estimular la inversión privada en este sector, incluyendo mantenimiento, mejoras a la infraestructura y nuevas líneas.

El reglamento interno de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), estableció en su artículo 21 que la Dirección General de Tarifas, Transporte Ferroviario y Multimodal, fuera la encargada de proponer y promover las políticas y programas de desarrollo, promoción, regulación y supervisión del transporte ferroviario y del Transporte Multimodal, así como fomentar la operación intermodal de los distintos modos de transporte para conformar un sistema integral. Entre otras facultades que se le otorga a dicha Dirección se encuentran:

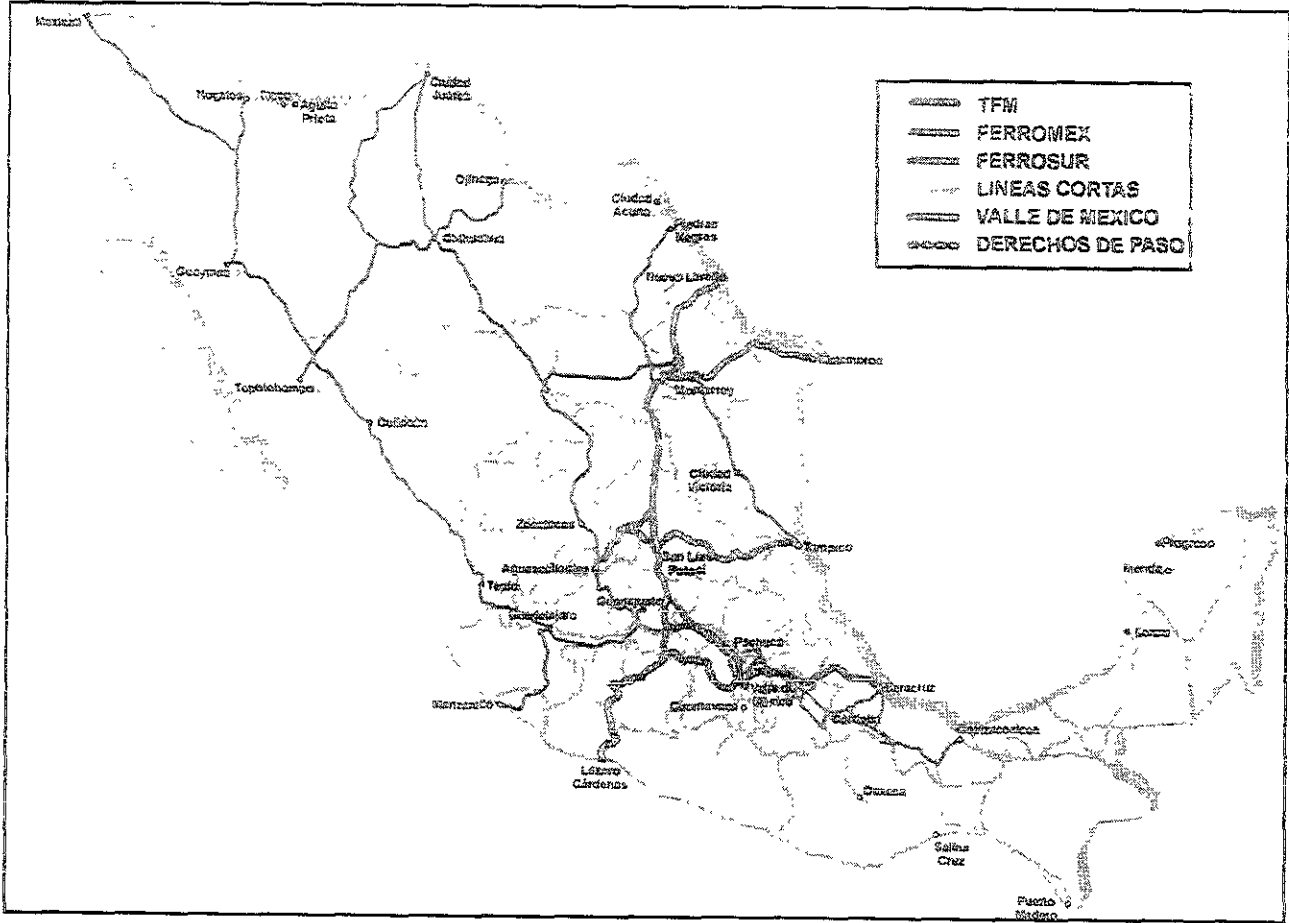
1. Tramitar las peticiones relativas al otorgamiento de concesiones.
2. Definir las características, tipo y ubicación de las vías generales de comunicación ferroviaria a ser construidas o reconstruidas.
3. Imponer modalidades en la operación y explotación de las vías férreas, así como en la prestación de los servicios ferroviarios.
4. Ejercer las atribuciones de la Secretaría respecto de las tarifas y precios en materias ferroviarias

5. Verificar el cumplimiento de las leyes, reglamentos, normas oficiales mexicanas, concesiones, permisos, autorizaciones y demás disposiciones administrativas.

1.4) CONCESIONES

1. *Ferrocarril Pacífico Norte.* Comunica desde Mexicali a las ciudades de Nogales, Hermosillo, Piedras Negras, Mazatlán, Querétaro, Zacatecas, Torreón, Chihuahua y Ciudad Juárez, enlazando a la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey. Además conecta los puertos de Manzanillo y Tampico. Fue concesionado el 19 de febrero de 1998 a la empresa Ferrocarril Mexicano (Ferromex), del Grupo México y a la Union Pacific.
2. *Ferrocarril del Noroeste.* Contempla la ruta Nuevo Laredo - Piedras Negras - Saltillo - Tampico - San Luis Potosí - México y cuenta con acceso a los puertos de Veracruz, Tampico y Lázaro Cárdenas. Se concesionó el 23 de junio de 1997 a Transportación Ferroviaria Mexicana (TFM), Transportación Marítima Mexicana (TMM) y Kansas City Sounthen Industries.
3. *Ferrocarril del Sureste.* Enlaza a la ciudad de México con el puerto de Veracruz y a éste con el de Coatzacoalcos, así como con la península de Yucatán. Contempla la ruta Veracruz - Coatzacoalcos - Salina Cruz, con ramales a Tapachula y Campeche - Mérida - Puerto Progreso. El 8 de diciembre de 1998 se concesionó a Triturados Basálticos (Tribasa), pero después pasó a poder de Ferrosur, a través de Inbursa y el Grupo Carso, en sociedad con Omnitrax y Kingsley Group.
4. *Terminal del Valle de México.* En relación con los títulos representativos del capital social de la terminal del Valle de México, el Gobierno Federal podrá enajenarlos mediante el procedimiento de licitación correspondiente; o bien, transmitirlos a las Empresas Ferroviarias para ser considerados como parte de su activo, previamente al proceso de licitación de estas últimas.
5. *Líneas Cortas.* Las principales son: Coahuila - Durango concesionado a GAN-Peñoles, ruta Nacuzari concesionado a Grupo México y Chiapas-Mayab cuya concesión se otorgó a Genesee Wyoming, INC.

SISTEMA FERROVIARIO



CAPITULO II

ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA LÍNEA "B" MÉXICO - QUERÉTARO

Este análisis se realizará con base en los distintos sistemas de despacho de trenes, los cuales permitirán saber la capacidad actual de la línea. El resultado obtenido a partir de dicho análisis dará las bases para el planteamiento de las modificaciones necesarias, tanto en la estructura de la vía como en el sistema de señales, con el objetivo de satisfacer la demanda esperada en los próximos años.

2.1) CONSIDERACIONES TEÓRICAS

La *vía sencilla* del ferrocarril se define como una ruta entre dos puntos terminales o subterminales, la cual permite el tránsito de trenes en ambas direcciones por medio del uso de vías auxiliares o laderos. Dichas vías auxiliares se dividen en dos tipos según su función:

1. *Laderos de operación*

Son aquellas secciones de vía auxiliar destinadas a permitir encuentros o rebases de trenes en la ruta, los cuales nunca deberán ser ocupados por equipo motor o rodante con otro fin. Su función es permitir el tránsito de la vía para una capacidad dada en trenes por día, una longitud determinada de los trenes y para una distribución programada de los mismos.

2. *Laderos de servicio*

Son vías auxiliares conectadas a la vía principal sin ser estrictamente necesarias para la operación de la ruta en cuanto a lo que se refiere a encuentros o rebases. Son utilizados para estacionar equipo rodante, para el servicio de carga y descarga de las estaciones, como vías auxiliares para alojar equipo descompuesto o dañado y evitar entorpecimientos en la ruta. Asimismo pueden ser situados donde se requiera, pero su longitud queda sujeta a estudio en relación a las facilidades auxiliares que proporcionan al tráfico sobre la ruta.

Ai tramo de vía comprendido entre centro y centro de laderos se le define como *sección de vía* y al tramo comprendido entre dos conexiones de un mismo escape se le denomina *sección de encuentros y rebases*. Con respecto al *tiempo de tránsito*, éste es el tiempo que emplea un tren en recorrer las diferentes secciones de la vía o tramos de ruta (sin que se efectúen paradas), mientras que la velocidad determinada a partir de este tiempo se define como la *velocidad media de tránsito* del tramo o sección que se considere en cálculo.

2.2) SISTEMAS DE CONTROL Y DESPACHO DE TRENES

Existen diversos sistemas de control y despacho de trenes. En el caso de líneas de bajo tráfico se emplean las Órdenes de Tren (OT), sin embargo a medida que se incrementa el volumen de trenes es necesario pasar a sistemas avanzados, tales como el Control Directo de Trenes (CDT) o el Control de Tráfico Centralizado (CTC).

2.2.1) Características principales de los sistemas de control OT, CDT, CTC

Sistema de control OT

El sistema de OT requiere de órdenes escritas a la tripulación que envía el despachador de trenes a las estaciones de ruta a través de teléfono selectivo o telégrafo. Ello obliga a que los trenes se detengan para recibir las órdenes en las estaciones, provocando demoras, riesgos a la seguridad por malas interpretaciones o confusiones y en consecuencia baja capacidad en las líneas.

Sistema de control CDT

El sistema CDT descansa en la radio de comunicación, directa entre despachador y el maquinista. La autorización para la ocupación de un tramo de vía sencilla es otorgada directamente por el despachador a la tripulación del tren, mediante instrucciones dadas por radio y grabadas simultáneamente. Este sistema sustituye las órdenes por escrito, reduce las demoras en camino y disminuye la posibilidad de choques o alcances.

Sistema de control CTC

El sistema CTC permite controlar el movimiento de los trenes a base de semáforos y movimiento de cambios de vía a control remoto desde un comando central con gran fluidez y seguridad para el movimiento de trenes. Sin embargo el costo de la infraestructura es elevado en comparación con las inversiones necesarias para el establecimiento del CDT que son mucho más reducidas.

2.3) CAPACIDAD MÁXIMA EN TRENES POR DÍA EN UNA VÍA SENCILLA

La capacidad máxima o capacidad potencial (C_p), en trenes por día está expresada por la siguiente ecuación:

$$C_p = \frac{24 \cdot 60}{T + t} \cdot (e)$$

donde:

- T : tiempo de tránsito del tren gobernador (aquel de menor velocidad media de tránsito).
- t : tiempo de encuentros y rebases.
- e : factor de eficiencia.

2.3.1) Análisis de capacidad de líneas

La metodología general a seguir es la siguiente:

1. Cálculo de la tasa de crecimiento promedio del tráfico en el tramo en estudio.
2. Determinación del número de trenes de carga actuales (T_c). Estos trenes crecen al ritmo impuesto por la tasa de crecimiento del tráfico.
3. Determinación del tiempo del tramo limitador para el tren gobernador. Ello se realiza con base en los muestreos físicos en el tramo en estudio.
4. Cálculo de la capacidad potencial (C_p) en trenes por día, para los sistemas OT, CDT y CTC utilizando para ello la expresión de capacidad anterior y los siguientes factores:

SISTEMA DE CONTROL	TIEMPO DE ENCUENTROS Y REBASES (t)	FACTOR DE EFICIENCIA (e)
OT	15	70%
CDT	10	75%
CTC	4	90%

5. Cálculo de la capacidad real (C_r) en trenes por día, para los sistemas OT, CDT y CTC, utilizando la expresión:

$$C_r = \frac{2}{3} C_p$$

En este Capítulo se desarrollarán solamente los puntos tres, cuatro y cinco, ya que posteriormente se hará un análisis más detallado para el cálculo del número de trenes que corren actualmente en la línea "B", basándose en diferentes tasas de crecimiento relacionadas con la carga transportada.

En el tramo de vía en estudio existen actualmente 34 estaciones de ferrocarril, en 25 de ellas existen vías auxiliares con diferente capacidad, que van desde 26 hasta 280 carros. Como actualmente corren trenes de 45 a 90 carros, el análisis se realizó con base en estos números.

Como primer paso se ubicaron aquellas estaciones, cuyos laderos de operación pudieran dar servicio a estos trenes. Una vez definidas dichas estaciones se encontró el tramo limitador, es decir, el tramo de vía donde el tren gobernador ocupa el mayor tiempo de tránsito entre las estaciones cuyas vías auxiliares tuvieran la capacidad suficiente para darle servicio. Dado a que en ambas direcciones (Norte - Sur) existen pendientes diferentes, los tiempos de tránsito varían en cada caso, por lo cual, además de considerar trenes de 45 y 90 carros, el análisis también se hizo en ambas direcciones, obteniéndose los siguientes resultados:

TRAMO LIMITADOR		T (MINUTOS)	
RUMBO NORTE			
45 CARROS	SAYULA - MEJIA	86	TABLA 2.2
90 CARROS	SAN NICOLAS - LA GRIEGA	106	TABLA 2.1
RUMBO SUR			
45 CARROS	SAYULA - MEJIA	69	TABLA 2.2
90 CARROS	SAYULA - HUICHAPAN	93	TABLA 2.1

Con estos datos y utilizando los tiempos de encuentro y rebase (t), así como los valores de la eficiencia (e) correspondientes a cada uno de los sistemas de control analizados, se calculó la capacidad máxima y la capacidad real, arrojando los siguientes resultados:

CAPACIDAD MÁXIMA	OT (Trenes/día)	CDT (Trenes/día)	CTC (Trenes/día)
45 CARROS			
R. NORTE	9	11	14
R. SUR	12	13	17
90 CARROS			
R. NORTE	8	9	11
R. SUR	9	10	13

CAPACIDAD REAL	OT (Trenes/día)	CDT (Trenes/día)	CTC (Trenes/día)
45 CARROS			
R. NORTE	6	7	9
R. SUR	8	8	11
90 CARROS			
R. NORTE	5	6	7
R. SUR	6	6	8

Dadas las condiciones de infraestructura existentes en la línea ferroviaria, ésta no puede operar a su capacidad real, por lo que se tomará en cuenta para cálculos próximos la capacidad máxima obtenida, ya que ésta representa en mayor medida las condiciones actuales de operación.

Para cada uno de los sistemas de control, se compararon los resultados obtenidos en ambas direcciones (Norte - Sur), tomando en cuenta el menor número de trenes por día con el fin de no exceder la capacidad de la línea ferroviaria en estudio.

2.3.2) Resultados

TRENES DE 45 CARROS.

Para trenes de 45 carros la capacidad máxima del tramo en estudio para un sistema de control OT es de nueve trenes por día, para un sistema de control CDT es de once trenes por día y finalmente para un sistema de control CTC es de catorce trenes por día.

TRENES DE 90 CARROS.

En el caso de trenes de 90 carros se concluyó que la capacidad máxima para un sistema de control OT es de ocho trenes por día, para un sistema de control CDT es de nueve trenes por día y por último para un sistema de control CTC es de once trenes por día.

(TABLA 2.1) CAPACIDAD ACTUAL PARA TRENES DE 90 CARROS

CAPACIDAD DE CARROS		RUMBO AL NORTE		RUMBO AL SUR		VELOCIDAD
ESTACIONES	DE LA VAS AUX EN UNID DE 18 mts	PENDIENTE MAXIMA ASCENDIENDO	DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	CARGA DIARIO	TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	VELOCIDAD MEDIA DE TRANS (km/hr)
HUEHUETOCA N M	80	0.8	47	4.50		
SAN SEBASTIAN	42		56.3	5.09	35	34.2
APAXCO	118		66.9	5.25	4.2	40.0
VITO	200	0	69.7	5.29	3.9	40.0
CAJERA	116		72.3	5.33		
BOJAY	69	0.5	77.6	5.44		
JR DIST TETEPANGO	No hay		83.1			
TE DIST TETEPANGO	No hay	0	83.3			
TEOCALCO	40		83.6	5.53		
CARRASCO	45		92.9	6.07		
ENDO	48		99.1	6.25		
MAGUA	No hay		105.4			
SAYULA	160		112.7	7.06	93	26.1
RANCHO NUEVO	No hay	1.5	118.6			
ESCONDON	28		128	7.52		
INEX ARAGON	No hay		132.9			
ARAGON N M	No hay		133.1	8.07		
NOPALA	38		140.2	8.18		
MEJIA	45		149.7	8.32		
HUICHAPAN	146		160	8.50	102	27.9
JOSE DE ATLAN	No hay	0	163.3			
ATLAN	42		167.9	7.02		
EL ZAPOTE	No hay		174			
RAYON	160		181.6	7.22	32	40.0
CAMBALACHE	No hay	1	189.9			
MERCADER	40		195.3	7.56		
BERNAL	45	0	204.2	8.15		
SAN NICOLAS	139	0.4	213.6	8.40	78	24.7
LA LLAVE	45	0.8	220.1	8.52		
LA FUENTE	38	0.5	229.3	9.18		
NORIA	45	0.2	239.8	9.49		
VIBORILLAS	38		245.1	10.04		
CRUCERO "A" VIBORILLAS	No hay	0.4	246.7			
LA GRIEGA	PATTO		252.9	10.26	103	22.2

VELOCIDAD PROMEDIO 32

RUMBO NORTE
TIEMPO MAXIMO 103 min

CAPACIDAD DE CARROS		RUMBO AL SUR		VELOCIDAD		
ESTACIONES	DE LA VAS AUX EN UNID DE 18 mts	PENDIENTE MAXIMA ASCENDIENDO	DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	CARGA DIARIO	TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	VELOCIDAD MEDIA DE TRANS (km/hr)
HUEHUETOCA N M	80		47	12.00		
SAN SEBASTIAN	42	1	56.3	11.38	46	25.7
APAXCO	118		66.9	11.14	7	25.7
VITO	200		69.7	11.07	8	20.0
CAJERA	116	0.5	72.3	10.59		
BOJAY	69		77.6	10.46		
JR DIST TETEPANGO	No hay		83.1			
TE DIST TETEPANGO	No hay	1	83.3			
TEOCALCO	40		83.6	10.31		
CARRASCO	45		92.9	10.08		
ENDO	48		99.1	9.53		
MAGUA	No hay		105.4			
SAYULA	160		112.7	9.33	67	28.0
RANCHO NUEVO	No hay	0	118.6			
ESCONDON	28		128	9.10		
INEX ARAGON	No hay		132.9			
ARAGON N M	No hay	0.9	133.1			
NOPALA	38		140.2	8.42		
MEJIA	45		149.7	8.24		
HUICHAPAN	146		160	8.00	93	30.6
JOSE DE ATLAN	No hay	1	163.3			
ATLAN	42		167.9	12.00		
EL ZAPOTE	No hay		174			
RAYON	160		181.6	11.32	48	27.0
CAMBALACHE	No hay	0.88	189.9			
MERCADER	40		195.3	11.01		
BERNAL	45	1	204.2	10.30		
SAN NICOLAS	139	0	213.6	10.04	88	21.8
LA LLAVE	45	0	220.1	9.51		
LA FUENTE	38	0.6	229.3	9.23		
NORIA	45	0.4	239.8	9.00		
VIBORILLAS	38		245.1	8.50		
CRUCERO "A" VIBORILLAS	No hay	0.6	246.7			
LA GRIEGA	PATTO		252.9	8.32	92	25.6

VELOCIDAD PROMEDIO 26

RUMBO SUR
TIEMPO MAXIMO 93 min

(TABLA 2.2) CAPACIDAD ACTUAL PARA TRENES DE 46 CARROS

ESTACIONES	CAPACIDAD DE LAS VÍAS AUX EN UNID. DE 16 mts	PENDIENTE MÁXIMA ASCENDIENDO	RUMBO AL NORTE		TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	VELOCIDAD MEDIA DE TRANS. (KM/HR)
			DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	CARGA DIARIO		
ERHUETOCA N M	89	0.6	47	4.50		
SAN SEBASTIAN	42		56.3	5.09		
APAXCO	116		66.9	5.25	35	34.2
VITO	280	0	69.7	5.29	4.2	40.0
CALERA	115		72.3	5.33	3.9	40.0
BOJAY	60	0.5	77.6	5.44	11	30.0
UR DIST. TETEPANGO	No hay		83.1			
TE DIST. TETEPANGO	No hay	0	83.6			
TEOCALCO	40		83.6	5.59		
CARRASCO	46		92.9	6.07	23	40.0
ENDO	40		98.1	6.25	19	20.0
MAGUA	No hay		105.4			
SAYULA	169		112.7	7.06	41	20.0
RANCHO NUEVO	No hay	1.5	118.6			
ESCANDON	26		128	7.52		
CONEX ARAGON	No hay		132.9			
ARAGON N M	No hay		133.1	8.07		
NOPALA	36		140.2	8.18		
MELJIA	46		149.7	8.32	86	26
HUICHAPAN	146		160	8.50	15	40.0
JOSE DE ATLAN	No hay	0	163.3	8.48		
ATLAN	42		167.9	7.02		
EL ZAPOTE	No hay		174			
RAYON	160		181.6	7.22	32	40.0
SAMBALACHE	No hay		189.9			
MERCADER	40	1	195.3	7.56		
BERNAL	46	0	204.2	8.15	53	25.8
SAN NICOLAS	199	0.4	213.6	8.40	25	22.6
LA LLAVE	48	0.8	220.1	8.52	12	32.5
LA FUENTE	38	0.5	229.3	9.18		
MORIA	46	0.2	239.8	9.49	57	20.7
VIBORILLAS	39		245.1	10.04		
CRUCERO "A" VIBORILLAS	No hay	0.4	246.7			
LA GRIEGA	PATO		252.9	10.26	37	21.3

RUMBO NORTE VELOCIDAD PROMEDIO 30

RUMBO NORTE TIEMPO MAXIMO 69 min

ESTACIONES	CAPACIDAD DE LAS VÍAS AUX EN UNID. DE 16 mts	PENDIENTE MÁXIMA ASCENDIENDO	DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	RUMBO AL SUR		TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	VELOCIDAD MEDIA DE TRANS. (KM/HR)
				CARGA DIARIO	CARGA DIARIO		
HUEHUETOCA N M	89		47		12.00		
SAN SEBASTIAN	42		56.3		11.38		
APAXCO	116	1	66.9		11.14	46	25.7
VITO	280		69.7		11.07	7	25.7
CALERA	115	0.5	72.3		10.59	8	20.0
BOJAY	60		77.6		10.46	13	24.3
EMP SUR DIST TETEPANGO	No hay		83.1				
EMP NTE DIST TETEPANGO	No hay		83.3				
TEOCALCO	40	1	83.6		10.31		
CARRASCO	46		92.9		10.08	38	24.3
ENDO	46		99.1		9.53	15	24.3
MAGUA	No hay		105.4				
SAYULA	169	0	112.7		9.33	20	40.0
RANCHO NUEVO	No hay		118.6				
ESCANDON	26		128		9.10		
CONEX ARAGON	No hay		132.9				
ARAGON N M	No hay	0.9	133.1				
NOPALA	36		140.2		8.42		
MELJIA	46		149.7		8.24	69	32.3
HUICHAPAN	146		160		8.00	24	25.8
JOSE DE ATLAN	No hay		163.3				
ATLAN	42	1	167.9		12.00		
EL ZAPOTE	No hay		174				
RAYON	160		181.6		11.32	48	27.0
SAMBALACHE	No hay		189.9				
MERCADER	40	0.88	195.3				
BERNAL	46		204.2		11.01		
SAN NICOLAS	199	1	213.6		10.30	62	21.9
LA LLAVE	48	0	220.1		10.04	26	21.7
LA FUENTE	38	0.6	229.3		9.51	13	30.0
MORIA	46	0.4	239.8		9.23		
VIBORILLAS	39		245.1		9.00	51	23.4
CRUCERO "A" VIBORILLAS	No hay	0	246.7		8.50		
LA GRIEGA	PATO	0.6	252.9		8.32	28	27.7

RUMBO SUR VELOCIDAD PROMEDIO 28

RUMBO SUR TIEMPO MAXIMO 69 min

CAPITULO III

PROYECCIÓN DEL TRÁFICO DE TRENES A FUTURO

3.1) BASES PARA LA PROYECCIÓN DEL TRÁFICO DE TRENES A FUTURO

Una vez calculada la capacidad actual de la línea México - Querétaro, se debe realizar una proyección del tráfico de trenes a futuro. Esta proyección debe basarse en un incremento de la demanda, justificada a partir del proceso de privatización del sector ferroviario, el cual ha abierto al mercado una opción muy viable, en cuanto a eficiencia, seguridad y rentabilidad, para el transporte de carga. Entre los resultados que se obtienen al realizar el análisis del tráfico a futuro, se encuentran el número de trenes por año, así como el número máximo de trenes por día necesarios para satisfacer la demanda esperada. Estos datos permitirán saber las modificaciones que deben hacerse a la línea férrea en estudio para incrementar su capacidad y dar un servicio óptimo a la demanda de trenes antes mencionada. Esto dará pauta al cálculo de las inversiones necesarias para concluir dichas modificaciones y poder así realizar la evaluación financiera correspondiente.

Debido a que una de las bases para el proceso de privatización de los ferrocarriles fue la de eliminar el transporte de pasajeros, el análisis de la demanda realizado en esta tesis será con base en el volumen de carga de los principales productos transportados en la línea "B". Dichos productos así como su volumen en toneladas son los siguientes:

VOLUMENES DE TRANSPORTE FERROVIARIO TRAMO HUEHUETOCA - QUERÉTARO (TONELADAS)	
PRODUCTO	1998
Cemento	2,101,000
Agrícolas	1,774,000
Mineral de Hierro	1,190,000
Contenedores (Cd. Juárez)	300,000
Contenedores (Manzanillo)	800,000
Sulfato de Sodio	431,000
Fertilizantes	405,000
Arena Sílica	375,000
Celulosa y papel	297,000
Cerveza	267,000
Minerales	225,000
Siderúrgicos	203,000
Petróleo	155,000
Químicos	151,000
Botellas	127,000
Sal	91,000
Automotriz	78,000
Cal	73,000
Otros	283,000
TOTAL	9,326,000

El análisis de la demanda se realizará a veinticinco años; para ello se debe calcular una tasa de crecimiento anual para cada producto, con lo cual se obtendrán los volúmenes de carga esperados en los años de estudio. Dado que la demanda puede ser representada por la producción nacional, se determinó que el indicador más factible para obtener dichas tasas de crecimiento es el Producto Interno Bruto (PIB), ya que éste mide, en un determinado tiempo, la producción total del país, considerando el valor de los bienes y servicios finales producidos en el interior del mismo por nacionales o extranjeros.

En la *Tabla (3.1)*, se muestra la variación trimestral (en porcentaje) del PIB desde 1997 hasta 1999. A partir de esta Tabla se obtuvo una tasa de crecimiento anual para cada una de las divisiones en las que éste se desglosa. Posteriormente, en dichas divisiones se agruparon los productos transportados en la línea ferroviaria en estudio, asignándole a cada uno de ellos la tasa de crecimiento anual correspondiente. Para aquellos productos que no pudieron agruparse en ninguna de las divisiones, fue necesario realizar estudios más específicos para determinar su tasa de crecimiento.

En el caso de los automóviles, se encontraron datos de su producción trimestral entre los años 1998 y 1999 (*Tabla 3.2*), análogamente a lo realizado con el PIB, se calculó el porcentaje de crecimiento trimestral y se obtuvo un promedio total de ellos, siendo éste la tasa de crecimiento anual correspondiente al volumen transportado de vehículos. Se realizaron procedimientos similares en los casos de los contenedores y los productos agrícolas. Estos últimos fueron relacionados con el crecimiento de la población, por lo cual se utilizaron datos proporcionados por el INEGI entre los años de 1990 y 1997 (*Tabla 3.3*).

