

21
2 Ge



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

Modificación del Ferrocarril Mexicano

T E S I S
Que para obtener el título de :
I N G E N I E R O C I V I L
p r e s e n t a :
H E C T O R B E L L O G A R C I L A Z O



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

C O N T E N I D O

Pág.

INTRODUCCION	1
PERSPECTIVAS Y RESEÑA HISTORICA DEL FERROCARRIL	4
1. El Ferrocarril del futuro.	4
2. Antecedentes históricos del Ferrocarril.	7
3. El Ferrocarril en México.	9
4. Empresas que integran la Red Ferroviaria.	13
I GENERALIDADES	14
I.1 Estado actual de los Ferrocarriles en México.	14
I.2 Situación actual.	16
I.3 Necesidades actuales del Sistema Ferroviario Nacional.	17
I.4 Ubicación del proyecto planteado dentro de la problemática actual.	22
II ALTERNATIVAS DE RUTA	23
II.1 Proposición de alternativas.	23
II.2 Comparación del alternativas.	36
III METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE BENEFICIOS	38
III.1 Integración de los costos del tren.	40
III.2 La formación escogida para el tren.	41
III.3 Determinación del tráfico generado en la línea.	43
III.4 Costos totales del tren en la Ruta.	44
III.5 El Modelo.	45
III.6 Detalles del Modelo de Costos.	54

	Pág.
IV EVALUACION DE ALTERNATIVAS	75
IV.1 Los Proyectos propuestos.	76
IV.2 Diseño del tren.	76
IV.3 Determinación del tráfico y del tonelaje.	80
IV.4 Costo total de operación del tren por Ruta.	82
IV.5 Costo por tonelada bruta transportada.	110
IV.6 Inversión total de los tramos a rectificar.	113
IV.7 Beneficios actualizados.	116
IV.8 Comparación de las Rutas.	120
V PROYECTO GEOMETRICO	123
V.1 Generalidades.	123
V.2 Trabajos preliminares al proyecto geométrico definitivo.	124
V.3 Proyecto Geométrico definitivo.	128
CONCLUSIONES	164
APENDICE A	167
APENDICE B	173
BIBLIOGRAFIA	174

I N T R O D U C C I O N

Los Ferrocarriles en el mundo, han sufrido fuertes crisis debido principalmente a la competencia que le presentaron los vehículos con motor. En el presente, parece que el ferrocarril vuelve a colocarse en los primeros planos dentro de los sistemas de transporte, ya -- que han mejorado tanto en comodidad como en el tiempo de recorrido; ésto se puede constatar con el llamado Tren Bala de la Línea Tokaido en el -- Japón que alcanza velocidades de 200 Kph. y también de otros ferrocarriles en el continente Europeo.

Sin embargo, mientras los ferrocarriles en otras partes del mundo aprove

chan al máximo los avances Tecnológicos, en nuestro país desde que fué inaugurada la primera línea de importancia en el año de 1873, ya tenía un atraso de 48 años con respecto a los ferrocarriles que estaban operando en Inglaterra y que se desarrolló hasta alcanzar prácticamente la longitud en líneas que existen en la actualidad, por el año de 1911; ésto, debido también al cambio de vías angostas por anchas y a la falta de recursos financieros; por lo que en la actualidad, viendo que el sistema ferrocarrilero debe estar acorde con las necesidades generadas por el desarrollo nacional y teniendo en cuenta que para lograr este objetivo, los ferrocarriles en México se deben modernizar, mejorando los servicios de apoyo y el equipo rodante, además del tendido de nuevas líneas y la rectificación de las existentes.

El presente trabajo, es un estudio de rectificación de una de las líneas existentes con la que mejorará el movimiento de los trenes entre Tierra Blanca y Teotihuacán, estudio que está integrado por los siguientes capítulos:

- I. Generalidades
- II. Alternativas de Ruta
- III. Metodología para la evaluación de beneficios
- IV. Evaluación de Alternativas
- V. Proyecto Geométrico.

El Capítulo I, trata de ubicar al proyecto de acuerdo al estado actual y a la necesidades que tiene el sistema ferroviario para poder operar con mayor eficiencia.

En el Capítulo II, se proponen las alternativas de Ruta con las que se busca mayor eficiencia en el movimiento de trenes entre Tierra Blanca y Teotihuacán, presentando las características principales como son la longitud, la pendiente máxima y la curvatura máxima de las dos líneas que existen entre los puntos señalados.

Los dos capítulos que continúan, presentan el método y la aplicación del mismo para la evaluación de los beneficios mediante una integración de los costos del tren y una comparación de las rutas propuestas en el capítulo II. Finalmente, se lleva a cabo el estudio del proyecto geométrico tocando someramente los trabajos preliminares necesarios para la realización de dicho proyecto, el cual consta de alineamiento horizontal, el --alineamiento vertical, secciones transversales y el diagrama de masas -- para el movimiento de tierras, quedando fuera del alcance de este trabajo el proyecto de túneles, puentes, el drenaje y alcantarillado, la superestructura de la vía férrea y el tendido de la vía que por sí mismos serían estudios independientes por la amplitud de cada tema.

PERSPECTIVAS Y RESEÑA HISTORICA DEL FERROCARRIL

1. EL FERROCARRIL DEL FUTURO

Los Ferrocarriles del futuro no aportarán grandes -- cambios, sino que serán un desarrollo de los de hoy. La mayor parte de los ferrocarriles se desplazan por dos rieles de acero con una separación o escantillón que suele ser de 1.43 metros, 1.07 metros, 1 - metro y de 1.674 metros en España y Portugal. Sumas de dinero equiva lentes a miles de millones de pesos actuales, se invirtieron para --- construir estas vías y dada la situación económica de inflación y cos tos de trabajo y de material en rápido crecimiento, es difícil que se puedan hacer cambios fundamentales. Sólo allí donde no hay ningún -- tipo de ferrocarril, pueden adoptarse nuevos sistemas sin la pérdida económica que supondría suprimir los ya existentes. Aún así, se está haciendo mucho por mejorar la eficacia del sistema tradicional de dos rieles.

Uno de los esfuerzos más eficaces consiste en la eliminación de embotellamientos en el tráfico, pasos a desnivel, curvas pronunciadas, etc. Otra mejora posible es construir el tendido de una forma distinta. En lugar de tender rieles y traviesas sobre un lecho de balasto, lo cual requiere una atención continua, se podría construir con elementos prefabricados de concreto tendidos directamente sobre suelo firme. El costo de mantenimiento de esta vía puede llegar a ser menor a la décima parte de un tendido tradicional.

Otra mejora importante es el automatismo. Los ferrocarriles actuales lo están introduciendo mediante el control y la comunicación --- electrónicos, que requieren señales o cables a lo largo de las vías para comunicar los trenes con el centro de control por computadora. Así se puede, automáticamente, poner los trenes en marcha, acelerarlos con precisión, manteniéndolos a la velocidad óptima en cada momento, llevarles a la vía correcta y hacerles cumplir todo tipo de limitación. Cualquier emergencia puede conocerse al instante en todo el sistema, pudiendo el computador seleccionar su programa más -- adecuado para reordenar el tráfico. Empleando formas primitivas de este tipo de control, sistemas de tráfico urbano como el BART de San Francisco o la línea Victoria de Londres, han estado funcionando automáticamente desde el primer día, siendo el conductor un pasajero -- más, para vigilar los aparatos.

Este control automático, junto con dispositivos para mantener los -- trenes a distancias seguras, ha ido acompañado de mejoras del equipo rodante que han aumentado la velocidad. Una alternativa al tren tradicional es el monorriel, que, en diversas versiones, existe desde -- hace mucho tiempo. Aunque no es más rápido, tiene la ventaja de su sencillo tendido soportado por pilares a través de la ciudad.

Con cambios en los tendidos será posible obtener velocidades de más de 250 Km/hr, más allá del límite de las vías tradicionales.

El cambio más radical al término de este siglo, podría ser, prescindir de las ruedas. Vehículos muy rápidos pueden --deslizarse por vías lisas gracias a la sustentación por cojín de aire o la levitación magnética. Aunque ambos métodos consumen energía (para hacer lo que la rueda hace por sí misma), el tren sin ruedas - puede correr a mucho mayor velocidad con un tendido menos costoso. - Suprimiendo todo contacto entre el tren y la vía, casi se elimina la necesidad de mantenimiento. El ruido se reduciría al producido por el aire que escapa por debajo del vehículo y la única potencia necesaria para impulsar el tren a velocidad de crucero, sería la requerida para vencer la resistencia al avance. El tendido, construido de secciones de concreto prefabricadas, tendría que ser bastante recto en comparación con los actuales de metal. Esto se debe a que a una velocidad de 800 Km/hr, por ejemplo, sería imposible subir pendientes confortablemente, afrontar montañas o tomar curvas. El vehículo de cojín de aire sobre tendido, tiene una tecnología bien desarrollada, aunque todavía no se haya construido ningún sistema extenso, por que su estado actual es a nivel experimental.

El método de la sustentación magnética, data del año de 1968 y existen ya muchos sistemas experimentales sobre tramos cortos. Consiste en usar el mismo campo magnético a la vez para levantar y para propulsar el tren. Para ello se utilizan imanes superconductores, que permiten reducir drásticamente el consumo de corriente.

Para un futuro lejano hay previsiones fantásticas. La más prometedora e imponente, pero la que es menos probable que se vea en un futuro próximo, es el tren de túnel de gravedad. Si se excavara un túnel por ejemplo, de París a Nueva York, en cada extremo daría la sensación de hundirse precipitadamente en tierra. Un vehículo colocado en el túnel, prácticamente caería hacia su destino al principio de - su trayecto. Si en el túnel se hiciera el vacío, el tren alcanzaría una velocidad de varios miles de kilómetros por hora en el medio ---

cuando pareciera que estaba viajando horizontalmente. Después parecería subir cada vez más, llegando ya casi parado a su destino, sin haber realizado gasto de energía, excepto la necesaria para vaciar el túnel de aire. Aún no existe la tecnología adecuada para construir tal ferrocarril, pero sí se podrían construir sistemas de gravedad-vacío más cortos, en túneles curvos que se hundirían entre estaciones situadas a sólo unos kilómetros de distancia, con presión atmosférica detrás del tren y un casi vacío adelante. Otro tipo de tren del futuro podría deslizarse por un tubo lleno de aire, aspirando el aire por delante, comprimiéndolo y lanzándolo por detrás en forma de chorro de propulsión.

2. ANTECEDENTES HISTORICOS DEL FERROCARRIL

El hombre construyó vehículos sobre carriles mucho antes de tener máquinas de vapor. Los carriles más antiguos eran de madera y se empleaban ya en el Siglo XIV. Se construyeron para superar las limitaciones de las demás formas de transporte terrestre: con el tendido de carriles se evitaban baches y roderas, y el deterioro de los caminos por la acción de la intemperie, al tiempo que se reducía el rozamiento y la resistencia al avance de los vehículos con ruedas, de tal forma que una fuerza determinada podía trasladar una carga más pesada.

La primera idea de aplicar el vapor al transporte, data del Siglo --- XVIII, aunque fué hasta el año de 1802, cuando el ingeniero inglés -- Richard Trevithik y su compatriota Andrew Vivian, patentaron la primera locomotora a vapor que se movía sobre rieles. Aunque la locomotora patentada, aplicación práctica de la máquina de vapor de Evans, no tuvo gran éxito, Trevithik no descansó hasta que en 1804 consiguió mover el primer convoy, formado por la máquina y cinco vagones y, con una dotación de 70 personas recorrió un trayecto de 16 Km. en dos horas. En 1811, el inglés John Blenkinsop resuelve el problema que --

representan las grandes pendientes, mediante una rueda dentada, colocada en la locomotora, que engranaba con un tercer riel. En 1814, -- George Stephenson construye su primera locomotora. Esta era capaz de arrastrar 30 toneladas a una velocidad de 6 Km. por hr. y en un trayecto con una pendiente del 2%. Este éxito de Stephenson, indujo al industrial británico Edward Peace a comisionarle la construcción de la primera línea Darlington-Stockton, obra que fué inaugurada el 27 de Septiembre de 1825, teniendo como fin el transporte de carbón. En 1827, el ingeniero francés Marc Séguin, inventó la caldera tubular, - en la que la fuerza de tracción era aumentada haciendo pasar el aire caliente procedente de la combustión por una serie de tubos inmersos en el agua de la caldera. Este tipo de caldera fué incorporado por Stephenson a su locomotora "The Rocket", con la que en 1830 se remolca un tren de 40 toneladas, que enlaza Liverpool y Manchester a una velocidad de 26 Km/hr. Casi al mismo tiempo se solicitaron las primeras concesiones en España para el "Carril de Hierro" de Jerez de la Frontera al muelle del Portal (1829) y de Jerez de la Frontera a Puerto de Santa María y Sanlúcar de Barrameda (1830), aunque no se llevaron a cabo por no encontrar apoyo en las corporaciones que habían de subvencionarlas.

En Francia se inició la construcción del ferrocarril con la línea St. Etienne-Andrerieux, inaugurada en 1827. Esta línea, fué destinada solamente para el transporte de hulla. Poco a poco el ferrocarril llegó a todos los países europeos. En Bélgica, se implantó en 1835 con la línea Mechelen (Malinas)-Bruselas; en Alemania, en el mismo año -- con la línea Nurnberg-Furth y en 1837, con la línea Dresden-Leipzig; en Italia, se inauguró la línea Nápoles-Portici en 1839. A España -- llegó el ferrocarril en 1848, con la línea Barcelona-Mataró y más tarde de Madrid-Aranjuez (1851) y la de Langreo (1855). En Rusia no empezaron a construirse las grandes líneas hasta 1880, año en que se comienzan las obras del Transcausiano, línea terminada en 1890 y que une el

mar Caspio con el mar Negro. En 1891 se inició la construcción del Transiberiano, terminándose en 1902, enlazando Moscú y Vladivostok con una longitud de 9990 km.

En América, el primer país en tener el ferrocarril, fué Estados Unidos con la línea Baltimore-Ohio, terminada en 1828. Durante la Guerra Civil se inició la construcción de la línea Transcontinental por la Unión Pacific entre Mississippi Y Sacramento. En otros continentes se inició posteriormente: en Asia en 1853, en Oceanía, en el año de 1854 y, en Africa, hacia 1856.

3. EL FERROCARRIL EN MEXICO

La historia del ferrocarril en México, se remonta a la época de la incorporación de México al mundo como país independiente; con ideas nuevas y grandes necesidades de mejorar e impulsar el desarrollo de las comunicaciones terrestres, incluyendo dentro de éstas, los ferrocarriles, como un medio para consolidar a la nueva nación.

De esta manera, el 22 de Agosto de 1837, se otorgó a Don Francisco de Arrillaga, la primera concesión para construir el ferrocarril que uniera las ciudades de México y Veracruz. Si se tiene presente que Inglaterra 12 años antes, o sea, en 1825, se construyera el primer ferrocarril del mundo, se entiende la importancia que le atribuyeron los primeros gobiernos del México independiente a este medio de transporte. Esta concesión caducó, sin que se iniciará la construcción de dicha vía, debido a los acontecimientos políticos de la época.

Por decreto del Presidente de la República, Don Antonio López de Santa Anna, con fecha del 31 de Mayo de 1842, se impuso la construcción

de un ferrocarril de Veracruz al río San Juan. De este ferrocarril se construyó con gran dificultad, un tramo de 13 kilómetros entre -- Veracruz y Molinito, que se inauguró el año de 1850.

Más tarde en 1855, se otorgó la concesión para la construcción de un ferrocarril, que partiendo de Río de San Juan, llegara hasta Acapulco. Dicha concesión fué dada a los hermanos Mosso, iniciándose los trabajos en la Ciudad de México y suspendiéndose posteriormente, --- cuando se llegó a tender la vía hasta la Villa de Guadalupe, habiendo sido inaugurado el 4 de Julio de 1857 por el Presidente, en ese - entonces, Don Ignacio Comonfort. Este tramo se utilizó después para completar la vía del Ferrocarril Mexicano, porque se prescindió de - establecer la comunicación entre la capital de la República y el --- Puerto de Acapulco. En 1872, se terminó el tramo Veracruz-Apizaco, con una longitud de 215 kilómetros.

La primera troncal en nuestro país, la de México-Veracruz con 424 -- kilómetros de longitud, es inaugurada el 1º de Enero de 1873 por el gobierno del Lic. Sebastián Lerdo de Tejada. Además dicho gobierno se distinguió por el deseo de impulsar la construcción de vías fe--- rreas con capital mexicano. Sin embargo, esta política sucumbió ante la presión de fuertes grupos financieros norteamericanos que lo--- graron concesiones para empresas constructoras de su país.

Entonces, la construcción de líneas, se caracterizó por la idea fundamental de los concesionarios de establecer rutas de transporte destinadas principalmente a la exportación de minerales hacia los Estados Unidos. Así, en el año de 1874, se dá la concesión para la construcción del llamado Ferrocarril Central Mexicano, siendo el primer tramo entre México y León, Gto. y llevándose después hasta Ciudad -- Juárez. Diez años más tarde, utilizando esta línea troncal, circula el primer tren entre la Ciudad de México y Chicago.

Con la finalidad antes dicha, se otorgan otras concesiones como fueron, la del ferrocarril llamado "El Internacional", -- que unía Piedras Negras con Durango; la de "El Nacional", que unía -- Nuevo Laredo con la Ciudad de México; y de otros importantes ramales, como el del ferrocarril denominado del "Golfo de Tampico" que enlaza el puerto de Tampico y la Ciudad de Torreón.

Se atribuyó una gran importancia estratégica el "Ferrocarril de Tehuantepec", ya que ofrecía la ruta más corta entre Europa y Asia, cuya construcción fué objeto de multitud de acuerdos, discusiones y concesiones, en las cuales intervinieron diferentes empresas. Se puede decir que unos años antes de 1850, se tomó la decisión de construirlo y fué hasta 1894 cuando se dió por terminada la obra. Pero se retrasó su operación hasta el año de 1899 por falta de equipo rodante. -- Más tarde, en 1908, se acordó que se fusionaran los ferrocarriles Central, El Internacional y El Nacional, dándole el nombre de "Ferrocarriles Nacionales de México". Al final de la época Porfirista, existían en el país 19,770 kilómetros de línea, de los cuales aproximadamente, 15,000 eran de vía ancha.

En 1914, cuando más cruenta y fragorosa era la lucha revolucionaria, se fusionan los ferrocarriles por orden del Presidente de la República, en una organización llamada "Ferrocarriles Constitucionalistas" y en 1917, se nombra administrador a Felipe Pescador, quien se considera como el iniciador de la mexicanización de los ferrocarriles.

A partir de 1925, se observa el desarrollo y la rehabilitación de la red ferroviaria al concluir los problemas confrontados por la revolución. En ese año, comienza una administración que se preocupa por mejorar la situación económica y técnica de los ferrocarriles. En 1926 se fusionan la mayoría de las líneas en una administración que vuelve a tomar el nombre de "Ferrocarriles Nacionales de México". Entre las

obras más destacadas desde el punto de vista técnico, debe mencionarse el "Ferrocarril del Pacífico", que fué terminado en 1927. Para entonces, la red ferroviaria llega a 28,450 kilómetros, incluyendo ---- 8,000 kms. de ferrocarriles cañeros.

En el año de 1940, México se ve forzado a intervenir en la Segunda -- Guerra Mundial, que lo obliga a acelerar la rehabilitación de los ferrocarriles. En esa época se acuerda la constitución de la "Misión - Norteamericana de Ferrocarriles en México", que aconseja y ayuda a la rehabilitación de las líneas y equipos. Tal obra de reconstrucción - se continúa unos años después. Una de las obras iniciadas por los -- años 40, que habría de costar grandes esfuerzos para vencer las enormes dificultades, impuestas por el terreno por el que había de tender se la vía férrea, fué la construcción del "Ferrocarril del Sureste". El proyecto adoptado permitió que se inauguraran algunos tramos en el año de 1946, para posteriormente terminar los 737 kilómetros que separan Coatzacoalcos de Campeche. Con lo cual se pudo unir la parte central de la República con esta última ciudad, en la que la línea habría de enlazar con la red de los "Ferrocarriles de Yucatán", quedando ligada esta península con el resto del país. En 1948, se inaugura el ferrocarril "Sonora-Baja California", que liga otro importante núcleo de población.

La adquisición por el Estado de los ferrocarriles "Kansas City México", permite que se emprendan las obras para enlazar la ciudad de --- Ojinaga con Topolobampo, Sin., por medio del Ferrocarril Chihuahua-Pacífico con 940 kilómetros de longitud.

De acuerdo con datos de las "Estadística Ferroviaria Nacional" de la S.C. y T., la red ferroviaria hasta 1974 era de 24,823 kilómetros de vía, con la cual, nuestro país ocupa el 5º lugar en América, después de E.U.A., Canadá, Argentina y Brasil.

Se estima que para el año de 1981, el país debe contar con 27,000 kilómetros de vía ferrea, además de rehabilitar y modificar lo ya existente.

4. EMPRESAS QUE INTEGRAN LA RED FERROVIARIA

La red ferroviaria nacional, está constituida por varias empresas que se fueron fusionando por necesidades de operación. Fué hasta el 16 de Enero de 1977 que operaban cinco empresas independientes en su administración, cuatro de ellas de participación estatal mayoritaria y una descentralizada. El "Ferrocarril del Pacífico", el "Ferrocarril Chihuahua al Pacífico", los "Ferrocarriles Unidos del Sureste", el "Ferrocarril Sonora-Baja California", constituyen las -- primeras y los "Ferrocarriles Nacionales de México", la última.

Por acuerdo Presidencial del día 12 de Enero de 1977, se fusionan las cinco empresas antes mencionadas, para quedar integradas en una sola administración desde el día 17 de Enero de 1977. El mismo acuerdo designa como Director General de la red ferroviaria a la misma persona que fungía como Gerente General de los Ferrocarriles Nacionales de -- México. El Director General designa Auxiliares Ejecutivos para la -- administración de los ferrocarriles Chihuahua al Pacífico, Sonora-Baja California y Unidos del Sureste. El Ferrocarril del Pacífico, sigue administrándose por medio de su Sub-Gerente que ya dependía del -- Gerente General de los Nacionales de México.

La red ferroviaria nacional se compone en el año de 1974 de la siguiente distribución de vías principales y secundarias por empresa:

Ferrocarriles Nacionales de México.	18,008.359	Km.
Ferrocarriles del Pacífico.	2,834.506	Km.
Ferrocarril Chihuahua al Pacífico.	1,764.754	Km.
Ferrocarriles Unidos del Sureste.	1,509.471	Km.
Ferrocarril Sonora-Baja California.	705;752	Km.

GENERALIDADES

I.1 ESTADO ACTUAL DE LOS FERROCARRILES EN MEXICO

Se puede decir que los diversos sistemas de transporte compiten mutuamente y se diferencian por el rendimiento que pueden ofrecer, tales como rapidez, economía e incluso comodidad en los viajes. Refiriéndose solamente al transporte terrestre, en siglos pasados el carruaje dominó totalmente el transporte de personas y mercancías, hasta que fué sustituido por el ferrocarril, cosa que ocurrió con el paso de la Edad Media a la Edad Moderna y el desenvolvimiento de la Era de la Técnica y de la Industria que se hallan íntimamente ligadas con la introducción e influencia de los ferrocarriles durante el siglo pasado, ya que donde se colocaban los rieles, florecía la vida, surgían nuevas ramas de la industria y los

caminos de hierro sobre los que se movían las mercancías, atraían -- nuevos mercados. Al fin se podía disponer de un medio de transporte rápido, cómodo y que valía lo que costaba. Pudieron crearse zonas industriales y la producción de bienes pudo concentrarse en lugares especialmente apropiados para ella. Por esas razones ya desde sus comienzos, la importancia económica del ferrocarril radica principalmente en su cooperación en el tráfico de mercancías. El movimiento de personas se desarrolló al principio lentamente, fué aumentando rápidamente en la segunda mitad del Siglo XIX. Con el general bienestar llegó a su máximo auge con todos los países poco antes de la Primera Guerra Mundial y desembocó finalmente en crisis a causa del creciente dominio del automóvil. Al principio hizo poca competencia al tren, pero una vez construidas las autopistas y otras vías de gran capacidad de rendimiento permitieron recorrer distancias mayores en el mismo tiempo y con mayor comodidad, así es como el automóvil adquiere una importancia primordial.