En los casos en que la tasa de crecimiento anual era mayor al 4%, fue necesario reducirla a dicho valor a lo largo de los 25 años que abarca el análisis de la demanda (exceptuando los productos agrícolas cuya tasa de crecimiento fue reducida al 1%), ya que resultaría imposible sostener tasas de crecimiento anuales tan altas a lo largo de varios años. De lo anterior se concluyó lo siguiente:

PRODUCTO	TGC (%)
MINERÍA	
Mineral de Hierro	1.5
Arena Sílica	
Minerales	
Cal	
Sal	
CONSTRUCCIÓN	
Cemento	6 - 4
PRODUCTOS ALMENTICIOS, BEBIDAS Y TABACO	
Cervezas	5.2 - 4
Botellas	

PAPEL, PRODUCTOS DE PAPEL, IMPRENTAS Y EDITORIALES	
Celulosa y papel	6.9 - 4
SUSTANCIAS QUÍMICAS, DERIVADOS DEL PETRÓLEO. PRODUCTOS DE CAUCHO Y PLÁSTICOS	
Sulfato de Sodio	5 - 4
Fertilizantes	
Petróleo	
Químicos	
PRODUCTOS METÁLICOS, MAQUINARIA Y EQUIPO	
Siderúrgicos	12.2 - 4
OTROS	
Otros	5.7 - 4

Producto	TIC (%)
Agrícolas	2.3 - 1
Contenedores (Cd. Juárez)	15 - 4
Contenedores (Manzanillo)	
Automotriz	1.5

Estas tasas de crecimiento fueron aplicadas anualmente, con lo cual se obtuvieron los volúmenes totales de carga para cada producto a 25 años (Tabla 3.4), estableciendo así las bases para el cálculo del número de trenes por día necesarios para satisfacerla.

3.2) CRITERIO PARA EL CALCULO DEL NÚMERO DE TRENES POR DÍA

Según el tipo de carga los trenes se clasifican en cuatro categorías:

- *Tren metalero.*
- Mineral de Hierro.
- *Tren de contenedores.*
- Contenedores (Cd. Juárez, Manzanillo).
- *Tren cementero.*
- Cemento.
- *Tren de flete variado.*
- Agrícola, Arena Sílica, Minerales, Cal, Sal, Cerveza, Botellas, Celulosa y papel, Sulfato de Sodio, Fertilizantes, Petróleo, Químicos, Siderúrgicos, Automotriz y otros.

Cada tipo de tren tiene características diferentes, referidas a su tonelaje y al número de carros que le corresponden:

TIPO DE TREN	Número Máximo de Carros Por Tren	Peso Neto Máximo por Carro (Ton/Carro)	Peso por Carro (Ton/Carro)
TREN METALERO	60	80	25
TREN DE CONTENEDORES	60	40	30
TREN CEMENTERO	45	90	30
TREN DE FLETE VARIADO	90	70	25

Basados en los volúmenes totales por tipo de tren así como en las consideraciones anteriores, se calculó el número total de trenes por año (*Tabla 3.5*). Por otro lado, para el cálculo del número de trenes por día, se utilizó un criterio que permitiera una distribución óptima del número de trenes totales a lo largo de cada año en estudio, los resultados de dicha distribución se muestran en la *Tabla 3.6* y el cálculo final del número máximo de trenes por día se indica en la *Tabla 3.7*.

Una vez obtenidos los resultados del número de trenes por día fijados por la demanda, es necesario establecer si la capacidad actual es suficiente para satisfacer dicha demanda. Como se puede observar en la *Tabla 3.7* en el periodo de 1998 hasta el 2003 el número máximo esperado de trenes por día es de catorce, ya que se considera la ida y la vuelta, el número real de trenes que corren por la línea es de siete. Asimismo de los resultados obtenidos en el Capítulo anterior, sabemos los tiempos de tránsito (T) para cada tipo de tren, así como los tiempos de encuentros y rebases (t) para el sistema de control CTC, con lo cual y siguiendo el mismo criterio para el cálculo de la capacidad máxima, tenemos lo siguiente:

TIPO DE TREN	Nº de Trenes A por día (considerando ida y vuelta)	Nº de Trenes real	Nº de Carros por Tren
TREN METALERO	2	1	60
TREN DE CONTENEDORES	4	2	60
TREN DE FLETE VARIADO	4	2	90
SUMA	10	5	Trenes de 60 y 90 carros
TREN CEMENTERO	4	2	45
SUMA	4	2	Trenes de 45 carros

N° de carros	RUMBO	t (ETC) (minutos)	T (minutos)	N° de Trenes	Tiempo Total (minutos)
90 y 60	NORTE	4	106	5	550
	SUR	4	93		485
45	NORTE	4	86	2	180
	SUR	4	69		146
SUMA					1,361
MINUTOS EN UN DÍA					1,440
MINUTOS SOBRANTES					79

Como se puede observar, es posible satisfacer la demanda esperada hasta el año 2003 con la capacidad actual, aunque es importante remarcar que dado el deterioro en que se encuentra actualmente la infraestructura de la vía existen graves problemas en la operación de los trenes, lo que ocasiona demoras y fallas en el sistema, así que no solamente es imperioso ampliar y rehabilitar dicha infraestructura por el incremento en el número de trenes que se muestra después del año mencionado, sino que también es indispensable iniciar las obras de mejoramiento de tal manera que se proporcione un servicio seguro, eficiente y rentable en el corto plazo.

(TABLA 3.1) PRODUCTO INTERNO BRUTO TRIMESTRAL
(Variación porcentual trimestral)

FUENTE INEGI	ANO													TASA MEDIA DE CRECIMIENTO POR AÑO (%)	
	1997				1998				1999				9 meses		
	I	II	III	IV	Annual	I	II	III	IV	Annual	I	II			III
Producto Interno Bruto, a precios de mercado	4.6	8.4	7.5	6.6	6.8	7.5	4.4	5	2.6	4.8	1.9	3.2	4.6	3.2	4.9
GRANDES DIVISIONES															
Agropecuaria, silvicultura y pesca	1.4	7.3	-4.7	-3	0.2	-5.4	-4.2	6.2	5.6	0.5	5.5	2.2	3.8	3.8	1.5
Minería	0.5	6.2	6.9	4.4	4.5	6.7	5	2.3	-0.2	3.4	-0.9	-6.4	-3.1	-3.4	1.5
Construcción	9	12.3	10.2	6	9.3	10.2	2	4.8	2.1	4.6	3.7	5.7	2.3	4	6.0
Industria manufacturera	5.8	12.7	11	10.2	10	12.7	6.1	7.1	4.2	7.4	1.5	4.9	5.3	3.9	7.1
INDUSTRIA MANUFACTURERA															
PIB TRIMESTRAL POR DIVISION DE ACTIVIDAD ECONOMICA															
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	0.3	5.1	3.2	4.4	3.2	6.2	6	7.2	6.1	6.4	4.6	7.5	6.3	6.1	5.2
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	6	17.1	10.6	7.8	10.3	10.1	-0.4	4.1	3.2	4.1	1.2	4.6	2.7	2.8	5.7
Industria de la madera y productos de madera	-5.2	9	16.6	6.7	6.8	13.9	-3.3	2.3	-1.5	2.2	2.3	-0.1	-1.6	0.1	3.0
Papel, productos de papel, imprentas y editoriales	5.2	13.7	18.4	12.9	12.7	13	2.6	3	1.5	4.7	1.1	8.3	0.8	3.4	6.9
Sustancias químicas, derivados del petróleo, productos de caucho y plásticos	2.2	9.4	9	6.5	6.8	6.9	2.4	6.4	5.9	5.4	1.6	3.7	2.8	2.7	5.0
Productos minerales no metálicos, exceptuando derivados del petróleo y carbón	3.3	11	6.2	3.2	5.9	12.6	3.4	6.2	5.8	6.9	3.1	2.1	2	2.4	5.1
Industrias metálicas básicas	9.4	15.3	10.3	9.9	11.2	10.6	3.6	6.2	-4.4	3.9	-2	-2.8	-3.1	-2.6	4.2
Productos metálicos, maquinaria y equipo	15.7	20.7	19.1	21	19.2	20.4	12.9	10.3	5.1	11.9	0.9	5.7	9.8	5.5	12.2

(TABLA 3.2) PRODUCCIÓN DE VEHICULOS AUTOMOTORES
(1998-1999)

Periodo	1998				ANUAL		1999		6 meses
	I	II	III	IV	I	II	I	II	
Automóviles	235,511	228,103	216,384	243,180	923,178	252,826	251,285	504,111	

Variación porcentual	-3.1	-5.1	12.4	1.4	4.0	-0.6	1.7
----------------------	------	------	------	-----	-----	------	-----

TASA MEDIA DE CRECIMIENTO POR AÑO	(%)	1.5
-----------------------------------	-----	-----

(TABLA 3.3) POBLACION TOTAL
(1990-1997)

	1990	1992	1997
	81,249,645	85,627,971	93,716,332
Tasa anual de crecimiento		2.7	1.9

TASA MEDIA DE CRECIMIENTO POR AÑO	(%)	2.3
-----------------------------------	-----	-----

(TABLA 3.4) VOLUMENES DE CARGA TRAMO MEXICO - QUERÉTARO (TON)

AÑO	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agropecuaria	1774000	1814602	1656542	1857243	1947205	1987513	2026853	2058889	2107720	2142546	2191707	2227862	2264723	2302001	2340204	2441440	2461490	2507265	2540507	2555912	2591331	2617467	2646801	2670089
Minería	1180000	1207850	1226264	1244837	1263233	1281658	1300103	1317515	1334926	1352338	1369750	1387162	1404574	1421986	1439398	1456810	1474222	1491634	1509046	1526458	1543870	1561282	1578694	1596106
Industria	376000	383515	391030	398545	406060	413575	421090	428605	436120	443635	451150	458665	466180	473695	481210	488725	496240	503755	511270	518785	526300	533815	541330	548845
Construcción	21101000	2127060	2144020	2160980	2177940	2194900	2211860	2228820	2245780	2262740	2279700	2296660	2313620	2330580	2347540	2364500	2381460	2398420	2415380	2432340	2449300	2466260	2483220	2500180
Industria y Comercio	287000	286854	286708	286562	286416	286270	286124	285978	285832	285686	285540	285394	285248	285102	284956	284810	284664	284518	284372	284226	284080	283934	283788	283642
Industria y Comercio	177000	176854	176708	176562	176416	176270	176124	175978	175832	175686	175540	175394	175248	175102	174956	174810	174664	174518	174372	174226	174080	173934	173788	173642
Industria y Comercio	797000	797483	797966	798449	798932	799415	799898	800381	800864	801347	801830	802313	802796	803279	803762	804245	804728	805211	805694	806177	806660	807143	807626	808109
Industria y Comercio	431000	432650	434300	435950	437600	439250	440900	442550	444200	445850	447500	449150	450800	452450	454100	455750	457400	459050	460700	462350	464000	465650	467300	468950
Industria y Comercio	409000	409500	410000	410500	411000	411500	412000	412500	413000	413500	414000	414500	415000	415500	416000	416500	417000	417500	418000	418500	419000	419500	420000	420500
Industria y Comercio	151000	151500	152000	152500	153000	153500	154000	154500	155000	155500	156000	156500	157000	157500	158000	158500	159000	159500	160000	160500	161000	161500	162000	162500
Industria y Comercio	203000	203500	204000	204500	205000	205500	206000	206500	207000	207500	208000	208500	209000	209500	210000	210500	211000	211500	212000	212500	213000	213500	214000	214500
Industria y Comercio	78000	78100	78200	78300	78400	78500	78600	78700	78800	78900	79000	79100	79200	79300	79400	79500	79600	79700	79800	79900	80000	80100	80200	80300
Industria y Comercio	300000	300500	301000	301500	302000	302500	303000	303500	304000	304500	305000	305500	306000	306500	307000	307500	308000	308500	309000	309500	310000	310500	311000	311500
Industria y Comercio	510000	510500	511000	511500	512000	512500	513000	513500	514000	514500	515000	515500	516000	516500	517000	517500	518000	518500	519000	519500	520000	520500	521000	521500
Industria y Comercio	285000	285500	286000	286500	287000	287500	288000	288500	289000	289500	290000	290500	291000	291500	292000	292500	293000	293500	294000	294500	295000	295500	296000	296500
Industria y Comercio	330000	330500	331000	331500	332000	332500	333000	333500	334000	334500	335000	335500	336000	336500	337000	337500	338000	338500	339000	339500	340000	340500	341000	341500

(TABLA 3.5) N° DE TRENES POR AÑO

AÑO	TREN METALERO				TREN CONTENEDORES				TREN CEMENTERO				TREN DE FLETE VARIADO			
	VOLUMEN DE CARGA TOTAL (TON)		N° DE CARROS	N° DE TRENES POR AÑO	VOLUMEN DE CARGA TOTAL (TON)		N° DE CARROS	N° DE TRENES POR AÑO	VOLUMEN DE CARGA TOTAL (TON)		N° DE CARROS	N° DE TRENES POR AÑO	80% DE LA CARGA TOTAL		N° DE CARROS	N° DE TRENES POR AÑO
	VOLUMEN DE CARGA TOTAL (TON)	N° DE CARROS	N° DE TRENES POR AÑO	VOLUMEN DE CARGA TOTAL (TON)	N° DE CARROS	N° DE TRENES POR AÑO	VOLUMEN DE CARGA TOTAL (TON)	N° DE CARROS	N° DE TRENES POR AÑO	VOLUMEN DE CARGA TOTAL (TON)	N° DE CARROS	N° DE TRENES POR AÑO	VOLUMEN DE CARGA TOTAL (TON)	N° DE CARROS	N° DE TRENES POR AÑO	N° TOTAL DE TRENES POR AÑO
1998	1,190,000	14,875	247	1,100,000	27,500	458	2,101,000	23,344	518	4,935,000	56,400	626	1,840			
1999	1,207,850	15,098	281	1,265,000	31,825	527	2,227,060	24,745	549	5,127,410	58,598	651	1,978			
2000	1,225,968	15,324	255	1,454,750	36,368	606	2,360,684	26,229	502	5,330,223	60,916	676	2,119			
2001	1,244,357	15,554	289	1,672,963	41,824	687	2,502,325	27,803	617	5,544,181	63,362	704	2,277			
2002	1,263,023	15,787	283	1,923,907	48,097	801	2,652,464	29,471	664	5,770,089	65,943	732	2,450			
2003	1,281,968	16,024	267	2,212,493	55,312	924	2,811,612	31,240	694	6,008,827	68,672	763	2,645			
2004	1,301,197	16,264	271	2,483,523	62,088	1,034	2,966,251	32,958	732	6,237,732	71,286	792	2,829			
2005	1,320,715	16,508	275	2,787,755	69,693	1,161	3,129,394	34,771	772	6,478,462	74,039	822	3,030			
2006	1,340,526	16,756	279	3,129,255	78,231	1,303	3,301,511	36,683	815	6,731,782	76,934	884	3,251			
2007	1,360,634	17,007	263	3,512,589	87,814	1,463	3,483,094	38,701	860	6,998,514	79,983	966	3,494			
2008	1,381,044	17,263	287	3,942,881	98,572	1,642	3,674,664	40,829	907	7,279,543	83,194	924	3,760			
2009	1,401,759	17,521	292	4,317,454	107,936	1,798	3,858,398	42,871	952	7,544,061	86,217	987	3,852			
2010	1,422,786	17,784	296	4,727,613	118,190	1,968	4,051,317	45,014	1,010	7,821,121	89,364	983	4,298			
2011	1,444,127	18,051	300	5,176,736	129,418	2,156	4,253,883	47,265	1,080	8,111,421	92,701	1,030	4,536			
2012	1,465,789	18,322	305	5,668,526	141,713	2,361	4,466,577	49,628	1,102	8,415,706	96,179	1,068	4,836			
2013	1,487,776	18,597	309	6,207,036	155,175	2,586	4,689,906	52,110	1,156	8,734,765	99,825	1,109	5,152			
2014	1,510,093	18,876	314	6,626,010	165,650	2,760	4,900,962	54,455	1,210	9,027,958	103,176	1,149	5,450			
2015	1,532,744	19,159	319	7,073,266	176,831	2,947	5,121,495	56,905	1,264	9,333,425	106,667	1,185	5,716			
2016	1,555,735	19,446	324	7,550,712	188,767	3,146	5,351,962	59,466	1,321	9,651,736	110,305	1,225	6,016			
2017	1,579,071	19,738	328	8,080,385	201,509	3,368	5,592,801	62,142	1,380	9,983,490	114,087	1,267	6,333			
2018	1,602,757	20,034	333	8,604,461	215,111	3,585	5,844,477	64,938	1,443	10,329,315	118,049	1,311	6,672			
2019	1,626,799	20,334	338	8,948,639	223,715	3,728	6,078,256	67,536	1,600	10,637,921	121,576	1,360	6,976			
2020	1,651,201	20,640	344	9,306,585	232,664	3,877	6,321,386	70,237	1,680	10,957,684	125,230	1,391	7,172			
2021	1,675,969	20,949	349	9,678,848	241,971	4,032	6,574,241	73,047	1,623	11,289,036	129,017	1,433	7,437			
2022	1,701,108	21,263	354	10,066,002	251,650	4,194	6,837,211	75,969	1,688	11,632,428	132,942	1,477	7,713			
2023	1,726,625	21,582	359	10,468,642	261,716	4,361	7,110,699	79,007	1,755	11,988,322	137,009	1,522	7,997			

(TABLA 3.6) DISTRIBUCIÓN DE LOS TRENES POR DÍA

TREN METALERO		TRENES DE CONTENEDORES	
(Ida y vuelta)		(Ida y vuelta)	
Nº DE TRENES (1 día a la semana)	Nº DE TRENES (1 día a la semana)	Nº DE TRENES (1 día a la semana)	Nº DE TRENES (1 día a la semana)
1998	0	2	2
1999	0	2	2
2000	0	2	2
2001	0	2	2
2002	0	4	2
2003	0	4	2
2004	0	4	2
2005	0	6	2
2006	0	6	2
2007	0	8	2
2008	0	8	2
2009	0	8	2
2010	0	10	2
2011	0	10	2
2012	0	12	2
2013	0	14	2
2014	0	14	2
2015	0	16	2
2016	0	16	2
2017	0	18	2
2018	0	18	2
2019	0	20	2
2020	0	20	2
2021	0	22	2
2022	0	22	2
2023	0	22	2

TREN METALERO		TRENES DE CONTENEDORES	
(Ida y vuelta)		(Ida y vuelta)	
Nº DE TRENES (1 día a la semana)	Nº DE TRENES (1 día a la semana)	Nº DE TRENES (1 día a la semana)	Nº DE TRENES (1 día a la semana)
1998	0	2	2
1999	0	2	2
2000	0	2	2
2001	0	2	2
2002	0	2	2
2003	0	2	2
2004	0	2	2
2005	0	2	2
2006	0	2	2
2007	0	2	2
2008	0	2	2
2009	0	2	2
2010	0	2	2
2011	0	2	2
2012	0	2	2
2013	0	2	2
2014	0	2	2
2015	0	2	2
2016	0	2	2
2017	0	2	2
2018	0	2	2
2019	0	2	2
2020	0	2	2
2021	0	2	2
2022	0	2	2
2023	0	2	2

TREN METALERO		TRENES DE CONTENEDORES	
(Ida y vuelta)		(Ida y vuelta)	
Nº DE TRENES (1 día a la semana)	Nº DE TRENES (1 día a la semana)	Nº DE TRENES (1 día a la semana)	Nº DE TRENES (1 día a la semana)
1998	0	2	2
1999	0	2	2
2000	0	2	2
2001	0	2	2
2002	0	2	2
2003	0	2	2
2004	0	2	2
2005	0	2	2
2006	0	2	2
2007	0	2	2
2008	0	2	2
2009	0	2	2
2010	0	2	2
2011	0	2	2
2012	0	2	2
2013	0	2	2
2014	0	2	2
2015	0	2	2
2016	0	2	2
2017	0	2	2
2018	0	2	2
2019	0	2	2
2020	0	2	2
2021	0	2	2
2022	0	2	2
2023	0	2	2

(TABLA 3.6) DISTRIBUCIÓN DE LOS TRENES POR DÍA

TREN CEMENTERO

(día y vuelta)		Nº DE TRENES (7 días a la semana)	Nº DE TRENES DIF. EN LA SEMANA	OBSERVACIONES
Nº DE TRENES (7 días a la semana)	Nº DE TRENES DIF. EN LA SEMANA			
1988	2	2		3 días a la semana
1989	2	2		5 días a la semana (Durante una semana) 2 días (Durante una semana)
2000	7	2		6 días a la semana (Durante dos semanas) 1 día (Durante una semana)
2001	2	2		5 días a la semana
2002	2	2		7 días a la semana (Durante dos semanas) 3 días (Durante una semana)
2003	2	2		7 días a la semana (Durante tres semanas) 4 días (Durante una semana)
2004	4	2		1 día al mes
2005	4	2		1 día a la semana
2006	4	2		3 días (Durante una semana)
2007	4	2		1 día a la semana (Durante dos semanas) 4 días (Durante una semana)
2008	4	2		1 día (Durante una semana)
2009	4	2		6 días a la semana (Durante dos semanas) 1 día (Durante una semana)
2010	4	2		7 días a la semana (Durante dos semanas) 3 días (Durante una semana)
2011	4	2		7 días a la semana (Durante dos semanas) 5 días (Durante una semana)
2012	6	2		1 día al mes
2013	6	2		6 días al mes
2014	6	2		9 días al mes
2015	6	2		4 días a la semana (Durante tres semanas) 1 día (Durante una semana)
2016	6	2		6 días a la semana (Durante dos semanas) 1 día (Durante una semana)
2017	6	2		5 días (Durante una semana) 6 días (Durante una semana)
2018	6	2		7 días a la semana (Durante tres semanas) 6 días (Durante una semana)
2019	8	2		0 días (Durante una semana)
2020	8	2		3 días al mes
2021	8	2		2 días a la semana
2022	8	2		4 días a la semana (Durante tres semanas) 1 día (Durante una semana)
2023	8	2		5 días a la semana (Durante tres semanas) 5 días (Durante una semana)

TRENES DE PILETE VARIADO

(día y vuelta)		Nº DE TRENES (7 días a la semana)	Nº DE TRENES DIF. EN LA SEMANA	OBSERVACIONES
Nº DE TRENES (7 días a la semana)	Nº DE TRENES DIF. EN LA SEMANA			
1988	2	2		6 días a la semana
1989	2	2		5 días (Durante una semana) 0 días (Durante una semana)
2000	2	2		6 días a la semana
2001	2	2		7 días a la semana (Durante dos semanas) 6 días (Durante una semana)
2002	4	2		1 día al mes
2003	4	2		2 días (Cada tres semanas)
2004	4	2		6 días al mes
2005	4	2		7 días al mes
2006	4	2		5 días (Durante una semana) 1 día a la semana (Durante dos semanas)
2007	4	2		3 días a la semana
2008	4	2		6 días (Durante una semana) 3 días a la semana (Durante tres semanas) 6 días a la semana (Durante dos semanas)
2009	4	2		1 día (Durante una semana)
2010	4	2		5 días a la semana
2011	4	2		6 días a la semana (Durante tres semanas) 6 días (Durante una semana)
2012	4	2		7 días (Durante una semana) 0 días (Durante una semana)
2013	6	2		1 día (Cada tres semanas)
2014	6	2		1 día a la semana
2015	6	2		7 días al mes
2016	6	2		4 días (Durante una semana) 1 día (Durante una semana)
2017	6	2		4 días a la semana (Durante dos semanas) 2 días (Durante una semana)
2018	6	2		6 días a la semana (Durante tres semanas) 1 día (Durante una semana)
2019	6	2		5 días a la semana
2020	6	2		6 días a la semana (Durante tres semanas) 6 días (Durante una semana)
2021	6	2		7 días (Durante una semana) 0 días (Durante una semana)
2022	8	2		1 día (Cada tres semanas)
2023	8	2		5 días al mes

(TABLA 3.7) N° MÁXIMO DE TRENES POR DÍA

1998-2003		TRENES /DÍA	N° DE CARROS
TREN METALERO	2	120	
TREN DE CONTENEDORES	4	240	
TREN CEMENTERO	4	180	
TREN DE FLETE VARIADO	4	360	
TOTAL	14	900	

2004		TRENES /DÍA	N° DE CARROS
TREN METALERO	2	120	
TREN DE CONTENEDORES	6	360	
TREN CEMENTERO	6	270	
TREN DE FLETE VARIADO	6	540	
TOTAL	20	1290	

2005-2006		TRENES /DÍA	N° DE CARROS
TREN METALERO	2	120	
TREN DE CONTENEDORES	8	480	
TREN CEMENTERO	6	270	
TREN DE FLETE VARIADO	6	540	
TOTAL	22	1410	

2007-2009		TRENES /DÍA	N° DE CARROS
TREN METALERO	2	120	
TREN DE CONTENEDORES	10	600	
TREN CEMENTERO	6	270	
TREN DE FLETE VARIADO	6	540	
TOTAL	24	1530	

2010-2011		TRENES /DÍA	N° DE CARROS
TREN METALERO	2	120	
TREN DE CONTENEDORES	12	720	
TREN CEMENTERO	6	270	
TREN DE FLETE VARIADO	6	540	
TOTAL	26	1650	

2012		TRENES /DÍA	N° DE CARROS
TREN METALERO	2	120	
TREN DE CONTENEDORES	14	840	
TREN CEMENTERO	8	360	
TREN DE FLETE VARIADO	6	540	
TOTAL	30	1860	

2013-2014		TRENES /DÍA	N° DE CARROS
TREN METALERO	2	120	
TREN DE CONTENEDORES	16	960	
TREN CEMENTERO	8	360	
TREN DE FLETE VARIADO	8	720	
TOTAL	34	2160	

2015-2016		TRENES /DÍA	N° DE CARROS
TREN METALERO	2	120	
TREN DE CONTENEDORES	18	1080	
TREN CEMENTERO	8	360	
TREN DE FLETE VARIADO	8	720	
TOTAL	36	2280	

2017-2018		TRENES /DÍA	N° DE CARROS
TREN METALERO	2	120	
TREN DE CONTENEDORES	20	1200	
TREN CEMENTERO	8	360	
TREN DE FLETE VARIADO	8	720	
TOTAL	38	2400	

2019-2020		TRENES /DÍA	N° DE CARROS
TREN METALERO	2	120	
TREN DE CONTENEDORES	22	1320	
TREN CEMENTERO	10	450	
TREN DE FLETE VARIADO	8	720	
TOTAL	42	2610	

2021		TRENES /DÍA	N° DE CARROS
TREN METALERO	2	120	
TREN DE CONTENEDORES	24	1440	
TREN CEMENTERO	10	450	
TREN DE FLETE VARIADO	8	720	
TOTAL	44	2730	

2022-2023		TRENES /DÍA	N° DE CARROS
TREN METALERO	2	120	
TREN DE CONTENEDORES	24	1440	
TREN CEMENTERO	10	450	
TREN DE FLETE VARIADO	10	900	
TOTAL	46	2910	

3.3) TONELAJE DE LOS TRENES

Otro de los puntos que se deben analizar en la proyección de trenes a futuro es la capacidad de arrastre de las locomotoras, esto con el objetivo de asegurar, con un número determinado de locomotoras por tren, que la carga máxima pueda ser transportada sin que existan problemas de arrastre a lo largo de la línea ferroviaria. Otro aspecto importante que surge al establecer el número de locomotoras, es el espacio que éstas ocupan, lo cual influye en la longitud requerida para las líneas auxiliares, ya sean laderos de operación o de servicio.

3.3.1) Consideraciones teóricas

La fuerza tractiva de un tren es función de la potencia de las locomotoras y la velocidad del tren.

$$F_T = \left(\frac{270 \cdot HP}{V} \right) \cdot e$$

donde:

HP : potencia de la locomotora en HP.

V : velocidad en Km/hr.

e : coeficiente que considera las pérdidas de eficiencia en la transmisión de potencia. Para locomotoras diesel o eléctricas puede usarse 85%.

La capacidad de arrastre del tren está medida por la fuerza tractiva menos la resistencia al rodamiento y al aire tanto de la locomotora como de los carros. La resistencia de la locomotora está medida por la siguiente expresión:

$$R_L = \left(0.65 + \frac{13.1}{W_L} + 0.0093 \cdot V + \frac{0.0046 \cdot A \cdot V^2}{W_L \cdot n} \right) \cdot (W_L \cdot n)$$

donde:

R_L : resistencia en Kg.

W_L : peso por eje de las locomotoras.

V : velocidad en Km/hr.

A : área de la sección transversal de la locomotora en m^2 .

n : número de ejes.

La resistencia de un carro se estima en la siguiente fórmula:

$$R_C = \left(0.65 + \frac{13.1}{W_C} + 0.014 \cdot v + \frac{0.00094 \cdot A \cdot v^2}{W_C \cdot n} \right)$$

donde:

R_C : resistencia en kilogramos (Kg).

W_C : peso por eje de los carros.

A : área frontal del carro en m^2 .

v : velocidad en Km/hr.

n : número de ejes del carro.

La resistencia por pendiente es de 10 Kg/ton por cada 1% de pendiente; por lo tanto:

$$\begin{aligned} R_{PL} &= 10 \cdot p \cdot W_L \cdot n \\ R_{PC} &= 10 \cdot p \end{aligned}$$

donde:

R_{PL} : resistencia por pendiente de la locomotora en Kg.

R_{PC} : resistencia por pendiente de los carros en Kg/ton.

W_L : peso por eje de las locomotoras.

n : número de ejes.

p : pendiente en %.

La fuerza disponible en el acoplador de la locomotora es:

$$F_b = F_T - R_L - R_{PL}$$

donde:

F_b : fuerza tractiva disponible en el acoplador en Kg.

Esta fuerza F_0 menos la resistencia de los carros al rodamiento, aire y pendiente, determina la capacidad de arrastre del tren:

$$O = F_0 - [(R_C + R_{PC}) \cdot (W_C \cdot n \cdot C)]$$

donde:

O : capacidad de arrastre.

R_{PC} : $10p$ (Kg/ton).

R_C : resistencia de los carros en Kg/ton.

p : pendiente en %.

n : número de ejes por carro.

C : número de carros.

3.3.2) Cálculo de la Capacidad de Arrastre

Para el desarrollo de esta tesis, el número mínimo de locomotoras considerado fue de una y el máximo de seis. Por otro lado, para el cálculo de las velocidades se utilizaron datos referentes al tiempo de recorrido del tren gobernador, así como las distancias existentes entre estaciones. Dichas velocidades se calcularon entre los intervalos marcados por las pendientes, las cuales varían desde 1.5% hasta un 0% dependiendo del rumbo (Tabla 3.8). Se estableció además una velocidad mínima de 20 km/hr con la finalidad de evitar un sobreesfuerzo sostenido de los motores de tracción en las locomotoras. Para determinar la carga máxima por carro, es decir, la condición más desfavorable, se utilizó la siguiente Tabla, donde se indica el volumen neto máximo transportado, el peso de cada uno de los carros y la carga total por eje:

TIPO DE TREN	Volumen Neto Máximo (Ton/Carro)	Peso del Carro (Ton/Carro)	Nº DE CARROS	Carga Total (Ton)
TREN METALERO	80	25	60	6,300
TREN DE CONTENEDORES	40	30	60	4,200
TREN CEMENTERO	90	30	45	5,400
TREN DE FLETE VARIADO	70	25	90	8,550

De esta Tabla podemos concluir que la condición más desfavorable se presenta en los trenes de Flete Variado, por lo tanto, las variables utilizadas en el cálculo de la capacidad de arrastre, referentes a los carros, son las siguientes:

W_c	23.75 (Ton/eje)
n	4 (ejes por carro)
A	8 (m^2)

En cuanto a las locomotoras, las variables utilizadas son las siguientes:

W_L	31.7 (Ton/eje)
n	δ (ejes por locomotora)
A	13 (m^2)
Potencia	4400 (HP)

Finalmente se realizaron los cálculos necesarios para determinar si el número de locomotoras especificado es el suficiente para transportar la carga máxima sin tener problemas de arrastre.

Se usaron los tiempos de recorrido indicados en los horarios actuales, cuidando que la velocidad media de tránsito no resultara inferior a 20 km/hr, como se mencionó anteriormente.

Los resultados son mostrados en la *Tabla 3.9*. En ellos se puede observar, que entre un intervalo de una a seis locomotoras, el número máximo necesario para transportar la carga máxima es de tres locomotoras, en los tramos donde la pendiente es más desfavorable.

(TABLA 3.8) VELOCIDADES (CAPACIDAD DE ARRASTRE)

ESTACIONES	PENDIENTE MÁXIMA ASCIENDIENDO	DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	RUMBO AL NORTE		TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	VELOCIDAD MEDIA DE TRANS (KM/HR)
			CARGA DIARIO	CARGA DIARIO		
HUEHUETOCAN M	0.8	47	4.50	5.09	19	29.4
SAN SEBASTIAN		56.3		5.25		
APAXCO		66.9		5.29		
VITO	0	69.7		5.33	24	40.0
CALERA		72.3		5.44	10.6	30.0
BOJAY	0.5	77.6				
EMP SUR DIST TETEPANGO		83.1				
EMP NTE DIST TETEPANGO	0	83.3		5.53		
TEOCALCO		83.6		6.07	23	40.0
CARRASCO		92.9		6.25		
ENDO		99.1				
MAGUA		105.4				
SAYULA		112.7		7.06		
RANCHO NUEVO	1.5	118.6				
ESCANDON		128		7.52		
CONEX ARAGON		132.9				
ARAGON N M		133.1		8.07	120.6	20.0
NOPALA		140.2		8.18		
MEJIA		149.7		8.32		
HUICHAPAN		160		8.50		
SAN JOSE DE ATLAN	0	163.3		8.48		
ATLAN		167.9		7.02		
EL ZAPOTE		174				
RAYON		181.6		7.22	72.8	40.0
CAMBALACHE		189.9				
MERCADER	1	195.3		7.56	34	24.5
BERNAL	0	204.2		8.15	19	28.1
SAN NICOLAS	0.4	213.6		8.40	25	22.6
LA LLAVE	0.8	220.1		8.52	12	32.5
LA FUENTE	0.5	229.3		9.18	27.6	20.0
NORIA	0.2	239.6		9.49	31.5	20.0
VIBORILLAS		245.1		10.04		
CRUCERO "A" VIBORILLAS	0.4	246.7				
LA GRIEGA		252.9		10.26	21.97	21.3

VELOCIDAD PROMEDIO 28

ESTACIONES	PENDIENTE MÁXIMA ASCIENDIENDO	DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	RUMBO AL SUR		TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	VELOCIDAD MEDIA DE TRANS (KM/HR)
			CARGA DIARIO	CARGA DIARIO		
HUEHUETOCAN M		47	12.00			
SAN SEBASTIAN		56.3	11.38			
APAXCO	1	66.9	11.14			
VITO		69.7	11.07		53	25.7
CALERA	0.5	72.3	10.59		7.8	20.0
BOJAY		77.6	10.46			
EMP SUR DIST TETEPANGO		83.1				
EMP NTE DIST TETEPANGO	1	83.3				
TEOCALCO		83.6	10.31			
CARRASCO		92.9	10.08			
ENDO		99.1	9.53		66	24.3
MAGUA		105.4				
SAYULA		112.7	9.33			
RANCHO NUEVO	0	118.6				
ESCANDON		128	9.10		43	40.0
CONEX ARAGON		132.9				
ARAGON N M		133.1				
NOPALA	0.9	140.2	8.42		28	26
MEJIA		149.7	8.24			
HUICHAPAN		160	8.00			
SAN JOSE DE ATLAN		163.3				
ATLAN	1	167.9				
EL ZAPOTE		174	12.00			
RAYON		181.6	11.32		72	26.6
CAMBALACHE		189.9				
MERCADER	0.88	195.3	11.01		31	26.5
BERNAL		204.2	10.30			
SAN NICOLAS	1	213.6	10.04		26	21.7
LA LLAVE	0	220.1	9.51		13	30.0
LA FUENTE	0.6	229.3	9.23		28	20.0
NORIA	0.4	239.6	9.00		23	27.4
VIBORILLAS		245.1	8.50		11	30.0
CRUCERO "A" VIBORILLAS	0	246.7				
LA GRIEGA	0.6	252.9	8.32		17.8	26.3

VELOCIDAD PROMEDIO 27

(TABLA 3.9) RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ARRASTRE

RESULTADOS (CAPACIDAD DE ARRASTRE)

RNORTE

PENDIENTE (%)	CAPACIDAD DE ARRASTRE	NÚMERO DE LOCOMOTORAS						N° MÍNIMO DE LOCOMOTORAS
		1	2	3	4	5	6	
0.8		(50,216)	(17,608)	15,000	47,608	80,216	112,824	3
0		8,732	33,704	58,676	83,648	108,620	133,592	1
0.5		(24,824)	7,630	40,084	72,537	104,991	137,445	2
0		8,732	33,704	58,676	83,648	108,620	133,592	1
1.5		(93,813)	(46,413)	966	48,385	95,785	143,184	3
0		8,732	33,704	58,676	83,648	108,620	133,592	1
1		(60,014)	(20,885)	18,244	57,373	96,502	135,631	3
0		21,458	57,135	92,812	128,490	164,167	199,844	1
0.4		(3,791)	39,967	83,724	127,482	171,240	214,997	2
0.8		(54,052)	(24,763)	4,527	33,816	63,105	92,395	3
0.5		(6,411)	42,891	92,192	141,493	190,795	240,096	2
0.2		19,810	69,682	119,554	169,426	219,298	269,170	1
0.4		(950)	45,458	91,866	138,274	184,681	231,089	2
							PROMEDIO DE LOCOMOTORAS	2

RSUR

PENDIENTE (%)	CAPACIDAD DE ARRASTRE	NÚMERO DE LOCOMOTORAS						N° MÍNIMO DE LOCOMOTORAS
		1	2	3	4	5	6	
1		(62,194)	(25,052)	12,090	49,232	86,374	123,517	3
0.5		(6,411)	42,891	92,192	141,493	190,795	240,096	2
1		(59,709)	(20,300)	19,108	58,516	97,925	137,333	3
0		8,732	33,704	58,676	83,648	108,620	133,592	1
0.9		(54,225)	(17,591)	19,044	55,678	92,312	128,947	3
1		(83,641)	(27,806)	8,029	43,864	79,699	115,534	3
0.9		(53,046)	(16,886)	19,273	55,433	91,593	127,752	3
1		(54,308)	(9,900)	34,509	78,917	123,326	167,734	3
0		18,877	52,282	85,687	119,091	152,496	185,901	1
0.6		(15,151)	33,960	83,071	132,183	181,294	230,405	2
0.4		(12,464)	23,379	59,221	95,064	130,906	166,749	2
0		18,877	52,282	85,687	119,091	152,496	185,901	1
0.6		(28,195)	8,837	45,870	82,903	119,936	156,968	2
							PROMEDIO DE LOCOMOTORAS	3

CAPITULO IV

DETERMINACIÓN DE PROYECTOS PARA AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD

4.1) ELEMENTOS DE LA VÍA

4.1.1) Rieles

Son dos secciones de acero colocados en forma paralela a una distancia entre sus costados interiores denominada escantillón, que constituye el elemento para el rodamiento de equipo móvil. Requieren de máxima precisión para su alineado horizontal y vertical. Las velocidades del equipo someten a los rieles a grandes esfuerzos, por lo que requieren estar perfectamente sujetos para evitar, en lo posible, movimientos y para amortiguar la vibración y los impactos.

La sección del riel es de una viga fabricada de una sola pieza, cuyo patín superior denominado hongo o cabeza es el apoyo directo al equipo y está sujeto a un desgaste muy fuerte, cuenta con alma y placa inferior, con la cual se le sujeta al durmiente por medio de los accesorios correspondientes (*Figura 4.1*).

Los esfuerzos a que está sujeto el riel y, por tanto, su vida útil, dependen de las cargas y velocidades del equipo rodante, de su calibre (peso longitudinal), el área de apoyo y espaciamiento de los durmientes, de la calidad del balasto y de la eficiencia de la fijación del riel al durmiente y el de éste en el balasto.

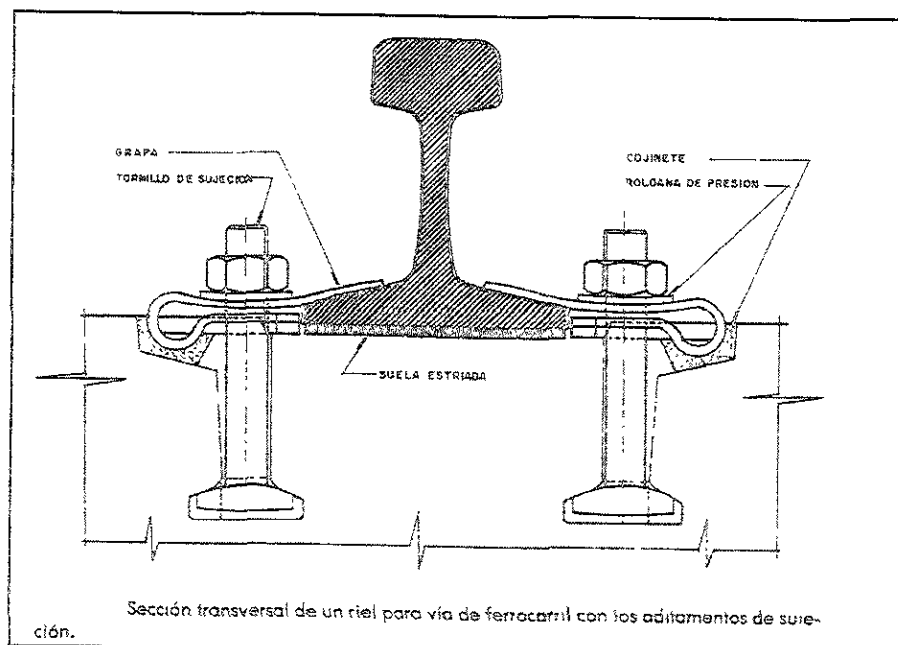


FIGURA 4.1

Análisis de costos

Para la rehabilitación de la línea en estudio, se analizó la alternativa de usar riel de 115 lb/yd o bien de 136 lb/yd, con la finalidad de saber cual era la opción más económica. Para ello se realizaron los siguientes cálculos:

CALIBRE DEL RIEL (lb/ yd)	CALIBRE DEL RIEL (ton/ km)	COSTO POR TONELADA (\$ / ton)	COSTO POR KM (\$ / Km)
115	57	9.086	517.902
136	67	9.240	619.080

Basados en las Gráficas de la pag. 316 del libro del Ing. Francisco Togno, se obtuvo para cada calibre su vida útil en toneladas brutas por año, así como sus costos de mantenimiento en porcentaje:

CALIBRE DEL RIEL (lb/ yd)	COSTO DE MANTENIMIENTO EN PORCENTAJE (%)	VIDA ÚTIL (millones de toneladas brutas por año)
115	1.167	200
1036	0.818	279

Con estos datos y los volúmenes brutos totales se calculó la vida útil de cada riel (*Tabla 4.1*), así como los costos por mantenimiento anual:

	ANOS
VIDA ÚTIL RIEL DE 115 (lb/yd)	10
VIDA ÚTIL RIEL DE 136 (lb/yd)	13

COSTO DE MANTENIMIENTO DE LA VÍA	100000(\$ / Km - año)
----------------------------------	-----------------------

	COSTO DE MANTENIMIENTO EN PORCENTAJE (%)	COSTO DE MANTENIMIENTO (\$ / km - año)
RIEL DE 115 (lb/yd)	1.167	116,700
RIEL DE 136 (lb/yd)	0.818	81,800

Utilizando un factor de actualización del 12% se obtuvieron los resultados que se presentan en la *Tabla 4.2*. En dicha Tabla podemos observar que el costo de los rieles con calibre de 136 lb/yd, al final a los 25 años, es menor que los rieles de 115 lb/yd, por lo tanto, queda justificado su uso en este proyecto.

En el caso de la línea ferroviaria en estudio, existen actualmente rieles con un calibre de 115 lb/yd, los cuales serán sustituidos en las secciones que así lo requieran por rieles de 136 lb/yd, obteniéndose con esto mejoras importantes en la operación de la vía, tales como mayor velocidad de recorrido y un incremento en los volúmenes de carga transportados.

(TABLA 4.1) CÁLCULO DE LA VIDA ÚTIL DEL RIEL

	1998	1999	2000	2001	2002
TOTAL DE TONELADAS NETAS	9,326,000	9,827,320	10,371,625	10,963,825	11,609,483
TOTAL DE TONELADAS BRUTAS	16,786,800	17,689,176	18,668,924	19,734,885	20,897,069
TOTAL DE TONELADAS BRUTAS (ACUMULADAS)	16,786,800	34,475,976	53,144,900	72,879,786	93,776,855

RIELES DE CALIBRE 115 (lb/yd)	(183,213,200)	(165,524,024)	(146,855,100)	(127,120,214)	(108,223,145)
RIELES DE CALIBRE 136 (lb/yd)	(262,213,200)	(244,524,024)	(225,855,100)	(206,120,214)	(185,223,145)

	2003	2004	2005	2006	(10 AÑOS) 2007
TOTAL DE TONELADAS NETAS	12,314,899	12,988,703	13,716,327	14,503,074	15,354,831
TOTAL DE TONELADAS BRUTAS	22,166,819	23,379,666	24,689,389	26,105,534	27,638,696
TOTAL DE TONELADAS BRUTAS (ACUMULADAS)	115,943,674	139,323,339	164,012,728	190,118,262	217,756,958
RIELES DE CALIBRE 115 (lb/yd)	(84,056,326)	(60,676,661)	(35,987,272)	(9,881,738)	17,756,958
RIELES DE CALIBRE 136 (lb/yd)	(163,056,326)	(139,676,661)	(114,987,272)	(88,881,738)	(61,243,042)

	2008	2009	(13 AÑOS) 2010
TOTAL DE TONELADAS NETAS	16,278,131	17,121,672	18,022,836
TOTAL DE TONELADAS BRUTAS	29,300,637	30,819,010	32,441,105
TOTAL DE TONELADAS BRUTAS (ACUMULADAS)	247,057,594	277,876,605	310,317,710
RIELES DE CALIBRE 115 (lb/yd)	47,057,594	77,876,605	110,317,710
RIELES DE CALIBRE 136 (lb/yd)	(31,942,406)	(1,123,395)	31,317,710

(TABLA 4.2) ANÁLISIS DE COSTOS DE LOS RIELES**ACTUALIZACION DE PRECIOS**

AÑO			f.a. a = 12%	COSTO ACTUALIZADO	
	115(lb/yd) (\$/ton)	136(lb/yd) (\$/ton)		115(lb/yd) (\$/ton)	136(lb/yd) (\$/ton)
0	517,902	623,700	1.000	517,902	623,700
1	116,700	81,800	0.893	104,196	73,036
2	116,700	81,800	0.797	93,033	65,210
3	116,700	81,800	0.712	83,065	58,224
4	116,700	81,800	0.636	74,165	51,985
5	116,700	81,800	0.567	66,219	46,416
6	116,700	81,800	0.507	59,124	41,442
7	116,700	81,800	0.452	52,789	37,002
8	116,700	81,800	0.404	47,133	33,038
9	116,700	81,800	0.361	42,083	29,498
10	517,902	81,800	0.322	166,751	26,337
11	116,700	81,800	0.287	33,548	23,516
12	116,700	81,800	0.257	29,954	20,996
13	116,700	623,700	0.229	26,745	142,936
14	116,700	81,800	0.205	23,879	16,738
15	116,700	81,800	0.183	21,321	14,945
16	116,700	81,800	0.163	19,036	13,343
17	116,700	81,800	0.146	16,997	11,914
18	116,700	81,800	0.130	15,176	10,637
19	116,700	81,800	0.116	13,550	9,498
20	517,902	81,800	0.104	53,689	8,480
21	116,700	81,800	0.093	10,802	7,571
22	116,700	81,800	0.083	9,644	6,760
23	116,700	81,800	0.074	8,611	6,036
24	116,700	81,800	0.066	7,688	5,389
25	116,700	81,800	0.059	6,865	4,812
SUMA (25 AÑOS)				1,603,964	1,389,458
26	116,700	623,700	0.053	6,129	32,757
27	116,700	81,800	0.047	5,472	3,836
28	116,700	81,800	0.042	4,886	3,425
29	116,700	81,800	0.037	4,363	3,058
30	517,902	81,800	0.033	17,286	2,730
31	116,700	81,800	0.030	3,478	2,438
32	116,700	81,800	0.027	3,105	2,177
33	116,700	81,800	0.024	2,773	1,943
34	116,700	81,800	0.021	2,475	1,735
35	116,700	81,800	0.019	2,210	1,549
36	116,700	81,800	0.017	1,973	1,383
37	116,700	81,800	0.015	1,762	1,235
38	116,700	81,800	0.013	1,573	1,103
39	116,700	623,700	0.012	1,405	7,507
40	517,902	81,800	0.011	5,566	879
SUMA (40 AÑOS)				3,272,385	2,846,672

4.1.2) Durmientes

Los durmientes son los apoyos transversales de la vía, a los que se sujetan los rieles por medio de accesorios y se colocan a una determinada distancia, de la cual depende la carga a que están sujetos; pueden ser de madera dura o blanda, monolíticos de concreto presforzados (*Figura 4.2*) o de bloques de concreto en los extremos, unidos con acero estructural. Estos deben transmitir sólo presiones máximas admisibles al balasto y anclar a la vía, para impedir su desplazamiento lateral o el corrimiento longitudinal.

- DURMIENTES DE MADERA. Los durmientes de madera tienen una sección de 18x20x240 (cm). La madera resulta excelente para poder absorber los momentos negativos y otras complejas deformaciones imprevisibles. Mientras terraplenes y el sub-balasto carecen de compactación y drenaje adecuado, la madera proporciona durmientes capaces de resolver el problema de esfuerzos. El durmiente de madera puede representar algún argumento a su favor en las vías de gran tráfico con terraplenes bien drenados y compactados, cuando el riel es de un calibre tal que su vida útil es tan reducida que se precise cambiarlo con mayor frecuencia que los durmientes, lo cual sólo ocurre en tramos excepcionales. Las más frecuentes fallas en los durmientes de madera ocurren bajo los rieles y en gran parte dependen del balasto sucio que pudre los extremos, por otro lado el gradual deslizamiento de taludes produce presión central con momentos negativos y roturas por la mitad del durmiente.
- DURMIENTES DE CONCRETO. Los durmientes de concreto pueden ser de una sola pieza pretensada o de dos piezas de concreto unidas por una barra de acero que también es pretensada; si no hay percances la duración de este tipo de durmientes es semejante a los de acero; pero en caso de haber descarrilamiento, los durmientes monolíticos de concreto presforzados se destruyen con mayor facilidad que los de barra de acero, la cual si se daña puede ser rehabilitada con soldadura.

Diseño de durmientes monolíticos de concreto presforzado

1. Consideraciones generales: Estos serán diseñados para usarse en vías con riel de 115 lb/yard a 136 lb/yard, escantillón de 1,435 mm y separación de 600 mm de centro a centro de durmientes.
2. Dimensiones: La dimensión máxima será de 240x33x25 (cm), y la mínima de 240x15x15 (cm), con las siguientes características:

Longitud	240 (cm)
Cara inferior	33 - 22 (cm)
Área mínima	2,440 (cm ²)
Cara superior	33 - 15 (cm)
Ancho de la superficie de apoyo del patin	20 (cm)
Peralte	25 - 15 (cm)

3. Concreto: La resistencia mínima a la compresión del concreto será $f'c = 525 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días, y la resistencia mínima a la tensión por flexión será de 65 kg/cm^2 a los 7 días.
4. Acero de presfuerzo: El acero presforzado deberá tener un límite de fluencia mínimo de $14,000 \text{ Kg/cm}^2$ y una resistencia a la ruptura no menor de $16,000 \text{ kg/cm}^2$, con un alargamiento permanente mínimo de 3.4% en la longitud de medición de 250 mm.
5. Acero de refuerzo. Las varillas para el refuerzo deberán ser corrugadas. El límite elástico mínimo será de $4,200 \text{ Kg/cm}^2$ y el esfuerzo a la ruptura no será inferior a $6,300 \text{ kg/cm}^2$.

Para el tramo de vía analizado se utilizarán durmientes monolíticos de concreto presforzado, ya que en comparación con los durmientes de madera presenta mayores ventajas tanto de resistencia como de durabilidad, reduciendo así los costos de mantenimiento. Por otro lado, como se mencionó anteriormente se utilizarán en dicha vía rieles con calibre de 115 lb/yd y 136 lb/yd, con lo que se cumplen las condiciones establecidas para el uso de los durmientes monolíticos de concreto presforzado.

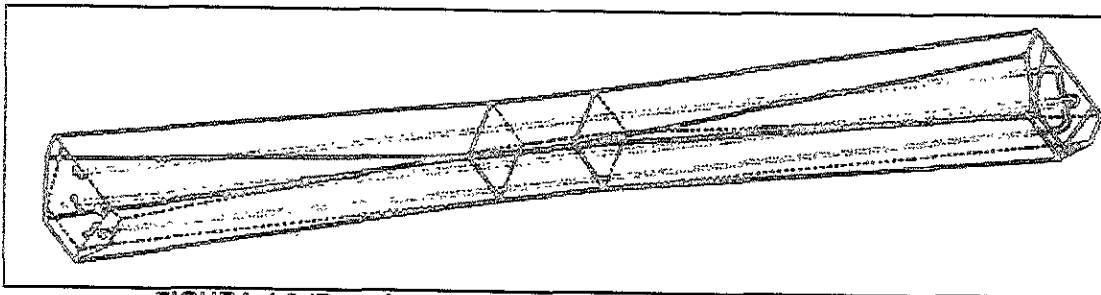


FIGURA 4.2 (Durmiente monolítico de concreto presforzado)

4.1.3) Terraplenes

Las terracerías (es decir, el cuerpo del terrapien y la capa sub-rasante) se proyectan y construyen de manera similar que los caminos y aeropuertos; es decir, la altura de los terraplenes y la profundidad de los cortes o sea la posición de la sub-rasante, están regidas principalmente por la pendiente longitudinal de la obra, sobre todo en terrenos de lomerío y montañoso, que da lugar al proyecto de viaductos, túneles y en ocasiones terraplenes altos, la longitud de los cuales se

determina en base a estudios económicos y se obtiene moviendo la línea sub-rasante en forma horizontal, ya que no se tiene la posibilidad de moverla en forma vertical, por tener especificaciones muy rígidas en cuanto a la pendiente longitudinal.

4.1.4) Balasto

El balasto es una capa de material granular cuyos objetivos, como parte constitutiva de la superestructura de la vía férrea, son los siguientes:

1. Confina los durmientes, oponiéndose a sus desplazamientos longitudinal y transversal, originados por el frenaje o la tracción del equipo, por las fuerzas centrífugas o por sobreelevación excesiva de las curvas y, en las vías soldadas, por los considerables esfuerzos que se desarrollan con los cambios de temperatura.
2. Transmite las presiones a la sub-estructura.
3. Drena las vías.
4. Sirve de elemento nivelador para la conservación de la rasante.

Por otro lado existen diferentes tipos de material que pueden utilizarse en el balasto, tales como:

- o Piedra triturada.
- o Granito desintegrado.
- o Basalto.
- o Grava lavada.
- o Grava cribada.
- o Grava de río.
- o Grava de mina.
- o Cenizas.
- o Residuos de trituración de piedras.
- o Arenas.
- o Grava cementada.
- o Escoria granulada.

Dadas sus características de resistencia y durabilidad el material utilizado en este proyecto, es el basalto.

Espesor de la capa de balasto

En cuanto al espesor de la capa de balasto, se pueden hacer algunas consideraciones teóricas de distribución de esfuerzos, pero en general este espesor se coloca de acuerdo a la práctica regional.

Para el cálculo del espesor del balasto se tienen varias fórmulas empíricas como es la de la Asociación Americana de Ingenieros de Ferrocarriles (AREA), la cual está definida por la siguiente fórmula:

$$h = \left(17 \cdot \frac{P_o}{P} \right)^{1.25}$$

donde:

h : Espesor de balasto.

P_o : Presión en la base del durmiente.

P : Esfuerzo permisible en la capa sub-rasante.

Cálculo del espesor de la capa de balasto

Para el cálculo del espesor del balasto se tomó la dimensión máxima del durmiente, un peso máximo bruto por carro de 30 (Ton/eje) y un esfuerzo permisible igual a .5 Kg/cm², por lo tanto:

W_c	30,000 (Kg/eje)
p	0.5 (kg/cm ²)
Dimensiones	240 x 33 (cm)

Aplicando la fórmula de Asociación Americana de Ingenieros de Ferrocarriles (AREA), tenemos que:

$$p_o = \frac{30,000}{(240) \cdot (33)} = 3.788 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$h = \left(\frac{(17) \cdot (3.788)}{0.5} \right)^{1.25} = 48.7 \text{ (cm)}$$

Este ancho de balasto implica un volumen de .5 (m³) de balasto por metro de vía rehabilitada, en el caso de la línea ferroviaria aquí analizada se utilizará un volumen de 1 (m³) de balasto por metro de vía rehabilitada.

4.1.5) Accesorios de los rieles

Los accesorios de los rieles se clasifican en cinco tipos: de conexión, de anclaje, de fijación, de reducción de esfuerzos y de lubricación. Dentro de esta clasificación existen dos aspectos importantes que se deben remarcar: la soldadura y la fijación de la vía:

Soldadura

Existen dos tipos de soldadura:

- Soldadura eléctrica.
- Soldadura aluminotérmica.

Fijación de la vía

Son elementos que hacen posible la continuidad estructural de la vía. Sus funciones principales son las de fijar los carriles a los durmientes, asegurar la invariabilidad del ancho de vía y facilitar la transferencia a la infraestructura de las acciones elásticas y dinámicas ejercidas por el material rodante sobre la estructura de la vía. El sistema de fijación a usar depende de la clase de vía férrea de que se trate, o sea que estará en función de:

- o La carga por eje.
- o El volumen de tráfico.
- o La velocidad de operación.
- o Los radios de curvatura existentes en el trazo de la vía.

Todos los elementos provocan diferentes fuerzas horizontales, verticales y longitudinales que deben ser soportadas por la fijación.