Como se dijo, el ferrocarril llegó a su máximo esplendor al principio de este siglo. Desde entonces los ferrocarriles de todos los países han sufrido crisis peligrosas, sin contar con las consecuencias de las guerras; una de las crisis fué la retirada de las locomotoras de vapor que, sobre todo por razones económicas, tuvieron que ceder su puesto a los motores diesel y eléctricos que eran más baratos.

A ésto hay que añadir la competencia cada vez más fuerte, causada -- por el tráfico de los vehículos de motor, lo cual condujo a un abandono parcial de los rieles para el movimiento de personas y el transporte de mercancías. Sin embargo, dentro de la economía pública, el ferrocarril no ha perdido hasta la fecha su gran importancia. Es -- insustituible en el transporte de grandes volúmenes, circula con rapidez y seguridad con cualquier situación atmosférica y la comodidad

de la marcha sobre rieles silenciosos (soldados directamente), no es superada por los grandes automotores. La saturación, difícilmente evitable, de las autopistas, con cifras catastróficas de accidentes y, finalmente, la contaminación del aire por residuos de gases de los automóviles son otros tantos argumentos en favor de una mayor utilización de los ferrocarriles. Por todos estos motivos, en nuestros días se vuelve a un renacimiento del tren, renacer que ha sido fomentado en forma decisiva por las posibilidades técnicas actuales.

I.2 SITUACION ACTUAL

El primer ferrocarril de servicio público en el mundo, fué construido en Inglaterra y empezó a funcionar en 1825, entre las ciudades de Stockton y Darlington, como transporte de carga y de pasajeros. En México esta clase de servicio empezó hasta el año de 1850, o sea 25 años después entre Veracruz y el Molinito, sobre 13.6 kms. de vías, cuando las líneas inglesas tenían ya 13,200 kms. y las norteamericanas 13,711 kms. Como ya se señaló en los antecedentes históricos, la primera línea mexicana importante, fué inaugurada en 1873, con 48 años de atraso respecto a los ferrocarriles británicos.

Mientras la producción se ha multiplicado varias veces, la estructura ferroviaria continúa siendo casi la misma, ya que prácticamente la totalidad de la red de líneas ferreas actual, fué construida durante el período 1869-1911. Al iniciarse la Revolución, la carga y las personas fueron movidas profusamente por ferrocarril; por ello es que muchas tiendas se libraron en lugares situados a lo largo de las rutas ferroviarias, que fueron destruidas en muchos tramos y posteriormente hubo la necesidad de asignar cuantiosas inversiones para su reparación. Consecuencia de lo anterior, es que la exten---

si3n de la red ferroviaria, ha variado poco en los 3ltimos 50 a3os. En 1930, hab3a una longitud de v3a ferrea de 23,345 kms. que s3lo -- aument3 a 23,854 kms. en 1975.

Tambi3n podr3a atribuirse el lento desarrollo de la red durante los 3ltimos 25 a3os, a la colocaci3n de riel m3s pesado y al cambio de - v3as angostas (0.914 m.) por anchas (1.435 m.), en una cantidad un - poco mayor a los 10,000 kms., que representan un poco menos de la mi tad de la longitud total de la v3a existente en la actualidad.

Por lo tanto, se puede afirmar que el sistema ferrocarrilero, no est3 acorde con las necesidades que plantea el actual desarrollo nacio nal, o sea, que en su estado actual, podr3a decirse que corresponde a un desarrollo industrial equivalente a la d3cada de los 30's y otra de las causas de la obsolescencia de nuestro ferrocarril, es la falta de recursos financieros.

Durante largos a3os, han operado con d3ficit, dado esencialmente -- por una inadecuaci3n entre costos e ingresos, como ejemplo: Con cifras del a3o de 1978, en los Ferrocarriles Nacionales de M3xico, el ingreso medio por pasajero-kil3metro, es de 9.9 centavos, en tanto - que el costo anda por los 45.8 centavos y, el ingreso medio por tone lada-kil3metro de carga, es de 23.3 centavos, en tanto que el costo es de 35.3 centavos. Para compensar, el gobierno le otorga subsidio que resulta insuficiente. Pero valdr3a la pena la aclaraci3n de que este subsidio le sirve s3lo para sobrevivir, no para el desarrollo, el crecimiento y el mejoramiento integral.

I.3 NECESIDADES ACTUALES DEL SISTEMA FERROVIARIO NACIONAL.

Las necesidades fundamentales del Sistema Ferrovia-

rio Nacional, pueden sintetizarse en tres renglones importantes:

- Mantenimiento y servicios de apoyo.
- Tendido de nuevas líneas y rectificación de las existentes.
- Modernización del equipo.

las cuales se describen a continuación:

1. Mantenimiento y servicios de apoyo.

Por los 14,300 kms. de las líneas ferroviarias (no incluye vías auxiliares) de los Nacionales de México, se han manejado hasta reciente fecha, casi 60 millones de toneladas, pese al maltrecho estado de -- las vías, que han soportado un incremento en el tránsito de carga, - de casi el 42 por ciento, en toneladas-kilómetro.

Las principales troncales tienen tramos buenos, regulares y malos. - La reposición de durmientes de madera, ha sido diferida desde años - atrás y se lleva un atraso de millones de piezas, aunque ahora está usándose más el durmiente de concreto. Así, en 1959, apenas se cubrió el 54 por ciento de las necesidades de conservación normal, que se tienen calculadas en 1.5 millones de durmientes, pero sólo se habían repuesto 812,711 piezas, hasta finales de 1979; ésto es con lo que respecta a durmientes.

Por otro lado la empresa, por todos los medios posibles y según los financiamientos que se le proporcionan y que han sido multiplicados notoriamente, año con año, ha procurado mejorar la calidad de las - vías ferreas de las principales troncales, todo por la necesidad de dar mejor servicio.

Así, por ejemplo, las planchuelas de conexión entre riel y riel, aquellas que le dan el característico traquetco al paso de un tren, han ido eliminándose por medio del sistema de soldadura del riel y a la fecha se tiene ya una extensión de 4,254 kms. de vía bajo esas condiciones.

Además se vé la necesidad por parte de los ferrocarriles, de mejorar y ampliar sus instalaciones, como la insuficiencia de los paltios de las terminales y enclaves ferroviarios, ya que éstos se mantienen constantemente saturados, es el caso específico de la línea México-Nuevo Ladero, la principal del país ó de las Terminales en Querétaro, San Luis, Monterrey, así como en Irapuato, Aguascalientes, Guadalajara, en las que los trenes ya no caben.

Por otra parte, cabe señalar, que no hay suficientes bodegas y que los incrementos constantes que se esperan de las cosechas nacionales y de las importaciones por Conasupo, no van a tener dónde guardarse. De donde, el sector público no se dará abasto en construir las y el sector privado no se interesa en hacerlo.

Podríamos decir que una de las causas del mal servicio ferroviario, obedece a que los usuarios tienen un magnífico sistema de bodegas rodantes, pues usan los furgones como tales. Y es explicable, prefieren pagar los 3,000 pesos diarios de penalidad por no devolver los carros, que invertir en la construcción de bodegas; ó mañosamente, pagar más flete pidiéndole a la empresa ferroviaria que les lleve sus carros de un punto a otro, mientras llega el momento de descargarlos.

2. Tendido de nuevas líneas y rectificación de las existentes.

La actual red ferroviaria está casi concebida como un sistema radial, ya que converge en la Ciudad de México. Requiriendo este sistema de nuevas rutas y vías dobles, además de electrificar las líneas de mayor densidad de tráfico, modernizando el trazado y las pendientes de las mismas.

Teniendo en cuenta las necesidades antes señaladas, en el año de 1979, se pone en marcha el programa de modernización de la infraestructura ferroviaria en el país, con la inversión de 27 mil millones de pesos, con financiamiento del Banco Mundial.

Esta modernización comprende la rectificación de 900 kms. de curvas y pendientes de acuerdo a la orografía; libramientos y acortamiento en los tramos ferroviarios y la instalación de patios y terminales en Coatzacoalcos, Guadalajara y Monterrey. El mismo programa comprende también la vía corta a Tampico, la Costera del Golfo entre Tampico y Veracruz y, la terminación del tramo de 200 kms. de Corón-dido a Lázaro Cárdenas. Además de la doble vía entre México e Irapuato y la vía rápida México-Toluca.

Para 1980 se empezará la electrificación en la vía doble de México a Querétaro, donde se calcula que los trenes eléctricos podrán operarse a fines de 1982.

3. Modernización del equipo.

La evolución de la economía del país y los ambiciosos programas de su infraestructura, han originado una demanda cada vez mayor de los servicios de carga que han repercutido en la necesidad de aumentar la existencia de locomotoras y del equipo de arrastre.

Por lo que hace a las locomotoras, éstas se han modificado sustancialmente al sustituirse las de vapor, que consumían combustóleo y carbón en un principio, por las que consumen diesel principalmente. En 1935 todo el sistema ferroviario empleaba locomotoras de vapor y fué en la década de los cuarentas cuando se registró el cambio. En 1946, existían 45 locomotoras diesel; en 1950 ascendía a 122 el número de unidades para servicio de camino y terminales y, para 1960 ya se contaba con 598, que representaban el 51.6 por ciento del total. Prácticamente este tipo de unidades, han desplazado al equipo de vapor, ya que en 1966 las 943 unidades en operación significaban el 96.3 por ciento del total, cantidad que aumentó en 1980 a 1210 locomotoras a las que se les irán sumando las que salen de la ensambladora de Aguascalientes.

En realidad se trata de locomotoras diesel-eléctricas, en las cuales no es el motor diesel el que impulsa las ruedas motrices, sino motores eléctricos de corriente continua, semejantes a los que llevan los tranvías. Estas locomotoras constan de un motor diesel (a veces dos) que accionan un generador de energía eléctrica, cuya corriente se transmite a los motores eléctricos de tracción; es decir, se trata de una locomotora que lleva consigo su propia central eléctrica y de esta manera el motor diesel, funcionando a potencia casi constante, consigue un rendimiento más elevado.

Por lo tanto las locomotoras a base de diesel, proporcionan un aumento en la fuerza tractiva, lo que propicia el retiro de las unidades de vapor, al requerirse menos unidades para la movilización del equipo de carga y pasajeros, pero aún con esta ventaja se ve la necesidad de ir aumentando la fuerza tractiva para ser congruente con el desarrollo del país.

En cuanto al equipo de arrastre, es necesario ir sustituyendo las --

unidades con problemas de operación, por unidades nuevas y aumentar - las ya existentes para satisfacer a todo el sistema. Ahora entre lo fabricado aquí y el comprado al exterior, se contaba hasta principios del año de 1980, con 19,719 furgones; 507 jaulas; 10,591 góndolas; -- 965 plataformas y 1,331 carros-tanques. Esto permitirá ampliar la ca - pacidad instalada y satisfacer los incrementos previstos en la deman - da de los servicios de carga y pasaje. Además, se deben impulsar las tareas de reparación y conservación del equipo móvil en los talleres existentes y adquirir la maquinaria necesaria para los mismos, para - prestar adecuadamente los servicios de mantenimiento del equipo.

I.4 UBICACION DEL PROYECTO PLANTEADO DENTRO DE LA PROBLEMATICA ACTUAL

Los tres puntos antes descritos son muy impor - tantes para que los ferrocarriles logren el anhelado desarrollo, pero el segundo adquiere una mayor importancia sobre los otros dos, porque aún teniendo el mantenimiento óptimo y los mejores servicios de apoyo y el equipo más moderno, las líneas son insuficientes para movilizar toda la carga que va generando el constante desarrollo del país.

De lo que se concluye, que es de primordial importancia, el tendido - de nuevas líneas y la rectificación de las existentes y como conse-- cuencia de ésto, se requerirán mejores servicios de apoyo y equipo.

Aquí es donde surge la necesidad de crear un eje repartidor central - de la red ferroviaria, comunicando el flete proveniente del Sureste - desde Tierra Blanca, hasta la Ciudad de Guadalajara, en el Occidente del país, como se señala en la figura I.1.

La finalidad e idea que se tiene de este eje repartidor, es la de dar más fluidez al flete del Sureste como pueden ser materias primas que

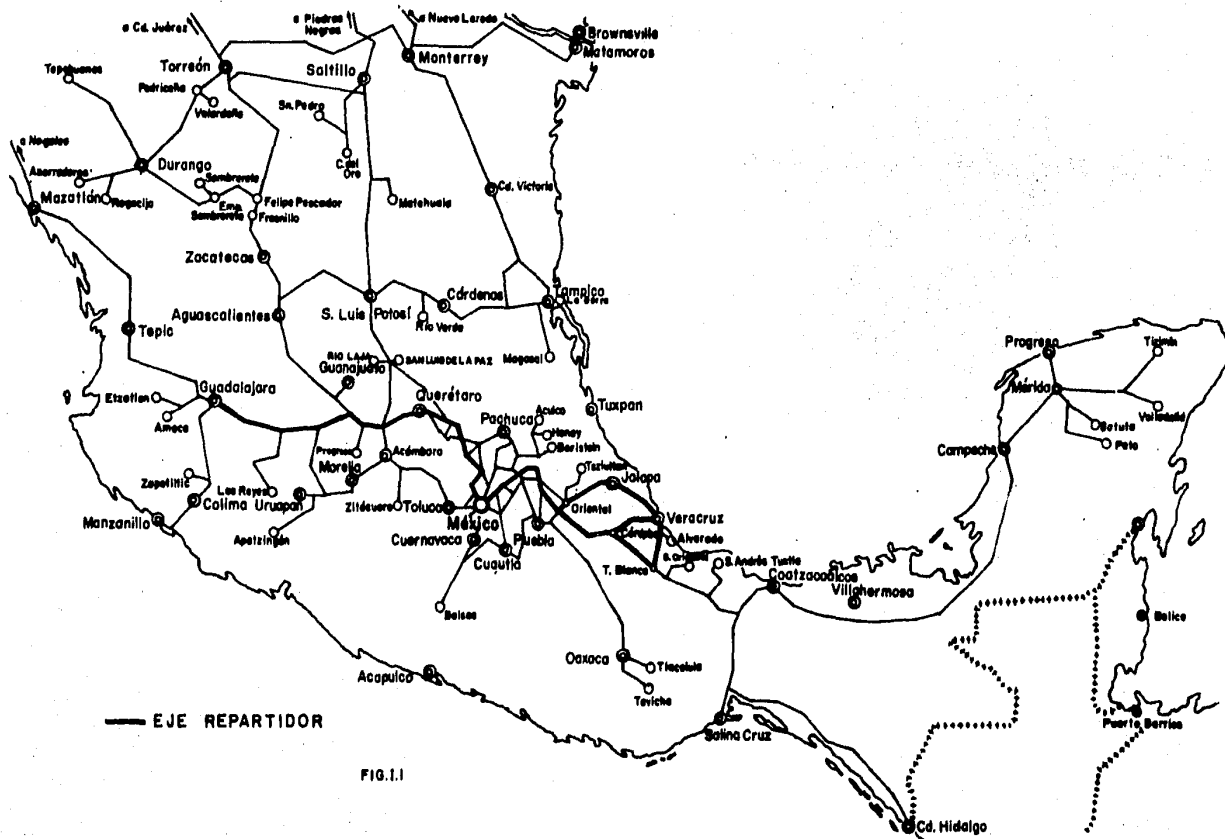


FIG. 1.1

serán utilizadas en el Occidente y el Norte del país, además de granos, productos petroquímicos provenientes de un gran desarrollo industrial como lo es la Cangrejera y movilización de otros productos de Pemex, ésto en lo que se refiere al flujo del Sureste hacia el Occidente, pero a la inversa sería el transporte de productos ya terminados que son necesarios desde Chiapas hasta Yucatán y Quintana Roo.

Esto se piensa lograr con la construcción de una vía rápida entre la Ciudad de México e Irapuato con una línea de doble vía y en un futuro su electrificación y, la rectificación de tramos entre Tierra Blanca y Teotihuacán. En esta Tesis se tratará de dicha rectificación, desarrollando los siguientes temas:

- Análisis de alternativas de ruta.
- Evaluación económica de las alternativas de ru
ta.
- Proyecto Geométrico de la ruta seleccionada.



ALTERNATIVAS DE RUTA

Las alternativas para el movimiento de trenes con flete entre Tierra Blanca y Teotihuacán, podrían ser muy variadas, si se estuviera planteando un proyecto en el cual se construyera una nueva línea entre estos puntos; pero como ya existen dos rutas, - una perteneciente a la División Jalapa (línea "V") y otra a la División del Mexicano (línea "S"), la inversión en una nueva línea sería una erogación muy grande y contando con dos líneas, ese gasto no se justifica. Por lo tanto se vé la necesidad de aprovechar en lo más posible, las líneas actuales, ó en su caso, rectificar los tramos con características geométricas que tienen condiciones de operación no adecuadas para los volúmenes de carga.

II.1 PROPOSICION DE ALTERNATIVAS

De acuerdo al criterio antes mencionado, se --

propone la construcción y levantamiento de algunos tramos en la División del Mexicano y en la División Jalapa, tratando de encontrar de entre estos proyectos de rectificación y los actuales, la ruta más -- recomendable para el movimiento de trenes con flete del Sureste con -- destino al Centro y Norte del país.

Las alternativas propuestas se presentan de la siguiente manera:

Un croquis de las diferentes alternativas (Fig. II.1), dando una ubicación esquemática de las rutas desde Tierra Blanca hasta Teotihuacán.

De inmediato se presentan cuadros gráficos de los tramos principales actuales que se muestran en la Fig. II.1, en estos cuadros se puede -- ver en su parte superior, un perfil y a todo detalle sus característi -- cas como son la pendiente máxima ascendiendo y la curvatura máxima en toda la extensión de cada tramo.

En el croquis para las diferentes alternativas para el movimiento de trenes con flete del Sureste, se señalan cuatro rutas, dos de la Divi -- sión Jalapa y dos de la División del Mexicano, las que se pueden ver en los cuadros II.1 al II.4 en sus tramos principales, donde se obser -- van sus tramos más críticos y con los que finalmente se forma un resu -- men por rutas de las alternativas propuestas.

RUTA A.- División Jalapa. Tramos actuales

T R A M O	LONGITUD (KM)	PENDIENTE MAXIMA ASCENDIENDO (%)	CURVATURA MAXIMA (°, ')
Tierra Blanca-Veracruz	101	2.00	5° 54'
Veracruz-Jalapa	128	2.57	11° 30'
Jalapa-Oriental	122	2.88	12° 00'
Oriental-C.F.C. Mexicano	86	1.50	3° 00'

CUADRO II.1

RUTA B.- División Jalapa. Tramos rectificadoss

T R A M O	LONGITUD (KM)	PENDIENTE MAXIMA ASCENDIENDO (%)	CURVATURA MAXIMA (° , ')
Tierra Blanca-Veracruz	101	2.00	5° 54'
Veracruz-Jalapa	128	2.00 y 2.50	6° 00'
Jalapa-Oriental	122	2.00 y 2.50	6° 00'
Oriental-C.F.C. Mexicano	86	1.50	3° 00'

CUADRO II.2

RUTA C.- División del Mexicano. Tramos actuales

T R A M O	LONGITUD (KM)	PENDIENTE MAXIMA ASCENDIENDO (%)	CURVATURA MAXIMA (° , ')
Tierra Blanca-Córdoba	93	2.80	12° 30'
Córdoba-Esperanza	73	4.10	11° 00'
Esperanza-C. Calderón	106	1.50	2° 00'

CUADRO II.3

RUTA D.- División del Mexicano, Tramos rectificadoss

T R A M O	LONGITUD (KM)	PENDIENTE MAXIMA ASCENDIENDO (%)	CURVATURA MAXIMA (° , ')
Tierra Blanca-Córdoba	93	2.50	6° 00'
Córdoba-Los Reyes	134	2.50	6° 00'
Los Reyes-C. Calderón	99	1.50	2° 00'

CUADRO II.4

ALTERNATIVAS PARA EL MOVIMIENTO DE TRENES CON FLETE
DEL SURESTE ENTRE TIERRA BLANCA Y TEOTIHUACAN

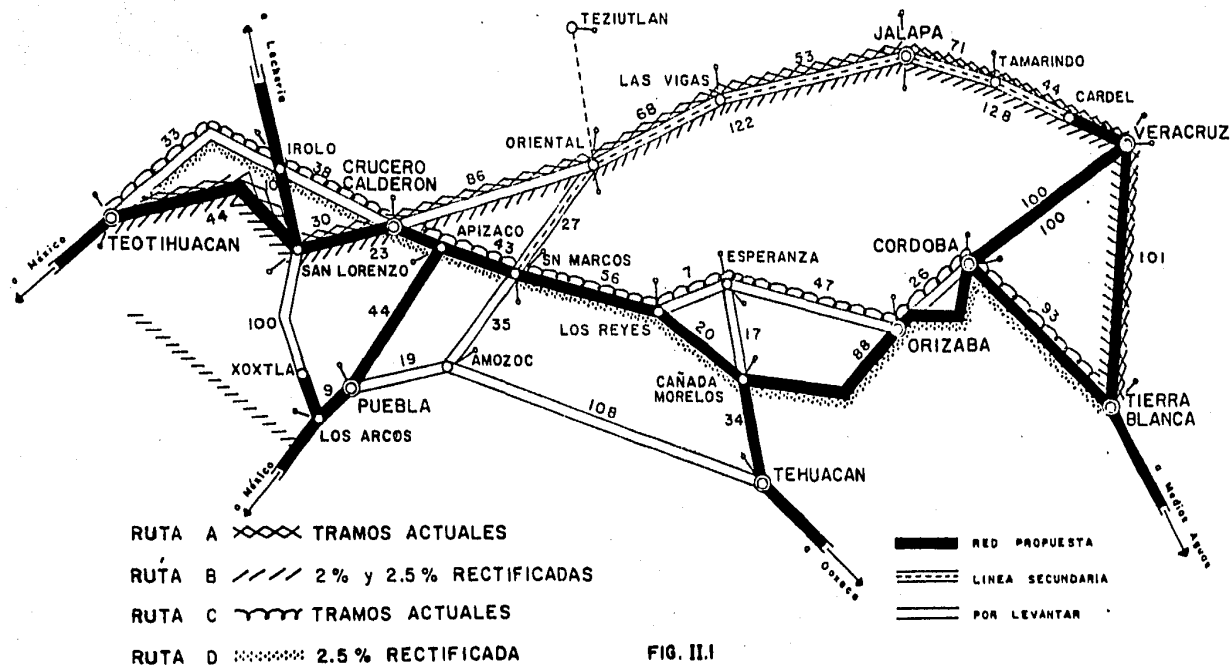
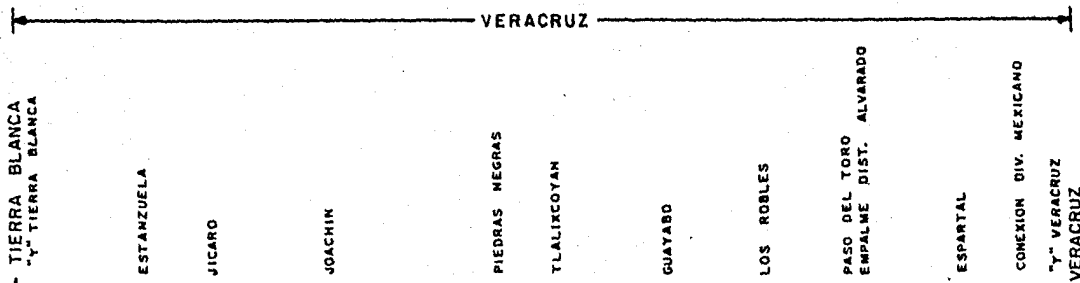