Según las características de la fijación, las vías férreas se clasifican en dos tipos:

FIJACIÓN		CARACTERÍSTICAS
VÍA CLÁSICA CLAVADA O RÍGIDA	<p><i>Fijaciones rígidas</i></p> <p>Son aquellas en que la transmisión de esfuerzos entre carril y durmiente se realiza a través de elementos rígidos, en este caso clavos.</p>	<p>Las fijaciones rígidas tienen el inconveniente de que la calidad de las funciones cumplidas se deteriora con bastante rapidez bajo la acción de las cargas rodantes y con el paso del tiempo, ya que las deformaciones sufridas son permanentes. El hecho de que la absorción de energía sea de carácter acumulativo se traduce en que las deformaciones sucesivas posean un carácter progresivo, lo cual dará lugar al desarrollo de holguras y desajustes.</p>

FIJACIÓN		CARACTERÍSTICAS
VÍA ELÁSTICA	<p><i>Fijaciones elásticas</i></p> <p>Son aquellas en las que la transmisión de los esfuerzos del riel al durmiente se efectúan por intermedio de elementos o conjuntos de elementos elásticos.</p>	<p>La propiedad esencial de las fijaciones elásticas consiste en permitir que al paso de los trenes se produzcan pequeñas oscilaciones verticales, amortiguándose de esta manera la energía de las vibraciones que inevitablemente se producen.</p>

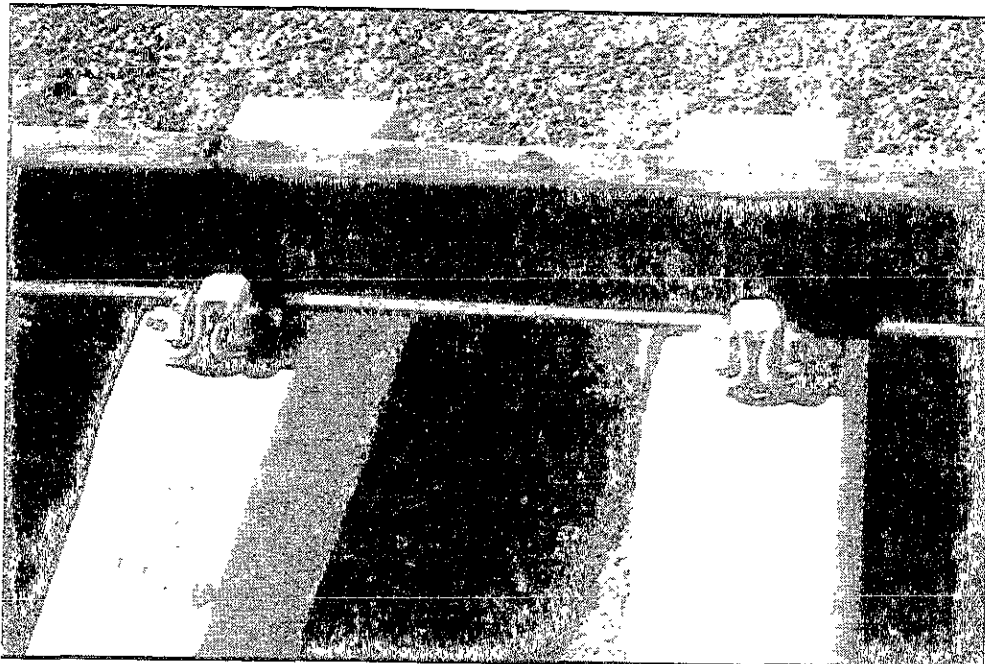
Las vías elásticas a su vez se pueden clasificar en dos tipos:

	TIPO	ELEMENTOS
VÍA ELÁSTICA	SOBRE DURMIENTE DE MADERA CON TIRAFONDO	<ul style="list-style-type: none"> a. Durmiente de madera con entalle especial. b. Placa de asiento de hombro soldado. c. Tirafondo tipo "JAB". d. Grapilla elástica RNY y SR2. e. Riel de 115 lb/yd.
	SOBRE DURMIENTE MONOLÍTICO DE CONCRETO PRESFORZADO	<ul style="list-style-type: none"> a. Placas de hule acanaladas. b. Perno tipo SL. c. Cojinete semi cilíndrico de hule armado. d. Grapa elástica reforzada "RN", Pandrol, Pandrol Fastclip. Su función es la de absorber los recorridos verticales que debido a la elasticidad de las placas de hule experimentan los rieles al pasar sobre estos la circulación de los trenes. e. Refuerzo para grapa elástica reforzada "RN". f. Roldana de presión diámetro interior 1 - 1/8".

El tipo de vía a utilizar en este proyecto es la elástica sobre durmiente monolítico de concreto presforzado debido a sus ventajas de resistencia y durabilidad.



FIJACIÓN "RN"



FIJACIÓN
"PANDROL
FASTCLIP"

4.2) REHABILITACIÓN DE VÍAS

En la rehabilitación de vías se emplearán Tándems de maquinaria con capacidad para distribuir y regular el balasto de piedra a lo largo de la vía; caizar, alinear y nivelar la vía; perfilar la sección del balasto y el barrido final de la cara superior de los durmientes. Previo a la ejecución de estos trabajos se efectuarán labores de desmantelamiento de vía existente, mejoramiento de las terracerías y reconstrucción de la superestructura de la vía, con elementos nuevos. En este caso se sustituirán los rieles existentes de 115 lb/yd por 136 lb/yd, en las secciones que así lo requieran.

Previo a los trabajos de rehabilitación, se deberá proveer el suficiente volumen de balasto para su inmediata colocación una vez realizados los trabajos de desmantelamiento y nuevo armado de la vía. Esto con el objeto de lograr la adecuada nivelación y alineación de la misma, a fin de permitir el paso seguro de trenes y evitar interrupciones en el tráfico normal.

Maquinaria y equipo

La maquinaria y el equipo utilizados en la rehabilitación de vías debe cumplir la siguientes condiciones:

- El equipo deberá tener capacidad para trabajar en vías armadas con riel soldado continuo de alto calibre y con durmientes monolíticos de concreto presforzado hasta de 330 kg de peso.
- El equipo deberá estar dotado de un sistema de alumbrado para la seguridad de su traslado y trabajos nocturnos.
- La maquinaria utilizada debe tomar en cuenta las pendientes y el grado de curvatura del tramo para realizar su trabajo eficientemente.
- Las máquinas que conformen los Tándems no deberán estar aisladas electrónicamente, para que al trabajar en tramos de vía señalizada sean detectadas en los centros de control de despacho de trenes. Asimismo se deberán tener identificados los laderos para libraje más cercanos a los tramos donde se encuentre trabajando el Tándem, lo anterior a fin de programar la desocupación más rápida de la vía troncal en caso de ser necesario y de esta manera no interrumpir la operación normal del tráfico ferroviario
- Todos los Tándems deben contar con carros para herramientas y vehículos de apoyo que permitan el transporte por carretera o

sobre la vía, con el objetivo de evitar pérdidas de tiempo en los traslados de la tripulación.

- o Para el manejo de los Tándems cada operador deberá obtener la autorización correspondiente para la conducción y operación de maquinaria por parte de la SCT.

Para los durmientes que no puedan calzarse con el empleo de maquinaria, se dispondrá de calzadores mecánicos portátiles para ejecutar estos trabajos; asimismo deberá realizar las labores de balastado y perfilado del lecho del balasto en forma manual en los lugares donde no pueda trabajar la maquinaria reguladora de balasto.

Para cumplir con los levantes necesarios, se deberá dar con el equipo, el número de pasadas que sean necesarias para el calzado, alineación y nivelación de la vía y los cambios, en función de la cantidad de balasto especificada, debiéndose obtener una sección final, después del perfilado, con 30 cm de longitud como mínimo entre el extremo del durmiente y el hombro del balasto y 30 cm de espesor bajo el durmiente.

El material resultante del vaciado de la vía, tendrá el siguiente tratamiento:

- a) *En terraplenes.* El material se derramará sobre los taludes, sirviendo como arroyo de los mismos.
- b) *En cortes.* El material se sacará a los terraplenes contiguos al corte que se está trabajando, tirándolo sobre los taludes de los primeros para que sirvan de arroyo a los mismos.

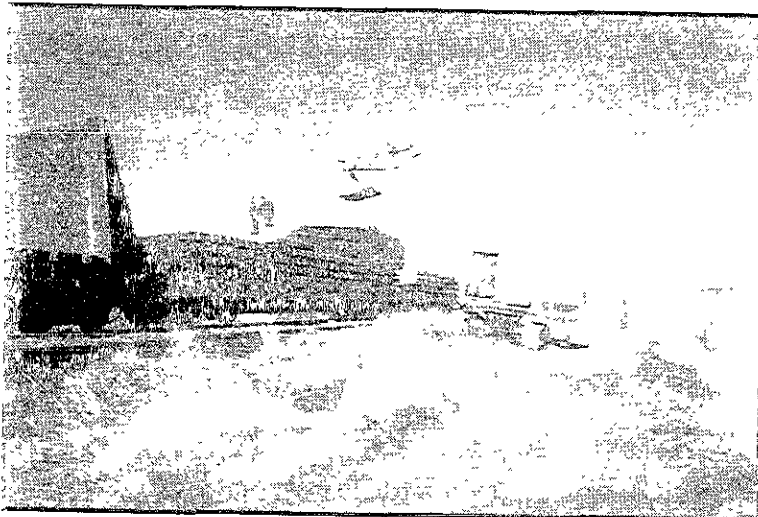
En resumen los trabajos que se deben realizar son los siguientes:

- a. Desyerbe y limpieza de cunetas.
- b. Levantamiento topográfico.
- c. Adquisición, carga y descarga de durmientes.
- d. Desmantelamiento de riel existente y armado de vía con riel nuevo (riel de 136 lb/yd).
- e. Colocación de fijación elástica.
- f. Suministro y colocación de soldadura aluminotérmica.
- g. Suministro, transporte y colocación de balasto.
- h. Calpado, alineación y nivelación de vía.
- i. Recobro y almacenamiento de material de recobro.
- j. Suministro y colocación de herraje y madera de cambio.

Los tramos de la línea en estudio a rehabilitar son:

TRAMOS A REHABILITAR	TRAMO (Km)
APASCO - CARRASCO	26
NOPALA - MEJIA	9.5
MEJIA - HUICHAPAN	10.3
HUCHAPAN - RAYON	21.6
SAN NICOLAS - LA LLAVE	6.5
LA LLAVE - VIBORILLAS	25
LA GRIEGA - HERCULES	12.2
TOTAL	111.1

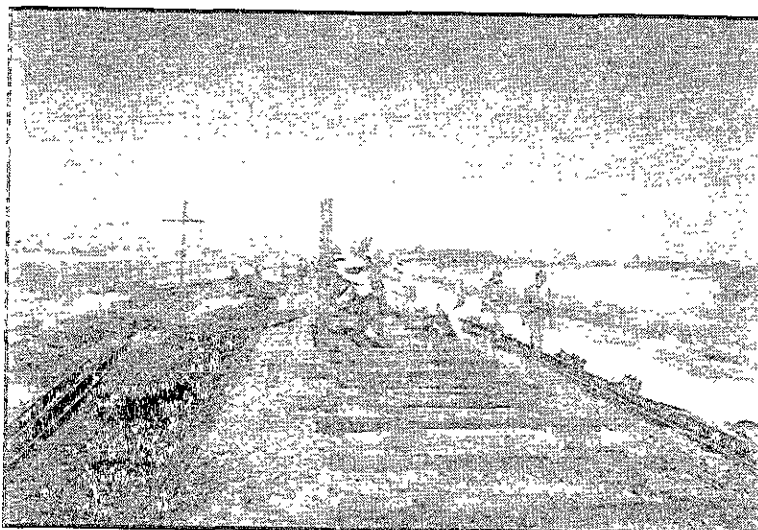
REHABILITACIÓN DE VÍAS. Proceso constructivo: tramo La Llave - Viborillas



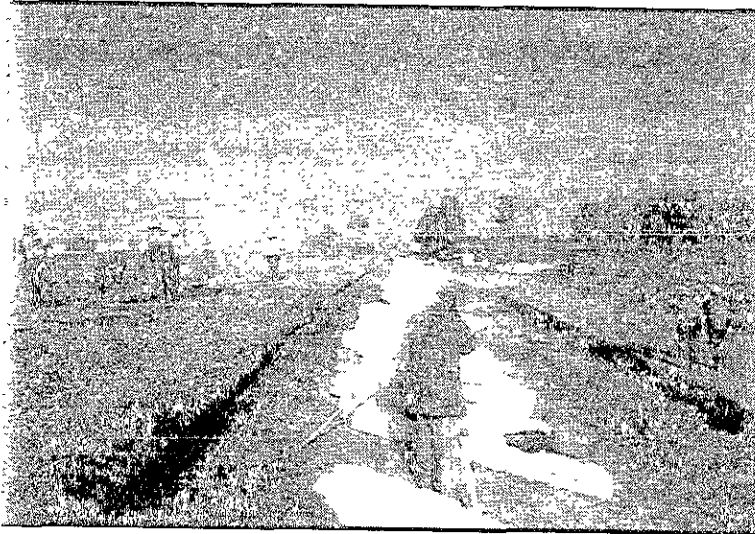
DESCARGA Y DISTRIBUCIÓN
DE DURMIENTE MONOLÍTICO
DE CONCRETO
PRESFORZADO



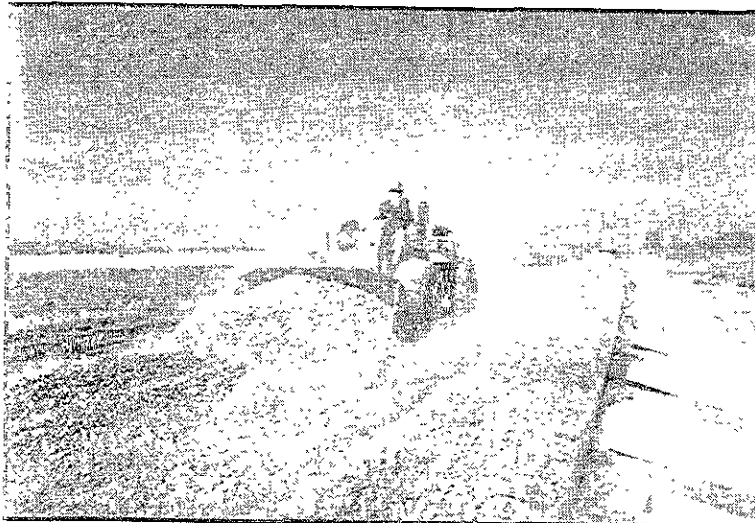
DESMANTELAMIENTO DE VÍA
EXISTENTE CON DURMIENTE
DE MADERA Y RIEL DE 115
lb/yd



RETIRO DE DURMIENTES DE
MADERA



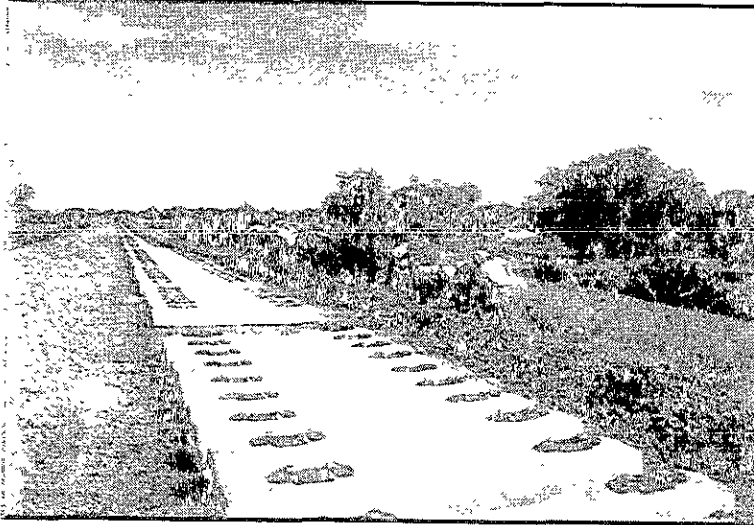
CONTROL DEL NIVEL DEL
SUB-BALASTO



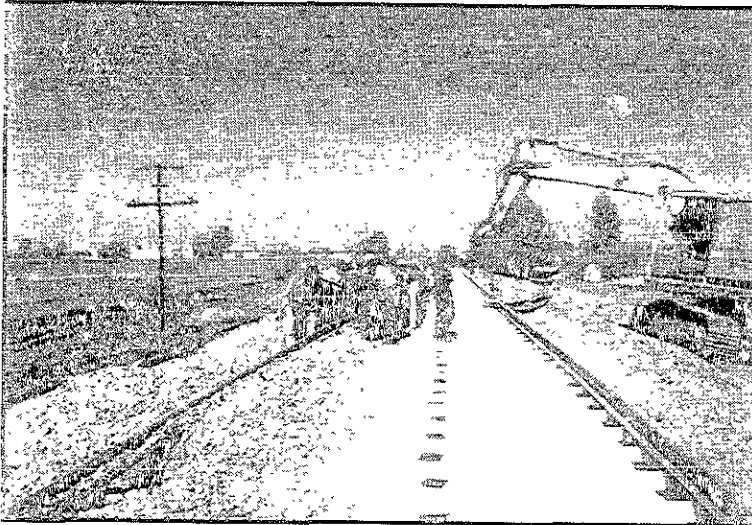
RETIRO DE BALASTO
CONTAMINADO



COLOCACIÓN DE DURMIENTE
MONOLÍTICO DE CONCRETO
PRESFORZADO Y
PREESPACIAMIENTO DE LOS
MISMOS



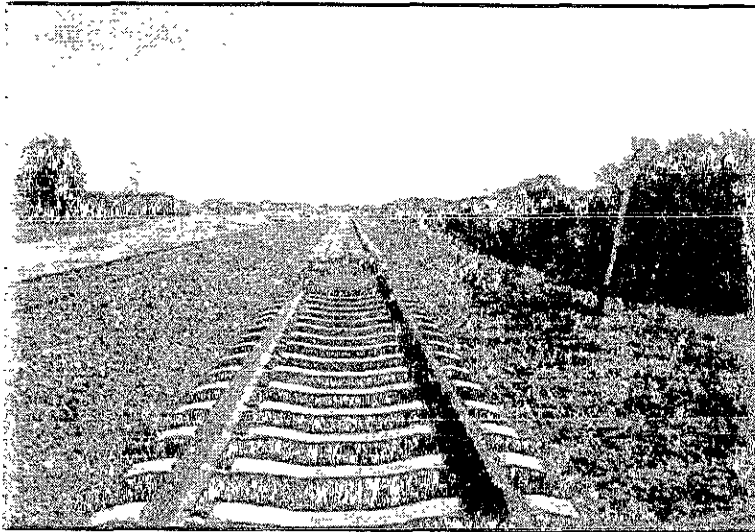
COLOCACION DE RIEL NUEVO
DE 115 lb/yd



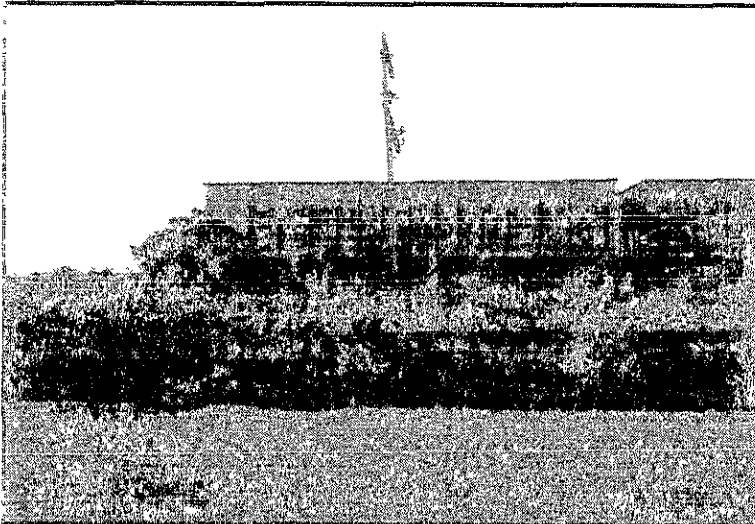
COLOCACIÓN DE RIEL NUEVO
DE 136 lb/yd



COLOCACIÓN DE JUEGOS DE
FIJACIÓN TIPO "RN" EN
DURMIENTE MONOLÍTICO DE
CONCRETO PRESFORZADO



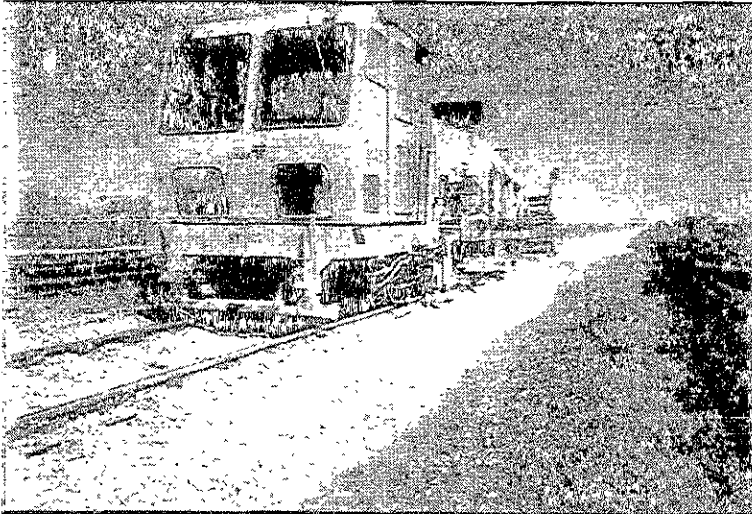
ALINEAMIENTO DE LA VÍA
PREVIO A LA DESCARGA Y
DISTRIBUCIÓN DE BALASTO



DESCARGA Y DISTRIBUCIÓN
DE BALASTO



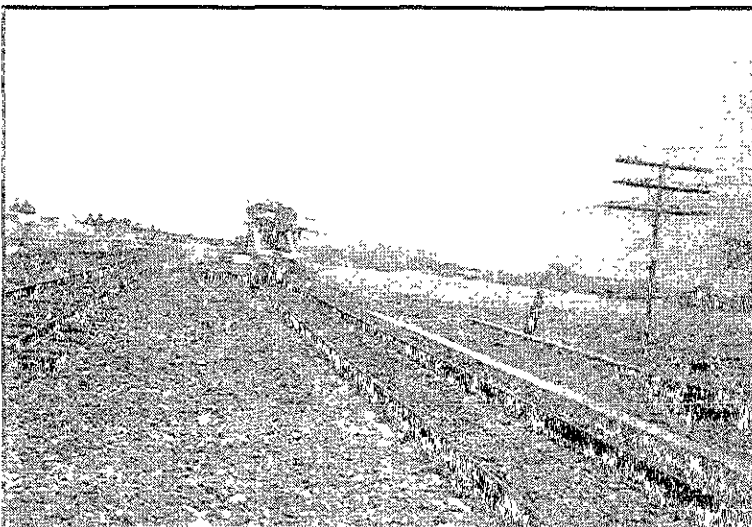
AFINE DE VÍA CON
MULTICALZADORA



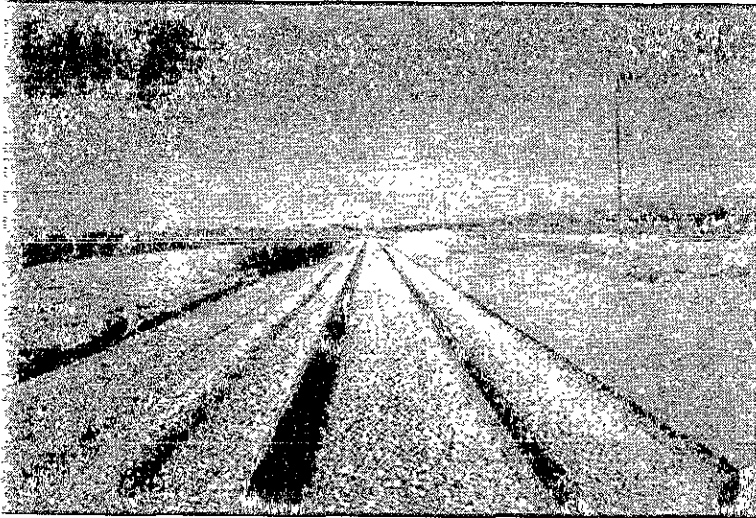
MÁQUINA CALZADORA
REALIZANDO TRABAJOS DE
CALZADO, ALINEACIÓN Y
NIVELACIÓN DE LA VÍA



ALINEACIÓN DE LA VÍA



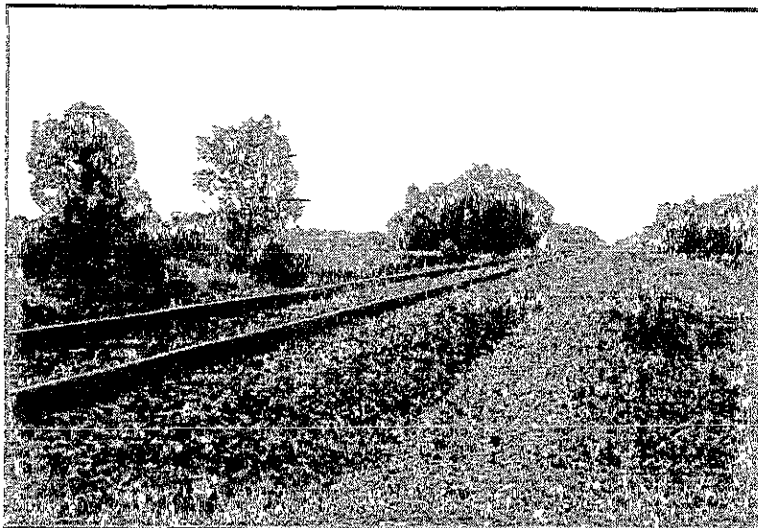
MÁQUINA REGULADORA
REALIZANDO TRABAJOS DE
REGULACIÓN Y PERFILADO
DE BALASTO



REGULADO Y PERFILADO DE
BALASTO



ASPECTO FINAL DE VÍA
REHABILITADA



ASPECTO FINAL DE VÍA
REHABILITADA

4.3) REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DE LADEROS

Los trabajos de rehabilitación y ampliación en los laderos tiene como objetivo fundamental el incrementar su capacidad, permitiendo así que trenes con un número mayor de carros y de locomotoras corran por la línea, de tal forma que se pueda satisfacer la demanda calculada para los años en estudio.

Los trabajos que se deben realizar para la rehabilitación y ampliación de laderos son los siguientes:

- a. Despalme.
- b. Excavación en corte.
- c. Forma y compactación de terracerías.
- d. Acarreo de materiales.
- e. Obra de drenaje.
- f. Instalación de vías (material de recobro).
- g. Rehabilitación de vías existentes.

Cuerpo de terraplén

Características del material para el cuerpo de terraplén:

1. Éste debe compactarse a 90% (PVSM).
2. El material utilizado debe ser limo arenoso de baja plasticidad.
3. Coeficiente de Variabilidad Volumétrica (CVV).

(%) COMPACTACIÓN	CVV
90%	1.03
95%	0.99
100%	0.94

Capa de sub-balasto

Características del material para la capa de sub-balasto:

1. Éste debe compactarse a 95% (PVSM).
2. El material utilizado debe ser grava, arena controlada, con finos bien graduado (GW).
3. Coeficiente de Variabilidad Volumétrica (CVV).

(%) COMPACTACIÓN	CVV
90%	0.79
95%	0.75
100%	0.71

Para el acarreo de materiales, tanto para el terraplén como para el sub-balasto, se debe de ubicar un banco de materiales cercano al tramo; dependiendo de la longitud de éste se deben programar los movimientos que permitan una distribución eficiente del material. Para el cálculo del sobre acarreo (SA) de material, se debe dividir el volumen obtenido en campo entre el Coeficiente de Variabilidad Volumétrica (CVV), que como se muestra anteriormente depende del porcentaje de compactación.

Laderos a rehabilitar y/o ampliar:

LADERO	AMPLIACIÓN (metros)	REHABILITACIÓN (metros)
EMBARCADERO	1,495	1,255
VITO - CALERA	0	3,360
NUEVO CARRASCO	2,750	0
SAYULA	0	2,875
ESCANDON	2,175	575
NOPALA	2,010	801
ATLAN	1,872	878
RAYON	0	2,870
BERNAL	1,927	823
VIBORILLAS	910	1,840
TOTAL	13,139	15,277

Caso particular. Ladero ubicado en el sitio denominado Embarcadero (Figura 4.3)

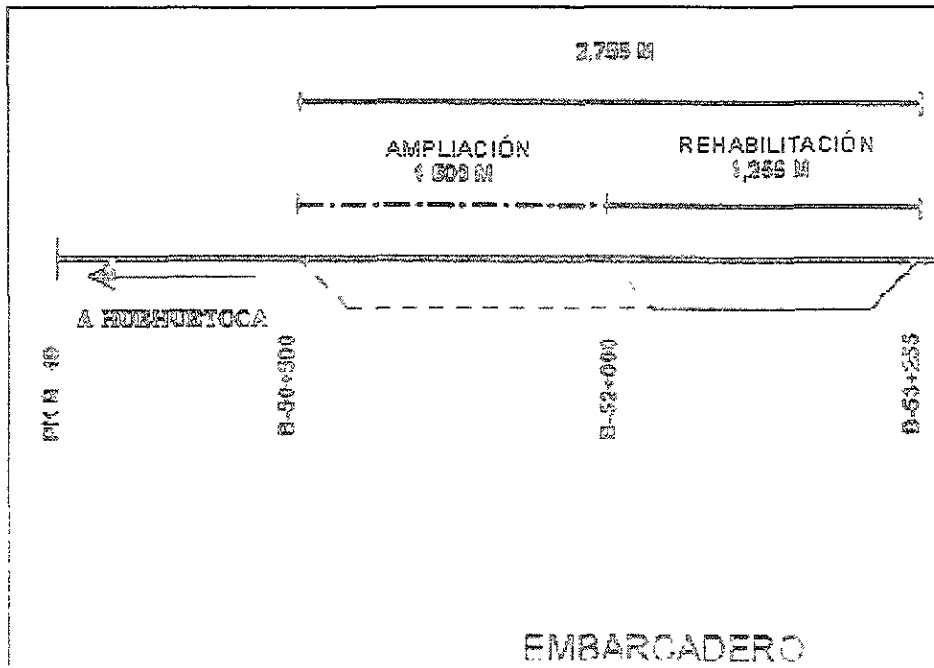


FIGURA 4.3 (Croquis)

Cuerpo de terraplén

1. Despajme. Capa vegetal .20 (m) de ancho.
2. Banco de materiales "Estrada", ubicado a la izquierda de la parte alta del poblado de Santiago Tequixquiac.
3. Distancia del banco de materiales al centro de gravedad del tramo: 5 km.
4. Número de movimientos: dos.