FIG. II.1

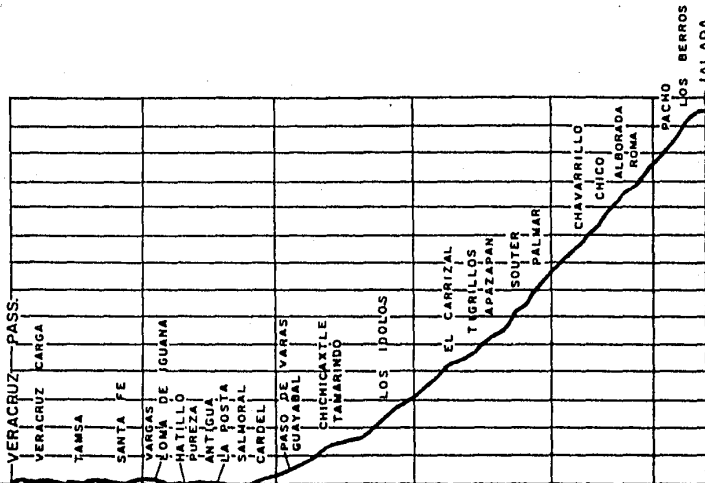
PERFIL TRAMO TIERRA BLANCA—VERACRUZ



		COMPENSADO													
KILOMETROS	101	75				50				25				0	
PENDIENTE MAXIMA % ASCENDIENDO	AL NORTE	0.0	2.0	1.66	1.17	2.0	1.4	1.3	1.05	1.5	1.9	1.72	0.5	0.8	1.1
	AL SUR	1.75	1.98	1.82	1.4	1.83	1.63	1.33	1.23	1.46	0.45	0.8			
CURVATURA MAXIMA	4°	5° 00'	2° 00'	0° 1°	2° 00'	0° 1°	0° 00'	4° 00'	5° 54'						
DISTRITO PIEDRAS NEGRAS															

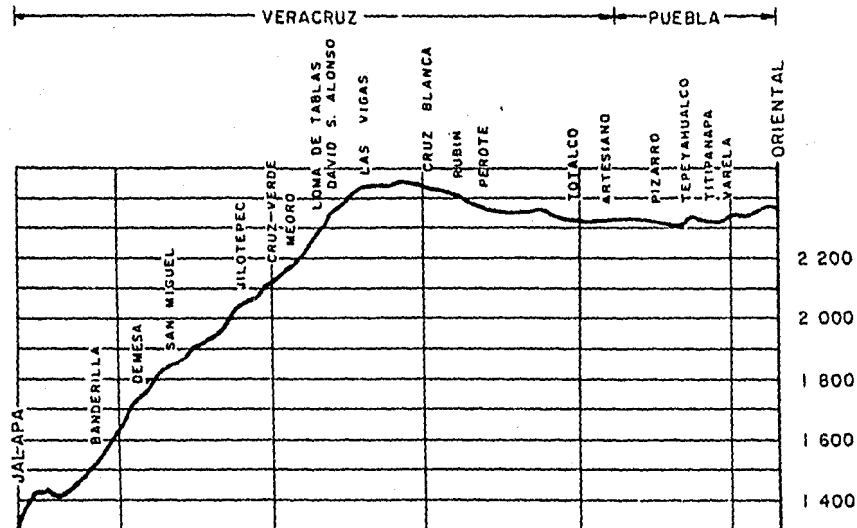
PERFIL TRAMO VERACRUZ—JALAPA

VERACRUZ ————— JALAPA



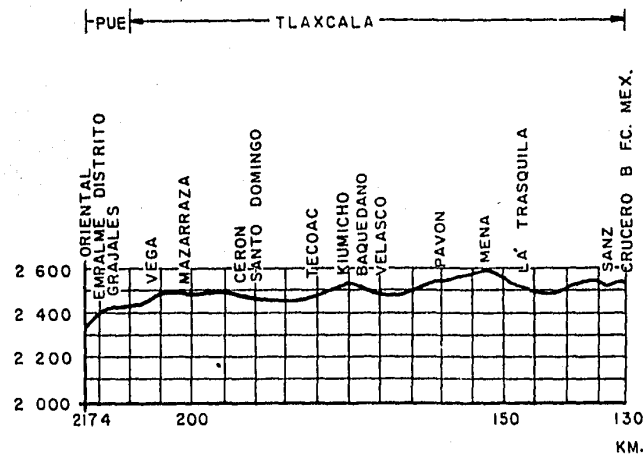
KILOMETROS		473	450	425	400	375	350	337.7								
PENDIENTE MAXIMA % ASCENDIENDO	AL NORTE	1.5	1.4	0.86	0.61	1.7	1.37	1.18	2.3	2.57	2.54	2.52	2.3	2.5	2.93	2.5
	AL SUR	1.5	1.26	1.2	0.46	0.74	0.34	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.61	0.0	0.0
CURVATURA MAXIMA		6°00'	5°	3°30'	3°15'	4°30'	11°00'	7°	8°30'	11°30'	8°	8°30'	7°	11°5'		
DISTRITO DE CARDEL																

PERFIL TRAMO JALAPA—ORIENTAL



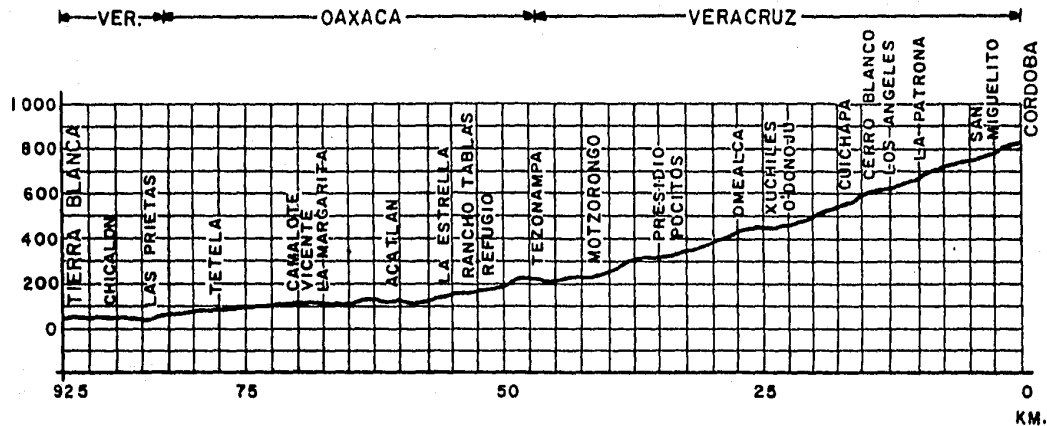
KILOMETROS	337.7	325	300	275	250	225	217.4					
PENDIENTE MAXIMA % ASCENDIENDO	AL NORTE	2.5	2.88	2.5	1.5	0.86	0.26	0.8	0.54	0.35	0.9	0.57
	AL SUR	0.3		0.0	1.5	2.12	0.76	0.7	0.54	0.35	0.3	0.26
CURVATURA MAXIMA	12° 00'				2°				4°			
DISTRITO DE LAS VIGAS												

PERFIL TRAMO ORIENTAL—CRUCERO F.C. MEXICANO



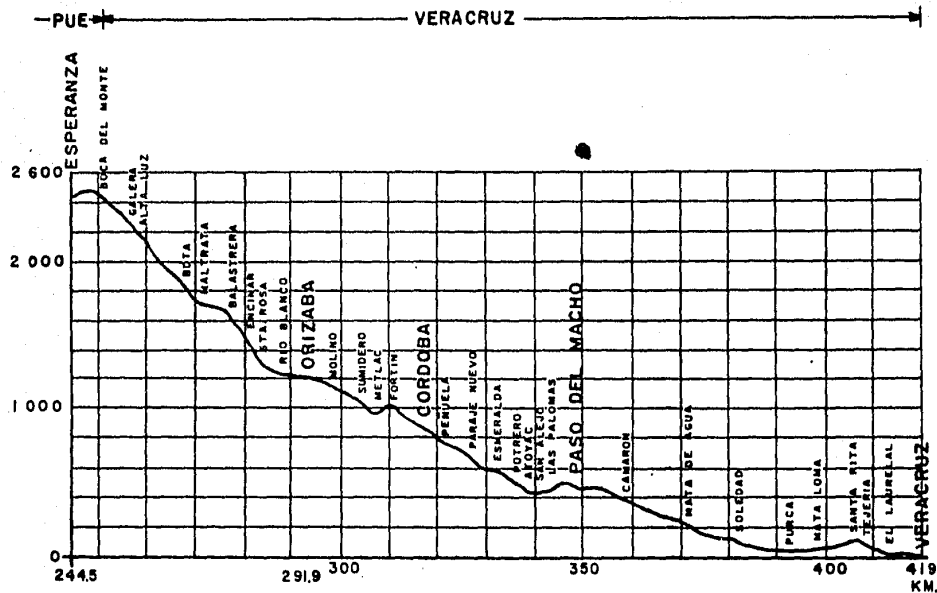
PENDIENTE MAXIMA % ASCENDIENDO	AL NORTE	1.5	0	1.5	0.0	1.5	0.0	1.5	
	AL SUR	0.0	1.5			0.0	1.5		0
CURVATURA MAXIMA.		1° 00'		2°	1° 00'		2° 30'		3° 2°
DISTRITO DE TECOAC									

PERFIL TRAMO TIERRA BLANCA—CORDOBA



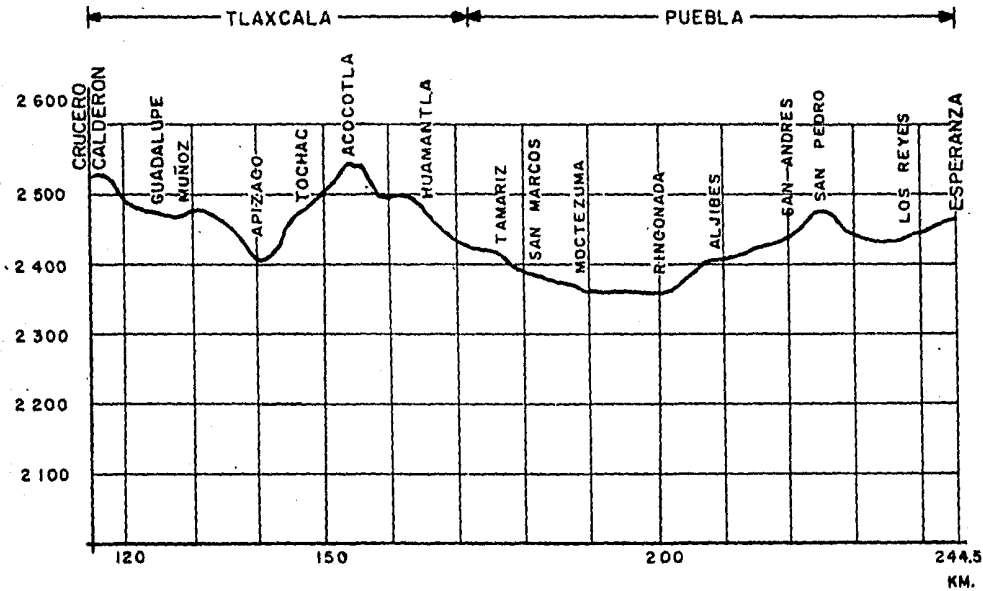
PENDIENTE MAXIMA % ASCENDIENDO	AL NORTE	1.27	2.0	2.63	2.0	1.55	2.78	1.42	1.55	1.9	2.2	2.06	2.6	2.77	1.88	2.77	2.18	2.36	1.82	2.6	2.02	2.22	2.0	
	AL SUR	1.56	2.0	1.0	1.0	2.0	1.6	2.78	1.42	1.55	1.9	1.5	2.06	2.6	2.35	1.5	0.38	0.83	0.32	0.4	1.0	0.0	1.04	0.0
CURVATURA MAXIMA		6° 00'	8° 00'	6°	4° 00'	8°	6°	20'	5°	9°	6° 00'	10°	6°	7°	12° 30'	3° 30'	3°	12°	8°					
DISTRITO DE CORDOBA																								

PERFIL TRAMO ESPERANZA-VERACRUZ



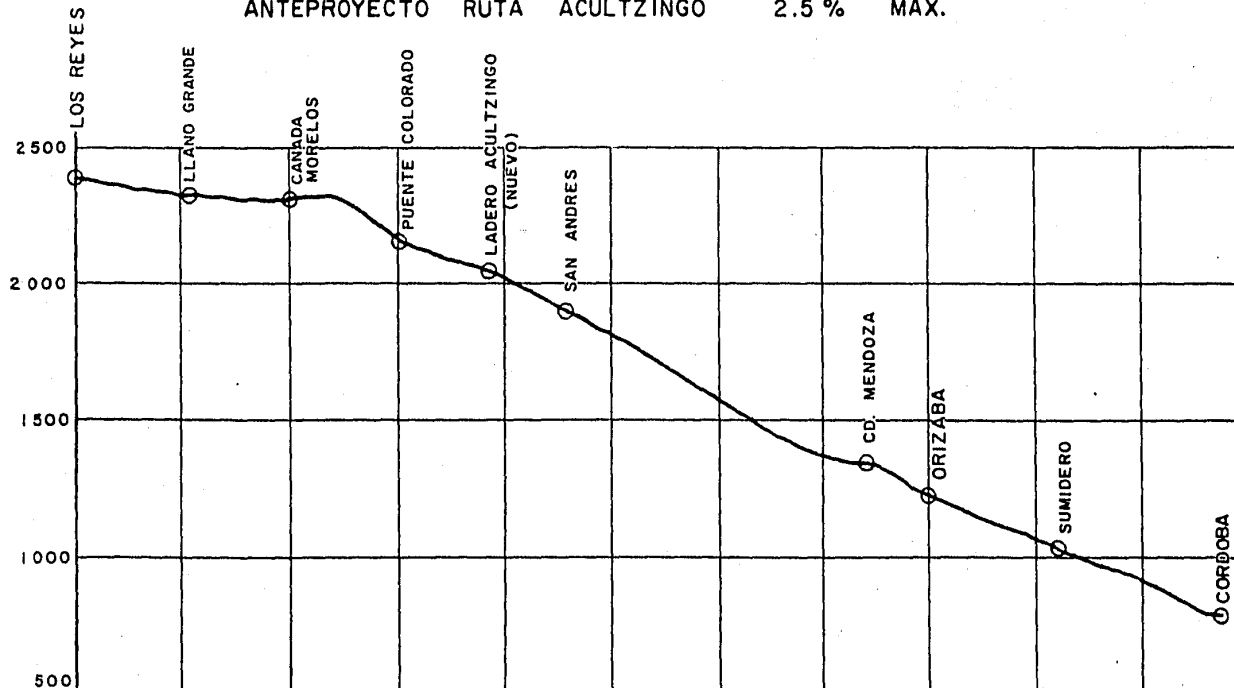
PENDIENTE MAXIMA % ASCENDIENDO	AL SUR	1.6	4.0	4.1	2.6	3.9	2.5	2.7	3.9	2.0	2.5	3.0	2.6	2.9	2.0	2.0	1.9	0.8	1.3	1.7	1.6	1.4	1.1	1.3	0.4	1.2	0.3	1.0	0
	AL NORTE	1.3	0	1.3	0	1.6	0	2.5	0	2.5	0	1.7	0	0	2.0	1.6	0	0.8	1.3	0	0.0	0	0.7	1.5	0.4	1.2	0.3	1.0	0
CURVATURA MAXIMA		11° 00'						9° 12'			11° 36'						2° 00'												
DISTRITO DE ORIZABA																													

PERFIL TRAMO CRUCERO CALDERON-ESPERANZA



PENDIENTE MAXIMA % ASCENDIENDO	AL SUR	1.5	1.4	1.5	0.0	1.4	1.37	1.4	1.25	1.1	0.71	0.0	1.5	0.17
	AL NORTE	0.0	0.5	0.25	1.50	1.3	0.0	0.7	0.0	1.1	1.5	0.8	1.5	0.7
CURVATURA MAXIMA	2°													
DISTRITO DE APIZACO														

ANTEPROYECTO RUTA ACULTZINGO 2.5 % MAX.



PEND. MAX. AL SUR	1.0 %			2.5 %						
PEND. MAX. AL NORTE	0.0	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.2	0.0
CURVATURA MAX.	0° 30'		1° 00'		4°		6° 00'			
KILOMETRAJE	0		20		40		60		80	100

RESUMEN DE ALTERNATIVAS DE RUTA ENTRE TIERRA BLANCA Y TEOTIHUACAN

R U T A	DIVISION LINEA	LONGITUD (KM)	PENDIENTE MAXIMA ASCENDIENDO (%)	CURVATURA MAXIMA (° , ')
A	Jalapa V	437	2.88	12° 00'
B	Jalapa V	437	2.00 y 2.50	6° 00'
C	Mexicano S	272	4.10	12° 30'
D	Mexicano S	326	2.50	6° 00'

CUADRO II.5

Con la información dada hasta el momento en este capítulo, las mejores alternativas desde el punto de vista topográfico y geométrico, serían la Ruta B con sus dos opciones y la Ruta D, que son las rutas a rectificar.

II.2 COMPARACION DE ALTERNATIVAS

El ingeniero se encontrará en muchas ocasiones con varias alternativas, en este caso son cinco (ya que la Ruta B se considera a 2.0% y 2.5% de pendiente máxima), entre las cuales deberá comparar y elegir la más inadecuada.

Los elementos que sirven para llevar a cabo la comparación de rutas, están en función de los costos de construcción, de operación y de mantenimiento; siendo la topografía uno de los principales elementos a considerar y otro es la velocidad de operación de la cual dependen la pendiente y la curvatura.

Con lo antes expuesto, algunas de las condiciones que deberá tener la

ruta elegida será, que su desarrollo sea el más corto posible, dentro de las limitaciones que impone toda localización de líneas ferreas, - además de que se pueda aprovechar la mayor longitud de vías ya existentes y finalmente que la operación de trenes sea la más eficiente.

Por sus características geométricas, hay dos alternativas que se pueden considerar como las mejores, las dos con la misma curvatura de $6^{\circ} 00'$, pero con diferencia en su longitud y su pendiente, ya que la Ruta B, en una de sus opciones, tiene un desarrollo de 437 kms. y una pendiente del 2.0% y la Ruta D con una extensión de 326 kms., pero -- con 2.5% de pendiente.

Por otro lado, en el aspecto de la operación, en los tramos actuales, la Ruta A, ofrece mejores ventajas de operación que la Ruta C, de esto podemos inferir que si la Ruta A tiene en la actualidad una mejor operación, la Ruta B, que es su rectificación, ofrecería una operac---ción mejor que la Ruta D, aunque ésta tiene un menor desarrollo, pero su pendiente es mayor.

Finalmente se puede concluir desde el punto de vista geométrico, que la Ruta B de la División Jalapa, ofrece mayores ventajas que las ---- otras rutas, pero para poder elegir, se debe realizar un estudio económico para evaluar los beneficios, teniendo en cuenta los costos de operación y de mantenimiento, sólo de esta manera se tendrá una mayor certeza en la elección de ruta.

El estudio para la evaluación de beneficios y el método que se usará para dicho estudio, se realizará en los capítulos subsecuentes.



METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE BENEFICIOS

Las condiciones de operación de ciertas líneas de los Ferrocarriles Nacionales de México, en comparación con líneas operadas en otros países, han generado constantes proyectos de modificación de tramos que resultan limitadores: de esta forma, las inversiones tratan de justificarse por medio de la evaluación de beneficios.

Cabe aclarar que estos beneficios, son obtenidos de minimizar en lo -- posible los costos de operación, del menor gasto para la conservación de vía y del menor costo en el mantenimiento del equipo. Esto debido a que el subsidio otorgado por el gobierno, sólo sirve para su superviencia, como se mencionó con anterioridad. Además de ser también un -

servicio de beneficio social, ya que este medio de transporte, es usado por un alto porcentaje de la población y para el movimiento de mercancías, esto es debido a su bajo costo comparado con las otras alternativas de transporte que existen en el país.

Es por esto, que el beneficio social al que se hace referencia, es muy difícil de evaluar. La metodología que se presenta, es para la evaluación de beneficios que se pueden obtener de la optimización de los costos de operación. Esta evaluación es a base de un modelo matemático para el análisis de costos, el cual es una traducción-adeacuación a sistema métrico, fundamentalmente del modelo comprendido en el Análisis de Alternativas de Inversión en el Sistema de Transportes de Colombia, correspondiente al informe del programa de investigación de -- Transportes de la Universidad de Harvard, en una de las variantes usadas por algunos analistas del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF). Por otro lado, podemos decir que éste no es un modelo teórico, sino más bien práctico, basado en las estadísticas y adaptable a las necesidades particulares del que lo utiliza.

El carácter sencillo de este modelo, ha motivado que dentro de los Ferrocarriles Nacionales de México, se proponga como método básico a seguir en todos los análisis económicos de justificación y costos relativos que se realizan en dicha Empresa.

Resumiendo la metodología que se usará con la aplicación del modelo -- y los resultados que de éste, podemos decir que, consiste en pasar --- un tren típico por la línea en sus diferentes condiciones y tramos, -- al que se le va cambiando la fuerza motriz necesaria para vencer las - secciones limitadoras a la velocidad mínima conveniente, determinando los costos que arroja el tránsito de tal tren, incluyendo la parte --- relativa a conservación de vía, de acuerdo al tipo de desarrollo del - tramo con o sin modificación. Con esta base, los beneficios se deter- minan por diferencia de costos de operación de los trenes que una con-

dición y otra, para la capacidad potencial que necesite la vía para -- cubrir todo el período económico del proyecto y, considerando el número de trenes de carga directos de pronóstico por año.

III.1 INTEGRACION DE LOS COSTOS DEL TREN.

Los costos totales del tren para cada una de las formaciones utilizadas a lo largo de la ruta, durante la transportación y el regreso, se integran con el costo transitado y los costos esperando durante los encuentros o inspecciones y esperando por demoras, estos - dos últimos, son el costo en condición de holgando.

Los costos anteriores estarán formados como sigue:

- a) Costo transitando por cada hora-tren.
 - Consumo de combustible completo.
 - Amortización completa.
 - Reparaciones adicionales.
 - Tripulación por hora media de ruta,
 - Cargo de vía por hora media de ruta.

- b) Costo esperando durante los encuentros o inspecciones por cada hora-tren. (Tiempos normales de espera referidos al tráfico medio):
 - Consumo de combustible en condición de holgando.
 - Amortización completa.
 - Reparaciones adicionales.
 - Tripulaciones por hora media de ruta.
 - Cargo de vía por hora media de ruta.

- c) Costo esperando por demoras por cada hora-tren:
 - Combustible en condición de holgando.

- Diferencial de amortización por reducción de los factores de utilización de fuerza y equipo.
- El doble de tripulaciones para las primeras 1.3 horas de demora. El triple para las siguientes horas de demora.
- Reparaciones adicionales.

Cuando los trenes que se diseñen no tengan el tonelaje completo que moverían a plena carga y no puedan desarrollar la velocidad que les permita toda la utilización de la fuerza tractiva, por limitaciones de curvatura y condiciones de ruta, solamente se considerará la proporción de combustible relativa a la carga movida directamente de la relación de velocidades obtenible y teórica, y los tiempos de tránsito y espera se referirán a la velocidad media obtenible.

III.2 LA FORMACION ESCOGIDA PARA EL TREN

Los trenes deben diseñarse para la mayor longitud y tonelaje que admitan las condiciones de ruta, tomándose en cuenta, para ello, lo siguiente:

a) La utilización de locomotoras en múltiple de -- la mayor potencia posible, siempre y cuando no se rebase la longitud conveniente del tren. Las locomotoras en múltiple, deben tener un radio de curvatura de operación menor que el radio de las curvas de mayor grado del tramo y deben operar sobre riel de calibre adecuado a su propio peso y al del tren.

b) La longitud del tren debe estar de acuerdo al tipo de topografía de la ruta y basarse en las longitudes que se corren y se han corrido en la ruta.

c) Los escapes deben aceptar a los trenes proyectados o modificarse para su aceptación. La separación entre los escapes que deben aceptar al tren directo, debe ser calculada en relación al máximo tráfico en trenes que genere la vida económica considerada.

d) Las velocidades de operación deben asegurar una buena utilización del tren dentro de adecuados márgenes de seguridad, no rebasando los límites mínimos aconsejables para la buena conservación de la fuerza motriz, en relación a los tiempos de tránsito a las velocidades mínimas.

En relación con lo anterior y utilizando las tabulaciones correspondientes a diseño de trenes, basada en las ecuaciones de fuerza tractiva útil y resistencia a la tracción de carros de ferrocarril, se determinará lo siguiente:

1º. La longitud y el peso máximo conveniente del tren, tomando en cuenta el número máximo recomendado de locomotoras en múltiple, la potencia del conjunto y la velocidad mínima conveniente a la sección gobernadora del tramo.

2º. La velocidad media del tramo tomando en cuenta la pendiente media de ascenso. La pendiente media de ascenso en cada sentido, se determinará dividiendo la suma de desniveles que tienen que ser ascendidos entre la longitud total del tramo considerado.

3º. Con base en la velocidad media, el tiempo de tránsito del tren, considerado éste operando a plena carga si la velocidad media es inferior a la velocidad resultante a tiempos mínimos, o a la proporción de carga resultante, si la velocidad media es superior a la de los tiempos mínimos asignados al tramo.

III.3 DETERMINACIÓN DEL TRAFICO GENERADO EN LA LINEA

El tráfico generado en la línea, se determina como sigue:

a) Tráfico de trenes: A partir de los datos históricos registrados, se determina la tasa de crecimiento probable y se aplica por cada año al tonelaje neto mayor que se mueva en uno de los dos sentidos. A tal tráfico, se le resta el máximo tonelaje anual a mover por el diseño del tren local correspondiente al sentido de mayor tonelaje y el resultado se divide por el tonelaje neto anual de diseño del tren directo correspondiente a la optimización de la transportación en la línea. El resultado, multiplicado por dos, será el número de trenes directos generados por las necesidades de transportación.

Cuando el tráfico está dividido en varios tipos de servicios que obliguen a la utilización de equipos especiales para cada tipo, se determinará el número de trenes en forma individual para cada tipo de tráfico y se sumarán los resultados correspondientes para obtener el número total de trenes directos generados por día.

b) Una vez determinado el total de trenes directos, se sumarán los trenes locales diseñados en los dos sentidos y los de pasajeros que correspondan a la línea para obtener el total de tráfico de trenes en la ruta.

Como la determinación debe ser realizada para cada uno de los años de la vida económica del proyecto y para las distintas tasas de aplicación para cada área de servicio, el número de trenes será variable por año, por lo que hay necesidad de obtener el número medio de trenes durante la vida económica del proyecto y el número máximo, el cual se estima en el último año si hay tendencia de crecimiento continuada.

c) Con el número máximo de trenes a correr como capacidad

potencial, se determinará la capacidad máxima necesaria en la línea -- y el módulo de tiempo correspondiente a la sección limitadora de ca--- pacidad entre laderos.

d) Determinado el módulo limitador, se obtendrá el número de tramos necesarios entre laderos de encuentro y, se agregará al tiempo de tránsito de cada tren, un tiempo en horas igual al resultado de multiplicar la mitad de los tramos por diez minutos adicionales para encuentro, si el sistema de despacho fuera por órdenes, por la relación trenes directos a trenes máximos y dividiendo el total entre se-- senta para la conversión en horas. La suma del tiempo de tránsito, -- más el tiempo de espera óptimo para el tráfico medio, será el horario medio teórico a ser aplicado a las determinaciones de los costos, ya - que son los únicos tiempos en los que pueden influir las condiciones - físicas de las líneas.

Los tiempos de terminales, demoras y otros, no se consideran para los fines de comparación de condiciones de operación de líneas, pues se toma como base, el tren directo punto a punto.

III.4 COSTOS TOTALES DEL TREN EN LA RUTA.

Determinados los costos del tren para cada tramo recorrido por una composición de fuerza tractiva diferente y determinados los horarios teóricos a los que pueden ser aplicados los costos por hora-tren ya calculados, se obtendrán los costos totales del tren por cada una de las alternativas de ruta que puedan ser usadas, considerando en cada caso la condición actual y la mejorada de cada alternativa. El análisis indicará qué es lo más conveniente.

Los resultados de los diferentes análisis de rutas alternas con y sin mejoras, y la evaluación del beneficio durante la vida económica del - proyecto correspondiente a la alternativa más atractiva, proporcionan

suficientes elementos de juicio para estar en posibilidad de tomar de cisiones respecto a la ejecución, aplazamiento o suspensión definitiva del proyecto que se trate.

III.5 EL MODELO.

El modelo para costos de comportamiento de ferrocarril, tiene como objeto determinar los costos de operación en relación al desempeño de ciertos parámetros en una vía sencilla de ferrocarril, como medio de transportación. El procedimiento consiste en transformar las demandas de operación, las características físicas de la línea o tramos y del equipo motor y rodante, en costos de operación para ciertas formas de utilización de los distintos parámetros en una línea o tramo determinado.

Algunos parámetros que intervienen en el comportamiento, se refieren a datos tales como tiempo de traslado, tiempo de espera para servicio, variabilidad de los tiempos de entrega y probabilidad de pérdida. Los resultados de operación y comportamiento, pueden usarse para analizar diferentes alternativas para una línea en particular, ó pueden usarse como referencias para el análisis de un modelo aplicable a un sistema completo de transportación. El modelo se ha diseñado más bien para el uso de valores promedio en sus variables, que para el uso de valores muestreados al azar.

El modelo sirve para analizar un sistema de ferrocarril de tramo a tramo, usando las demandas de tráfico, las características individuales de cada tramo, que comprenden: Número de laderos, pendiente gobernadora y tipo de señalización y el equipo rodante asociado con la transportación. De esta manera, los efectos sobre los costos por el comportamiento de los parámetros, pueden obtenerse de diferentes condiciones de análisis. El modelo puede también usarse para analizar condiciones presentes con diferentes proposiciones o alternativas de

modificación, tales como: Incremento de tráfico, uso de diferente tipo de locomotoras, modificación del número de laderos o pendientes gobernadoras.

A diferencia de las carreteras, en las que usualmente se permite el tránsito simultáneo en ambas direcciones, el tránsito para una vía de ferrocarril, es frecuentemente unidireccional. Aún en las carreteras de un sólo carril, los requerimientos de paso, son menos exigentes, debido a que los vehículos en sentido contrario, pueden simplemente reducir la velocidad y compartir la parte pavimentada del camino durante el paso. En la vía férrea, para incrementar el potencial para tráfico opuesto, puede reducirse al espaciamiento entre los laderos, incrementar la longitud de los mismos ó mejorar el sistema de señales.

En condiciones extremas, por una parte, una vía sencilla puede ser operada enteramente como ruta de un sólo sentido, sin laderos y sin señales. Por otra parte, también en condiciones extremas, pueden emplearse vías laterales continuas como segunda o tercera vía, con control centralizado de señales y cambios para tráfico bidireccional. El primer caso requerirá mayor equipo rodante y fuerza tractiva para manejar un tonelaje específico; mientras que en el segundo caso, los requerimientos de equipo rodante y fuerza tractiva, se reducirán a expensas de un incremento de inversión en vías adicionales y equipo de señales. Por supuesto, hay casos intermedios, tales como el uso de vía sencilla con laderos y trenes transitando bajo órdenes especiales o señales, con adición de reglamentos y horarios.

En la mayoría de los casos, las especificaciones de situación, como: tonelaje, naturaleza de carga, topografía, longitud de línea y extensión del sistema férreo, determinarán qué tecnología o procedimiento de operación conviene. Debido a ésto, es difícil generalizar funciones de costos en materia de ferrocarril. El procedimiento que se --

ilustra en este modelo, comprende de forma integrada los métodos de determinación de comportamiento en líneas sencillas de ferrocarril de una sola vía, operando en una sola distancia establecida sin paradas intermedias, diferentes a las causadas por el tráfico, quedando solamente comprendidas, las paradas que causen los encuentros o las necesarias para trabajo.

1. PROCEDIMIENTO DE CALCULO.

El procedimiento por el cual se combinan los datos para calcular varias características de comportamiento para un tramo particular de vía férrea, se describe en el diagrama de flujo de la figura III.1. Este modelo de simulación, está diseñado para proporcionar medidas ó parámetros de comportamiento, tales como: Costo -- promedio por tonelada y tiempos promedio de carrera para todos los trenes que usan el tramo, diferentes de los datos específicos en relación al comportamiento de trenes especiales que pueden obtenerse a partir del cálculo de comportamiento de trenes. Los cálculos de comportamiento de trenes, son usados por algunos ferrocarriles para determinar velocidad, tiempos de itinerarios y consumos de combustible para trenes de conformación especial, ésto es, con número y potencia de locomotoras y número y peso de carros definido, operando en una línea en la que se dispone de itinerarios detallados e información adecuada.

Los cálculos se efectúan para un dimensionamiento de trenes promedio, sujetos solamente al tipo disponible de fuerza tractiva y al grado de pendiente y curvatura, o pendiente compensada, los cuales pueden estimarse en casos específicos, con trenes largos o cortos que puedan ser operados de acuerdo a las fluctuaciones del volumen de tráfico.

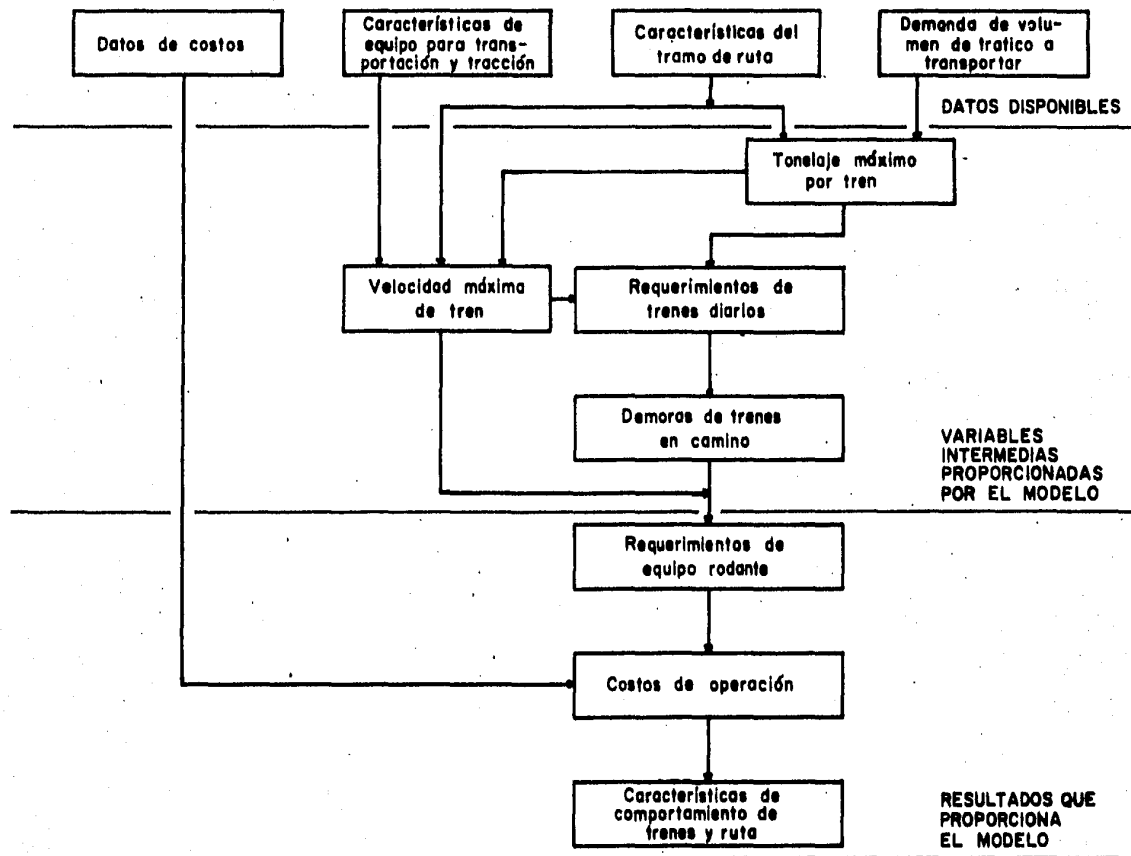


FIG. III.1 Procedimiento de cálculo

Los detalles del procedimiento de cálculo, serán -- descritos más adelante. Sin embargo, tal procedimiento, puede ser - resumido en los siguientes pasos:

a) Cálculo del tonelaje permitido por el tren, para la potencia promedio de la locomotora disponible y grado máximo de - pendiente compensada.

b) Determinación de la capacidad de carga de un --- tren a partir de las características dadas de los carros disponibles para el arrastre de un grupo de artículos ó, productos determinados, como: tara y capacidad de carga neta.

c) Determinación del número diario de trenes reque- ridos para el período de tiempo en consideración, a partir del co--- ciente que resulte de dividir el promedio de tráfico diario, entre - la capacidad de carga de un solo tren.

d) Cálculo de la velocidad promedio de un tren por determinación de la velocidad a la cual el esfuerzo tractivo desarro llado por las locomotoras, es igual a la resistencia al rodamiento y pendiente, considerando la pendiente media del tramo.

e) Ajuste del tiempo de traslado en el tramo, consi derando las posibles demoras en la ruta. Estas demoras dependen del tráfico diario, de la longitud del tramo, del número de laderos y -- del tipo de sistema de señales que se tenga.

f) Cálculo de los requerimientos de equipo rodante, con base en los tiempos de traslado ajustados y tiempos relativos a las terminales.

g) Determinación de los costos totales de operación,

mantenimiento y depreciación, con base en datos de registro de operación, tales como: Trenes-kilómetro, trenes-hora, carros-kilómetro, referidas al tramo considerado.

Tanto los enlaces para el abastecimiento de datos, como el volumen de los mismos, se consideran disponibles. Otros tipos de información, - como: Taras y capacidad de carga de los vehículos requeridos para cada grupo de artículos o productos, potencia y peso de los diferentes tipos de locomotoras y varios coeficientes relativos a los costos de operación, se consideran datos tabulados de los cuales debe disponerse.

2. DATOS DISPONIBLES.

El procedimiento fundamental de cálculo para el modelo asociado con los requerimientos de datos disponibles, se ilustra - en la figura III.1. En donde se pueden apreciar cuatro áreas que en el orden que intervienen en el modelo, son:

- a) Características de equipo para transportación y -tracción. (Ver apéndice A)
- b) Características del tramo de ruta. (Ver capítulo II)
- c) Demandas de volumen de tráfico a transportar.
- d) Datos de costos. (Ver apéndice A)

Los datos de volumen de tráfico y de las características de ruta, --- son disponibles y diferentes para el análisis de cada tramo en particular, mientras que los datos de equipo y costos son fijos para todo el sistema de transportación y permanecerán constantes en todos los - análisis. De esta manera, puede alterarse el formato fácilmente pa--

ra que los datos de equipo de transportación, sean invariables.

3. CARACTERISTICAS DEL TRAMO.

Los costos asociados con el movimiento de una cantidad de carga, sobre un tramo de ferrocarril, dependen en cierto grado de las características físicas del tramo y de la configuración de trenes. En particular, los costos dependerán de:

- a) Longitud de tramo.
- b) Limitaciones de velocidad, debidas a excesiva curvatura, condiciones de la vía o a otras características físicas de la línea que causan que los trenes transiten a menor velocidad que la máxima posible.
- c) Velocidad mínima permitida para evitar sobrecalentamiento en la locomotora.
- d) Grado de pendiente máxima en cada dirección.
- e) Grado de pendiente promedio o rango de subida y bajada en cada dirección.
- f) Número de laderos.
- g) Tiempo de espera relativo al sistema de señales.
- h) Tiempo de espera relativo al tipo de cambios.
- i) Tipo de locomotora.
- j) Número de locomotoras por tren.

Los puntos a) y b), se explican por sí mismos, los puntos c) y d), hacen necesaria la conexión de suficiente fuerza tractiva al tren para asegurar una velocidad mínima para los grados de pendiente que se tengan. En tales casos, será usualmente más eficiente usar fuerza tractiva reducida en donde la línea no ofrece dificultades mayores, proporcionando locomotoras de ayuda en los tramos que sea necesario. El punto e), se refiere al grado promedio de pendiente de todo el tramo

y debe establecerse distinción de los grados para cada dirección. El punto f), se refiere al número de laderos de encuentro, sin contar - los que hubiera de servicio y, los puntos g) y j), proporcionan algunas indicaciones en relación a la calidad de los sistemas de señales y cambios. Las demoras por cambios en los laderos, por ejemplo, dependerán principalmente de la forma de operación de los cambios, la cual puede ser manual o automática a control remoto.

4. CARACTERISTICAS DE VOLUMEN.

Debido a diferencias de requerimientos de equipo, - configuraciones de trenes y tiempos de clasificación, asociados con diferentes tipos de equipo, los datos de volumen, se componen por -- una clasificación de distintos grupos de artículos o productos a --- transportar. Se usan tres categorías principales de grupos de flete, como se indica a continuación, incluyendo la categoría de servicio - de pasajeros como adicional.

- a) Carga de volumen, clase (I) - Primera.
- b) Carga general, clase (I) - Segunda.
- c) Carga especial, clase (I) - Tercera.
- d) Pasajeros, clase (I) - Cuarta.

Queda definido que fundamentalmente, las cargas de volumen son aquellas que se transportan en góndolas abiertas y plataformas, no se refieren precisamente a cargas voluminosas. La carga general, es aquella que se transporta fundamentalmente en furgones, y la carga especial, es aquella que usa equipo especial, como refrigeradores, tanques o cualquier otro equipo particular.

Para cada categoría, el volumen para el período de tiempo en consideración, como volumen anual o de temporada, se especifica en términos de tonelajes promedio diarios, y a partir de los flujos de tonelaje, se determinan los requerimientos vehiculares. Los flujos de tráfico, pueden ser considerados tanto en vehículos requeridos por -----

día, como en toneladas por día.

5. CARACTERISTICAS VEHICULARES.

Para determinar la máxima longitud de trenes, su velocidad promedio y sobre todo los requerimientos de equipo, es necesaria la información en relación al equipo disponible, para la configuración de trenes. Los datos de los que debe disponerse, son los siguientes:

- a) Potencia y tipo de cada locomotora.
- b) Peso de la locomotora.
- c) Area frontal de la locomotora.
- d) Consumo de combustible en litros por caballo-hora.
- e) Número de ejes motrices de la locomotora.
- f) Vida media normal del tipo de locomotora en años.
- g) Factor de reserva para el tipo de locomotoras.
- h) Tiempo en patios para el tipo de locomotoras.
- i) Factor de recuperación de capital para locomotoras.
- j) Peso del carro por clase.
- k) Vida media normal del carro.
- l) Factor de reserva para carros.
- m) Tiempo en patios para carros.
- n) Tiempo de manejo del carro por clase.
- o) Factor de recuperación de capital para carros.

6. INFORMACION DE COSTOS.

Debe proporcionarse para el modelo, la necesaria información de costos de depreciación, operación y mantenimiento. Esta información se desprende de los costos de locomotoras y carros, de los costos fijos anuales y de los costos variables. Deben incluirse otros

factores, tales como: Relaciones de costos indirectos y relación de costos de combustibles y lubricantes, enlistándolos como se indica a continuación:

- a) Costo de carros.
- b) Costo de locomotoras.
- c) Componente fija anual del costo de mantenimiento para equipo rodante.
- d) Componente fija anual del costo de mantenimiento de locomotora.
- e) Componente fija anual del costo de mantenimiento de vía.
- f) Componente variable anual del costo de mantenimiento para equipo rodante.
- g) Componente variable anual del costo de mantenimiento de locomotoras.
- h) Componente variable anual de los costos de mantenimiento de vía.
- i) Costo de tripulaciones.
- j) Costo de combustibles.
- k) Costo de lubricante.
- l) Relación de costos de tráfico a costo total de operación y mantenimiento.
- m) Relación de costos indirectos a costo total de operación y mantenimiento.
- n) Relación de volumen de consumo de combustible a volumen de consumo de lubricante, para el tipo promedio de locomotora.

III.6 DETALLES DEL MODELO DE COSTOS.

Esta parte está dedicada a exponer los detalles de

cálculo para la determinación de requerimientos de equipo y costos de operación en un tramo cualquiera de vía considerado.

Cabe hacer la aclaración, de que las constantes a las que no se haga mención, son factores de conversión en la adecuación del modelo al sistema métrico decimal.

1. CALCULO DEL TONELAJE PERMITIDO POR TREN.

El máximo tonelaje que puede ser arrastrado por un tren, depende de la fuerza tractiva que puedan desarrollar las locomotoras que tenga conectadas, de la pendiente máxima del tramo a recorrer y de la velocidad mínima aceptable en el recorrido de esa pendiente. También influirán las características físicas de las locomotoras y carros usados, tales como peso de locomotoras y carros, número de ejes motrices y capacidad de carga neta por carro. El esfuerzo tractivo, depende de la potencia de las locomotoras y de la velocidad del tren que arrastran, estando expresado por la siguiente ecuación:

$$F_{tt} = \frac{274 \times 0.82 P_{1c} N_{1c}}{V_{kh}}$$

En la que:

- F_{tt} = Fuerza tractiva total en kilogramos.
- 0.82 = Factor de eficiencia equivalente al 82%.
- P_{1c} = Potencia de una locomotora en caballos (HP).
- N_{1c} = Número de locomotoras conectadas al tren.
- V_{kh} = Velocidad en kilómetros por hora.

Debe tomarse en cuenta, que el factor de eficiencia que se está considerando, puede variar, dependiendo de la edad de las locomotoras y la altura sobre el nivel del mar en que se opere. Tales circunstancias deben ser tomadas en cuenta para cálculos más precisos.

El esfuerzo tractivo en el caso anterior, debe ser calculado para la velocidad mínima del tren en la zona de pendiente. La potencia que se use en la fórmula, deberá ser la neta útil para tracción, por lo que deberá ser descontada la potencia utilizada por los sistemas auxiliares de la locomotora, si no está este descuento ya efectuado en el dato disponible.

Como el esfuerzo tractivo es inversamente proporcional a la velocidad, éste podrá incrementarse reduciendo la velocidad mínima para la locomotora Diesel eléctrica; sin embargo, la mínima velocidad aceptable para régimen continuo, es de unos 20 km/hora, para evitar sobrecalentamiento en los motores de tracción, debido a la baja velocidad.

En algunos casos, si el tiempo de tránsito por la zona de mayor pendiente es reducido sin que signifique un régimen de trabajo calificable de continuo, se podrán asignar velocidades más bajas aún, pero sin rebasar el límite de unos 16 km/hora.

Las resistencias al rodamiento en tangentes a nivel para la primera locomotora y por cada locomotora sucesiva, están expresadas por las ecuaciones siguientes, cuya diferencia se debe a que la primera locomotora, encuentra mayor resistencia al aire que las locomotoras que le suceden:

$$R_{pk} = 0.65 + \frac{13 N_{em}}{P_{1t}} + 0.01 V_{kh} + \frac{0.0046 A_{t1} V_{kh}^2}{P_{1t}}$$

$$R_{sk} = 0.65 + \frac{13 N_{em}}{P_{1t}} + 0.01 V_{kh} + \frac{0.001 A_{t1} V_{kh}^2}{P_{1t}}$$

En donde:

R_{pk} = Resistencia al rodamiento en tangentes a nivel para la primera locomotora en kilogramos por tonelada métrica.