Movimiento 1

1. Volumen de material obtenido en campo 2,971 (m³).
2. Sobre acarreo (SA). Distancia calculada entre el banco de materiales al centro de gravedad del tramo: 4.3 Km.

$$SA = \frac{2,971}{1.03} = 2,884(m^3)$$

$$SA = 2,884 \cdot (4.3) = 12,401(m^3 \cdot Km)$$

Movimiento 2

1. Volumen de material obtenido en campo 3,344 (m³).
2. Sobre acarreo (SA). Distancia calculada entre el banco de materiales al centro de gravedad del tramo: 4.3 Km.

$$SA = \frac{3,344}{1.03} = 3,247(m^3)$$

$$SA = 3,247 \cdot (4.3) = 13,962(m^3 \cdot Km)$$

Capa de sub-balasto

1. Banco de materiales "Apasco", ubicado a la izquierda de la carretera Zumpango Tlaxcoapan, fabrica de cementos Apasco ubicada en Apasco de Ocampo.
2. Distancia del banco de materiales al centro de gravedad del tramo: 12 km.
3. Número de movimientos: dos.

Movimiento 1

1. Volumen de material obtenido en campo 1,495 (m³).
2. Sobre acarreo (SA) Distancia calculada entre el banco de materiales al centro de gravedad del tramo: 11.4 Km.

$$SA = \frac{1,495}{0.75} = 1,993(\text{m}^3)$$

$$SA = 1,993 \cdot (11.4) = 22,720 (\text{m}^3 \cdot \text{Km})$$

Movimiento 2

1. Volumen de material obtenido en campo 1,267 (m³).
2. Sobre acarreo (SA) Distancia calculada entre el banco de materiales al centro de gravedad del tramo: 11.3 Km.

$$SA = \frac{1,267}{0.75} = 1,689(\text{m}^3)$$

$$SA = 1,689 \cdot (11.3) = 19,086 (\text{m}^3 \cdot \text{Km})$$

En el *Plano P1*, se muestran las elevaciones del terreno así como las elevaciones de la rasante correspondientes al tramo que va del kilómetro 50+520 al kilómetro 50+760, de tal forma que se puede observar los tramos donde la sección es tipo en corte o en terraplén. Estas secciones se indican en las *Figuras 4.4* y *4.5* con sus respectivas dimensiones.

LANO P1 Perfil del Terreno y la Sub-rasante

50+540

20

Sub-rasante: 2288.020
Terreno: 2288.515

50+560

20

Sub-rasante: 2288.140
Terreno: 2288.668

50+580

20

Sub-rasante: 2288.260
Terreno: 2288.572

50+600

20

Sub-rasante: 2288.380
Terreno: 2288.334

50+620

20

Sub-rasante: 2288.500
Terreno: 2288.477

Sub-rasante: 2288.020
Terreno: 2288.515

Sub-rasante: 2288.140
Terreno: 2288.668

Sub-rasante: 2288.380
Terreno: 2288.572

Sub-rasante: 2288.380
Terreno: 2288.334

Sub-rasante: 2288.500
Terreno: 2288.477

Sub-rasante: 2288.500
Terreno: 2288.477

20

Sub-rasante: 2288.620
Terreno: 2288.690

Sub-rasante: 2288.620
Terreno: 2288.690

20

Sub-rasante: 2288.740
Terreno: 2288.757

Sub-rasante: 2288.740
Terreno: 2288.757

20

Sub-rasante: 2288.855
Terreno: 2288.845

Sub-rasante: 2288.855
Terreno: 2288.845

20

Sub-rasante: 2288.960
Terreno: 2288.928

Sub-rasante: 2288.960
Terreno: 2288.928

20

Sub-rasante: 2289.055
Terreno: 2288.971



20

Sub-rasante: 2289.055
 Terreno: 2288.971

Sub-rasante: 2289.140
 Terreno: 2289.012



20

Sub-rasante: 2289.140
 Terreno: 2289.012

Sub-rasante: 2289.222
 Terreno: 2289.075

TERRENO

SUB-RASANTE

Medidas en mts

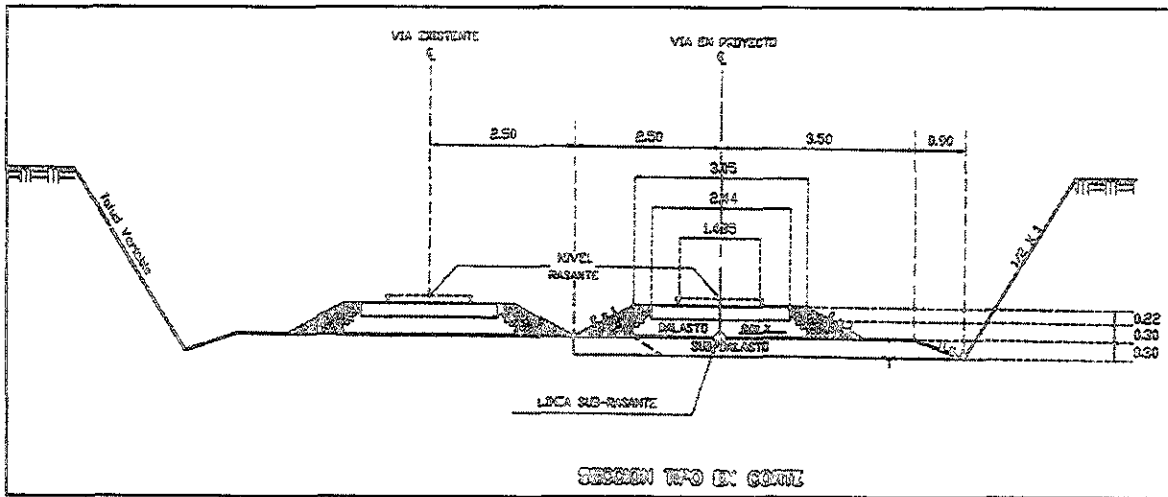
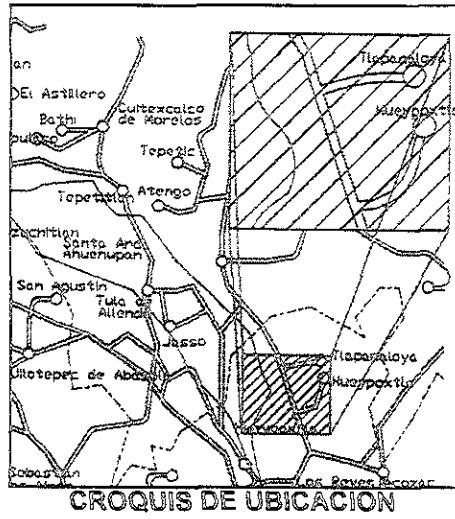


FIGURA 4.4

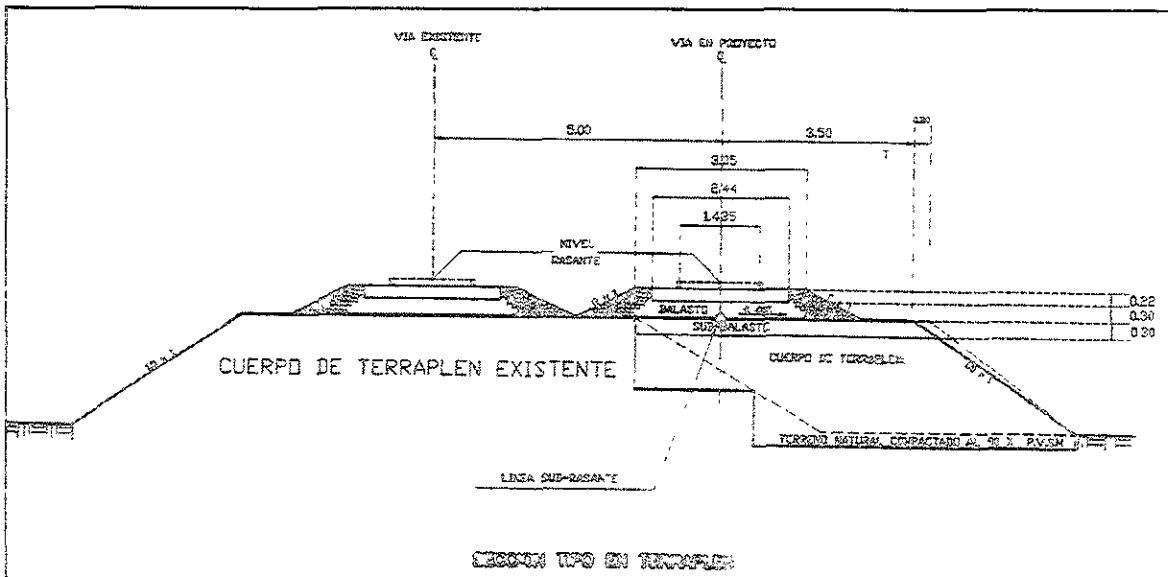
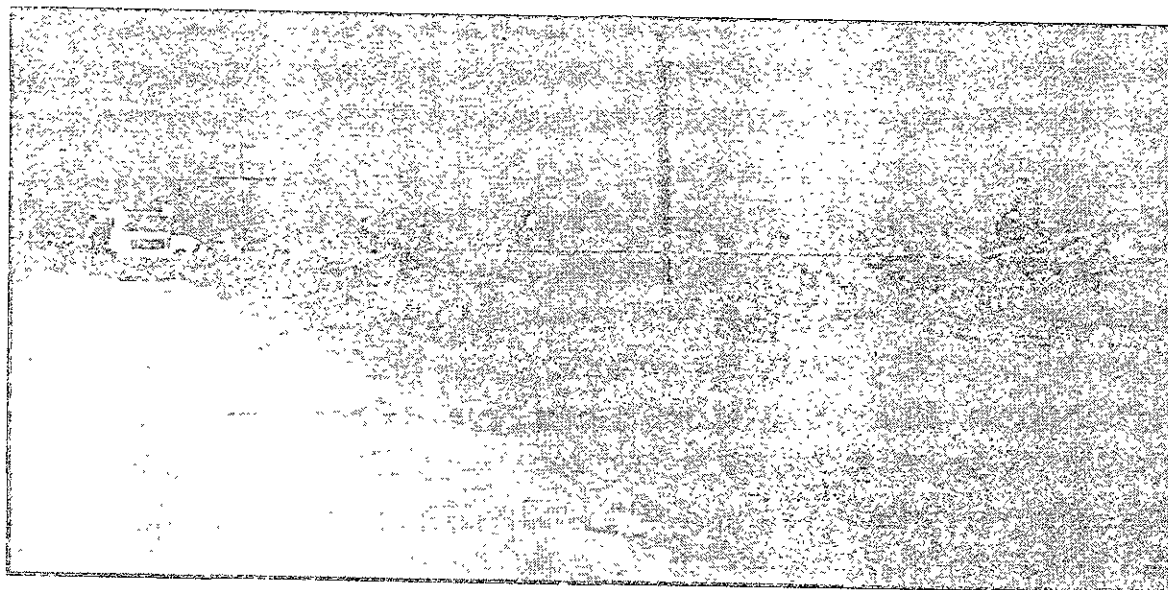
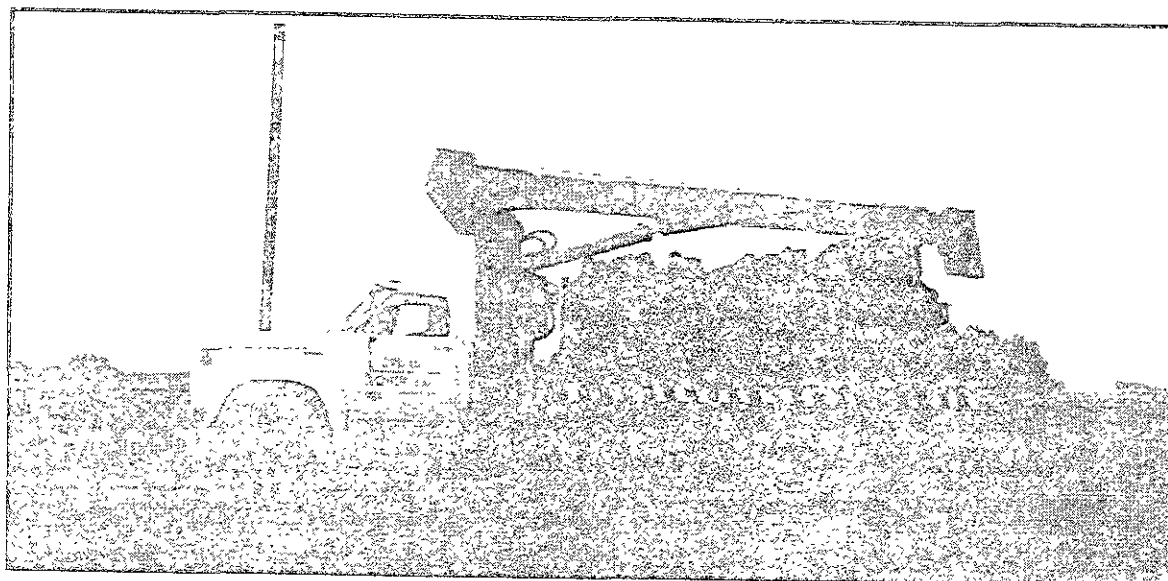


FIGURA 4.5

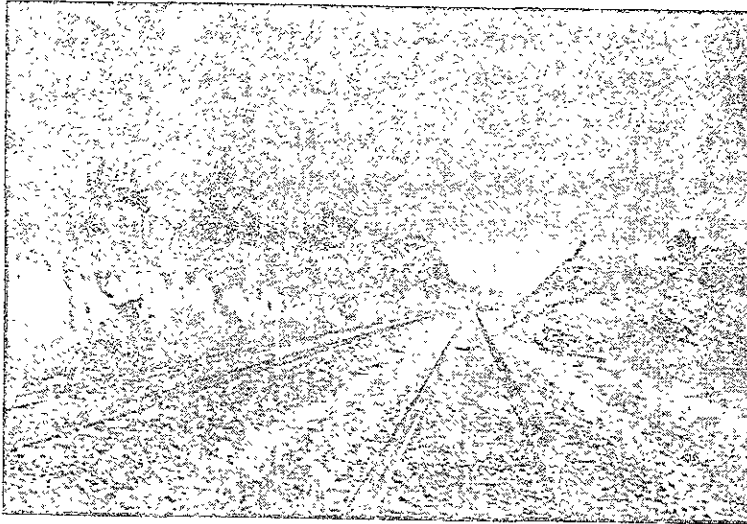
REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DE LADEROS



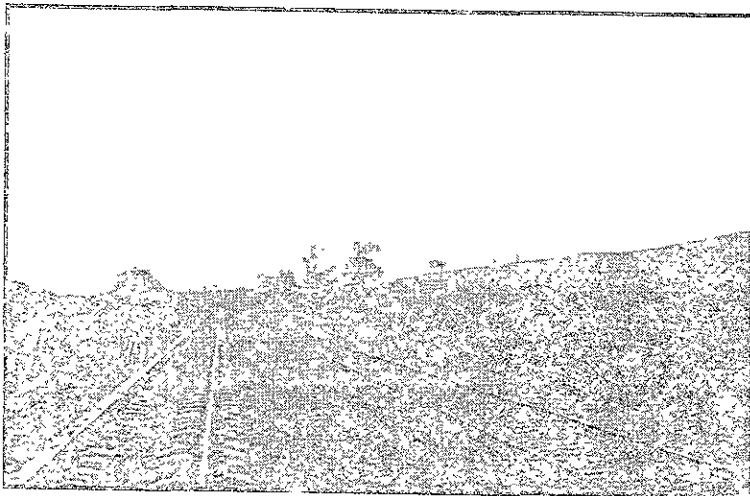
MATERIAL DE RECOBRO (DURMIENTES DE MADERA)



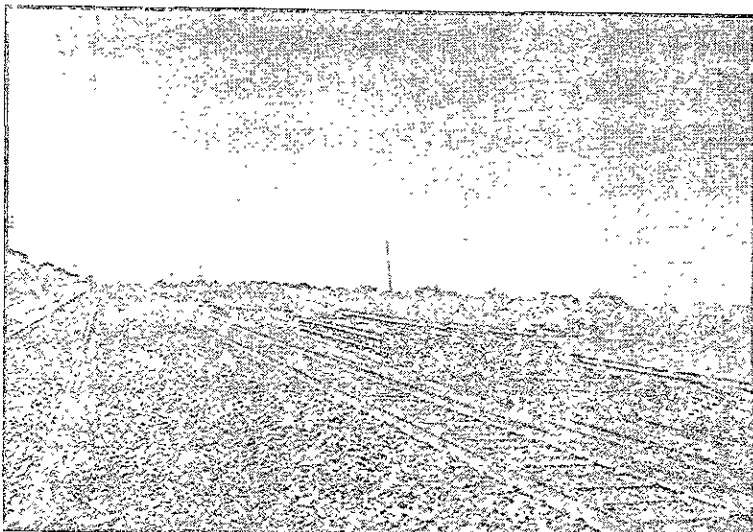
TRASLADO DE MATERIAL DE RECOBRO (DURMIENTES DE MADERA)



ASPECTO DEL LADERO
EMBARCADERO UNA VEZ
REALIZADAS LAS OBRAS DE
REHABILITACIÓN Y
AMPLIACIÓN



ASPECTO DEL LADERO
NOPALA UNA VEZ
REALIZADAS LAS OBRAS DE
REHABILITACIÓN Y
AMPLIACIÓN



ASPECTO DEL LADERO
VIBORILLAS UNA VEZ
REALIZADAS LAS OBRAS DE
REHABILITACIÓN Y
AMPLIACIÓN (DURMIENTES
DE MADERA PRODUCTO DEL
RECOBRO)

4.4) MODERNIZACIÓN DE SEÑALES

Señales de tramo

Las señales de tramo gobiernan el uso de los tramos, y a menos que se prescriba de otra manera, no substituyen la superioridad de los trenes, ni están en conflicto con la obediencia que requieran otras señales.

Sistema automático de tramos

Es una serie de tramos consecutivos gobernados por señales de tramo, las cuales son operadas por un tren o máquina, o por cualquiera condición que afecte el uso del tramo.

Tipos de señales

Existen diferentes tipos de señales con características particulares, estas son:

- a. *Señal fija.* Es una señal de localización fija que indica una condición que afecte el movimiento de un tren o máquina (*Figuras 4.6 y 4.7*). Estas a su vez se clasifican en:
 - Señal de luz de color.
 - Señal de tramo permisiva.
 - Señal de distancia.
 - Señal de aproximación.
 - Señal absoluta.
 - Señal enana.

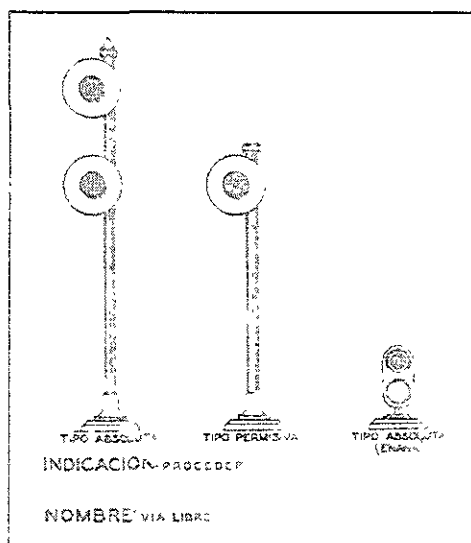


FIGURA 4.6 (Señales)

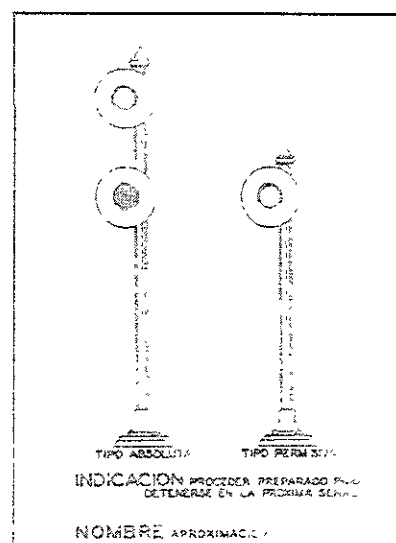


FIGURA 4.7 (Señales)

- b. *Señal automática.* Son aquellas señales que funcionan automáticamente, un ejemplo es la señal automática de cruce, que sirve para proteger el paso de vehículos en cruces con caminos a desnivel.
- c. *Señal semi-automática.* Es un tipo de señal que se controla desde la planta del despachador, o que funciona automáticamente al paso de un tren o máquina.

Cambios

Se conoce como desviación de una vía aquella que se emplea para unir dos líneas férreas y generalmente comienza en una curva. Para que un tren pase de una vía a otra se hace uso de un mecanismo que actúa sobre los elementos de un cambio. Un cambio consta de tres partes principales, las agujas, el cruce de carril y los rieles de unión.

Cambios de doble control

Son aquellos cambios que pueden ser operados ya sea en forma manual o a control remoto desde la Oficina de Despachadores (*Figura 4.8*). En el caso del sistema CTC, los cambios de doble control instalados en los escapes y conexiones constan de un motor con una palanca selectora para ser movidos ya sea directamente por el despachador o a control remoto.

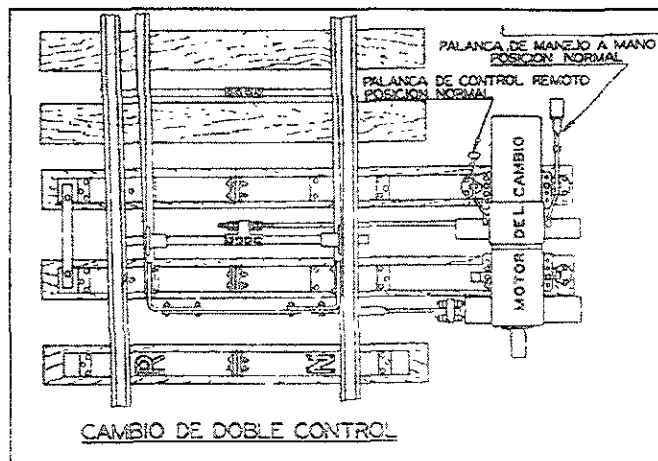


FIGURA 4.8

Sistema de despacho de trenes CTC

Como ya se mencionó anteriormente el sistema de control de tráfico centralizado CTC, para el despacho de trenes, es un sistema que permite controlar el movimiento de los trenes en base a señales luminosas o semáforos y cambios de vía maniobrados a control remoto desde un mando central. Esto

substituye la superioridad conferida por el horario y sin que se requiera el uso de las órdenes de tren, logrando con esto dar gran seguridad y fluidez a la operación.

El sistema de señales CTC está diseñado para que cualquier instrucción dada por el despachador no implique ninguna condición insegura. Los tramos de vía se dividen en blocks formando circuitos eléctricos independientes, mediante juntas aislantes al principio y al final de cada tramo. Al utilizar los rieles como conductores para transmitir energía eléctrica de una batería que se conecta a un relevador, es posible mantener la vía permanentemente energizada, excepto cuando un tren invade el circuito de vía, que pone en contacto los dos rieles a través de las ruedas y ejes de los carros y las locomotoras. Los relevadores están conectados a la consola del despachador y a los semáforos, detectándose automáticamente la presencia del tren en el tramo correspondiente.

Para la operación a control remoto de las señales y máquinas de cambio y para la transmisión de la información se utiliza un sistema codificado con equipos muy diversos, siendo los más anticuados a base de relevadores y pulsos de corriente directa. Los más modernos son a base de códigos de tonos y equipos electrónicos. Asimismo, la comunicación anteriormente era a través de líneas físicas. Ahora la comunicación más frecuente es por medio de radio.

La señalización con el sistema CTC en el tramo de Huehuetoca - La Griega, cuya modernización integral es el tema central de esta tesis, data de 1968 con circuitos direccionales, línea física y control a través de relevadores, lo cual resulta obsoleto y se tienen frecuentes fallas operativas y altos costos de mantenimiento.

Como resultado de lo anterior y con el objeto de obtener mejores condiciones operativas, así como reducir las fallas por mantenimiento correctivo, se ha planteado la necesidad de renovar ciertos equipos instalados tanto en el CTC de campo como en el CTC de oficina, aumentando así la confiabilidad, la disponibilidad y la seguridad del sistema CTC actual. Por consiguiente, se deben cambiar por equipo nuevo, los equipos y materiales siguientes.

- a. *Casetas.* Se deben considerar dentro de estas casetas los módulos procesadores de código de vía, así como los cargadores y baterías correspondientes.
- b. *Unidades de Código, unidades de aplicación y modem.* En localidades las unidades de código y las unidades de aplicación actuales deberán ser retiradas y sustituidas en su totalidad por equipos nuevos, los cuales serán electrónicos, y preferentemente integrados en un solo módulo.
- c. *Módulos de procesadores de código de vía.* De igual forma deben ser sustituidos en su totalidad por equipos nuevos
- d. *Cables.* Se deberá considerar todo el cableado que se requiera para la conexión entre los equipos alojados en casetas, localidades y campo.

Por otro lado, la modernización del sistema de señales CTC entre Huehuetoca y la Griega se hace necesaria no solamente por la antigüedad y obsolescencia de los equipos, sino porque al ser indispensable alargar algunos laderos se requiere cambiar de ubicación las casetas, acometidas de energía eléctrica y de las máquinas y herrajes de cambio. Otra razón fundamental para mejorar el actual sistema, es para centralizar el despacho de los trenes en Guadalajara, ya que actualmente las oficinas para el despacho de los trenes se encuentran ubicadas en tres partes: *Terminal Valle de México* (tramo Huehuetoca - La Griega), *Querétaro* (tramo Mariscala - Irapuato), *Guadalajara* (tramo Irapuato - Guadalajara), dependiendo esta actividad en los dos primeros sitios mencionados, de otros ferrocarriles concesionados.

4.5) REFORZAMIENTO DE PUENTES

Carga Axial Cooper

El diseño de puentes ferroviarios se lleva a cabo con base en lo que se denomina la Carga Cooper, que es un arreglo de cargas de un tren tipo, conformado por dos locomotoras de vapor y una carga uniforme correspondiente a los carros de carga o pasajeros que constituye dicho tren. La carga Cooper es la máxima carga por eje de ese arreglo y se mide en libras. Por ejemplo la carga Cooper E-60 es una carga máxima equivalente a 60,000 libras (*Figura 4.9*).

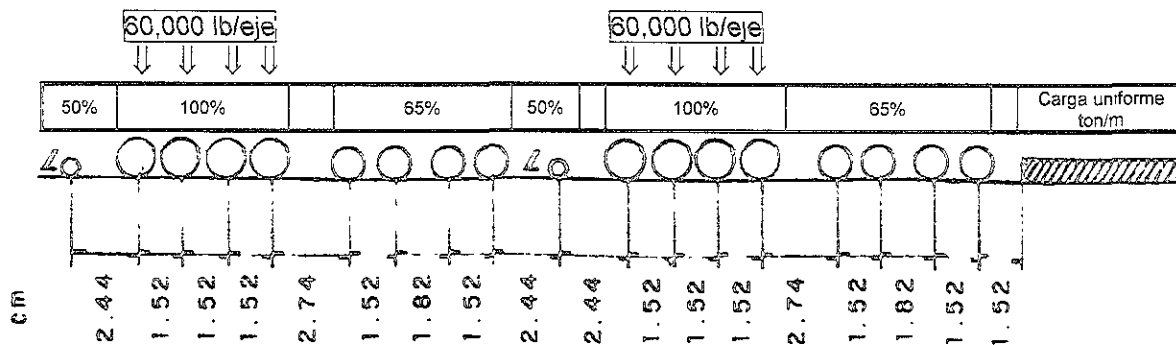


FIGURA 4.9 (Diagrama para carga axial Cooper E-60)

Actualmente para el reforzamiento de puentes ferroviarios en México se está utilizando la carga Cooper E-80, es decir, 80,000 lb/eje.