R_{sk} = Resistencia al rodamiento en tangentes a nivel para cada una de las locomotoras sucesivas a la primera en kilogramos por tonelada métrica.

N_{em} = Número de ejes motrices de la locomotora.

P_{1t} = Peso de la locomotora en toneladas métricas.

V_{kh} = Velocidad en kilómetros por hora.

A_{t1} = Area de la sección transversal de la locomotora en metros cuadrados.

La fuerza tractiva neta disponible para el arrastre de carros, queda expresada de la siguiente manera:

$$F_{tk} = F_{tt} - P_{1t} \left[R_{pk} + R_{sk} (N_{1c} - 1) + 10 G_{pp} N_{1c} \right]$$

En la que:

F_{tk} = Fuerza tractiva útil para arrastre en kilogramos.

F_{tt} = Fuerza tractiva total en kilogramos.

P_{1t} = Peso de la locomotora en toneladas métricas.

R_{pk} = Resistencia al rodamiento primera locomotora en kilogramos por tonelada métrica.

R_{sk} = Resistencia al rodamiento segunda locomotora en kilogramos por tonelada métrica.

N_{1c} = Número de locomotoras conectadas al tren.

G_{pp} = Grado de pendiente máxima del tramo en por-ciento.

El número total de carros que pueden ser arrastrados, depende de la

resistencia de cada carro. Como los carros se usan para transportar varios tipos de artículos o productos, su resistencia es diferente - en relación a sus características físicas, como tara y capacidad de carga neta. Si se usa una resistencia media por carro, basada en el número relativo de cada tipo de carro que se tenga, respecto del total de carros de todos los tipos usados para el transporte de todos los artículos o productos en un tiempo determinado y en una ruta dada, se tendrá para cada carro del tipo (I):

$$P_{CC} (I) = P_{Ct} (I) + C_{Ct} (I) F_{cm} (I)$$

En donde:

$P_{CC} (I)$ = Peso combinado del carro tipo (I) en toneladas métricas.

$P_{Ct} (I)$ = Peso del carro del tipo (I) en toneladas métricas.

$C_{Ct} (I)$ = Capacidad de carga en toneladas métricas por carro del tipo (I).

$F_{cm} (I)$ = Factor de carga media por carro del tipo (I).

Cuando se mueven carros vacíos del tipo (I), el factor $F_{cm} (I)$, deberá ser considerado igual a cero en la ecuación anterior.

La resistencia total por carro cargado o vacío, según el caso, estará expresada por:

$$R_{TC} (I) = 52.0 + 0.008 V_{kh}^2 + P_{CC} (I) (0.65 + 0.014 V_{kh} + 10 G_{pp})$$

En donde:

R_{TC} = Resistencia total del carro cargado del tipo

(I) en kilogramos.

Además la resistencia total del carro vacío, se calcula en igual forma que en la del carro cargado, pero en la expresión, sólo interviene el peso propio del carro, la cual quedaría como se muestra en la siguiente ecuación:

$$R_{CV} (I) = 52.0 + 0.008 V_{kh}^2 + P_{Ct} (I) (0.65 + 0.014 V_{kh} + 10 G_{pp})$$

Por lo tanto, la resistencia total promedio para carros cargados, será como sigue:

$$R_{pc} = \sum_{I=1}^N \frac{T_{dp} (I) R_{tc} (I)}{C_{ct} (I) F_{cm} (I) N_{td}}$$

En donde:

R_{pc} = Resistencia promedio por carro cargado tipo (I) en kilogramos.

$T_{dp}(I)$ = Tráfico diario promedio del tipo (I) en toneladas.

$R_{tc}(I)$ = Resistencia total por carro tipo (I) en kilogramos.

$C_{ct}(I)$ = Capacidad de carga en toneladas por carro (I).

$F_{cm}(I)$ = Factor para carga media por carro tipo (I).

N_{td} = Número total diario de carros cargados de todos tipos.

Y la resistencia promedio para los carros vacíos, será considerada de la siguiente manera:

$$R_{pv} = \sum_{I=1}^N \frac{N_{dv}(I) R_{cv}(I)}{N_{tv}}$$

En la que:

R_{pv} = Resistencia promedio por carro vacío kilogramos.

$N_{dv}(I)$ = Número de carros diarios vacíos del tipo (I)

$R_{cv}(I)$ = Resistencia total por carro vacío del tipo -- (I) kilogramos.

N_{tv} = Número total diario de carros vacíos - de todos tipos.

N = Número de tipos de carros.

(I) + Variable indicativa de tipo de carro.

El cálculo del número de carros por tren, podrá realizarse de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$N_{tc} = \frac{F_{tk}}{P_{cd} R_{pc} + P_{cv} R_{pv}}$$

$$P_{cd} = \frac{N_{td}}{N_{td} + N_{tv}}$$

$$P_{cv} = \frac{100 N_{tv}}{N_{td} + N_{tv}}$$

Donde:

N_{tc} = Número total de carros por tren.

F_{tk} = Fuerza tractiva útil en kilogramos.

P_{cd} = Porcentaje de carros cargados promedio diario.

P_{cv} = Porcentaje de carros vacíos promedio diario.

R_{pc} = Resistencia promedio por carro cargado kilogramos.

R_{pv} = Resistencia promedio por carro vacío kilogramos.

N_{td} = Número total diario de carros cargados todos los tipos.

N_{tv} = Número total diario de carros vacíos todos los - tipos.

Para el cálculo del número de carros del tipo particular (I), se aplicará la ecuación siguiente:

$$N_{ct} (I) = \left(R_{pc} + \frac{N_{dv} (I)}{N_{tv}} \right) N_{tc}$$

En la que:

$N_{tc} (I)$ = Número de carros por tren de un tipo particular (I).

R_{pc} , $N_{dv} (I)$, N_{tv} , N_{tc} = Ya fueron definidos con anterioridad.

Finalmente, las expresiones que permiten calcular el tonelaje neto y el tonelaje bruto por tren, quedan de la siguiente manera:

$$T_{nt} = \sum_{I=1}^N \left[\frac{T_{pd} (I) N_{tc} P_{cd}}{N_{td}} \right]$$

$$T_{bt} = \sum_{I=1}^N \left[T_{nt} + N_{ct} (I) P_{ct} (I) \right]$$

En donde:

T_{nt} = Toneladas netas por tren.

T_{bt} = Toneladas brutas por tren.

Todas las demás ya fueron definidas.

2. COSTOS DE OPERACION DEL TREN.

Los costos de operación caerán principalmente dentro de las siguientes: Amortización de la fuerza, reparaciones del equipo, combustible y lubricantes, alquiler de carros, tripulaciones, esperas adicionales y conservación de vía.

A. COSTO DE AMORTIZACION DE LA FUERZA.

El costo de amortización de la fuerza motriz necesaria para un adecuado tránsito del tren en la línea, considerando el tiempo normal de horario del tren en función del tráfico probable, -- está formado por una componente fija.

El costo de amortización se calcula de la siguiente manera:

$$C_{an} = \frac{C_{cl} Frf \left(1 + \frac{ti}{100} \right)^n \left(\frac{ti}{100} \right)}{365 \times 24 \times F_{un} \left(\left(1 + \frac{ti}{100} \right)^n - 1 \right)}$$

En donde:

C_{an} = Costo de amortización normal por hora (constante durante la vida útil).

C_{cl} = Costo de compra de la locomotora: costo en el año de compra.

F_{rf} = Factor de reserva de fuerza tractiva (1.15 normal).

ti = Tasa de interés del capital invertido en % (mínimo 8%).

n = Número de años de vida útil de la locomotora - (20 años normal).

F_{un} = Factor de utilización normal de la fuerza ---- (0.6 del tiempo).

365 = Número de días del año.

24 = Número de horas del día.

El costo anterior es imputable, solamente al horario normal asignado al tren, tanto en tránsito como en espera. Cuando se trata de calcu

lar el costo de amortización durante la demora o tiempo adicional al horario, éste sólo comprenderá el incremento del costo por reducción del factor de utilización de la locomotora, de tal manera que:

$$C_{ad} = C_{an} \left(\frac{1}{F_{ud}} - \frac{1}{F_{un}} \right) F_{un}$$

En donde:

C_{ad} = Costo de amortización por hora demora.

C_{an} = Costo de amortización normal por hora.

F_{un} = Factor de utilización normal (0.6 normal).

F_{ud} = Factor de utilización de la demora (0.4 cuando hay demora en todas las corridas).

F_{ud} Se puede calcular de la siguiente manera:

$$F_{ud} = F_{un} \frac{T_{hn}}{T_{hn} + T_{dt}}$$

En donde:

F_{ud} = Factor de utilización de la fuerza considerando la demora.

F_{un} = Factor normal de utilización de fuerza.

T_{hn} = Tiempo de horario normal del tren.

T_{dt} = Tiempo de demora del tren.

El factor F_{rf} de reserva de fuerza, considera la fuerza adicional utilizada para que las locomotoras puedan desprenderse del servicio de -transportación para recibir la atención que requieran en talleres y, el factor F_{un} , considera todo el tiempo que la locomotora no está conectada a un tren, sino simplemente en disponibilidad. Se considera que un ferrocarril, regularmente manejado, puede obtener factores ---

de utilización de fuerza de 60% ó $F_{un} = 0.6$.

B. COSTO DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Los costos de mantenimiento de equipo correspondiente a reparaciones de locomotoras y carros, por tipo de línea por unidad de tiempo, están formados por una componente fija, la cual es independiente del uso del equipo, y una componente variable, la cual depende del uso en locomotoras-hr. ó carros-hr.

El costo de locomotoras y equipo rodante por reparaciones, es un costo que no comprende el factor de costo indirecto y que, varía de acuerdo con la longitud del tren corrido y el tipo de desarrollo de línea; tiene como base la contribución de todos los trenes para el pago de desperfectos de equipo por descarrilamiento, seccionamiento, ruedas, etc. y en el presente trabajo, se ha tomado una comparación física de la siguiente manera:

$$C_{ra} = C_{r1} F_{r1} P_{mhp} N_{1c} + C_{TC} \times F_{r1} N_{ct}^2 / 50$$

En donde:

C_{ra} = Costo de las reparaciones por tren en pesos por hora.

C_{r1} = Costo de referencia para locomotoras 0.7/1000 - (HP-hr).

C_{TC} = Costo de referencia por unidad de carro 0.1 (carros-hora).

P_{mhp} = Potencia de locomotora en miles de caballos.

N_{1c} = Número de locomotoras conectadas.

N_{ct} = Número de carros arrastrados por el tren.

F_{r1} = Factor de costo relativo a la línea de referen-

cia.

C. COSTO DE COMBUSTIBLE Y LUBRICANTES.

El costo por consumo de combustible y lubricantes, es una componente variable, la cual depende de las condiciones de --- tránsito a plena carga y de las esperas normales de encuentros y rebases.

El costo del consumo de combustible, tiene dos aspectos principales: el primero comprende la condición de tránsito a plena carga y el segundo, la condición de holgando. El consumo a plena carga, se aplica al horario de tránsito resultante en relación a la utilización de la pendiente media de ascenso, para la velocidad de igualación de la --- fuerza tractiva útil y la resistencia correspondiente de los carros - arrastrados y el consumo en condición de holgando, se aplica al tiempo que tomaría el tren para realizar los encuentros correspondientes al número de trenes por día, calculados para el tráfico y para una -- distribución uniforme de los mismos, durante el día, suponiendo la -- capacidad de la línea suficiente para absorber el crecimiento durante la vida económica del proyecto estudiado.

La ecuación usada para el cálculo de consumos es como sigue:

$$C_{c1} = (L_{hc} T_{tr} + L_{hh} T_{es}) (C_{cr} + C_{r1} / R_{c1})$$

En donde:

C_{c1} = Costo total de combustible y lubricante.

L_{hc} = Litros consumidos por hora a plena carga para el tipo de locomotora de que se trate.

T_{tr} = Tiempo de tránsito del tren computado para la pendiente media del tramo (horas).

L_{hh} = Litros consumidos por hora en condiciones de -

holgado.

T_{es} = Tiempo de espera por encuentros y demora (hrs.)

C_{rc} = Costo de referencia usado para combustible en pesos por litro (0.653).

C_{rl} = Costo de referencia usado para lubricantes en pesos por litro (84.929).

R_{cl} = Relación de consumo combustible a lubricante -- (para locomotoras diesel es 130).

Con la ecuación anterior, cuando se trata de calcular un costo transitando el tren por hora, para el renglón de combustibles y lubricantes, se sustituirá en la ecuación; $T_{tr} = 1$ y $T_{es} = 0$ y se tendrá C_{cl} = costo de combustibles y lubricantes por hora transitando. Análogamente, para determinar el costo holgado, se tomará $T_{tr} = 0$ y $T_{es} = 1$ y se tendrá C_{cl} = costo de combustibles y lubricantes por hora en condición de holgado.

D. COSTO DE ALQUILER DE CARROS.

El costo relativo de alquiler de carros, considera la proporción relativa de manejo en terminales, por unidad de tiempo.

El costo del alquiler de carros para ser considerado en el costo del tren, generalmente tiene una base similar a la de la locomotora consistente en una cantidad de recuperación del capital, con una tasa de interés mínimo considerada. Así la ecuación para un tipo particular de carro con características definidas, será:

$$C_{aci} = \frac{C_{ci} \left(1 + \frac{ti}{100} \right)^n \left(\frac{ti}{100} \right)}{365 \times 24 \left(\left(1 + \frac{ti}{100} \right)^n - 1 \right)}$$

Y para todos los carros manejados en el sistema:

$$C_{ac} = \frac{\left(1 + \frac{t_i}{100}\right)^n \left(\frac{t_i}{100}\right) \left(\frac{1}{F_{re}}\right)}{365 \times 24 \times N_{toc} \left(\left(1 + \frac{t_i}{100}\right)^n - 1\right)} \sum_{i=1}^{N_{tic}} N_{ti} C_{ci}$$

En donde:

C_{aci} = Costo del tiempo por hora del carro del tipo i .

C_{ci} = Costo de compra del carro del tipo i .

t_i = Tasa de interés considerada para la inversión.

C_{ac} = Costo de amortización por carro sistema.

F_{re} = Factor de tránsito del carro (0.15 para ciclo cargadura normal).

n = Número de años de vida media del carro.

N_{toc} = Número total de carros día sistema.

N_{tic} = Número de tipos de carros.

N_{ti} = Número de carros del tipo i .

C_{ci} = Costo de compra del carro tipo i .

Como los carros se compran en distintas épocas y a costos muy diferentes, es difícil computar el costo que deba tener el alquiler por hora del carro y generalmente se utiliza un valor de alquiler medio y fijo por día, que al dividirse entre las horas del día, proporciona el costo por hora.

Para los sistemas como el de los Ferrocarriles Nacionales de México, en donde hay un alto porcentaje de carros chicos y de cierta edad, el valor medio considerado es del orden de \$48.00 diarios, \$2.00 por hora. Este costo resulta útil para calcular los costos relativos de los trenes; sin embargo, para los casos tarifarios, debe tenerse es-

cial cuidado con el manejo de esta cifra, la cual ya no corresponde a los actuales costos de los carros en nuestro país, ni comprende la relación de tiempo cargado tiempo vacío, que debe ser considerada cuidadosamente en la tarifa, ya que la transportación del tonelaje productivo, debe cubrir todo el tiempo de carros vacíos que normalmente se genere por redistribución y traslado de los mismos para nuevas cargas.

E. COSTO DE TRIPULACIONES.

El costo de la tripulación correspondiente del tren, incluye las prestaciones directas del personal de la misma y los factores de ajuste distancia tiempo.

El costo directo de tripulaciones comprende los salarios normales de todo el personal del tren, incluyendo las prestaciones directas que el personal recibe, y los sobrecostos generados por situaciones especiales contractuales; tal costo puede ser determinado, tomando en cuenta las condiciones siguientes:

Pago de kilometraje adicional en distritos de longitud mayor a 160 -- km., el cual se calcula como sigue:

$$K_a = \sum_{G=1}^n (D_g - 160)$$

Pago de kilometraje adicional en distritos de longitud mayor a 80 km, pero menor de 160 km.

$$K'_a = \sum_{M=1}^{n'} (D_m - 80)$$

Pago de kilometraje adicional en distritos de longitud menor de 80 -- km.

$$K_a'' = \sum_{p=1}^{n''} (80 - D_p)$$

En donde:

D_g, D_m, D_p = Longitud en kilómetros de los diferentes distritos: grandes, medianos o pequeños, según los límites enunciados.

K_a, K_a', K_a'' = Kilometraje adicional pagado en las diferentes longitudes de distritos.

g, m, p = Variables indicativas de números de --- distritos, según la longitud que ten--- gan.

160 y 80 = Referencias de pagos para distritos de recorrido simple y de ida y vuelta.

El costo pagado por kilometraje por todos los trenes y por año, será el siguiente:

$$C_{k1} = 365 (K_a + K_a' + K_a'' + D_{dt}) N_{td} C_{kt}$$

$$C_{tt} = C_{k1} F_a$$

En donde:

C_{k1} = Costo anual por kilometraje.

C_{tt} = Costo total pagado durante el año por tripulaciones en trenes.

D_{dt} = Distancia total a recorrer por los trenes directos.

C_{kt} = Cuota por kilómetro tripulación correspondiente a la división o divisiones si se trata de - varias.

N_{td} = Número de trenes directos por día.

F_a = Factor de inclusión de prestaciones directas.

365 = Días considerados en el año.

Para el cálculo del factor F_a , es necesario considerar los pagos por séptimo día y vacaciones, como sigue:

Base de pago de séptimo día:

$$C_{sd} = 9730 N_{td} T_{dt} C_{kt}$$

En donde:

C_{sd} = Costo anual por pago séptimo día a tripulaciones.

9730 = Resultado de multiplicar la proporción de séptimo día (0.1666) por los días del año (365) por el kilometraje jornada (160).

T_{dt} = Número total de distritos.

Base de pago de vacaciones:

$$C_{vt} = 32.5 \times 160 \times C_{kt} \left(\frac{365 N_{td} D_{td}}{6} \times 160 \times 52.142 \right)$$

$$C_{vt} = 37.92 D_{td} N_{td} C_{kt}$$

En donde:

C_{vt} = Pago anual por concepto de vacaciones a tripulaciones.

32.5 = 30 días + 25% de 10 días por concepto de vacaciones.

160 = Kilometraje jornada.

365 = Días del año.

D_{td} = Distancia recorrida por los trenes directos.

6 = Número de días hábiles semanales.

52.142 = 365/7 = semanas del año.

37.92 = Factor que resume todas las constantes consi
deradas.

Entonces el factor F_a , será igual a:

$$F_a = \frac{1.2 C_{kl} + C_{sd} + C_{vt}}{C_{kl}}$$

En donde el 1.2 representa el 20% de protección por otros pagos no --
considerados aquí, como el fondo de ahorro que representa por sí sólo,
el 10%.

El valor C_{kt} , se determina de la siguiente manera:

Sueldo del maquinista	1 x 100% C_{km}
Sueldo del conductor	+ 1 x 95% C_{km}
Sueldo del ayudante maquinista	+ 1 x 95% C_{km}
Sueldo de cada uno de los ga-- rroteros.	+ 3 x 75% C_{km}

C_{km} es la cuota asignada por kilómetro recorrido para el maquinista
correspondiente a jornada mixta por considerarse tráfico uniformemen
te distribuido durante el día. Además, debe considerarse que para --
trenes de longitud mayor a 45 piezas, aumenta un garrotero por cada
15 carros o fracción. Otra forma de calcular C_{kt} , es sumando las --
cuotas por kilómetro de cada uno de los miembros de las tripulacio--
nes correspondiente a la jornada mixta.

El costo total por hora tren, se calcula a partir de la siguiente --

expresión:

$$C_{th} = \frac{C_{tt}}{365 N_{td} T_{te}}$$

En donde:

C_{th} = Costo por hora tripulación.

C_{tt} = Costo total anual por tripulación en trenes.

N_{td} = Número de trenes directos por día.

T_{te} = Tiempo de tránsito y encuentros.

365 = Días considerados del año.

F. COSTO DE ESPERAS ADICIONALES.

Durante el tránsito del tren, se generan algunos costos adicionales por inspecciones y cambios de tripulaciones en algunos puntos y que incrementan el horario del tren. Tales costos adicionales, han sido considerados a costo de tren esperando y de acuerdo a la expresión siguiente:

$$C_{at} = 0.5 (T_{dt} - 1) + \frac{0.15 D_{td}}{50} C_{thh}$$

En donde:

C_{at} = Costo adicional del tren en toda la ruta.

0.5 = Horas necesarias para cambio de tripulaciones.

T_{dt} = Número total de distritos.

0.15 = Horas promedio por las inspecciones realizadas tomando en cuenta su posible coincidencia con encuentros.

D_{td} = Distancia total a recorrer por el tren directo.

50 = Distancia entre inspecciones sucesivas.

C_{thh} = Costo total por tren-hora holgando.

Una forma aproximada y más rápida, aunque menos precisa, puede calcularse de la siguiente manera:

$$C_{at} = \left(\frac{D_{td}}{150} - 1 \right) (0.5 + 0.15 + 0.15) C_{thh}$$

Suponiendo que los cambios de tripulaciones se realizan teóricamente, a cada 150 km ó 7.5 hs, dejando 0.5 hs de protección para la tripulación de llegada. Debe recordarse que el costo del tren esperando ya incluye la proporción correspondiente a tiempos dobles pagados.

G. COSTO DE CONSERVACION DE VIA.

Los cargos del tren por concepto de conservación de vía, se tomarán por tonelada bruta-kilómetro generada por el tren, -- multiplicadas por un cargo fijo y un factor de costo relativo en función de la pendiente y curvatura medias de la ruta o del tramo, al -- cual se ha adicionado una proporción de cargo fijo distribuido entre el número medio de trenes durante la vida económica del proyecto. -- Tal cargo puede expresarse de la manera siguiente:

$$C_{cv} = \left(\frac{C_{fv}}{365 N_{mt}} + 0.015 T_{bt} \right) D_t F_{rl} / T_{te}$$

En donde:

C_{cv} = Costo de conservación y reposición de vía e infraestructura general, por hora tren.

C_{fv} = Cargo fijo por conservación de vía y por kilómetro.

365 = Número de días del año.

N_{mt} = Número promedio de trenes durante la vida económica del proyecto.

0.015 = Cargo fijo por toneladas kilómetro sobre línea de referencia.

F_{r1} = Factor de costo relativo a la línea de referencia.

D_t = Distancia del tramo considerado.

T_{bt} = Tonelaje bruto del tren directo promedio, considerando la ida y el regreso.

T_{te} = Tiempo en horas en tránsito y encuentros.

Este cargo puede manejarse de mejor manera por tramo, pues solamente será distribuible durante el tiempo normal del tren teórico. No debe considerarse este cargo para el cómputo de tiempos de espera por demora.

Finalmente, el método antes descrito, se aplicará en el capítulo siguiente a las alternativas de ruta propuestas para el movimiento de trenes con flete entre Tierra Blanca y Teotihuacán y que se detallan en el resumen de alternativas del cuadro II.5, con los resultados obtenidos de dicho método, se podrá elegir la ruta más conveniente, -- con mucho mayor certeza y para después pasar al desarrollo del estudio sobre el proyecto geométrico de la alternativa elegida.

IV

EVALUACION DE ALTERNATIVAS

Con base en el método descrito en el capítulo anterior, se efectuó un análisis de los costos que tendrían los Trenes en los recorridos por las diferentes alternativas de ruta. Para todos los casos, se comparó con una referencia fija: La Ruta A de la División Jalapa en sus tramos actuales. Esto se hizo considerando que la Ruta A tiene mejores condiciones de operación.

Se compararon las diferentes alternativas, tomando en cuenta sus nuevas características, con la Ruta A. Esto, con el objeto de obtener los beneficios directos de operación por simple diferencia de costos por tonelada transportada.

IV.1 LOS PROYECTOS PROPUESTOS

Los diferentes Proyectos Propuestos para mejorar las líneas de la División del Mexicano y la de Jalapa, entre Los Reyes y Paso del Macho, así como de Tamarindo a la Vigas respectivamente, comprenden la corrección de pendiente y curvatura. Tales mejoras se encuentran repartidas en forma irregular a lo largo de la ruta y el costo, -- por lo tanto, no es uniformemente distribuido; por ésto se realizó un análisis por tramos fijos, entre puntos que hagan posible el estudio de las rutas alternas y que no presenten dificultad para la obtención de los beneficios correspondientes.

Por otra parte, es importante mencionar que no se presentó algún ejemplo de cálculo, pues para los fines de este trabajo no era necesario -- mostrar el procesamiento de los datos por medio de las fórmulas descritas en el Capítulo III. En cambio se presentan más adelante los datos y resultados en forma de Tablas y Gráficas.

IV.2 DISEÑO DEL TREN.

Para llevar a cabo la formación del Tren, se consideraron las ecuaciones de la fuerza tractiva útil y de la resistencia por cada cien carros cargados. Estas ecuaciones se muestran en las Tablas IV.1 y IV.2.

FUERZA TRACTIVA PARA ARRASTRE EN TILOGRAMOS
2 LOCOMOTORAS DE 3000 H.P. 6 EJES

Grado de Pendiente En %	Velocidad (Km/Hr)									
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
	Fuerza tractiva útil para arrastre (Kg)									
0.25	52,659.4	43,623.0	37,154.5	32,289.8	28,493.1	25,442.6	22,934.0	20,831.1	19,039.2	17,491.0
0.50	51,820.9	42,784.5	36,316.0	31,451.3	27,654.6	24,604.1	22,095.5	19,992.6	18,200.7	16,652.5
0.75	50,982.4	41,946.0	35,477.5	30,612.8	26,816.1	23,765.6	21,257.0	19,154.1	17,362.2	15,814.0
1.00	50,143.9	41,107.5	34,639.0	29,774.3	25,977.6	22,927.1	20,418.5	18,315.6	16,523.7	14,975.5
1.25	49,305.4	40,269.0	33,800.5	28,935.8	25,139.1	22,088.6	19,580.0	17,477.1	15,085.2	14,137.0
1.50	48,460.9	39,430.5	32,962.0	28,097.3	24,300.6	21,250.1	18,741.5	16,638.6	14,846.7	13,298.5
1.75	47,628.4	38,592.0	32,123.5	27,258.8	23,462.1	20,411.6	17,903.0	15,800.1	14,008.2	12,460.0
2.00	46,789.9	37,753.5	31,285.0	26,420.3	22,623.6	19,573.1	17,064.5	14,961.6	13,169.7	11,621.5
2.25	45,951.4	36,915.0	30,446.5	25,581.8	21,785.1	18,734.6	16,226.0	14,123.1	12,331.2	10,783.0
2.50	45,112.9	36,076.5	29,608.0	24,743.3	20,946.6	17,896.1	15,387.5	13,284.6	11,492.7	9,844.5
2.75	44,274.4	35,238.0	28,769.5	23,904.8	20,108.1	17,057.6	14,549.0	12,446.1	10,654.2	9,106.0
3.00	43,435.9	34,399.5	27,931.0	23,066.3	19,269.6	16,219.1	13,710.5	11,607.6	9,815.7	8,267.5
3.25	42,597.4	33,561.0	27,092.5	22,227.8	18,431.1	15,380.6	12,872.0	10,769.1	8,977.2	7,429.0
3.50	41,758.9	32,722.5	26,254.0	21,389.3	17,592.6	14,542.1	12,033.5	9,930.6	8,138.7	6,590.5
3.75	40,920.4	31,884.0	25,415.5	20,550.8	16,754.1	13,703.6	11,195.0	9,092.1	7,300.2	5,752.0
4.00	40,081.9	31,045.5	24,577.0	19,712.3	15,915.6	12,865.1	10,356.5	8,253.6	6,461.7	4,913.5
4.25	39,243.4	30,207.0	23,738.5	18,873.8	15,077.1	12,026.6	9,518.0	7,115.1	5,623.2	4,075.0
4.50	38,404.9	29,368.5	22,900.0	18,035.3	14,238.6	11,188.1	8,679.5	6,576.6	4,784.7	3,236.5
4.75	37,566.4	28,530.0	22,061.5	17,196.8	13,400.1	10,349.6	7,841.0	5,738.1	3,946.2	2,398.0
5.00	36,727.9	27,691.5	21,223.0	16,358.3	12,561.6	9,511.1	7,002.5	4,899.6	3,107.7	1,559.5

$$F_{tk} = 2 F_{tt} - P_{lt} \quad R_{pk} + R_{sk} (N_{lc} - 1) + 10 G_{pp} N_{lc}$$

F_{tk} = Fuerza tractiva útil para arrastre (Kg)

F_{tt} = Fuerza tractiva total (Kg)

P_{lt} = Peso de la locomotora (Ton.)

R_{pk} = Resistencia al rodamiento en tangentes a nivel para la primera locomotora (Kg/Ton.)

R_{sk} = Resistencia al rodamiento en tangentes a nivel para las locomotoras sucesivas (Kg/Ton.)

N_{lc} = Número de locomotoras acopladas al tren = 2

G_{pp} = Grado de pendiente en porcientos.

TABLA IV.1

FUERZA TRACTIVA REQUERIDA PARA MOVER EL TREN EN KILOGRAMOS
 TREN DE 100 CARROS RC/V = 100/0, RG/CH = 40/60 = 0.666 $T_{bt} = 7287 \text{ Ton.}$

Grado de Pendiente En %	Velocidad (Km/Hr)									
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
	Fuerza tractiva requerida para mover el tren (Kg)									
0.25	31,246	31,972	32,740	33,552	34,404	35,292	36,224	37,196	38,202	39,256
0.50	49,466	50,192	50,960	51,772	52,624	53,512	54,444	55,416	56,422	57,476
0.75	67,686	63,412	69,180	69,992	70,844	71,732	72,664	73,636	74,642	75,696
1.00	85,906	86,632	87,400	88,212	89,064	89,952	90,884	91,856	92,862	93,916
1.25	104,126	104,852	105,620	106,432	107,284	108,172	109,104	110,076	111,082	112,136
1.50	122,346	123,072	123,840	124,652	125,504	126,392	127,324	128,296	129,302	130,356
1.75	140,566	141,292	142,060	142,872	143,724	144,612	145,544	146,516	147,522	148,576
2.00	158,786	159,512	160,280	161,002	161,944	162,832	163,764	164,736	165,742	166,796
2.25	177,006	177,732	178,500	179,312	180,164	181,052	181,984	182,956	183,962	185,016
2.50	195,226	195,952	196,720	197,532	198,384	199,272	200,204	201,176	202,182	203,236
2.75	213,446	214,172	214,940	215,752	216,604	217,492	218,424	219,396	220,402	221,456
3.00	231,666	232,392	233,160	233,972	234,824	235,712	236,644	237,616	238,622	239,676
3.25	240,886	250,612	251,380	252,192	253,044	253,932	254,864	255,836	256,842	257,896
3.50	268,106	268,832	296,600	270,412	271,264	272,152	273,084	274,056	275,062	276,116
3.75	286,326	287,052	287,820	288,632	289,484	290,372	291,304	292,276	293,282	294,336
4.00	304,546	305,272	306,040	306,852	307,704	308,592	309,524	310,496	311,502	312,556
4.25	322,766	323,492	324,260	325,072	325,924	326,812	327,744	328,716	329,722	330,776
4.50	340,986	341,712	342,480	343,202	344,144	345,032	345,964	346,936	347,942	348,966
4.75	359,206	359,932	360,700	361,512	362,364	363,252	364,184	365,156	366,162	367,216
5.00	377,426	378,152	378,920	379,732	380,584	381,472	382,404	383,376	384,382	385,436

$$F_{tr} = R_{pc} N_{td} + R_{tv} N_{pv}$$

- F_{tr} = Fuerza tractiva requerida para mover el tren (Kg)
 N_{td} = Número total diario de carros cargados todos los tipos.
 N_{tv} = Número total diario de carros vacíos todos los tipos.
 R_{pc} = Resistencia total del carro cargado tipo (I) (Kg)
 R_{pv} = Resistencia total del carro vacío tipo (I) (kg)

TABLA IV.2

A partir de las ecuaciones mencionadas anteriormente, se determinó la formación del Tren que podrá ser arrastrado con límite de cuatro máquinas en múltiple, con 3,000 H.P. por locomotora, para velocidades mínimas de 18 Km/h en tiempos de recorrido menores a 0.75 h; de 22 Km/h para tiempos de recorrido inferiores a 1.5 h y de 25 Km/h para régimen continuo.

De los cálculos para cuatro y dos locomotoras respectivamente, se determinó que el Tren más conveniente, en el sentido de cargado, tendrá que constituirse de 44 piezas furgón con características medias de carga y tara de:

$$50 \text{ T.N. (Toneladas Netas)} + 22.5 \text{ TT (Toneladas de Tara)} = 72.5 \text{ T.B. (Toneladas Brutas).}$$

Esto se obtuvo para una relación de carros grandes a chicos de 40/60. Además se agregará un cabús de 24 toneladas, por lo que el tonelaje bruto total del tren, será de 3215 T.B. con 45 piezas de arrastre.

Las diferentes alternativas de ruta, para avanzar sin dificultad en las pendientes gobernadoras y considerando las velocidades mínimas y tiempos sostenidos arriba mencionados, se presentan en la siguiente Tabla:

PENDIENTE	FORMACION			
	No. LOCOMOTORAS	H.P.	No. CARROS FURGON	CABUS
Hasta 1.60%	2	3,000	44	1
De 1.60% Hasta 2.50%	4	3,000	44	1

Tabla IV.3

IV.3 DETERMINACION DEL TRAFICO Y DEL TONELAJE

La Determinación del Tráfico y del Tonelaje, se efectuó empleando el procedimiento descrito en el inciso III.3 del capítulo anterior. Los datos se obtuvieron del Departamento de Estadística de Ferrocarriles Nacionales de México y se muestran en la Tabla IV.4.

La Tasa de crecimiento estimada es del 33.8%.

Tramo	Tipos de Trenes	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Tierra Blanca a Veracruz	Directos Pas. y Loc.	8 8	11 8	14 8	19 8	26 8	34 8	57 8 **
	Totales	16	19	22	27	34	42	65
Tierra Blanca a Córdoba	Directos Pas. y Loc.	8 8	11 8	14 8	19 8	26 8	34 8	57 8 **
	Totales	16	19	22	27	34	42	65
* Veracruz Jalapa C. Calderón	Directos Pas. y Loc.	14 8	19 8	25 8	34 8	45 8	60 8	100 8 **
	Totales	22	27	33	42	53	68	108
Veracruz a Córdoba	Directos Pas. y Loc.	6 8	8 8	11 8	14 8	19 8	26 8	43 8 **
	Totales	14	16	19	22	27	34	51
Córdoba Cañada Morelos C. Calderón	Directos Pas. y Loc.	14 10	19 10	25 10	34 10	45 10	60 10	100 10 **
	Totales	24	29	35	44	55	70	110

* En este tramo las cantidades son para el 2.0% como para el 2.5%.

** El número de trenes directos en el último año, se incrementó en un 25% con el fin de proteger la capacidad de vía.

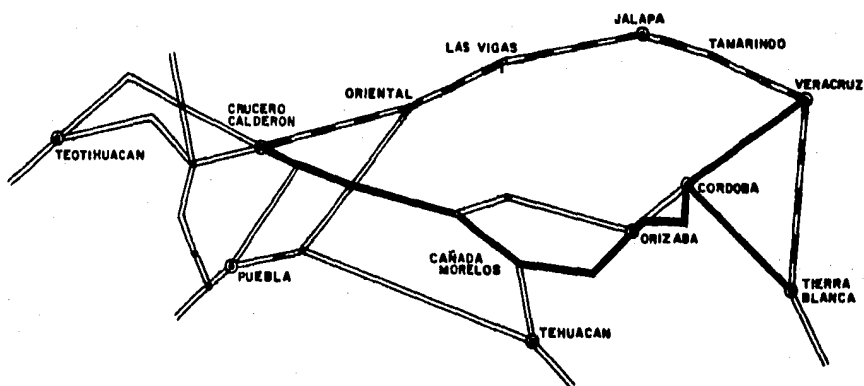
TABLA IV.4



IV.4 COSTO TOTAL DE OPERACION DEL TREN POR RUTA.

El primer aspecto de comparación en el análisis de alternativas, es el costo total de operación por ruta, en donde se forman las alternativas en dos grupos: los Tramos a rectificar y los Tramos actuales.

1. TRAMOS A RECTIFICAR.

Las rutas con Tramos a Rectificar, son la Ruta B al 2.0% y al 2.5%; y la Ruta D al 2.5%. Estas rutas se muestran en el croquis siguiente:



RUTA B 
 RUTA D 

Los cambios de la Ruta B, son solamente en las partes donde la pendiente es mayor al 2.0% ó al 2.5%, según sea la alternativa de que se trate. Las modificaciones consideradas para la Ruta D, son en el cambio de la pendiente del 4.1% al 2.5%; además de cambios en los grados de curvatura, los que son originados en el trazo del tramo actual, entre los Reyes y Córdoba.

Los tramos que forman cada una de las rutas, son los que a continuación se mencionan:

a) Ruta B al 2.0% y al 2.5%:

- Tierra Blanca - Veracruz
- Veracruz - Tamarindo
- Tamarindo - Las Vigas
- Las Vigas - Oriental
- Oriental - Crucero Calderón

b) Ruta D al 2.5%:

- Veracruz - Soledad
- Soledad - Córdoba
- Tierra Blanca - Córdoba
- Córdoba - Cañada Morelos
- Cañada Morelos - Crucero Calderón

Las tablas IV.5 y IV.6 que a continuación se presentan, son resultado de la aplicación del modelo descrito en el Capítulo III para la Ruta B y la Ruta D respectivamente.

CONCEPTO		REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	TRAMOS					ORIENTAL A C. CALDERON
			T. BLANCA A VERACRUZ	VERACRUZ A TAMARINDO	TAMARINDO A LAS VIGAS (2.0 %)	TAMARINDO A LAS VIGAS (2.5 %)	LAS VIGAS A ORIENTAL	
A	Tonelaje Diario de (T.B./día) Referencia	Estadística	12900 Asc.	21500 Asc.	21500 Asc.	21500 Asc.	21500 Asc.	21500 Asc.
			8700 Desc.	14500 Desc.	14500 Desc.	14500 Desc.	14500 Desc.	14500 Desc.
B	Proporciones de Referencia	Estadística	21600 T.B.	36000 T.B.	36000 T.B.	36000 T.B.	36000 T.B.	36000 T.B.
			100 % S.E.	60 % S.E. 40 % VER.	60 % S.E. 40 % VER.	60 % S.E. 40 % VER.	60 % S.E. 40 % VER.	60 % S.E. 40 % VER.
C	Formación Utilizada	Propuesta	2x3000+44+1	2x3000+44+1	4x3000+44+1	4x3000+44+1	2x3000+44+1	2x3000+44+1
D	Pendientes de cálculo: Gobernadora y media rumbo Norte	Calculadas y compen- sadas	1.32%	1.41%	2.0 %	2.5 %	0.60%	1.52%
			0.66%	0.85%	1.92%	1.94%	0.44%	0.83%
E	Velocidad de cálculo Mínima y Media rumbo Norte (Km/Hr)	Calculada	25	25	30	25	45	20
			40	35	30	30	55	35
F	Fuerza Tractiva a las Pendientes Gobernadora y Media rumbo Norte	Calculada	49070.62	48768.76	75507.00	90225.80	27319.20	62261.00
			30914.66	35142.10	76043.60	75909.50	22296.70	35209.20
G	Resistencia de 100 Carros cargados rumbo Norte (7287 T.B.)	Calculada	109227.60	11578.80	159512.00	195226.00	59912.00	123117.60
			63432.80	76468.00	153681.60	155139.20	50071.20	75010.40
H	Carros Arrastrados Rumbo Norte	$H = \frac{F}{G} \times 100$	45	42	47	46	46	51
			49	46	49	49	45	47

NOTAS: Se tomó 1980 como año de referencia.
Tonelaje del tren = 72.5 x 44 + 25 = 3215 T.B. Asc.

continúa ...

TABLA IV.5

CONCEPTO		REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S					
			T. BLANCA A VERACRUZ	VERACRUZ A TAMARINDO	TAMARINDO A LAS VIGAS (2.0 %)	TAMARINDO A LAS VIGAS (2.5 %)	LAS VIGAS A ORIENTAL	ORIENTAL A C. CALDERON
I	Velocidad Resultante Mínima y Media rumbo Norte (Km/Hr)	$I = \frac{H}{45} \times E$	25.0	23.3	31.3	25.6	46	22.7
	43.6		35.8	32.7	32.7	55	36.6	
J	Tiempo de Tránsito rumbo Norte (Hrs.)	$\frac{D. Tramo}{Vel. Media}$	2.29	1.49	3.82	3.90	1.23	2.35
K	Porciento de carga de las locomotoras rumbo Norte (%)	Calculado	100	100	100	100	100	100
L	Pendiente media y (%) Velocidad de cálculo rumbo Sur (Km/hr)	Calculadas	0.71	0.58	-	-	0.55	0.62
			55.0	60.0	-	-	60.0	60.0
M	Fuerza tractiva a la pendiente media rumbo Sur	Calculada	21391.16	19724.30	-	-	19824.90	19590.10
N	Resistencia de 100 Carros cargados rumbo Sur	Calculada	48979.40	43477.20	-	-	42022.50	45416.80
P	Carros arrastrados rumbo Sur	$P = \frac{M}{N} \times 100$	44	45	-	-	47	43
Q	Velocidad media Resultante rumbo Sur (Km/Hr)	$Q = \frac{P}{45} \times L$	53.8	60	-	-	62.7	57.3
<p>NOTAS: En el Tramo Tamarindo-Las Vigas, no se tiene datos al 2.0 y 2.5% para determinar la pendiente media Rumbo Sur; por lo tanto, para fines de cálculo, se consideró como vel. a t. mínimos la velocidad media Rumbo al Norte.</p> <p style="text-align: right;">continúa ...</p>								

CONCEPTO	REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	TRAMOS						
		T. BLANCA A VERACRUZ	VERACRUZ A TAMARINDO	TAMARINDO A LAS VIGAS (2.0 %)	TAMARINDO A LAS VIGAS (2.5 %)	LAS VIGAS A ORIENTAL	ORIENTAL A C. CALDERON	
R	Velocidad a Tiempos (Km/Hr) Mínimos de horario	Horario	49.6	51.6	32.7	32.7	54.8	53.2
S	Tiempo de Tránsito rumbo Sur (Hrs)	Corregido respecto a horario	2.02	1.03	3.82	3.90	1.23	1.62
T	Por ciento de carga de las locomotoras (%) rumbo Sur	$T = \frac{R}{Q} \times 100$	92	86	15	15	88	93
U	Número de Trenes directos	$U = \left(\frac{A}{3215}\right)^2$	8	14	14	14	14	14
V	Canales Fijos	Pasajeros mixtos y locales	8	8	8	8	8	8
W	Canales Totales		16	22	22	22	22	22
	Iniciales y Finales	Nota (1)	54	88	88	88	88	88
X	Canales para la Capacidad Proyecto de la vía	Nota (2)	18	26	26	26	26	26
			65	108	108	108	108	108
Y	Módulo necesario entre laderos (Hrs.)	$Y = \frac{1152}{X_F} - 4$	0.23	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11

NOTAS: Nota (1): $W_I = U + V$ Nota (2): $X_I = (U/0.8) + V$
 $W_F = 5.74 U + V$ $X_F = (5.74 U/0.8) + V$
Tonelaje del tren = $48.5 \times 44 + 25 = 2160$ T.B. Desc.

continúa ...

CONCEPTO	REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	TRAMOS					
		T. BLANCA A VERACRUZ	VERACRUZ A TAMARINDO	TAMARINDO A LAS VIGAS (2.0 %)	TAMARINDO A LAS VIGAS (2.5 %)	LAS VIGAS A ORIENTAL	ORIENTAL A C. CALDERON
Z Número de Laderos Necesarios	$Z = \frac{J}{Y} + 1$	11	15	36	37	12	22
A' Longitud vía doble (Km)	$(18x45+290)Z$	12.1	15.4	39.6	40.7	13.2	24.2
% vía doble (%)		12.1	28.9	31.7	31.9	19.5	28.1
B' Horario resultante para la Capacidad Total (Hrs)	$B' = J + \frac{Zx4}{60}$	3.02	2.42	6.22	6.37	2.03	3.82
C' Horario Inicial (Hrs)	Nota (1)	2.51	1.72	4.42	4.52	1.43	2.72
D' Horario Medio (Hrs)	$D' = \frac{B' + C'}{2}$	2.77	2.07	5.32	5.45	1.73	3.27
E' Tiempo de esperas Adicionales (Hrs)	Calculado	1.00	0.25	1.50	1.50	0.75	0.50
F' Horario medio para Cálculo de costos (Hrs)	$F' = D' + E'$	3.77	2.32	6.82	6.95	2.48	3.77
G' Tiempos: Transitando/Holgando (Hrs)	Norte	2.29/1.48	1.49/0.83	3.82/3.00	3.90/3.05	1.23/1.25	2.35/1.42
	Sur	2.02/1.75	1.03/1.29	3.82/3.00	3.90/3.05	1.23/1.25	1.62/2.15

NOTAS: Nota (1): $C' = J + \frac{W_I}{W_F} \times \frac{Z \times 4}{60}$

continúa ...

CONCEPTO	REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	TRAMOS					
		T. BLANCA A VERACRUZ	VERACRUZ A TAMARINDO	TAMARINDO A LAS VIGAS (2.0 %)	TAMARINDO A LAS VIGAS (2.5 %)	LAS VIGAS A ORIENTAL	ORIENTAL A C. CALDERON
H' Horario Medio Transitando/Holgando	Horas	2.15/1.62	1.26/1.06	3.82/3.00	3.90/3.05	1.23/1.25	1.98/1.79
I' Factor de Carga Medio (%)	$I' = \frac{K + T}{2}$	96.0	93.0	57.5	57.5	94.0	96.5
J' Costo de amortización de fuerza	\$/Hora	552.00	552.00	1104.00	1104.00	552.0	552.00
K' Costo de alquiler de carros	\$/Hora	2070.00	2070.00	2070.00	2070.00	2070.00	2070.00
L' Costo de Tripulaciones	\$/Hora	339.49	277.77	261.66	256.77	261.65	196.57
M' Costo de reparaciones Adicionales	\$/Hora	13.51	14.12	32.07	32.53	12.75	13.97
N' Costo por consumo combustible y lubricante Transitando/Holgando	T \$/Hora	1217.05	1179.02	1457.92	1457.92	1191.69	1223.39
	H	41.86	41.86	83.72	83.72	41.86	41.86
P' Costo Total/hr. Transitando	\$/Hora	4192.05	4092.91	4925.65	4921.22	4088.09	4055.93

NOTAS: Tonelaje medio del Tren = 2692 T.B.

continúa ...