Existen tres tipos de cargas a las que están sometidos los puentes ferroviarios, éstas son:

1. *Carga permanente.* Esta carga se debe al peso propio de la superestructura del puente y el peso correspondiente a la vía.
2. *Carga móvil.* Es aquella carga debida al peso del tren y cuyo criterio de distribución en sus ejes está definido por la carga axial Cooper.
3. *Otras.* Estas se clasifican en: carga por viento, carga por sismo, carga longitudinal y carga por fuerza centrífuga.

Los puentes de acero de la línea "B" en estudio, motivo de esta tesis, fueron diseñados con capacidad Cooper E-50, por lo tanto, los trabajos de reforzamiento efectuados en dichos puentes tienen como objetivo principal el incrementar la carga Cooper a E-80; lo cual permitirá el paso por la vía de trenes con mayores volúmenes de carga.

Puentes a reforzar:

PUENTES
B 96 +21
B 172 +14
B 175 +67

El reforzamiento de las estructuras y superestructuras metálicas a capacidad Cooper E - 80 se realizará de la siguiente forma en cada uno de los puentes antes mencionados:

Puentes B 175 +67 y B 172 +14

Los trabajos de reforzamiento de la superestructura de acero para cargas Cooper E-80 (*Planos P2.a y P2.b*), son los siguientes:

1. *Colocación de una armadura central adicional (Plano P2.a).*

PUENTE	TIPO DE ARMADURA
B 175 +67	Armadura articulada de paso superior tipo Pratt de 53 metros de largo cada uno.
B 172 +14	Armadura articulada de paso superior tipo Pratt de 70 metros de largo cada uno.

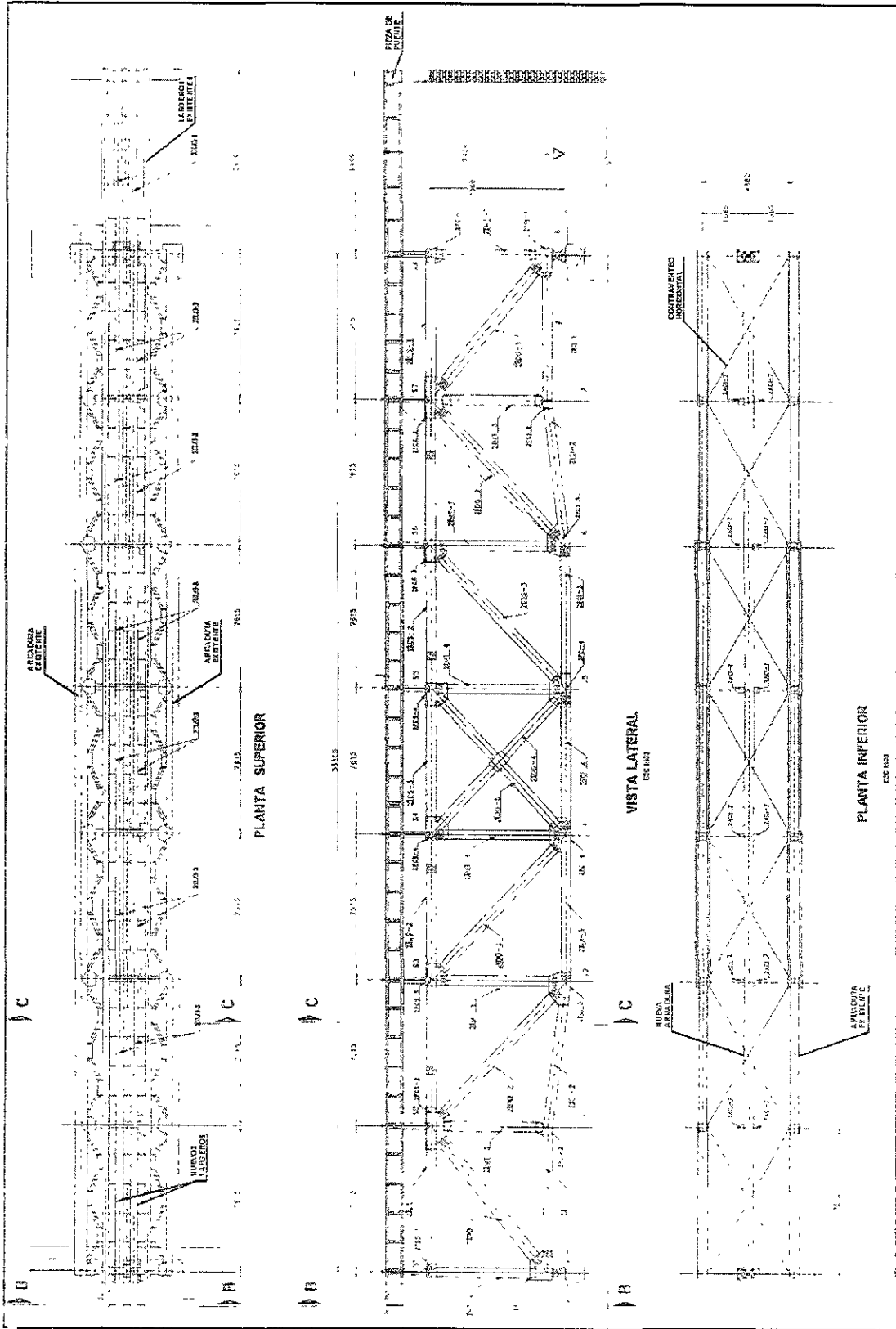
2. *Colocación de largeros adicionales.* Se colocaron dos largeros adicionales de acero estructural A-36, conformados por dos vigas remachadas simplex de paso superior de 9 metros de largo cada una.
3. *Reforzamiento de piezas de puente.* Para el reforzamiento de piezas de puente se colocaron placas adicionales de acero estructural A-36.
4. *Colocación de losas para cubetas balastadas.* Estas están conformadas por piezas de concreto reforzado prefabricadas, con una resistencia a la compresión de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, y de una longitud de 3.5 metros cada una. La función de las cubetas es la de efectuar una transmisión funcional de las cargas, así como proteger a los rieles de factores externos.
5. Asimismo para rigidizar el trabajo de las armaduras existentes con las colocadas para el reforzamiento del puente y lograr que estas trabajen en conjunto, se reforzaron los contraventeos tanto verticales (*Plano P2.b*) como horizontales.

Puente B 96 +21

Los trabajos de reforzamiento de superestructura de acero para cargas Cooper E-80 en el caso de este puente se enfocaron al reforzamiento de los elementos ya existentes, es decir:

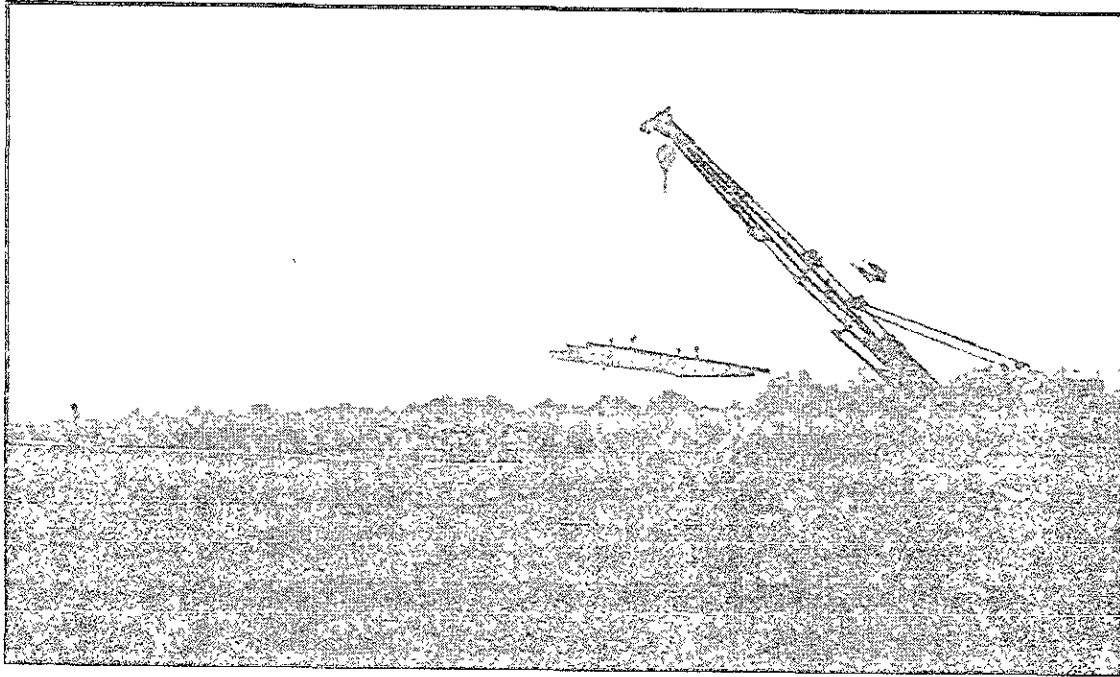
1. Se reforzaron las piezas de puente colocando placas adicionales de acero estructural A-36.
2. Se reforzaron los contraventeos tanto verticales como horizontales.
3. Colocación de losas para cubetas balastadas.

Esto debido a que las dimensiones del puente no permitieron la colocación de una nueva armadura.

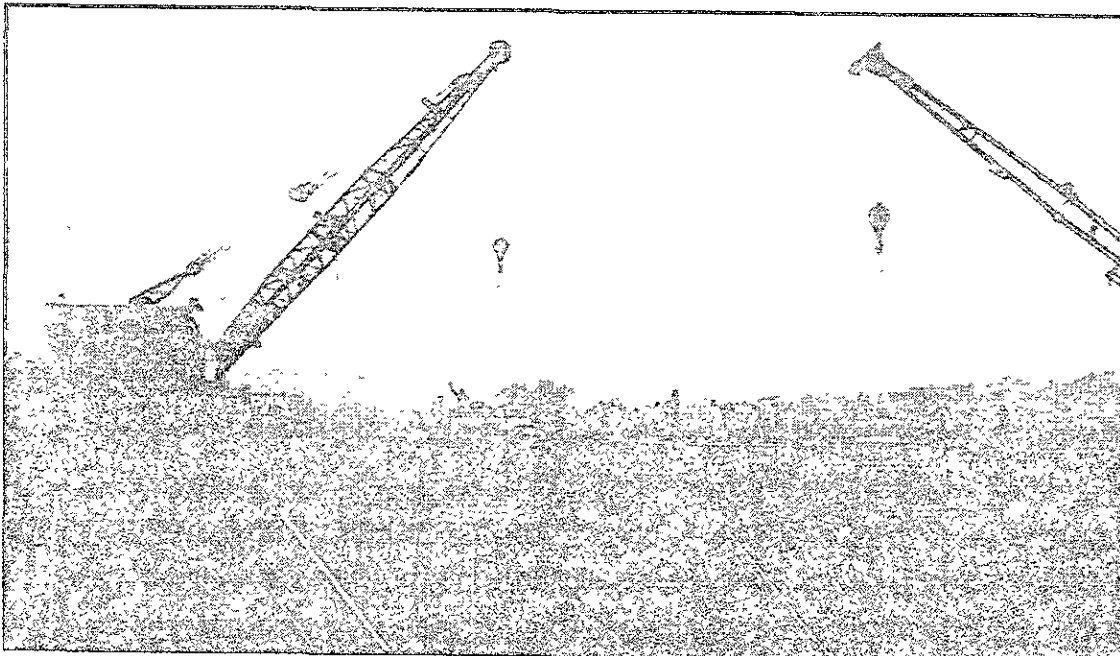


PLANO P2.a. (PUENTE REFORZADO B 172+14)

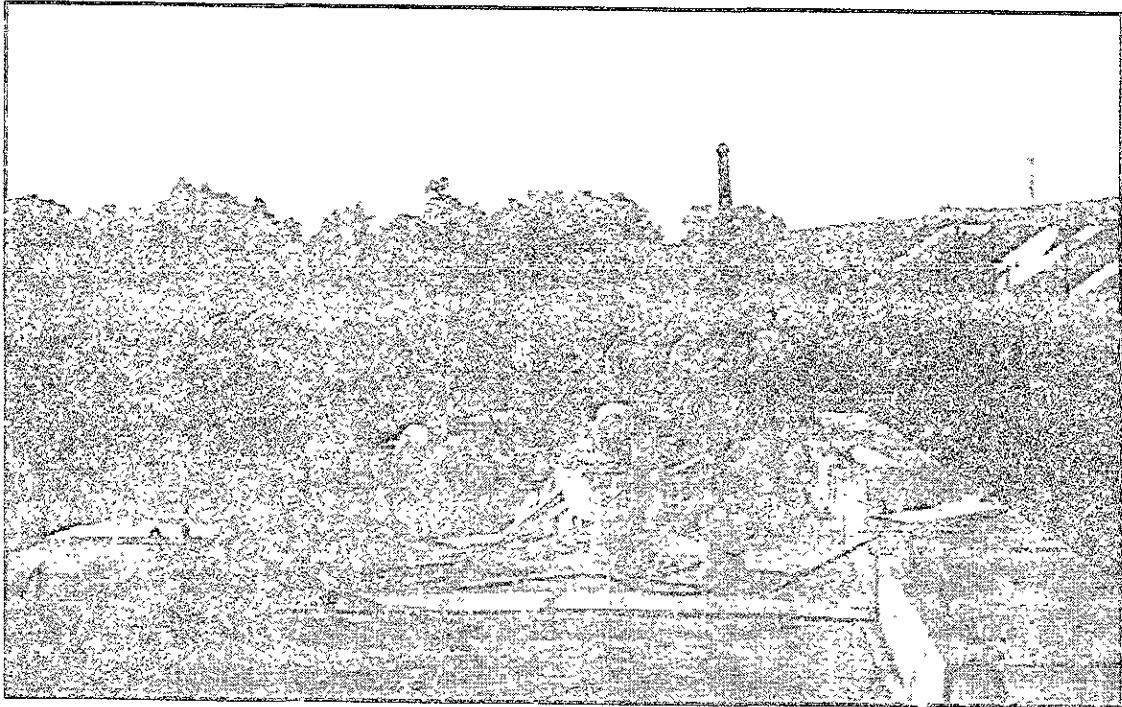
REFORZAMIENTO DEL PUENTE DE ESTRUCTURA METÁLICA.
Procedimiento constructivo de la colocación de las losas precoladas de concreto armado sobre la cubierta del puente ubicado en el Km B 96+21



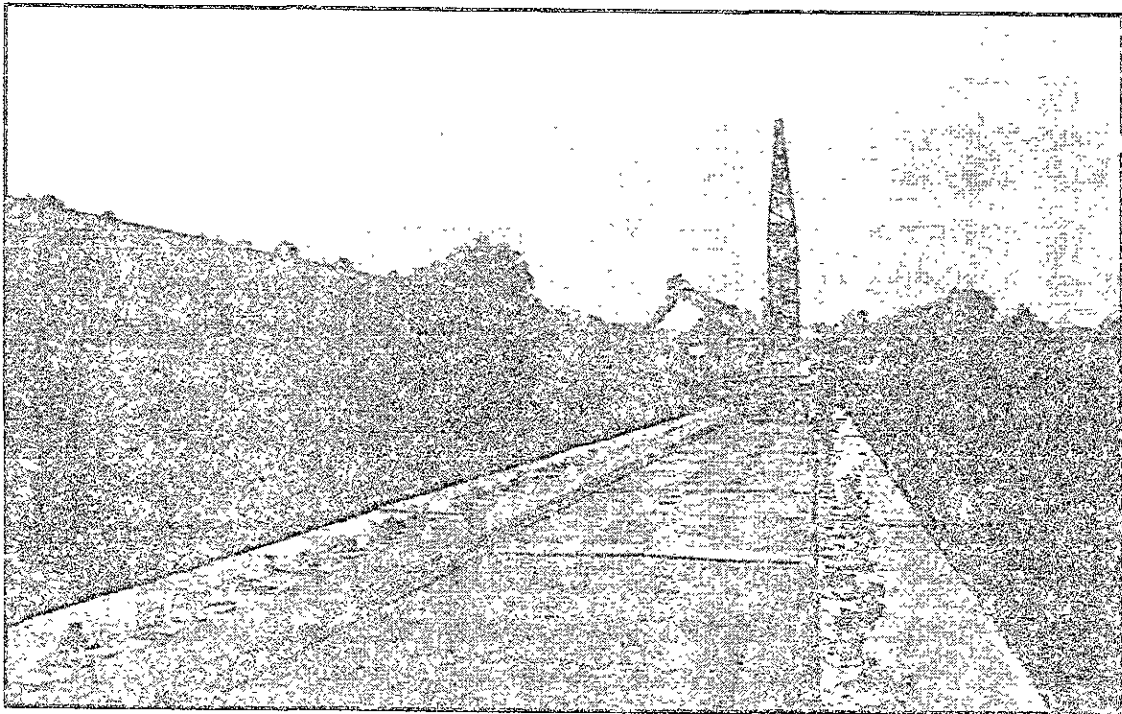
RETIRO DE TRAMO DE VÍA CON DURMIENTES, UTILIZANDO GRÚA PILOTEADORAS CON CAPACIDAD DE 40 TONELADAS



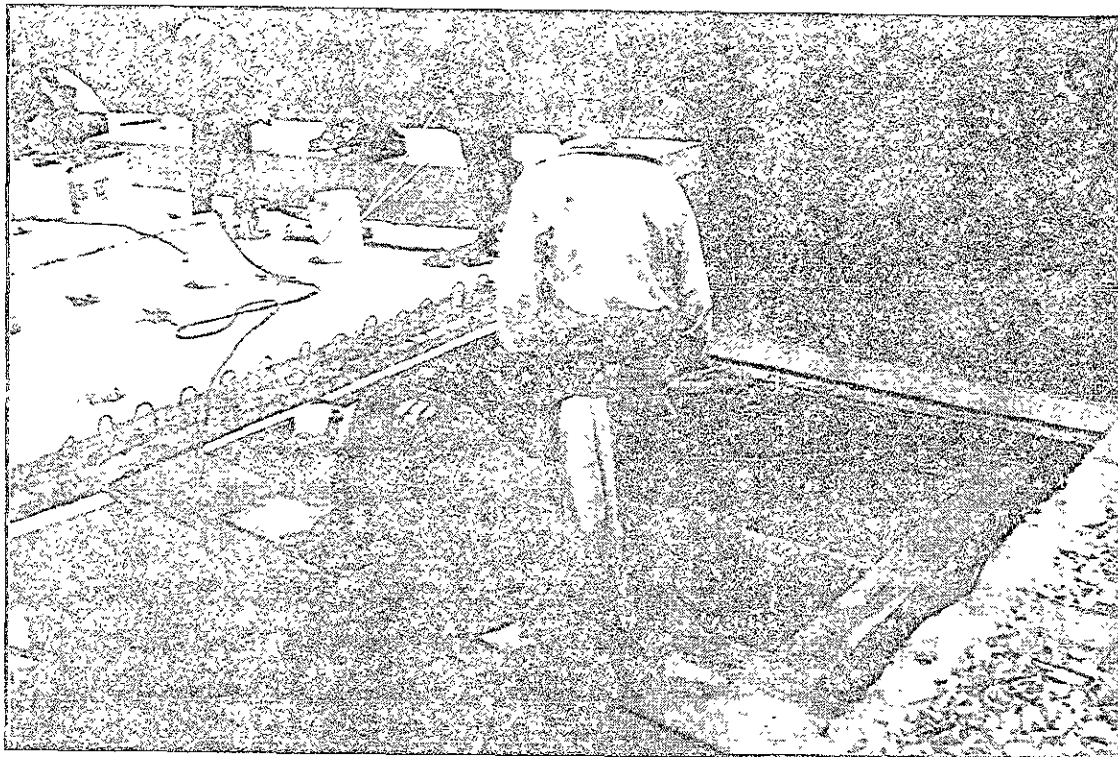
COLOCACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO CON GRÚAS PILOTEADORAS



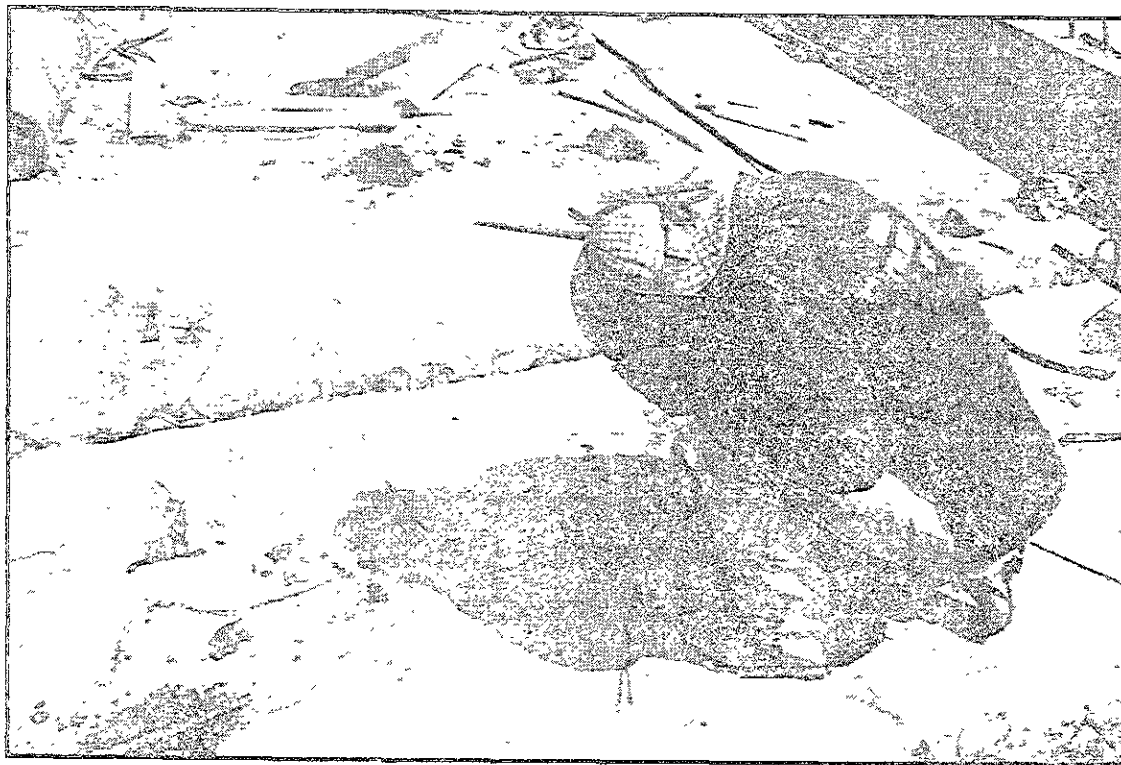
COLOCACIÓN DE PLACAS DE ACERO



ASPECTO DEL PUENTE, CONCLUIDOS LOS TRABAJOS DE SELLADO DE JUNTAS E INICIO DE LA REHABILITACIÓN DE LA VÍA



COLOCACIÓN DE PLACAS SOBRE LARGEROS NECESARIOS PARA ASENTAR LAS LOSAS DE CONCRETO



TRABAJOS DE SOLDADO DE ANCLAS

CAPITULO V

CÁLCULO DE LAS INVERSIONES

Una vez determinados los proyectos para incrementar la capacidad de la vía férrea en estudio, el siguiente paso es establecer las inversiones necesarias para llevarlos a cabo.

A continuación se muestran los cálculos de dichas inversiones para cada uno de los proyectos presentados en el Capítulo anterior; asimismo se indican los trabajos realizados en cada proyecto con sus correspondientes costos unitarios.

5.1) Rehabilitación de vías

CÁLCULO DE LA INVERSIÓN			
TRAMO LA LLAVE - VIBORILLAS			
LONGITUD (Km)	25		
	UNIDAD MEDIDA	PRECIO UNITARIO	TOTAL
DESYERBE Y LIMPIEZA DE CUNETAS	25 km	25,000	625,000
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	25 km	11,600	290,000
ADQUISICIÓN DE DURMIENTES DE CONCRETO	41,500 pzas	505	20,957,500
FIJACIÓN ELÁSTICA*	25 km	255,000	6,375,000
RIEL (136 lb/yd)	25 km	623,360	15,583,990
CARGA Y DESCARGA DE DURMIENTES	41,500 pzas	100	4,150,000
DESMANTELAMIENTO DE RIEL EXISTENTE Y ARMADO DE VÍA CON RIEL NUEVO	25 km	202,000	5,050,000
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE SOLDADURA ALUMINOTERMICA	100 pzas	3,000	300,000
SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACION DE BALASTO	25,000 m ³	150	3,750,000
CALPADO, ALINEACIÓN Y NIVELACIÓN DE VÍA	25 km	32,000	800,000
RECÓBRO Y ALMACENAMIENTO DE MATERIAL DE RECÓBRO	25 km	180,000	4,500,000
SUMINISTRO Y COLOCACION DE HERRAJE Y MADERA DE CAMBIO	4 pzas	258,000	1,032,000
		SUMA	\$ 63,413,490

OBSERVACIONES	
DURMIENTES	1,660 pzas / Km
FIJACIÓN ELÁSTICA *	2 PLACAS DE ASENTAMIENTO / DURMIENTE
	6 COJINETES / DURMIENTE
	4 RONDANAS / DURMIENTE
	4 PERNOS / DURMIENTE
	4 GRAPAS ELÁSTICAS / DURMIENTE
SOLDADURA	2 SOLDADURAS / 500mts
BALASTO	1m ³ / m
HERRAJE Y MADERA DE CAMBIO	2 juegos por lado

TRAMOS A REHABILITAR		
	TRAMO (Km)	COSTO
APASCO - CARRASCO	26	65,908,749
NOPALA - MEJIA	9.5	24,736,966
MEJIA - HUICHAPAN	10.3	26,733,174
HUCHAPAN RAYON	21.6	54,929,607
SAN NICOLAS - LA LLAVE	6.5	17,251,187
LA LLAVE - VIBORILLAS	25	63,413,490
LA GRIEGA - HERCULES	12.2	31,474,167
TOTAL	111.1	\$ 284,447,339

5.2) Rehabilitación y ampliación de laderos

CALCULO DE LA INVERSION			
ESCANDON			
AMPLIACION	2,175 (mts)		
REHABILITACION	575 (mts)		
	UNIDAD MEDIDA	PRECIO UNITARIO	TOTAL
DESPALME	3,894 m ³	18.7	72,818
EXCAVACIÓN EN CORTE	25,000 m ³	76	1,900,000
FORMA Y COMPACTACIÓN DE TERRACERIAS	6,000 m ³	13	78,000
ACARREO DE MATERIALES	100,000 m ³	7.4	740,000
OBRA DE DRENAJE			199,058
INSTALACIÓN DE VÍAS (MATERIAL DE RECOBRO)	2.2 Km	684,255	1,505,361
REHABILITACIÓN DE VÍAS EXISTENTES	0.6 Km	728,725	437,235
		SUMA	\$ 4,932,472

LADEROS A REHABILITAR Y AMPLIAR			
LADERO	AMPLIACIÓN (metros)	REHABILITACIÓN (metros)	COSTOS
EMBARCADERO	1,495	1,255	5,317,153
VITO - CALERA	0	3,360	2,228,179
NUEVO CARRASCO	2,750	0	6,224,734
SAYULA	0	2,875	2,066,793
ESCANDON	2,175	575	4,932,472
NOPALA	2,010	801	3,799,612
ATLAN	1,872	878	2,412,823
RAYON	0	2,870	2,122,617
BERNAL	1,927	823	4,863,833
VIBORILLAS	910	1,840	3,790,682
TOTAL	13,139	15,277	\$ 37,758,898

5.3) Reforzamiento de puentes

PUENTE	COSTO
B 96+210	5,635,129
B 172+14	3,076,919
B 175+67	3,419,970
TOTAL	\$ 12,132,018

5.4) Modernización de señales.

MODERNIZACION DE CTC	107,000,000
JUNTAS AISLANTES	18,000,000
TOTAL	\$ 125,000,000

5.5) Costo total de las inversiones.

CONCEPTO	COSTOS
REHABILITACIÓN DE VÍAS	284,447,339
REHABILITACIÓN DE LADEROS	37,758,898
REFORZAMIENTO DE PUENTES	12,132,018
MODERNIZACIÓN DE CTC	125,000,000
TOTAL	\$ 459,338,255

CAPITULO VI

EVALUACIÓN FINANCIERA

La realización de la evaluación financiera estará basada en un análisis de costo-beneficio; para ello se obtendrán los beneficios surgidos a partir del ahorro de costos así como de la captación de mayores volúmenes de carga, es decir, se hará una comparativa entre las condiciones establecidas por la realización del proyecto y las condiciones actuales, mismas que se mantendrán constantes durante los 25 años analizados. Para establecer si el proyecto de ampliación y rehabilitación de la línea ferroviaria en estudio resulta rentable, no solamente se debe tomar en cuenta las inversiones iniciales, sino que además se deben realizar cálculos previos, tales como el análisis de los costos de mantenimiento y operación, así como un nuevo análisis de la capacidad de la línea tomando en cuenta las modificaciones propuestas en el Capítulo IV, esto con el objetivo de constatar si es posible satisfacer la demanda esperada en los próximos 25 años.