CONCEPTO		REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S					
			T. BLANCA A VERACRUZ	VERACRUZ A TAMARINDO	TAMARINDO A LAS VIGAS (2.0 %)	TAMARINDO A LAS VIGAS (2.5 %)	LAS VIGAS A ORIENTAL	ORIENTAL A C. CALDERON
Q'	Costo Total/Hr. Holgando	\$/Hora	3016.86	2955.75	3551.45	3547.02	2938.26	2874.40
R'	Costo por tramo Transitando	$R' = H_T' \times P'$	9012.91	5157.07	18815.98	19192.76	5028.35	8030.74
S'	Costo por tramo Holgando	$S' = H_H' \times Q'$	4887.31	3133.10	10654.35	10818.41	3672.83	5145.18
T'	Costo Total por Tramo	$T' = R' + S'$	13900.22	8290.17	29470.33	30011.17	8701.18	13175.92

CONCEPTO	REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S					
		VERACRUZ A SOLEDAD	SOLEDAD A CORDOBA	T. BLANCA A CORDOBA	CORDOBA A C. MORELOS	C. MORELOS A C. CALDERON	
A	Tonelaje diario de (T.B./dfa) Referencia	Estadística	8600 Asc.	8600 Asc.	12900 Asc.	21500 Asc.	21500 Asc.
			5800 Desc.	5800 Desc.	8700 Desc.	14500 Desc.	14500 Desc.
B	Proporciones de Referencia	Estadística	14400 T.B.	14500 T.B.	21600 T.B.	36000 T.B.	36000 T.B.
			100% Ver.	100% Ver.	100% SE.	60% SE. 40% Ver.	60% SE. 40% Ver.
C	Formación utilizada	Propuesta	2x3000+44+1	4x3000+44+1	4x3000+44+1	4x3000+44+1	2x3000+44+1
D	Pendientes de cálculo: Gobernadora y Media rumbo Norte	Calculadas y compen- sadas.	1.42%	2.61%	2.54%	2.50%	1.51%
			0.64%	1.80%	1.71%	1.84%	0.56%
E	Velocidad de cálculo: Mínima y Media rumbo Norte (Km/Hr)	Calculada	25	25	25	25	20
			40	35	35	35	50
F	Fuerza Tractiva a las Pendientes Gobernadora y Media rumbo Norte	Calculada	48735.20	89487.90	89957.50	90225.80	62294.60
			30981.70	63911.60	64515.30	63643.30	24402.90
G	Resistencia de 100 carros cargados rumbo Norte (7287 T.B.)	Calculada	116515.60	203242.80	198141.20	195226.00	122388.80
			61975.20	145704.00	139144.80	148619.20	57884.80
H	Carros arrastrados rumbo Norte	$H = \frac{F}{G} \times 100$	42	44	45	46	51
			50	44	46	43	42

NOTAS: Se tomó 1980 como año de referencia.
Tonelaje del tren = $72.5 \times 44 + 25 = 3215$ T.B. Asc.

continúa ...

TABLA IV.6

CONCEPTO	REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S					
		VERACRUZ A SOLEDAD	SOLEDAD A CORDOBA	T. BLANCA A CORDOBA	CORDOBA A C. MORELOS	C. MORELOS A C. CALDERON	
I	Velocidad resultante Mínima y Media rumbo Norte (Km/Hr)	$I = \frac{H}{45} \times E$	23.3	23.4	25	25.6	22.7
			44.4	34.0	36	33.4	46.7
J	Tiempo de tránsito rumbo Norte (Hrs)	$\frac{D. Tramo}{Vel. Media}$	0.83	1.88	2.56	2.63	3.04
K	Porciento de carga de las locomotoras rumbo Norte (%)	Calculado	100	100	90 *	100	100
L	Pendiente media y (%) Velocidad de cálculo rumbo Sur (Km/Hr)	Calculadas	0.39	0.66	0.65	-	0.42
			70	70	70	-	70
M	Fuerza tractiva a la pendiente media rumbo Sur	Calculada	17021.40	32232.70	.32298.80	-	16920.80
N	Resistencia de 100 Carros cargados rumbo Sur	Calculada	35982.60	49074.40	48589.50	-	37436.80
P	Carros arrastrados rumbo Sur	$P = \frac{M}{N} \times 100$	47	66	66	-	45
Q	Velocidad media Resultante (Km/Hr) rumbo Sur	$Q = \frac{P}{45} \times L$	73.1	101.6	103.7	-	70
<p>NOTAS: * entre el Tramo T. Blanca-Sierra Mojarrá, las locomotoras van al 70%, de carga, por lo tanto, se proporcionó esta carga a todo el recorrido. Para el Tramo Córdoba-C. Morelos, se consideró como vel. a t. mín., la velocidad media, Rumbo al Norte. continúa ...</p>							

CONCEPTO	REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S					
		VERACRUZ A SOLEIDAD	SOLEIDAD A CORDOBA	T. BLANCA A CORDOBA	CORDOBA A C. MORELOS	C. MORELOS A C. CALDERON	
R	Velocidad a tiempos (Km/Hr) mínimos de Horario	Horario	54.1	45.7	40.3	33.4	55
S	Tiempo de tránsito rumbo Sur (Hrs)	Corregido respecto a horario	0.68	1.40	2.30	2.63	2.58
T	Porciento de carga de las locomotoras rumbo Sur (%)	$T = \frac{R}{Q} \times 100$	75	45	39	15	79
U	Número de trenes Directos	$U = \left(\frac{A}{3215} \right)^2$	6	6	8	14	14
V	Canales fijos	Pasajeros mixtos y locales	8	8	8	10	8
W	Canales Totales: Iniciales y finales	Nota (1)	14 42	14 42	16 54	24 90	22 88
X	Canales para la capaci- dad proyecto de la vía	Nota (2)	16 51	16 51	18 65	28 110	26 108
Y	Módulo necesario entre laderos (Hrs)	$Y = \frac{1152}{X_F} - 4$	0.31	0.31	0.23	0.11	0.11

NOTAS: Nota (1): $W_I = U + V$

$W_F = 5.74 U + V$

Tonelaje del tren = $48.5 \times 44 + 25 = 2160$ T.B. Desc.

Nota (2): $X_I = (U/0.8) + V$

$X_F = (5.74 U/0.8) + V$

continúa ...

CONCEPTO	REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	TRAMOS					
		VERACRUZ A SOLEDAD	SOLEDAD A CORDOBA	T. BLANCA A CORDOBA	CORDOBA A C. MORELOS	C. MORELOS A C. CALDERON	
Z	Número de laderos necesarios	$Z = \frac{J}{Y} + 1$	4	7	12	25	29
A'	Longitud vía doble (Km)	$(18 \times 45 + 290) Z$	4.4	7.7	13.2	27.5	31.9
	% de vía doble (%)		11.90	12.0	14.3	31.3	22.5
B'	Horario resultante para la capacidad total (Hrs)	$B = J + \frac{Z \times 4}{60}$	1.10	2.35	3.36	4.30	4.97
C'	Horario Inicial (Hrs)	Nota (1)	0.92	2.04	2.80	3.07	3.52
D'	Horario Medio (Hrs)	$D' = \frac{B' + C'}{2}$	1.01	2.20	3.08	3.69	4.24
E'	Tiempo de esperas adicionales (Hrs)	Calculado	0.25	0.75	1.00	0.50	1.00
F'	Horario Medio para Cálculo de costos (Hrs)	$F' = D' + E'$	1.26	2.95	4.08	4.19	5.24
G'	Tiempos: (Hrs) Transitando/lojando	Norte	0.83/0.43	1.88/1.07	2.56/1.52	2.63/1.56	3.04/2.20
		Sur	0.68/0.58	1.40/1.55	2.30/1.78	2.63/1.56	2.58/2.66
NOTAS: Nota (1): $C' = J + \frac{W}{N_i} \times \frac{Z \times 4}{60}$							

continúa ...

CONCEPTO		REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S				
			VERACRUZ A SOLEDAD	SOLEDAD A CORDOBA	T. BLANCA A CORDOBA	CORDOBA A C. MORELOS	C. MORELOS A C. CALDERON
H'	Horario Medio Transitando/Holgando	Horas	0.76/0.50	1.64/1.31	2.43/1.65	2.63/1.56	2.81/2.43
I'	Factor de carga (%) Medio	$I' = \frac{K + T}{2}$	87.50	72.50	64.50	57.50	89.50
J'	Costo de amortización de fuerza	\$/hora	552.00	1104.00	1104.00	1104.00	552.00
K'	Costo de alquiler de carros	\$/Hora	2070.00	2070.00	2070.00	2070.00	2070.00
L'	Costo de Tripulaciones	\$/Hora	304.01	379.01	431.36	253.23	249.38
M'	Costo de reparaciones adicionales	\$/Hora	13.21	30.24	29.78	30.93	13.05
N'	Costo para consumo de combustible y lubricante Transitando y Holgando	T	1109.29	1838.25	1635.41	1457.92	1134.65
		II	41.86	83.72	83.72	83.72	41.86
P'	Costo Total/Hora Transitando	\$/hora	4048.51	5421.50	5270.55	4916.08	4019.08

NOTAS: Tonelaje medio del tren = 2692 T.B.

continúa ...

CONCEPTO		REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S				
			VERACRUZ A SOLEDAD	SOLEDAD A CORDOBA	T. BLANCA A CORDOBA	CORDOBA A C. MORELOS	C. MORELOS A C. CALDERON
Q'	Costo Total/Hora Holgando	\$/Hora	2981.08	3666.67	3718.86	3541.88	2926.29
R'	Costo por tramo Transitando	$R' = H_T' \times P'$	3076.87	8891.26	12807.44	12929.29	11293.61
S'	Costo por Tramo Holgando	$S' = H_H' \times Q'$	1490.54	4842.64	6136.12	5525.33	7110.88
T'	Costo Total por Tramo	$T' = R' + S'$	4567.41	13733.90	18943.56	18454.62	18404.49

A partir de los datos concentrados en estas tablas, es posible calcular los requerimientos de equipo rodante y los costos de operación por cada ruta.

Los costos de operación, son una primera forma de comparar las rutas -- propuestas; posteriormente, con otro tipo de análisis se podrá ir definiendo con mayor seguridad, cuál es la alternativa con mejores condiciones.

Los resultados en las tablas IV.5 y IV.6, se pueden resumir en la siguiente tabla:

C O S T O P O R:	RUTA B AL 2.0% (\$/h)	RUTA B AL 2.5% (\$/h)	RUTA D (\$/h)
Amortización de fuerza	3,312.00	3,312.00	2,760.00
Alquiler de carros	10,350.00	10,350.00	6,210.00
Tripulaciones	1,337.14	1,332.25	933.97
Reparaciones Adicionales	86.42	86.88	73.76
Consumo de combustibles y - Lubricantes:			
Transitando	6,269.07	6,269.07	4,227.98
Holgando	251.16	251.16	209.30
Total transitando	21,354.63	21,350.20	14,205.71
Total holgando	15,336.72	15,332.29	10,187.03

Tabla IV.7

Si se multiplica cada uno de los costos indicados en la tabla IV.7 por su horario medio de cada alternativa:

HORARIO MEDIO	RUTA B AL 2.0% (h)	RUTA B AL 2.5% (h)	RUTA D (h)
Transitando	2.16	2.16	2.07
Holgando	1.79	1.79	1.49

Esto es, tanto para su condición de transitando, como de holgando y, - después se suman e integran los costos por ruta; obteniendo los resultados mostrados en la tabla IV.8.

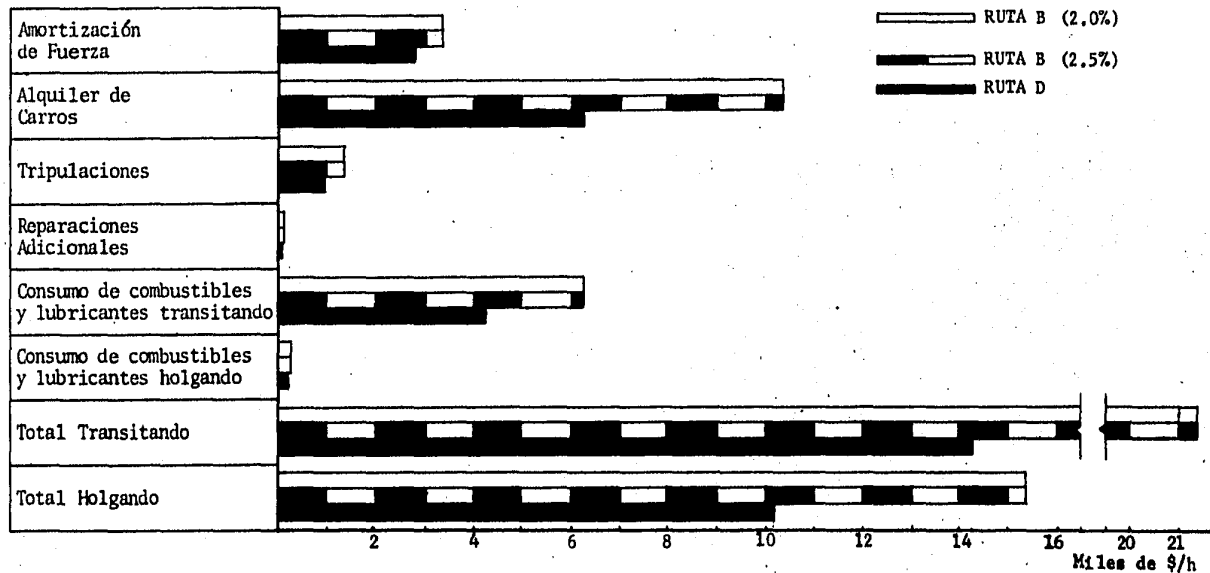
C O S T O	RUTA B AL 2.0% (\$)	RUTA B AL 2.5% (\$)	RUTA D (\$)
Total transitando	46,045.05	46,421.83	37,030.34
Total Holgando	27,492.77	27,656.83	18,772.33
Total por ruta	73,537.82	74,078.66	55,802.67

Tabla IV.8

Observe que la Ruta D al 2.5%, es la que presenta un costo de operación por ruta menor a la de las otras dos alternativas, pero ésto no indica que sea mejor que las otras dos, hasta que se realicen otro tipo de comparaciones.

En la figura IV.1, se presenta una gráfica con los costos de operación en \$/hora y los costos totales por ruta, donde se puede apreciar más objetivamente la diferencia que existe entre los costos mismos y entre -- las alternativas analizadas en las Tablas IV.5 y IV.6.

CUSTOS DE OPERACION POR HORA



COSTOS TOTALES DE OPERACION POR TRAMO

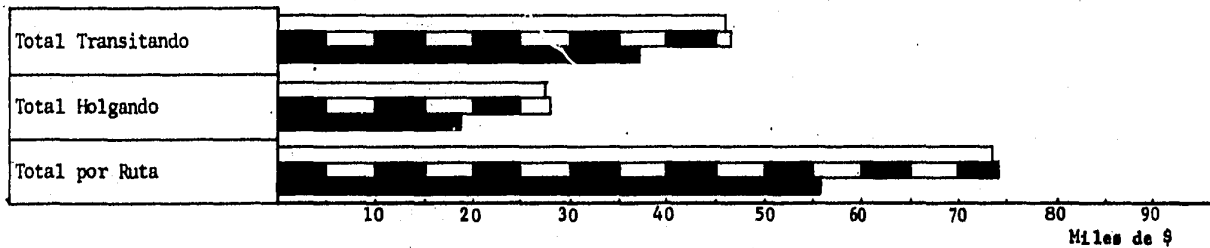
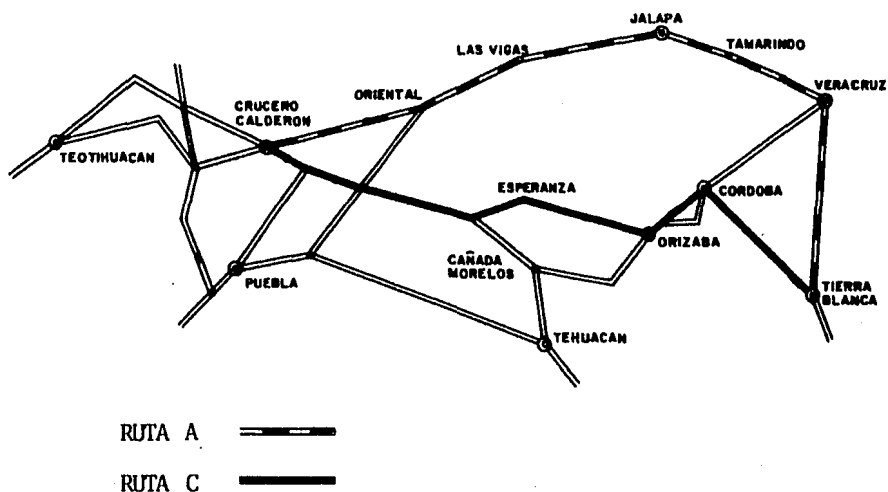


FIG. IV.1

2. TRAMOS ACTUALES.

Los Tramos Actuales, son las alternativas que se presentan como la Ruta A y la Ruta C, las cuales se muestran en el siguiente croquis:



Los Tramos que integran cada Ruta de las que están señaladas en el croquis anterior, son los siguientes:

a) RUJA A

- Tierra Blanca - Veracruz (*)
- Veracruz - Tamarindo (*)
- Tamarindo - Jalapa
- Jalapa - Las Vigas
- Las Vigas - Oriental (*)
- Oriental - C. Calderón (*)

- b) RUTA C
- Veracruz - Soledad (*)
 - Soledad - Córdoba (*)
 - Córdoba - Orizaba
 - Orizaba - Esperanza
 - Esperanza - C. Calderón (*)

NOTA (*).- Estos tramos no están incluidos en la Tabla IV.9, ya que su cálculo está considerado en las Tablas IV.5 y IV.6, y tienen los mismos costos de operación.

De igual manera que en el punto de Tramos a Rectificar, los datos mostrados en la Tabla IV.9, son el resultado de la aplicación del modelo descrito en el capítulo III.

CONCEPTO		REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S				
			TAMARINDO A JALAPA	JALAPA A LAS VIGAS	CORDOBA A ORIZABA	ORIZABA A ESPERANZA	ESPERANZA A C. CALDERON
A	Tonelaje diario de (T.B./dfa) Referencia	Estadística	21500 Asc.	21500 Asc.	21500 Asc.	21500 Asc.	21500 Asc.
			14500 Desc.	14500 Desc.	14500 Desc.	14500 Desc.	14500 Desc.
B	Proporciones de referencia	Estadística	36000 T.B. 60 % S.E. 40 % VER.	36000 T.B. 60 % S.E. 40 % VER.	36000 T.B. 60 % S.E. 40 % VER.	36000 T.B. 60 % S.E. 40 % VER.	36000 T.B. 60 % S.E. 40 % VER.
C	Formación utilizada	Propuesta	4x3000+44+1	4x3000+44+1	6x3000+44+1	2x3000+44+1	2x3000+44+1
D	Pendientes de cálculo: Gobernadora y Media rumbo Norte	Calculadas y compen- sadas	2.73%	3.17%	3.08%	4.27%	1.51%
			2.67%	2.85%	2.46%	3.73%	0.51%
E	Velocidad de cálculo: Mínima y Media rumbo Norte (Km/Hr)	Calculada	25	20	30	35	20
			25	25	35	40	50
F	Fuerza Tractiva a las Pendientes Gobernadora y Media rumbo Norte	Calculada	88683.0	113453.8	102237.5	142028.5	62294.6
			89085.4	87878.0	89226.5	123707.3	24570.6
G	Resistencia de 100 Carros cargados rumbo Norte (7287 T.B)	Calculada	211988.4	243369.6	238222.4	325717.6	122388.8
			207615.6	220734.0	193804.8	287174.4	54240.8
H	Carros arrastrados rumbo Norte	$H = \frac{F}{G} \times 100$	42	47	43	44	51
			43	40	46	44	45

NOTAS: Ruta A Tramos Tamarindo-Jalapa y Jalapa-Las Vigas. Ruta C Tramos Córdoba-Orizaba, Orizaba-Espe-
ranza y Esperanza-C.Calderón. Se tomó 1980 como año de referencia. Tonelaje del tren = 72.5 x
44 + 25 = 3215 T.B. Asc.

continúa ...

TABLA IV.9

CONCEPTO	REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S					
		TAMARINDO A JALAPA	JALAPA A LAS VIGAS	CORDOBA A ORIZABA	ORIZABA A ESPERANZA	ESPERANZA A C. CALJERON	
I	Velocidad resultante Mínima y Media rumbo Norte (Km/Hr)	$I = \frac{H}{45} \times E$	23.3 23.8	20.9 22.2	28.7 35.8	34.2 38.2	22.7 50.0
J	Tiempo de tránsito rumbo Norte (Hrs)	$\frac{D. Tramo}{Vel. Media}$	2.97	2.39	0.72	1.68	2.58
K	Porcentaje de carga de las locomotoras rumbo Norte (%)	Calculado	100	100	100	74	100
L	Pendiente media y (%) Velocidad de cálculo rumbo Sur (Km/Hr)	Calculadas	0.90 70	0.94 70	0.93 70	1.14 70	0.46 70
M	Fuerza tractiva a la Pendiente media rumbo Sur	Calculada	30621.80	30353.50	45630.80	87035.60	16853.70
N	Resistencia de 100 carros cargados rumbo Sur	Calculada	60711.00	62650.60	62165.70	72348.60	38406.60
P	Carros arrastrados rumbo Sur	$P = \frac{M}{N} \times 100$	50	48	73	120	44
Q	Velocidad media resultante (Km/Hr) rumbo Sur	$Q = \frac{P}{45} \times L$	77.8	74.7	113.6	186.7	68.4

continúa ...

CONCEPTO	REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S					
		TAMARINDO A JALAPA	JALAPA A LAS VIGAS	CORDOBA A ORIZABA	ORIZABA A ESPERANZA	ESPERANZA A C. CALDERON	
R	Velocidad a Tiempos (Km/Hr) Mínimos de horario	Horario	29	26.1	38.9	28.2	53.8
S	Tiempo de tránsito rumbo Sur (Hrs)	Corregido respecto a horario	2.67	2.03	0.67	1.68	2.40
T	Por ciento de carga de las locomotoras rumbo Sur (%)	$T = \frac{R}{Q} \times 100$	34	35	34	15	79
U	Número de Trenes directos	$U = \left(\frac{A}{3215} \right)^2$	14	14	14	14	14
V	Canales fijos	Pasajeros mixtos y locales	8	8	10	8	8
W	Canales Totales	Nota (1)	22	22	24	22	22
	Iniciales y finales		88	88	90	88	88
X	Canales para la capacidad proyecto de la vía	Nota (2)	26	26	28	26	26
			108	108	110	108	108
Y	Módulo necesario entre laderos (Hrs)	$Y = \frac{1152}{X_F} - 4$	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11

NOTAS: Nota (1): $W_I = U + V$
 $W_F = 5.74 U + V$

Nota (2): $X_I = (U/0.8) + V$
 $X_F = (5.74 U/0.8) + V$

continúa ...

CONCEPTO		REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S				
			TAMARINDO A JALAPA	JALAPA A LAS VIGAS	CORDOBA A ORIZABA	ORIZABA A ESPERANZA	ESPERANZA A C. CALDERON
Z	Número de laderos necesarios	$Z = \frac{J}{V} + 1$	28	23	8	12	25
A'	Longitud vía doble (Km)	Nota (1)	30.8	25.3	9.8	14.8	27.5
	% de vía doble (%)		39.7	47.7	37.6	31.2	21.3
B'	Horario resultante para la capacidad total (Hrs)	$B' = J + \frac{Zx4}{60}$	4.84	3.92	1.25	2.48	4.25
C'	Horario Inicial (Hrs)	Nota (2)	3.44	2.77	0.86	1.88	3.00
D'	Horario Medio (Hrs)	$D' = \frac{B' + C'}{2}$	4.14	3.35	1.06	2.18	3.63
E'	Tiempo de esperas adicionales (Hrs)	Calculado	0.75	0.75	0.50	0.70	1.00
F'	Horario medio para cálculo de costos (Hrs)	$F' = D' + E'$	4.89	4.10	1.56	2.88	4.63
G'	Tiempos (Hrs) Transitando/Holgando	Norte	2.97/1.92	2.39/1.71	0.72/0.84	1.68/1.20	2.58/2.05
		Sur	2.67/2.22	2.03/2.07	0.67/0.89	1.68/1.20	2.40/2.23
NOTAS: Nota (2):		$C' = J + \frac{W_T}{W_F} \times \frac{Zx4}{60}$	Nota (1):				
			(18x45+290) Z para Tamarindo-Las Vigas (18x45+420) Z para Córdoba-C. Calderón				

continúa ...