6.1) Análisis de la capacidad

Análogamente a los cálculos realizados en el Capítulo II, se obtuvieron para cada tipo de tren los tramos limitadores y su correspondiente tiempo de tránsito, datos que posteriormente fueron utilizados para calcular la capacidad máxima y real. Para ello se realizó un análisis de velocidades basándose en el método del perfil virtual, el cual en función del peso, la pendiente, así como de la fuerza tractiva y la resistencia de la locomotora (conceptos vistos en el Capítulo III), establece la velocidad máxima a la que puede correr un tren bajo diferentes condiciones. Los resultados obtenidos en cuanto a las velocidades máximas así como los tiempos de tránsito se muestran en las *Tablas 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4*, donde se puede observar que la velocidad máxima alcanzada por los trenes es de 100 km/hr para pendientes menores al 8%, dicha velocidad es justificada a partir del proyecto de ampliación y rehabilitación propuesto, el cual establece condiciones de infraestructura óptimas para ese tipo de velocidad. Por otro lado, la velocidad mínima para pendientes mayores al 1% es de 40 km/hr, superior a la de 20 km/hr, velocidad mínima aceptable.

Tabla de resultados.

TIPO DE TREN	RUMBO	TRAMO LIMITADOR	T (MINUTOS)	
TREN METALERO(60 CARROS)	R NORTE	RAYON - BERNAL	22	TABLA 6.1
	R SUR	RAYON - BERNAL	23	
TREN DE CONTENEDORES(60 CARROS)	R NORTE	CARRASCO - SAYULA	20	TABLA 6.2
	R SUR	RAYON - BERNAL	19	
TREN CEMENTERO(45 CARROS)	R NORTE	RAYON - BERNAL	19	TABLA 6.3
	R. SUR	RAYON - BERNAL	19	
TREN DE FLETE VARIADO(90 CARROS)	R NORTE	CARRASCO - SAYULA	20	TABLA 6.4
	R SUR	RAYON - BERNAL	27	

CAPACIDAD MÁXIMA	OT (Trenes/día)	GBT (Trenes/día)	CTC (Trenes/día)
TREN METALERO (60 CARROS)			
R NORTE	27	33	49
R SUR	26	32	<u>48</u>
TREN DE CONTENEDORES (60 CARROS)			
R. NORTE	28	36	<u>54</u>
R. SUR	29	37	56
TREN CEMENTERO (45 CARROS)			
R. NORTE	29	37	56
R SUR	29	37	<u>56</u>
TREN DE FLETE VARIADO (90 CARROS)			
R. NORTE	28	36	54
R SUR	24	29	<u>41</u>

CAPACIDAD REAL	OT (Trenes/día)	GBT (Trenes/día)	CTC (Trenes/día)
TREN METALERO (60 CARROS)			
R NORTE	18	22	32
R SUR	17	21	<u>32</u>
TREN DE CONTENEDORES (60 CARROS)			
R. NORTE	18	24	<u>36</u>
R. SUR	19	24	37
TREN CEMENTERO (45 CARROS)			
R NORTE	19	24	37
R SUR	19	24	<u>37</u>
TREN DE FLETE VARIADO (90 CARROS)			
R NORTE	18	24	36
R. SUR	16	19	<u>27</u>

Una vez obtenidos estos resultados se debe establecer si la capacidad existente, después de realizados los proyecto de ampliación y rehabilitación en la línea ferroviaria, es suficiente para satisfacer la demanda esperada en los años de estudio. Sabemos que el número máximo de trenes por día esperados es de 46 en los años 2022 y 2023, por lo que se realizará un análisis semejante al hecho en el Capítulo III, donde se consideran los tiempos de recorrido así como el número de trenes por día

TIPO DE TREN	Nº de trenes por día (considerando ida y vuelta)	Nº de trenes real	Nº de Carros por tren
TREN METALERO	2	1	60
TREN DE CONTENEDORES	24	12	60
TREN CEMENTERO	10	5	90
TREN DE FLETE VARIADO	10	5	45
SUMA	46	23	

TIPO DE TREN	RUMBO	L (CTC) (minutos)	T (minutos)	Nº de trenes	Horas Total (minutos)
TREN METALERO	NORTE	4	22	1	26
	SUR	4	23		27
TREN DE CONTENEDORES	NORTE	4	20	12	288
	SUR	4	19		276
TREN CEMENTERO	NORTE	4	19	5	115
	SUR	4	19		115
TREN DE FLETE VARIADO	NORTE	4	20	5	120
	SUR	4	27		155
SUMA					1,122
MINUTOS EN UN DÍA					1,440
MINUTOS SOBRANTES					318

Como se puede observar la capacidad de la línea, una vez realizado el proyecto de ampliación, es suficiente para satisfacer la demanda esperada, pero es importante tomar en cuenta que dicha capacidad puede verse superada, por lo cual es recomendable que se realicen estudios constantemente, de tal forma que en caso de efectuarse nuevos proyectos de ampliación y rehabilitación, éstos no impliquen costos muy elevados. Por otro lado, a manera de ejemplo, se realizará un diagrama de trenes; esto con la finalidad de establecer los horarios para las corridas de trenes durante un día. Dicho ejemplo se desarrollará con un número de 12 trenes durante 12 horas (*Gráfica 1*).

TIPO DE TREN	Nº DE TRENES
TREN METALERO	1 (a)
TREN DE CONTENEDORES	5 (b)
TREN CEMENTERO	3 (c)
TREN DE FLETE VARIADO	3 (d)
TOTAL	12

Asimismo, si realizamos un análisis semejante con el número de trenes obtenido para los primeros años y lo comparamos con la capacidad actual de la línea, encontramos que la capacidad de ésta se ve incrementa en un 70%, mejorando notablemente las condiciones del sistema, sentando así las bases para proporcionar un mejor servicio.

(TABLA 6 1) VELOCIDADES MÁXIMAS Y TIEMPOS DE RECORRIDO

RUMBO NORTE

PENDIENTES EXISTENTES EN LA VÍA	VELOCIDAD MÁXIMA (KM /HR)		N° DE LOCOMOTORAS
	P1	P2	
P1	0	100	1
P2	0.2	100	1
P3	0.4	100	1
P4	0.5	100	1
P5	0.6	90	1
P6	0.8	70	1
P7	0.88	60	1
P8	0.9	50	1
P9	1	50	1
P10	1.5	50	2
			2

RUMBO SUR

PENDIENTES EXISTENTES EN LA VÍA	VELOCIDAD MÁXIMA (KM /HR)		N° DE LOCOMOTORAS
	P1	P2	
P1	0	100	1
P2	0.2	100	2
P3	0.4	100	3
P4	0.5	80	3
P5	0.6	70	3
P6	0.8	60	4
P7	0.88	60	4
P8	0.9	60	4
P9	1	60	5
P10	1.5	50	6
			4

RUMBO AL NORTE

ESTACIONES	PENDIENTE MÁXIMA ASCENDIENDO	DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	CARGA DIARIO	TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	VELOCIDAD MEDIA DE TRANS (KM/HR)
EMBARCADERO SAN SEBASTIAN	0.8	49.2	4.52	1.9	70
APAYCO	0	66.9	5.04	1.2	85
WITO	0	69.7	5.06	1.7	100
CALERA	0.5	72.3	5.08	1.6	100
BOJAY	0.5	77.6			
EMP SUR DIST TETEPANGO	0	83.1			
EMP NTE DIST TETEPANGO	0	83.3			
TEOICALCO	0	83.6			
CARRASCO	0	92.9	5.20	1.2	100
ENDO	0	99.1			
MAGUA	0	105.4			
SAYULA	0	112.7	5.40	2.0	60
RANCHO NUEVO	0	118.6			
ESCANDON	0.5	128	5.55	1.5	60
CONEX ARAGON	0.9	132.9			
ARAGON N.M	0.9	133.1			
NOPALA	0.9	140.2	6.04	9	78
MEJIA	0.9	149.7			
HUICHAPAN	0	160	6.50	6.16	100
SAN JOSE DE ATLAN	0	163.3			
ATLAN	0	167.9	6.55	5	100
EL ZAPOTE	0	174			
RAYON	0	181.6	7.03	8	100
CAMBALACHE	0	189.9			
MERCADER	0	195.3			
BERNAL	0	204.2	7.25	2.2	62
SAN NICOLAS	0.4	213.6	7.30	6	100
LA LLAVE	0.8	220.1			
LA FUENTE	0.5	229.3			
NORIA	0.7	239.8			
VIBORILLAS	0.4	245.1	7.51	21	92
CRUCERO "A" VIBORILLAS	0.4	246.7			
LA GRIEGA	0.6	252.9	7.56	5	100

RUMBO AL SUR

ESTACIONES	PENDIENTE MÁXIMA ASCENDIENDO	DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	CARGA DIARIO	TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	VELOCIDAD MEDIA DE TRANS (KM/HR)
EMBARCADERO SAN SEBASTIAN	1	49.2	11.58	2	60
APAYCO	0	66.9	11.40	1.8	60
WITO	0	69.7	11.37	3	60
CALERA	0.5	72.3	11.35	2	80
BOJAY	0.5	77.6			
EMP SUR DIST TETEPANGO	0	83.1			
EMP NTE DIST TETEPANGO	0	83.3			
TEOICALCO	0	83.6			
CARRASCO	0	92.9	11.15	2.1	60
ENDO	0	99.1			
MAGUA	0	105.4			
SAYULA	0	112.7	11.00	1.4	83
RANCHO NUEVO	0	118.6			
ESCANDON	0	128	10.51	9	100
CONEX ARAGON	0.9	132.9			
ARAGON N.M	0.9	133.1			
NOPALA	0.9	140.2	10.39	1.2	60
MEJIA	0.9	149.7			
HUICHAPAN	0	160	10.19	2.0	60
SAN JOSE DE ATLAN	0	163.3			
ATLAN	0	167.9	12.12	8	60
EL ZAPOTE	0	174			
RAYON	0	181.6	11.58	1.4	60
CAMBALACHE	0	189.9			
MERCADER	0	195.3			
BERNAL	0	204.2	11.36	2.3	60
SAN NICOLAS	0	213.6	11.26	9	60
LA LLAVE	0	220.1			
LA FUENTE	0	229.3			
NORIA	0	239.8			
VIBORILLAS	0	245.1	11.05	2.1	89
CRUCERO "A" VIBORILLAS	0	246.7			
LA GRIEGA	0.6	252.9	10.58	7	70

VELOCIDAD PROMEDIO 87

VELOCIDAD PROMEDIO 73

TREN DE CONTENEDORES

RUMBO SUR

PENDIENTES EXISTENTES EN LA VIA	VELOCIDAD MÁXIMA (KM / HR)	N° DE LOCOMOTORAS
P1	0	1
P2	0.2	1
P3	0.4	1
P4	0.5	2
P5	0.6	2
P6	0.8	2
P7	0.88	2
P8	0.9	2
P9	1	2
P10	1.5	2

ESTACIONES	PENDIENTE MÁXIMA ASCENDIENDO	DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	CARGA DIARIO	RUMBO AL SUR		VELOCIDAD MEDIA DE TRANS (KM/HR)
				CARGA DIARIO	TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	
HUEHUETOCÁ N.M.		47	12.00			
EMBARCADERO SAN SEBASTIAN	1	49.2	11.58		2	70
APAXCO		56.3				
VITO		66.9	11.43		15	70
GALERA	0.5	89.7	11.41		2	70
BOJAY		72.3	11.39		2	100
EMP SUR DIST TETEPANGO		77.6				
EMP NTE DIST TETEPANGO		83.1				
TEOALCO	1	83.3				
CARRASCO		83.6				
ENDO		92.9	11.21		18	70
MAGUA		99.1				
SAYULA		105.4				
RANCHO NUEVO	0	112.7	11.08		13	88
ESCANDON		118.6				
CONEX ARAGON		128	10.59		9	100
ARAGON N.M.	0.9	132.9				
NOPALA		133.1				
MEJIA		140.2	10.08		10	70
HUCHAPAN		149.7				
SAN JOSE DE ATLAN		160	9.51	12.20	17	70
ATLAN	1	163.3				
EL ZAPOTE		167.9		12.13	7	70
RAYON		174				
CAMBALACHE		181.6		12.01	12	70
MERCADER	0.88	189.9				
BERNAL		195.3				
SAN NICOLAS	1	204.2	11.42		19	70
LA LLAVE		213.6	11.34		8	70
LA FUENTE	0	220.1				
NORIA	0.6	229.3				
VIBORILLAS	0.4	239.8				
CRUCERO A VIBORILLAS	0	245.1	11.15		19	100
LA GRIEGA	0.6	246.7				
		252.9	11.10		5	100

VELOCIDAD PROMEDIO 85

(TABLA 6.2) VELOCIDADES MÁXIMAS Y TIEMPOS DE RECORRIDO

RUMBO NORTE

PENDIENTES EXISTENTES EN LA VIA	VELOCIDAD MÁXIMA (KM / HR)	N° DE LOCOMOTORAS
P1	0	1
P2	0.2	1
P3	0.4	1
P4	0.5	2
P5	0.6	2
P6	0.8	2
P7	0.88	2
P8	0.9	2
P9	1	2
P10	1.5	2

ESTACIONES	PENDIENTE MÁXIMA ASCENDIENDO	DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	CARGA DIARIO	RUMBO AL NORTE		VELOCIDAD MEDIA DE TRANS (KM/HR)
				CARGA DIARIO	TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	
HUEHUETOCÁ N.M.		47	4.50			
EMBARCADERO SAN SEBASTIAN	0.8	49.2	4.51		13	100
APAXCO		56.3				
VITO	0	66.9	5.02		11	100
GALERA		89.7	5.04		17	100
BOJAY	0.5	72.3	5.05		16	100
EMP SUR DIST TETEPANGO		77.6				
EMP NTE DIST TETEPANGO		83.1				
TEOALCO	0	83.3				
CARRASCO		83.6				
ENDO		92.9	5.18		12	100
MAGUA		99.1				
SAYULA		105.4				
RANCHO NUEVO	1.5	112.7	5.37		20	60
ESCANDON		118.6				
CONEX ARAGON		128	5.53		15	60
ARAGON N.M.		132.9				
NOPALA		133.1				
MEJIA		140.2	6.02		9	78
HUCHAPAN		149.7				
SAN JOSE DE ATLAN		160	6.50	6.14	12	100
ATLAN	0	163.3		6.55	5	100
EL ZAPOTE		167.9				
RAYON		174		7.03	8	100
CAMBALACHE		181.6				
MERCADER	1	189.9				
BERNAL		195.3				
SAN NICOLAS	0.4	204.2	7.19		16	87
LA LLAVE		213.6	7.24		6	100
LA FUENTE	0.5	220.1				
NORIA	0.2	229.3				
VIBORILLAS	0.4	239.8		7.43	19	100
CRUCERO A VIBORILLAS		245.1				
LA GRIEGA		246.7		7.48	5	100
		252.9				

VELOCIDAD PROMEDIO 92

(TABLA 6.3) VELOCIDADES MÁXIMAS Y TIEMPOS DE RECORRIDO

RUMBO NORTE			
ESTACIONES	PENDIENTES EXISTENTES EN LA VÍA	VELOCIDAD MÁXIMA (KM/HR)	N° DE LOCOMOTORAS
P2	0.2	100	1
P3	0.4	100	1
P4	0.5	100	1
P5	0.6	90	1
P6	0.8	70	1
P7	0.88	70	1
P8	0.9	70	1
P9	1	60	2
P10	1.5	70	2

RUMBO SUR			
ESTACIONES	PENDIENTES EXISTENTES EN LA VÍA	VELOCIDAD MÁXIMA (KM/HR)	N° DE LOCOMOTORAS
P2	0.2	100	2
P3	0.4	100	3
P4	0.5	90	3
P5	0.6	80	3
P6	0.8	70	4
P7	0.88	70	5
P8	0.9	70	5
P9	1	70	5
P10	1.5	60	6
			4

ESTACIONES	PENDIENTE MÁXIMA ASCENDIENDO	DISTANCIA DL BUENAVISTA (KILOMETROS)	RUMBO AL NORTE		VELOCIDAD MEDIA DE TRANS (KM/HR)
			CARGA DIARIO	TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	
HUEHUETOCA N.M.		47	4.90		70
EMBARCADERO SAN SEBASTIAN	0.8	49.2	4.52	1.9	70
APAXCO		56.3	5.04	12	85
VITO	0	69.7	5.06	1.7	100
CALERA	0.5	72.3	5.08	1.6	100
BOJAY		77.6	5.11	3.2	100
EMP SUR DIST TETEPANGO		83.1			70
EMP NTE DIST TETEPANGO	0	83.3			70
TEOACALCO		83.6			100
CARRASCO		92.9	5.20	9	100
ENDO		99.1	5.25	5	70
MAGUA		105.4			70
SAYULA		112.7	5.37	12	70
RANCHO NUEVO	1.5	118.6			70
ESCANDON		128	5.50	13	70
CONEX ARAGON		132.9			70
ARAGON N.M.		133.1			70
NOPALA		140.2	5.59	9	85
MEJIA		149.7	6.04	6	100
HUICHAPAN		160	6.50	6	100
SAN JOSE DE ATLAN	0	163.3	6.11	6	100
ATLAN		167.9	6.55	5	100
EL ZAPOTE		174			100
RAYON		181.6	7.03	8	100
CAMBALACHE		189.9			100
MERCADER	1	195.3			100
BERNAL	0	204.2	7.22	19	71
SAN NICOLAS	0.4	213.6	7.28	6	100
LA LLAVE	0.8	220.1	7.33	6	70
LA FUENTE	0.5	229.3			70
NORIA	0.2	239.8			100
VIBORILLAS		245.1	7.46	15	100
CRUCERO "A" VIBORILLAS	0.4	246.7			100
LA GRIEGA		252.9	7.53	5	100

ESTACIONES	PENDIENTE MÁXIMA ASCENDIENDO	DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	RUMBO AL SUR		VELOCIDAD MEDIA DE TRANS. (KM/HR)
			CARGA DIARIO	TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	
HUEHUETOCA N.M.		47	12.00		70
EMBARCADERO SAN SEBASTIAN	1	49.2	11.56	2	70
APAXCO		56.3	11.43	15	70
VITO		69.7	11.41	2	70
CALERA	0.5	72.3	11.39	2	90
BOJAY		77.6	11.34	5	70
EMP SUR DIST TETEPANGO		83.1			70
EMP NTE DIST TETEPANGO	1	83.3			70
TEOACALCO		83.6			70
CARRASCO		92.9	11.21	13	70
ENDO		99.1	11.16	5	70
MAGUA		105.4			70
SAYULA	0	112.7	11.08	8	100
RANCHO NUEVO		118.6			100
ESCANDON		128	10.56	9	100
CONEX ARAGON		132.9			100
ARAGON N.M.	0.9	133.1			70
NOPALA		140.2	10.48	10	70
MEJIA		149.7	10.40	8	70
HUICHAPAN		160	10.31	9	70
SAN JOSE DE ATLAN		163.3			70
ATLAN	1	167.9	12.13	7	70
EL ZAPOTE		174			70
RAYON		181.6	12.01	12	70
CAMBALACHE	0.88	189.9			70
MERCADER		195.3			70
BERNAL	1	204.2	11.42	19	70
SAN NICOLAS		213.6	11.34	8	70
LA LLAVE	0	220.1	11.30	4	100
LA FUENTE	0.6	229.3			100
NORIA	0.4	239.8			82
VIBORILLAS	0	245.1	11.14	16	82
CRUCERO "A" VIBORILLAS	0.6	246.7			80
LA GRIEGA		252.9	11.08	6	80

VELOCIDAD PROMEDIO 113

VELOCIDAD PROMEDIO 77

RUMBO NORTE

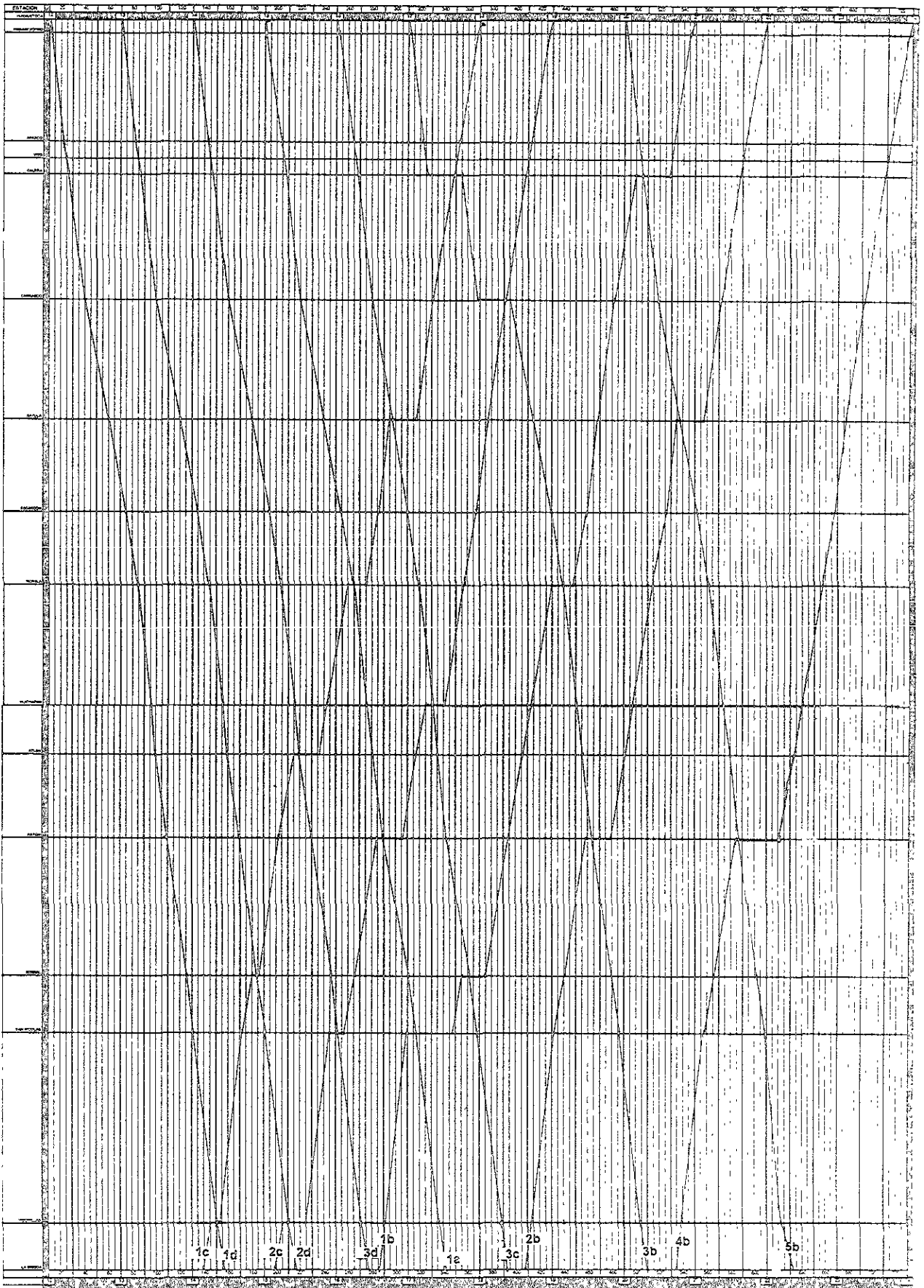
ESTACIONES	PENDIENTES EXISTENTES EN LA VIA		CARGA DIARIO	CARGA DIARIO	DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	VELOCIDAD MEDIA DE TRANS. (KM/HR)	N° DE LOCOMOTORAS
	MÁXIMA ASCENDIENDO	MÁXIMA DESCENDIENDO						
P1	0		100	4.50	47	17	80	1
P2	0.2		100	4.52	49.2	17	80	1
P3	0.4		100		56.3			2
P4	0.5		90	5.03	66.9	12	91	2
P5	0.6		80	5.05	69.7	17	100	2
P6	0.8		80	5.07	72.3	16	100	3
P7	0.88		80		77.6			3
P8	0.9		70		83.1			3
P9	1		70		83.3			3
P10	1.5		60		83.6			4
			60		92.9	13	97	3
			60		99.1			4
			60		105.4			3
			60		112.7	20	60	3
			60		118.6			3
			60		128	15	60	3
			60		132.9			3
			60		133.1			3
			60		140.2	9	78	3
			60		149.7			3
			60		160	12	100	3
			60		163.3			3
			60		167.9	5	100	3
			60		174			3
			60		181.6	8	100	3
			60		189.9			3
			60		195.3			3
			60		204.2	17	79	3
			60		213.6	6	100	3
			60		220.1			3
			60		229.3			3
			60		239.8			3
			60		245.1	20	92	3
			60		246.7			3
			60		252.9	5	100	3

VELOCIDAD PROMEDIO 89

RUMBO SUR

ESTACIONES	PENDIENTES EXISTENTES EN LA VIA		CARGA DIARIO	CARGA DIARIO	DISTANCIA DE BUENAVISTA (KILOMETROS)	TIEMPO EN MINUTOS ENTRE ESTACIONES	VELOCIDAD MEDIA DE TRANS. (KM/HR)	N° DE LOCOMOTORAS
	MÁXIMA ASCENDIENDO	MÁXIMA DESCENDIENDO						
P1	0		100	12.00	47	26	50	1
P2	0.2		100	11.57	49.2	26	50	1
P3	0.4		80		56.3			2
P4	0.5		60	11.36	66.9	21	50	2
P5	0.6		50	11.33	69.7	3	50	2
P6	0.8		50	11.30	72.3	3	60	2
P7	0.88		50		77.6			2
P8	0.9		50		83.1			2
P9	1		50		83.3			2
P10	1.5		40		83.6			2
			40		92.9	25	50	2
			40		99.1			2
			40		105.4			2
			40		112.7	16	76	2
			40		118.6			2
			40		128	9	100	2
			40		132.9			2
			40		133.1			2
			40		140.2	15	50	2
			40		149.7			2
			40		160	24	50	2
			40		163.3			2
			40		167.9	9	50	2
			40		174			2
			40		181.6	16	50	2
			40		189.9			2
			40		195.3			2
			40		204.2	27	50	2
			40		213.6	11	50	2
			40		220.1			2
			40		229.3			2
			40		239.8			2
			40		245.1	26	73	2
			40		246.7			2
			40		252.9	9	50	2

VELOCIDAD PROMEDIO 61



1c

1d

2c

2d

3d

1b

1e

3c

2b

3b

4b

5b

6.2) Análisis de costos

Para el cálculo de los costos de mantenimiento y operación se obtendrá inicialmente una fórmula general, en la cual se consideran las siguientes variables:

MANTENIMIENTO DE LA VÍA	- Costo del riel. - Costo del durmiente - Costo del balasto - Costo por concepto de fijación - Costo por concepto de nivelación y alineación
LOCOMOTORAS	- Depreciación - Mantenimiento
CARROS	- Depreciación - Mantenimiento
TRIPULACIÓN	- Sueldos. - Prestaciones.
COMBUSTIBLE	- Consumo de combustible - Costo de combustible

1. MANTENIMIENTO DE LA VÍA

1.a) Costo del riel por tonelada kilómetro

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDADES
Vida útil del riel	200,000,000	Toneladas brutas por Año
Costo por tonelada de riel de 115 lb/yard	4,500	\$ / Tonelada de riel
Toneladas de riel por kilómetro	115	Tonelada de riel / Km
Toneladas brutas / Toneladas netas	1.8	

$$\text{COSTO DEL RIEL} = \frac{(4,500) \cdot (115)}{200,000,000} (1.8) = 0.0047 \left(\frac{\$}{\text{Ton} \cdot \text{km}} \right)$$

1.b) Costo del durmiente por tonelada kilómetro

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDADES
Porcentaje de durmientes de concreto en la vía	60	%
Porcentaje de durmientes de madera en la vía	40	%
Costo por pieza de durmiente de concreto	505	\$ / pieza
Costo por pieza de durmiente de madera	230	\$ / pieza
Vida útil del durmiente de concreto	50	Años
Vida útil del durmiente de madera	18	Años
Durmientes de concreto por kilómetro	1,660	piezas / km
Durmientes de madera por kilómetro	2,000	piezas / km
Tráfico promedio anual:	2,900,000	Ton

$$\text{COSTO POR KILÓMETRO} = \left(\frac{(1,660) \cdot (505)}{50} \cdot (0.6) \right) + \left(\frac{(2,000) \cdot (230)}{18} \cdot (0.4) \right) = 20,282 \left(\frac{\$}{\text{Km}} \right)$$

$$\text{COSTO DE DURMIENTE} = \frac{20.282}{2.900.000} = 0.007 \left(\frac{\$}{\text{Ton} \cdot \text{Km}} \right)$$

1.c) Costo de balasto por tonelada kilómetro

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDADES
Vida útil del balasto	12	Años
Costo por metro cúbico de balasto	150	\$ / m ³
Metros cúbicos por kilómetro de balasto	1,000	m ³ / Km
Tráfico promedio anual	2.900,000	Ton

$$\text{COSTO POR KILÓMETRO} = \frac{(1.000) \cdot (150)}{12} = 12.500 \left(\frac{\$}{\text{Km}} \right)$$

$$\text{COSTO DE BALASTO} = \frac{12.500}{2.900.000} = .0043 \left(\frac{\$}{\text{Ton} \cdot \text{Km}} \right)$$

1.d) Costo por concepto de fijación por tonelada kilómetro

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDADES
Costo por tonelada kilómetro de riel	0.0047	\$ / Ton Km
Costo por tonelada kilómetro de durmientes	0.007	\$ / Ton Km
Costo por tonelada kilómetro de balasto	0.0043	\$ / Ton Km
Porcentaje correspondiente al concepto de fijación	20	%

$$\text{COSTO POR CONCEPTO DE FIJACIÓN} = (0.0047 + 0.007 + 0.0043) \cdot (0.2) = 0.0032 \left(\frac{\$}{\text{Ton} \cdot \text{Km}} \right)$$

1.e) Costo por concepto de nivelación y alineación en tonelada kilómetro

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDADES
Kilómetros nivelados y alineados por año	2,700	Km / Año
Costo por kilómetro por concepto de nivelación y alineación	37,000	\$ / Km
Tráfico promedio anual por kilómetro	23,490,000,000	Ton Km

$$\text{COSTO POR CONCEPTO DE NIVELACIÓN Y ALINEACIÓN} = \frac{(2.700) \cdot (37.000)}{23.490.000.000} = 0.004 \left(\frac{\$}{\text{Ton} \cdot \text{Km}} \right)$$

Total de los costos de mantenimiento de la vía

$$\text{TOTAL} = 0.0047 + 0.007 + 0.0043 + 0.0032 + 0.004 = 0.023 \left(\frac{\$}{\text{Ton} \cdot \text{Km}} \right)$$

2. LOCOMOTORAS

2.a) Depreciación

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDADES
Valor de una locomotora de 3000 HP	17,000,000	\$
Vida útil	25	Años

$$\text{DEPRECIACIÓN} = \frac{17,000,000}{(3,000) \cdot (25) \cdot (365) \cdot (24)} = 0.026 \left(\frac{\$}{\text{HP} \cdot \text{Hr}} \right)$$

2.b) Mantenimiento

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDADES
Valor de una locomotora de 3000 HP	17,000,000	\$
Porcentaje correspondiente a mantenimiento	6	%
Número de Locomotoras	450	Locomotoras
Tráfico promedio anual por kilómetro	23,490,000,000	Ton Km

$$\text{COSTO POR MANTENIMIENTO} = \left(\frac{17,000,000}{23,490,000,000} \right) \cdot (0.06) \cdot (450) = 0.02 \left(\frac{\$}{\text{Ton} \cdot \text{Km}} \right)$$

3. CARROS

3.a) Depreciación

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDADES
Valor promedio de un carro	600,000	\$
Vida útil	30	Años

$$\text{DEPRECIACIÓN} = \frac{600,000}{(30) \cdot (365) \cdot (24)} = 2.28 \left(\frac{\$}{\text{Carro} \cdot \text{Hr}} \right)$$

3.b) Mantenimiento

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDADES
Valor promedio de un carro	600,000	\$
Porcentaje correspondiente a mantenimiento	5	%
Número de carros	10500	Carros
Tráfico promedio anual por kilometro	23,490,000,000	Ton Km

$$\text{COSTO POR MANTENIMIENTO} = \left(\frac{600,000}{23,490,000,000} \right) \cdot (0.05) \cdot (10,500) = 0.013 \left(\frac{\$}{\text{Ton} \cdot \text{Km}} \right)$$

4. TRIPULACIÓN

CONCEPTO	SUELDO
Maquinista	\$ 15,000
Conductor	\$ 15,000
Garrotero	\$ 6,000
TOTAL	\$36,000

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDADES
Horas por mes	208	horas
Factor por Prestaciones	1.45	
- IMSS		
- INFONAVIT		
- Vacaciones		
- Aguinaldo		

$$\text{COSTO POR CONCEPTO DE TRIPULACIÓN} = \left(\frac{36,000}{208} \right) \cdot (1.45) = 250 \left(\frac{\$}{\text{Tren} \cdot \text{hora}} \right)$$

5. COMBUSTIBLE (DIESEL)

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDADES
Consumo de combustible	.08	Lt / HP Hr
Costo por litro de diesel (Sin considerar IVA y el Impuesto Especial de Productos y Servicios IEPS)	1.8	\$ / Lt

$$\text{COSTO POR COMBUSTIBLE} = (0.08) \cdot (1.8) = 0.144 \left(\frac{\$}{\text{HP} \cdot \text{Hr}} \right)$$

TABLA DE RESULTADOS

Costos variables

CONCEPTO	COSTO	UNIDADES
MANTENIMIENTO DE LA VÍA	0.023	\$ / Ton Km
MANTENIMIENTO DE LOCOMOTORAS	0.020	\$ / Ton Km
MANTENIMIENTO DE CARROS	0.013	\$ / Ton Km
DEPRECIACIÓN LOCOMOTORAS	0.026	\$ / HP Hr
COMBUSTIBLE	144	\$ / Hp Hr
DEPRECIACIÓN CARROS	2.28	\$ / Carro Hr
TRIPULACION	250	\$ / Tren Hr

Costos fijos

$$\text{COSTO FIJO} = 0.3 \text{ (COSTO VARIABLE)}$$

COSTOS TOTALES (FÓRMULA GENERAL)

$$\text{COSTO VARIABLE} = \frac{0.056}{\text{TON} \cdot \text{Km}} + \frac{0.17}{\text{HP} \cdot \text{Hr}} + \frac{2.28}{\text{Carro} \cdot \text{Hr}} + \frac{250}{\text{Tren} \cdot \text{Hr}}$$

$$\text{COSTO FIJO} = 0.03(\text{COSTO VARIABLE})$$

$$\text{COSTO TOTAL} = \text{COSTO VARIABLE} + \text{COSTO FIJO}$$

Una vez obtenida la fórmula general es posible aplicar las variables correspondientes que surgen de la realización del proyecto así como de las condiciones actuales, los resultados obtenidos son mostrados en la *Tablas 6.5 y 6.6*; donde se puede observar que los costos entre los años 1998 y 2000 son iguales para ambos casos, por lo que los beneficios, resultado del ahorro en costos, se observan a partir del año 2001.

6.3) Análisis de Costo-Beneficio

Una vez comprobado que la nueva capacidad de la línea en estudio es suficiente para satisfacer el número de trenes establecidos por la demanda y teniendo los costos de mantenimiento y operación es posible realizar la evaluación financiera, que como se mencionó al inicio de este Capítulo, será hecha con base a un análisis de costo-beneficio, cuyas condiciones iniciales son las siguientes:

1. La inversión para las obras de modernización serán entre 1999 y el 2000.
2. En el intervalo de tiempo comprendido entre 1998 y el 2000, los costos de mantenimiento y operación serán iguales para ambos casos.
3. En el intervalo de tiempo comprendido entre el 2001 y el 2003, el número de toneladas transportadas es el mismo para ambos casos, pero se comienzan a considerar beneficios por concepto de ahorro de costos.
4. En los años restantes, es decir, desde el 2004 hasta el 2023, los beneficios obtenidos surgen tanto por el ahorro de costos, como por el incremento en el volumen de carga transportado, ya que de no hacerse el proyecto, por aspectos de capacidad, a partir del año 2004 ésta permanecería constante
5. El total de kilómetros de vía es de 206 Km

6. Para facilitar los cálculos correspondientes a los costos por mantenimiento y operación, estos se convirtieron a las siguientes unidades: \$ / Ton Km.
7. La tarifa establecida por tonelada kilómetro es de .21 (\$/Ton Km)
8. El total de los costos de inversión se distribuirán en un 75% para el primer año y en un 25% en el segundo, es decir:

ANO	COSTO DE INVERSIÓN
1999	\$ 344.503,692
2000	\$ 114,834,564
TOTAL	\$ 459,338,255

9. Para la actualización de los precios se utilizará un factor de actualización del 12%.

Con base en estas condiciones se realizó la evaluación financiera, misma que se muestra en la *Tabla 6.7*, y arrojó los siguientes resultados:

PRIMER AÑO DONDE SE PRESENTAN INGRESOS	2010
INGRESO FINAL (ACUMULADO)	\$ 597,885,472
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	22 %

Con esto queda establecido que el proyecto de ampliación y rehabilitación presentado en esta tesis resulta rentable, tanto por el ingreso final como por la Tasa Interna de Retorno (TIR) obtenida.

(TABLA 6.5) ANÁLISIS DE COSTOS CON PROYECTO

VELOCIDAD MEDIA DE TRANSITO	85	km/hr
KILOMETROS TOTALES DE VÍA	206	Km
TIEMPO DE RECORRIDO	2	hrs
POTENCIA (LOCOMOTORA)	4400	HP

	VOLUMEN DE CARGA	N° DE TRENES	N° DE CARROS	PROMEDIO DE LOC./TREN	N° DE LOCOMOTORAS	COSTOS VARIABLES	COSTOS FIJOS	COSTO TOTAL
1998	8339000	14	900	3	42	188,852,835	5,665,585	194,518,420
1999	8801838	14	900	3	42	194,192,134	5,665,585	199,857,719
2000	9305580	14	900	3	42	200,003,301	5,665,585	205,668,886
2001	9854989	14	900	3	42	146,388,611	5,665,585	152,054,196
2002	10455465	14	900	3	42	153,315,701	5,665,585	158,981,286
2003	11113134	14	900	3	42	160,902,573	5,665,585	166,568,158
2004	11741157	20	1290	3	60	182,170,996	5,665,585	187,836,581
2005	12420635	22	1410	3	66	194,663,801	5,665,585	200,329,386
2006	13156718	22	1410	3	66	203,155,261	5,665,585	208,820,846
2007	13955128	24	1530	3	72	217,020,070	5,665,585	222,685,655
2008	14822223	24	1530	3	72	227,022,874	5,665,585	232,688,459
2009	15612860	24	1530	3	72	236,143,665	5,665,585	241,809,250
2010	16458612	26	1650	3	78	250,554,609	5,665,585	256,220,194
2011	17363883	26	1650	3	78	260,997,816	5,665,585	266,663,401
2012	18333457	30	1860	3	90	281,431,014	5,665,585	287,096,599
2013	19372530	34	2160	3	102	302,847,474	5,665,585	308,513,059
2014	20259422	34	2160	3	102	313,078,656	5,665,585	318,744,241
2015	21194245	36	2280	3	108	328,517,129	5,665,585	334,182,714
2016	22179798	36	2280	3	108	339,886,467	5,665,585	345,552,052
2017	23219049	38	2400	3	114	356,529,610	5,665,585	362,195,195
2018	24315146	38	2400	3	114	369,174,191	5,665,585	374,839,776
2019	25164030	42	2610	3	126	388,215,106	5,665,585	393,880,691
2020	26045318	42	2610	3	126	398,381,646	5,665,585	404,047,231
2021	26960287	44	2730	3	132	413,591,071	5,665,585	419,256,656
2022	27910262	46	2910	3	138	429,325,349	5,665,585	434,990,934
2023	28896624	46	2910	3	138	440,704,022	5,665,585	446,369,607

(TABLA 6.6) ANALISIS ACTUAL DE COSTOS (SIN PROYECTO)

VELOCIDAD MEDIA DE TRANSITO	30	km/hr
KILOMETROS TOTALES DE VIA	206	Km
TIEMPO DE RECORRIDO	7	hrs
POTENCIA (LOCOMOTORA)	4400	HP

	VOLUMEN DE CARGA	N° DE TRENES	N° DE CARROS	PROMEDIO DE LOC/TREN	N° DE LOCOMOTORAS	COSTOS VARIABLES	COSTOS FIJOS	COSTO TOTAL
1998	8339000	14	900	3	42	188,852,835	5,665,585	194,518,420
1999	8801838	14	900	3	42	194,192,134	5,665,585	199,857,719
2000	9305580	14	900	3	42	200,003,301	5,665,585	205,668,886
2001	9854989	14	900	3	42	206,341,284	5,665,585	212,006,869
2002	10455465	14	900	3	42	213,268,374	5,665,585	218,933,959
2003	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2004	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2005	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2006	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2007	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2008	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2009	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2010	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2011	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2012	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2013	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2014	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2015	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2016	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2017	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2018	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2019	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2020	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2021	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2022	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831
2023	1113134	14	900	3	42	220,855,246	5,665,585	226,520,831

(TABLA 6.7) EVALUACIÓN FINANCIERA (ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO)

AÑO	CON PROYECTO		SIN PROYECTO		KILÓMETROS DE VIA	CON PROYECTO COSTO \$ / TON KM	SIN PROYECTO COSTO \$ / TON KM	TARIFA \$ / TON KM	INVERSIONES	INGRESOS	ACTUALIZACIÓN		INGRESOS ACTUALIZADOS	INGRESOS ACUMULADOS
	PROYECTO VOLUMEN DE CARCA	DIFERENCIA DE TONELADAS	CON PROYECTO COSTOS VARIABLES	SIN PROYECTO COSTOS VARIABLES							12%	1.000		
0	8330000	0	188,852,835	188,852,835	208	0.110	0.110	0.21	0	0	1.000	0	0	
1	8601838	0	184,192,134	184,192,134	208	0.107	0.107	0.21	344,503,892	0	0.893	307,592,582	307,592,582	
2	9305580	0	200,003,301	200,003,301	206	0.104	0.104	0.21	114,834,564	0	0.797	91,545,411	399,137,993	
3	9854989	0	146,388,611	206,341,284	206	0.072	0.102	0.21	59,952,673	59,952,673	0.712	42,673,128	356,464,855	
4	10455465	0	160,902,673	213,286,374	206	0.070	0.099	0.21	59,952,673	59,952,673	0.636	38,101,007	318,363,857	
5	11113134	0	182,170,896	220,855,246	206	0.075	0.096	0.21	65,852,508	65,852,508	0.507	33,362,830	284,345,101	
6	11741157	628,023	194,663,801	220,855,246	206	0.076	0.096	0.21	82,753,911	82,753,911	0.452	37,433,667	213,548,504	
7	12420635	1,307,500	203,155,261	220,855,246	206	0.075	0.096	0.21	106,105,424	106,105,424	0.404	42,854,201	170,694,302	
8	13156718	2,043,564	217,020,070	220,855,246	206	0.075	0.096	0.21	126,779,841	126,779,841	0.361	45,718,081	124,976,221	
9	13955128	3,709,089	227,022,874	220,855,246	206	0.074	0.096	0.21	154,287,551	154,287,551	0.322	49,676,462	75,289,759	
10	14822233	3,709,089	236,143,665	220,855,246	206	0.073	0.096	0.21	179,369,727	179,369,727	0.287	51,564,510	23,735,249	
11	15612860	4,499,726	250,554,609	220,855,246	206	0.074	0.096	0.21	201,546,010	201,546,010	0.257	51,731,841	27,996,592	
12	16498612	5,345,478	280,957,816	220,855,246	206	0.073	0.096	0.21	230,264,832	230,264,832	0.229	52,770,756	80,767,348	
13	17353883	6,250,749	302,847,474	220,855,246	206	0.075	0.096	0.21	251,775,402	251,775,402	0.205	51,918,236	132,285,584	
14	18333457	7,220,323	313,078,656	220,855,246	206	0.078	0.096	0.21	275,308,290	275,308,290	0.183	50,287,911	182,583,555	
15	19375930	8,259,388	328,517,129	220,855,246	206	0.075	0.096	0.21	303,445,003	303,445,003	0.163	48,498,453	232,082,008	
16	20259422	9,146,298	339,898,487	220,855,246	206	0.074	0.096	0.21	328,446,993	328,446,993	0.146	47,896,446	279,918,454	
17	21194245	10,081,111	356,529,610	220,855,246	206	0.075	0.096	0.21	359,172,673	359,172,673	0.130	46,776,869	326,695,342	
18	22179798	11,068,664	369,174,191	220,855,246	206	0.074	0.096	0.21	388,027,506	388,027,506	0.116	45,052,623	371,747,965	
19	23219049	12,105,915	388,215,106	220,855,246	206	0.075	0.096	0.21	422,800,101	422,800,101	0.104	43,830,319	415,578,284	
20	24315146	13,202,012	396,351,646	220,855,246	206	0.074	0.096	0.21	440,481,895	440,481,895	0.093	40,770,833	456,349,117	
21	25164030	14,050,886	413,581,071	220,855,246	206	0.074	0.096	0.21	468,439,678	468,439,678	0.083	38,713,048	485,062,165	
22	26045318	14,932,184	429,325,349	220,855,246	206	0.075	0.096	0.21	492,811,987	492,811,987	0.074	36,363,589	531,425,754	
23	26960287	15,847,152	440,704,022	220,855,246	206	0.075	0.096	0.21	518,173,649	518,173,649	0.066	34,139,370	565,564,124	
24	27910292	16,797,128	440,704,022	220,855,246	206	0.074	0.096	0.21	549,464,998	549,464,998	0.059	32,321,348	597,885,472	
25	28936524	17,783,490			206	0.074	0.096	0.21						

CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

AÑO	TIR
1998	22%
1999	0
2000	(283,275,905)
2001	(7,643,327)
2002	33,331,574
2003	27,407,636
2004	22,536,545
2005	20,354,801
2006	21,032,884
2007	22,175,000
2008	21,786,728
2009	21,801,604
2010	20,841,167
2011	19,255,876
2012	18,089,745
2013	16,264,244
2014	14,623,686
2015	13,253,546
2016	11,795,956
2017	10,622,908
2018	9,422,407
2019	8,442,094
2020	7,232,009
2021	6,324,126
2022	5,470,709
2023	4,124,145
	(0)

CAPITULO VII

PROGRAMACIÓN DE LAS OBRAS

En este Capítulo se indicarán, en términos generales, los proyectos fundamentales para la ampliación de la capacidad de la línea en estudio y sus tiempos de ejecución correspondientes. Dichos proyectos son:

- Rehabilitación de vías.
- Rehabilitación y ampliación de laderos.
- Modernización de señales.
- Reforzamiento de puentes.

En relación a los tiempos de ejecución de estas obras, son los siguientes:

PROYECTO	TIEMPO DE EJECUCION
REHABILITACION DE VIAS	12 meses
REHABILITACION Y AMPLIACION DE LADEROS.	7 meses
MODERNIZACION DE SEÑALES.	16 meses
REFORZAMIENTO DE PUENTES.	6 meses

La programación de las obras fue establecida entre los años 1999 y 2000, pues como se mencionó en el Capítulo VI es el periodo de tiempo estipulado para la realización de los proyectos de ampliación y rehabilitación de la línea. Dicha programación se presenta en la *Tabla 7.1*.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES

ANÁLISIS PRELIMINAR

En base a la Tasa Interna de Retorno (TIR) calculada en la evaluación financiera, así como en el capital total obtenido al final de los 25 años de estudio del proyecto de ampliación de tramo México - Querétaro (línea "B"), se puede concluir que es rentable. Pero para que se cumpla dicha rentabilidad hay que considerar diversos factores que condicionan su éxito técnico y financiero, asegurando que la demanda de carga futura sea la esperada.

Con el fin de hacer énfasis en estos resultados, se incluirá un análisis FODA, con el cual es posible reafirmar las fortalezas y oportunidades del proyecto, atendiendo paralelamente a sus debilidades y amenazas. En dicho análisis se incluirán tanto aspectos generales referentes al ferrocarril, así como puntos específicos del tramo México - Querétaro (línea "B"). De lo anterior tenemos que:

FORTALEZAS

- Existen diversas características del ferrocarril que lo hacen mucho más competitivo frente al autotransporte; dichas características son:
 1. *Energéticas*. El consumo de combustible por tonelada kilómetro es aproximadamente del 25% con respecto al autotransporte.
 2. *Capacidad de carga*. En el ferrocarril, el promedio de carga es de 28 toneladas por eje, mucho mayor en comparación del autotransporte, el cual es de tan solo 14 toneladas por eje.
 3. *Ambientales*. Por las características técnicas del ferrocarril, las emisiones de contaminantes emitidas a la atmósfera para la misma cantidad de carga transportada, son poco significativas en relación a las emitidas por el autotransporte.

Los incisos uno y dos son características muy importantes del ferrocarril, ya que permiten que las tarifas por tonelada kilómetro transportado sean mucho menores que las correspondientes al autotransporte.

- *Ubicación estratégica del tramo México - Querétaro*. Este tramo canaliza un gran porcentaje del flujo de carga que se dirige a la Ciudad de México desde el Norte del país, ya que resulta ser un paso obligado para las principales vías troncales ferroviarias.

- *Modernización de la infraestructura y operación de la línea.* Ésta permite captar mayores volúmenes de carga y establece las condiciones necesarias para ofrecer un servicio seguro y eficiente.
- *Experiencia del personal (tanto administrativo como técnico).* Gran parte del personal que antes laboraba para Ferronales fue recontratado una vez realizada la concesión.
- Se cuenta con *espuelas ferroviarias* para la recepción masiva de productos en la Terminal del Valle de México (TFVM), la cual es la más importante en el país y cuenta, entre otros servicios, con una terminal intermodal (Pantaco).

OPORTUNIDADES

- *Los Nuevos Mercados.* Éstos surgen a partir de la apertura comercial de nuestro país, como es el caso del Tratado de Libre Comercio, donde México es actualmente el tercer socio comercial de Estados Unidos (después de Japón y Canadá), asimismo para nuestro país, Estados Unidos representa el 68% de las exportaciones así como el 70% de las importaciones. Como se mencionó anteriormente, la Línea "B" capta grandes volúmenes de carga del Norte del país, principalmente desde Mexicali, Nogales, Ciudad Juárez y Piedras Negras, todas ciudades fronterizas.
- *El Transporte Multimodal.* El cual consiste en la utilización de dos o más modos de transporte para proporcionar el traslado de mercancías entre dos puntos, mediante un contrato único de transporte. Existe una gran tendencia a nivel mundial en el uso del Transporte Multimodal, cuya base tecnológica es el empleo del contenedor, siendo Estados Unidos uno de los países con mayor movimiento de contenedores. En el caso de la Línea "B", además de tener conexión con diversas ciudades fronterizas en el Norte del País, tiene conexiones con dos de los puertos más importantes: Manzanillo y Tampico, los cuales operan cerca del 26% de la carga a nivel nacional.

DEBILIDADES

- Los *pocos años* que lleva el proceso de modernización del subsector ferroviario en nuestro país.
- La *falta de integración* de los diferentes sectores del transporte en el país, lo cual limita de manera notoria el mercado que involucra al Transporte Multimodal.

ESTO
SABER SE LA
DEBE
SISTEMA

- El *atraso tecnológico* en el área operativa, así como la *pérdida de competitividad* originados de la mala administración por parte de Ferrocarriles Nacionales de México.
- Las *limitaciones operacionales* que surgen a partir de la utilización de la vía sencilla.

AMENAZAS

- *Las políticas gubernamentales*, las cuales han dado preferencia a lo largo de la historia al subsector del autotransporte.
- La *competitividad de otras Empresas Ferroviarias*, en particular TFM, ya que opera la vía doble México - Querétaro, la cual implica una competencia directa en la captación de volúmenes de carga, ya que tiene mejores especificaciones y su longitud es menor.

ANÁLISIS FINAL

Basándose en el análisis FODA, es posible establecer objetivos y estrategias maestras que permitan asegurar las expectativas comerciales del proyecto de ampliación del tramo México - Querétaro, logrando de esta forma su éxito técnico y financiero a largo plazo.

OBJETIVOS

- *Captar un mayor número de clientes*, proporcionándoles un servicio seguro y eficiente a bajo costo.
- *Incrementar los servicios multimodales*.

ESTRATEGIAS MAESTRAS

- *Políticas comerciales y tarifarias*. Con el fin de lograr la captación de los volúmenes de carga esperados, se debe proporcionar un servicio tal que resulte atractivo para aquellos sectores que requieren forzosamente del transporte masivo de carga. Por lo tanto, se deben implantar nuevas políticas comerciales que atraigan nuevos mercados, dichas políticas deben incentivar en todo momento el uso del Transporte Multimodal, promoviendo la utilización de los trenes unitarios. Se deben establecer fórmulas que incrementen el interés de los usuarios para la utilización del servicio, como es el compromiso de atender sus necesidades de tiempo y financiamiento.

Bajo esta premisa, se sugieren a continuación las siguientes acciones:

- Disminuir los tiempos para la recepción y entrega de mercancía.
 - Aprovechar las ventajas de la liberación tarifaria de carga.
 - Establecer precios especiales para trenes unitarios y para aprovechar el regreso de trenes vacíos.
 - Implantar sistemas modernos de atención a clientes.
 - Especialización en servicios multimodales.
- o *Modernización operativa.*
 - Optimizar el empleo de tripulación y de personal de transporte.
 - Mejorar la coordinación del área comercial y operativa.
 - o *Modernización de la infraestructura de la vía así como de sus sistemas de operación.* Esto con el fin de incrementar la capacidad de la misma, permitiendo el paso a un número mayor de trenes por día. Asimismo, las características de dichos trenes implicarán mejoras notables en el servicio ya que podrán transportar mayores volúmenes de carga, con tiempos de recorrido menores a los actuales. Dichas características son:
 - a. Trenes con mayor longitud.
 - b. Trenes con mayor capacidad de carga.
 - c. Mayores velocidades de tránsito.

Por otro lado, será posible disminuir las limitaciones operacionales de la vía sencilla reduciendo los tiempos correspondientes a los encuentros y rebases.

Bajo este contexto, se proponen, en esta tesis, las siguientes obras de modernización en la Línea "B".

- El reforzamiento de 3 puentes, incrementado su capacidad Cooper a E-80.
- Sustitución de rieles con calibre de 115 lb/yd por rieles de 136 lb/yd, soldado continuo sobre durmiente de concreto y sujeción elástica.
- Sustitución de durmientes de madera por durmientes de concreto preesforzado.
- La ampliación y rehabilitación de 10 laderos, los cuales tendrán una longitud promedio de 2,750 m.
- En cuanto al sistema de operación, se estipula la modernización del sistema CTC para despacho de trenes, el cual proporciona una eficiencia del 95% y reduce los tiempos para encuentros y rebases hasta 4 minutos.

Con la realización de estas obras, la capacidad de la línea se verá incrementada en un 70%, lo cual permitirá darle servicio a trenes de hasta 90 carros (1620 metros de largo) y con capacidad de carga de 30 Ton/eje. En

cuanto a la velocidad promedio de tránsito, ésta se incrementará de 30 km/hr a 85 km/hr, permitiendo reducir 4 horas el tiempo total de recorrido. Respecto al número de trenes por día, se podrá proporcionar servicio a 46 trenes sin que la capacidad de la línea se vea superada.

- *Modernización de la fuerza motriz y equipo de arrastre.*
- *Implementación de servicios regulares para el mantenimiento de la vía y las locomotoras.*
- *Aspecto Laboral.*
 - Incrementar la productividad
 - Racionalizar la planta laboral.
 - Capacitación del personal, incentivándolo dentro de sus áreas laborales.

Finalmente para atender las posibles fallas en la capacidad de la línea, es necesario que desde este momento se planteen las posibles alternativas que permitan la continuidad del servicio. Entre ellas se encuentran los convenios que se puedan establecer con TFM, así como nuevas propuesta de ampliación y rehabilitación de la vía, enfocadas a puntos débiles de la ruta. Dichas obras deben ser evaluadas con el tiempo suficiente y bajo los estudios necesarios, lo cual permitirá tomar la decisión más óptima que de solución al problema y no implique costos muy altos.

CONCLUSIÓN

El éxito técnico y financiero del proyecto de ampliación del tramo México - Querétaro (línea "B"), será alcanzado solamente si se considera en su totalidad la existencia de diversos factores condicionantes, los que se indican en las estrategias maestras mostradas anteriormente.

El enfoque central del desarrollo de esta tesis está relacionado con la estrategia maestra de modernización de la infraestructura de la vía y de los sistemas de operación del tramo México - Querétaro (línea "B"). Pero en la búsqueda de la captación de un número mayor de clientes, se deben incluir las otras estrategias maestras, tales como políticas comerciales, aspecto laboral, modernización operativa y de fuerza motriz, logrando de esta forma obtener el volumen de carga esperado. De lo contrario no se cumplirán las expectativas comerciales del proyecto, impidiendo la rentabilidad del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

1. **"FERROCARRILES NACIONALES DE MÉXICO"**
Situación Actual y Perspectivas al año 2000.
Apéndice y Anexos.
México 1994.
2. Alicia Girón, Marcela Astudillo. **"CONCEPTOS BÁSICOS DE ECONOMÍA"**
Instituto de Investigaciones Económicas.
Facultad de Ingeniería.
UNAM.
México, 1994.
3. Ing. Francisco M. Togno. **"FERROCARRILES"**
Editorial Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.
México, 1982.
4. Fernando Olivera Bustamante. **"ESTRUCTURACIÓN DE VÍAS TERRESTRES"**
Editorial Compañía Editorial Continental S.A. (CECSA).
México, 1994.
5. William W. Hay. **"RAIL ROAD ENGINEERING, VOL. I"**
Editorial Wiley.
Estados Unidos, 1953.
6. Francisco Gorostiza Pérez. **TESIS PROFESIONAL:
"EVALUACION Y ANTEPROYECTO DEL FERROCARRIL GUADALAJARA -
SALTILLO"**
México, 1966.
7. Ing. Carlos Crespo Villalaz. **"VÍAS DE COMUNICACIÓN"**
Editorial Limusa.
México, 1979.

8. Páginas electrónicas.

<http://www.gtfm.com.mx>

<http://www.inegi.gob.mx>