CONCEPTO		REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S				
			TAMARINDO A JALAPA	JALAPA A LAS VIGAS	CORNOBA A ORIZABA	ORIZABA A ESPERANZA	ESPERANZA A C. CALDERON
H'	Horario Medio Transitando/Holgando	Horas	2,82/2.07	2.21/1.89	0.69/0.87	1.68/1.20	2.49/2.14
I'	Factor de carga medio (\$)	$I' = \frac{K+T}{2}$	67.0	67.5	67.0	44.5	89.5
J'	Costo de amortización de fuerza	\$/Hora	1104.00	1104.00	1356.00	3312.00	552.00
K'	Costo de alquiler de carros	\$/Hora	2070.00	2070.00	2070.00	2070.00	2070.00
L'	Costo de tripulaciones	\$/Hora	184.99	216.13	639.97	707.06	278.66
M'	Costo de reparacio- nes adicionales	\$/Hora	39.17	45.13	52.39	65.84	12.90
N'	Costo por consumo de combustible y lubricante Transitando/Holgando	T	1698.80	1711.48	2548.20	3384.92	1134.65
		H	83.72	83.72	125.58	251.16	41.86
P'	Costo total/hr Transitando	\$/Hora	5096,96	5146.74	6666.56	9539.82	4048.21

continúa ...

CONCEPTO		REFERENCIAS DE ORIGEN O CALCULO	T R A M O S				
			TAMARINDO A JALAPA	JALAPA A LAS VIGAS	CORDOBA A ORIZABA	ORIZABA A ESPERANZA	ESPERANZA A C. CALDERON
Q'	Costo Total/Hr. Holgando	\$/Hora	3481.88	3518.98	4243.93	4606.06	2955.42
R'	Costo por tramo Transitando	$R' = H_T' \times P'$	14373.43	11374.30	4599.93	16026.90	10080.04
S'	Costo por tramo Holgando	$S' = H_H' \times Q'$	7207.49	6650.87	3692.22	7687.27	6324.60
T'	Costo Total por tramo	$T' = R' + S'$	21580.92	18025.17	8292.15	23714.17	16404.64

Los datos mostrados en la tabla anterior, proporcionan los costos por hora en cada tramo y el costo total por hora. La Tabla IV.10, es un resumen de los costos de operación, que permiten comparar en este aspecto a las dos Rutas consideradas.

COSTO POR:	RUTA A \$/hora	RUTA C \$/hora
Amortización de fuerza	4,416.00	7,980.00
Alquiler de carros	12,420.00	12,420.00
Por tripulaciones	1,476.60	2,740.07
Reparaciones adicionales	138.65	204.36
Consumo de combustibles y lubricantes:		
Transitando	8,221.43	11,650.72
Holgando	334.88	627.90
Total Transitando	26,672.68	34,995.15
Total Holgando	18,786.13	24,002.03

Tabla IV.10

Observe que los costos por hora de operación de la Tabla IV.10, son mayores para la Ruta C, que los de la Ruta A y que esos costos multiplicados por su horario medio de cada alternativa:

HORARIO MEDIO	RUTA A (h)	RUTA C (h)
Transitando	1.99	1.59
Holgando	1.63	1.26

Aplicado a sus condiciones de Transitando y Holgando y después se suman

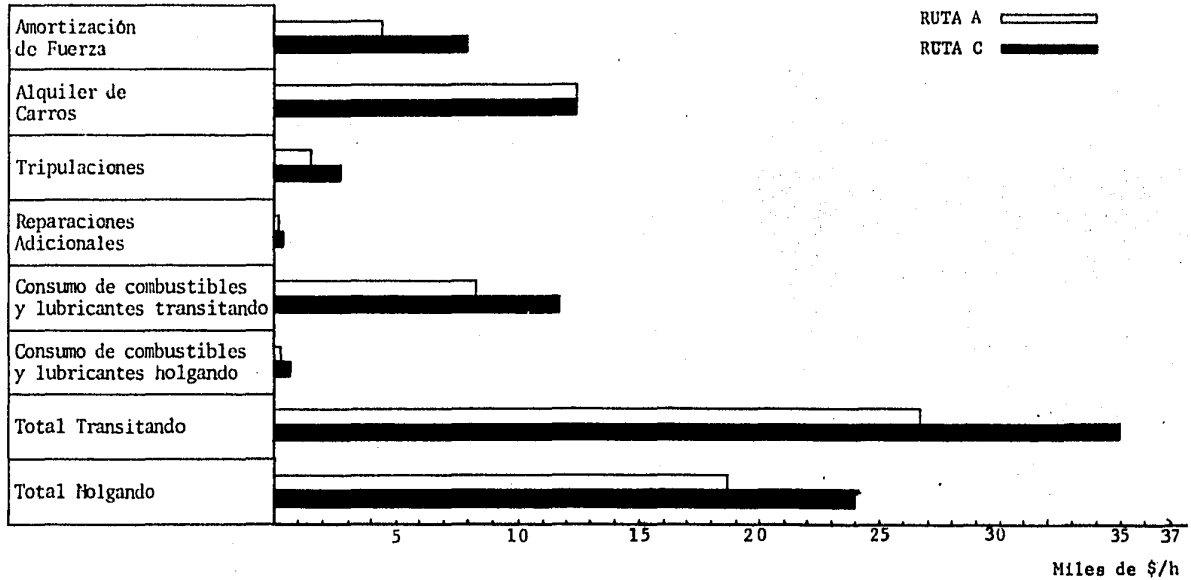
e integran los costos totales por Ruta, como se muestran en la Tabla -- IV.11.

C O S T O	RUTA A (\$)	RUTA C (\$)
Total Transitando	52,976.80	55,482.44
Total Holgando	30,696.78	30,173.39
Total por Ruta	83,673.58	85,655.83

Tabla IV.11

En la Tabla anterior, se puede apreciar que el costo de la Ruta A, es ligeramente más bajo que la Ruta C. En seguida se presenta la figura IV.2, la cual muestra las gráficas de los costos por hora y de los cos tos por Ruta, en la que se puede observar las diferencias citadas con más objetividad.

COSTOS DE OPERACION POR HORA



COSTOS TOTALES DE OPERACION POR TRAMO

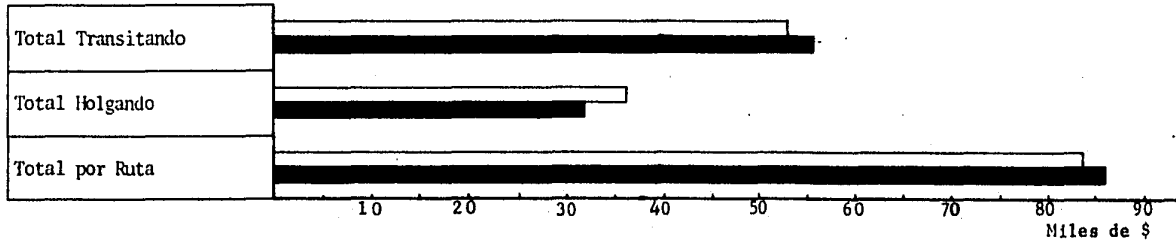


FIG. IV.2

Hasta ahora se han comparado por separado los costos de operación por hora y costos totales de las alternativas por rectificar (Rutas B y D) y las alternativas en sus tramos actuales (Rutas A y C). En seguida se presenta una tabla que reúne los costos totales por ruta para todas las alternativas:

C O S T O	RUTA A (\$)	RUTA B (\$)		RUTA C (\$)	RUTA D (\$)
		2.0%	2.5%		
Total Transitando	52,976.80	46,045.05	46,421.83	55,482.44	37,030.34
Total Holgando	30,696.78	27,492.77	27,656.83	30,173.39	18,772.33
Total por Ruta	83,673.58	73,537.82	74,078.66	85,655.83	55,802.67
Indice de Comparación	149.94	131.78	132.75	153.49	100.0

Observe que la Ruta D al 2.5%, tiene el índice de comparación más bajo. Esto quiere decir que es la ruta con el menor costo de operación. Sin embargo, el costo de operación, no es aún factor definitivo para hacer la elección adecuada. Es necesario analizar los siguientes factores:

- Costo por tonelada bruta transportada.
- Costo por la inversión de las rectificaciones.
- Tasa interna de retorno.

IV.5 COSTO POR TONELADA BRUTA TRANSPORTADA

El costo por tonelada bruta transportada, se calculó a partir de los siguientes datos:

- El tonelaje bruto medio del tren.

- El costo de operación.
- El costo de conservación de vía.
- La proporción contributiva.

Teniendo en cuenta los datos anteriores y los tramos Tierra Blanca-Veracruz y Veracruz-C. Calderón para las Rutas A y B, así como los tramos -- Tierra Blanca-Córdoba, Veracruz-Córdoba y Córdoba-C. Calderón para la Ruta D, se procedió de la siguiente manera:

- 1º. Se obtuvo el costo por tonelada bruta media, dividiendo el costo de operación del tren entre el tonelaje bruto medio del tren.
- 2º. El costo total por tonelada bruta media por tramo, se obtuvo sumando los tramos que hay entre Tierra Blanca-C. Calderón y Veracruz-C. Calderón.
- 3º. Se obtuvo el costo promedio por tonelada, sumando el costo total de tonelada bruta media y el costo de conservación de vía.
- 4º. El costo por tonelada bruta transportada, se obtuvo de la suma de los productos resultantes del costo promedio por tonelada bruta y la proporción contributiva para cada tramo.
- 5º. Se virtieron los datos y resultados en una tabla, a fin de comparar los costos por tonelada bruta transportada por cada ruta y sus tramos.

A continuación se presenta dicha tabla en la que se puede observar que la Ruta D en sus tramos por rectificar, tiene menor costo:

RUTA	TRAMO	T.B.M.	COSTO OPERACION DEL TREN	COSTO T.B.M.	COSTO TOTAL T.B.M.	COSTO CONS. VIA	COSTO PROM. T.B.	PROPORCION CONTRIBUTIVA	FRACCION DE COSTO		COSTO T.B.	
A		B	C	$D = \frac{C}{B}$	E= a+b	F	G=E+F	H	I= GxH	J=c+d		
A	Tierra Blanca-Veracruz	2692	13,900.22	5.16	a	31.08	9.03	40.11	0.60	24.07	c	38.05
	Veracruz-C. Claderón	2692	69,773.36	25.92	b							
	Veracruz-C. Calderón	2692	69,773.36	25.92		25.92	9.03	34.95	0.40	13.98	d	
B 2.0 %	Tierra Blanca-Veracruz	2692	13,900.22	5.16	a	27.31	7.24	34.55	0.60	20.73	c	32.49
	Veracruz-C. Calderón	2692	59,637.60	22.15	b							
	Veracruz-C. Calderón	2692	59,637.60	22.15		22.15	7.24	29.39	0.40	11.76	d	
B 2.5 %	Tierra Blanca-Veracruz	2692	13,900.22	5.16	a	27.51	7.29	34.80	0.60	20.88	c	32.74
	Veracruz-C. Calderón	2692	60,178.44	22.35	b							
	Veracruz-C. Calderón	2692	60,178.44	22.35		22.35	7.29	26.64	0.40	11.86	d	
D	Tierra Blanca-Córdoba	2692	18,943.56	7.04	a	20.73	6.92	27.65	0.60	16.59	c	27.55
	Córdoba-C. Calderón	2692	36,859.11	13.69	b							
	Veracruz-Córdoba	2692	18,301.31	6.80	a	20.49	6.92	27.41	0.40	10.96	d	
	Córdoba-C. Calderón	2692	36,859.11	13.69	b							

IV.6 INVERSION TOTAL DE LOS TRAMOS A RECTIFICAR

La inversión total se obtiene a partir de la determinación de los siguientes conceptos:

- 1.- Costo de construcción de la vía.
- 2.- Número de laderos con el Sistema de Control de Tráfico Centralizado (C.T.C.) por ruta.
- 3.- Costo de C.T.C.
- 4.- Inversión necesaria.
- 5.- Inversión evitable.

1. COSTO DE CONSTRUCCION DE LA VIA

La inversión estimada por tramo, de acuerdo a las rectificaciones de las rutas propuestas, fué proporcionada por el Departamento de Planeación de los Ferrocarriles Nacionales de México y de la que era la Oficina de Ferrocarriles (hoy es la Dirección General de Ferrocarriles) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; costos que se presentan a continuación:

RUTA B AL 2.0%

TRAMO	DISTANCIA (Km)	COSTO (Millones de \$)
Tamarindo - Jalapa	64.0	649
Jalapa - Las Vigas	61.0	616
Total	125.0	1265

RUTA B AL 2.5%

TRAMO	DISTANCIA (Km)	COSTO (Millones de \$)
Tamarindo - Jalapa	20.0	200
Jalapa - Las Vigas	40.1	410
Total	60.1	610

RUTA D AL 2.5%

TRAMO	DISTANCIA (Km)	COSTO (Millones de \$)
Los Reyes - Cd. Mendoza	73.5	1110
Potrero - Las Palmas	10.0	90
Córdoba - Orizaba (1)	12.0	200
Tierra Blanca - Orizaba (2)	-	100
Total	95.5	1500

NOTAS (1) Incluye la construcción del puente de Metlac.

(2) No se tienen datos de kilometraje por estar en estudio la rec
tificación.

2. NUMERO DE LADEROS CON C.T.C. POR RUTA

El C.T.C. es el sistema de Control de Tráfico Centralizado y este sistema se aplica para operar ferrocarriles, por medio del cual el movimiento de trenes sobre determinadas rutas y a través de tramos designados de vía o vías, son controlados a distancia en un tablero mímico por un jefe de despachadores, desde donde se gobierna el tráfico por señales controladas, substituyendo la prioridad conferida por el horario y -- sin que se requiera el uso de las órdenes del tren.

Por otro lado, el número de laderos por ruta, fué calculado en las tablas de los costos de operación.

3. COSTO DE C.T.C.

El costo de C.T.C. se obtiene aplicando la expresión si-
guiente:

$$\text{Costo C.T.C.} = (L \times A) + (D \times B)$$

Donde:

L = Número de laderos.

D = Distancia total por ruta.

A = \$5'000,000.00.

B = \$ 100,000.00.

Nota.- La cantidad de \$5'000,000.00, es lo que cuesta - instalar el C.T.C. en cada ladero y la cantidad de \$100,000.00, es el cos to por cada kilometro para su conexión a los Centros de Control.

4. INVERSION NECESARIA

La inversión necesaria, se obtiene de la suma del costo de construcción de la vía y el costo de C.T.C.

5. INVERSION EVITABLE

La inversión evitable, comprende los ahorros que se producirán por concepto de laderos y C.T.C., que sería necesario instalar, - de no llevarse a cabo ninguna de las rectificaciones de las rutas.

Una vez obtenidos los conceptos arriba señalados, la inversión total se - obtiene de la diferencia entre la inversión necesaria y la inversión evi- table por concepto de laderos y C.T.C.

La siguiente tabla muestra la cuantificación de los conceptos mencionados para cada ruta.

CONCEPTO	RUOTA B 2.0%	RUOTA B 2.5%	RUOTA D 2.5%
Costo de construcción de la vía (Millones de \$)	1265	610	1500
Número de laderos con C.T.C. por ruta	98	100	69
Costo de C.T.C. (Millones de \$)	534	544	377
Inversión necesaria (Millones de \$)	1799	1154	1877
Inversión evitable (Millones de \$)	275	275	275
Inversión total (Millones de \$)	1524	879	1602

IV.7 BENEFICIOS ACTUALIZADOS

Con el costo por la inversión total estimada para cada una de las rutas, sólo resta realizar el cálculo de la tasa interna de retorno dentro del horizonte del proyecto, para poder hacer la comparación entre las rutas y decidir cuál es la más conveniente.

Los beneficios actualizados, se calcularán con la siguiente expresión:

$$P = X\lambda^n \left(\frac{1}{1+r}\right)^n$$

Donde:

P = Beneficios actualizados

X = Beneficio por tonelada bruta en un año.

λ = Constante que puede ser mayor o menor que la unidad (1.06)

Si el flujo es creciente

Si el flujo es decreciente

i = Tasa al 10% y 12%

n = Período en años.

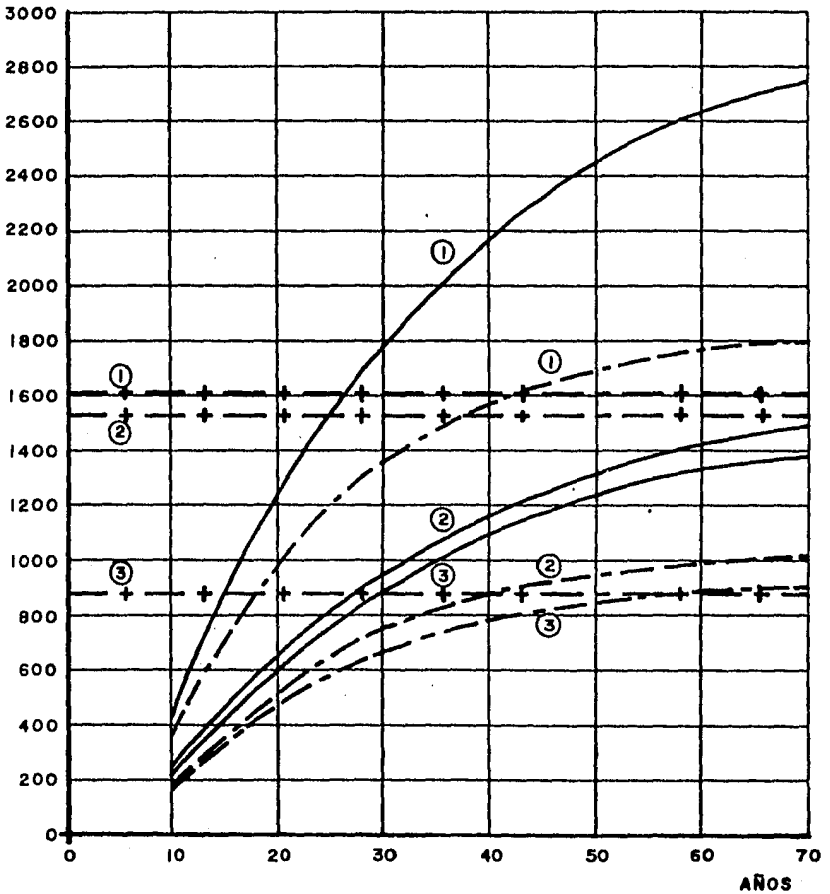
En seguida se presenta una tabla y una gráfica que muestra los beneficios actualizados al 10% y al 12%, y los costos de inversión.

BENEFICIOS ACTUALIZADOS

AÑOS	RUTA D		RUTA B AL 2.0 %		RUTA B AL 2.5 %	
	10 %	12 %	10 %	12 %	10 %	12 %
1/0 1980	Costo: 1602 Millones		Costo: 879 Millones		Costo: 1524 Millones	
2						
3						
4						
5						
6						
7	110.48	99.15	58.58	52.50	55.75	50.14
8	106.46	93.84	56.37	51.00	53.71	47.46
9	102.59	88.82	54.32	49.69	51.76	44.92
10	98.86	84.06	52.35	47.03	49.87	42.51
11	95.26	79.55	50.44	44.51	48.07	40.23
12	91.80	75.29	48.61	42.13	46.32	38.08
13	88.46	71.26	46.84	39.87	44.64	36.04
14	85.24	67.44	45.14	37.73	43.01	34.11
15	82.14	63.83	43.50	35.71	41.45	32.28
16	79.16	60.41	41.92	33.80	40.00	30.55
17	76.28	57.17	40.39	31.99	38.48	28.91
18	73.50	54.11	38.92	30.27	37.09	27.36
19	70.83	51.21	37.51	28.65	35.73	25.90
20	68.26	48.47	36.14	27.12	34.44	24.51
21	65.77	45.87	34.83	25.67	33.18	23.20
22	63.38	43.41	33.56	24.29	32.00	21.96
23	61.08	41.09	32.34	22.99	30.81	20.78
24	58.86	38.89	31.17	21.76	29.69	19.67
25	56.72	36.80	30.03	20.59	28.62	18.61
26	54.65	34.83	28.94	19.49	27.58	17.62
27	52.67	32.97	27.89	18.45	26.57	16.67
28	50.75	31.20	26.87	17.46	25.61	15.78
29	48.90	29.53	25.90	16.52	24.67	14.93
30	47.13	27.95	24.96	15.64	23.78	14.13
Totales:	1789.23	1357.15	947.52	754.86	904.83	686.35
Rend. Medio	+ 0.12	- 0.15	- 0.38	- 0.50	+ 0.027	- 0.22
T. R. I.	10.9 %		3.9 %		10.2 %	

GRAFICA DE COSTOS Y BENEFICIOS AL 10% Y 12%

MILLONES
DE PESOS



- ① MEXICANO 2.5%
- ② JALAPA 2.0%
- ③ JALAPA 2.5%

COSTOS — + —

BENEFICIOS

10% —————

12% - - - - -

AÑOS

De la tabla de beneficios actualizados y de la gráfica, se observa que - la Ruta D al 2.5%, es la que tiene la tasa interna de retorno más alta, es decir, de 10.9%.

IV.8 COMPARACION DE LAS RUTAS

La comparación final, se realizó de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- a) Todas las rutas están analizadas de Tierra Blanca - al Crucero Calderón.
- b) El tonelaje medio del tren es de 2692 T.B.
- c) La inversión requerida, no considera la inversión - evitable por laderos y C.T.C.
- d) Los beneficios producidos son a 30 años.
- e) La tasa interna de retorno, está determinada a partir de las actualizaciones al 10.0% y 12.0%.

En seguida se presenta un cuadro con los aspectos más importantes de cada ruta:

CONCEPTO	RUTA B AL 2.0%	RUTA B AL 2.5%	RUTA D AL 2.5%
Kilómetros de Ruta Tierra Blanca-C. Calderón	432	429	322
Veracruz-C. Calderón	332	329	330
Formación media en Pendiente Gobernadora	4x3000+44+1	4x3000+44+1	4x3000+44+1
Formación media en plano	2x3000+44+1	2x3000+44+1	2x3000+44+1
Relación de tráfico SE/VER. (%)	60/40	60/40	60/40
Tiempo total de tránsito SE/VER. (Horas)	10.44/8.29	10.52/8.37	7.87/7.84
Tiempo total de espera SE/VER. (Horas)	8.72/7.10	8.77/7.15	5.64/5.80
Factor de carga medio (%)	87.40	87.40	74.30
Tiempo de horario de Ruta (Horas)	19.16/15.39	19.29/15.52	13.51/13.64
Costo medio del tren para 60/40 (SE/VER) \$	73537.82/59637.60	74078.66/60178.44	55802.67/55160.42
Costo de conservación de vía \$/T.B.	7.24	7.29	6.92
Inversión requerida millones de \$	1524.00	879.00	1602.00
Costo por tonelada transportada \$/T.B.	32.49	32.74	27.55
Beneficios producidos tasas 10/12½ Millones de \$	947.52/754.86	902.83/686.35	1789.23/1357.15

CONCEPTO	RUJA B AL 2.0%	RUJA A AL 2.5%	RUJA D AL 2.5%
Tasa interna de retorno (%)	3.90	10.20	10.90
Orden de conveniencia	3	2	1

Del análisis económico realizado, se desprende lo siguiente:

a) Los ahorros en el costo de operación del flete del Sureste y de Veracruz, entre Tierra Blanca y Crucero Calderón, y de Veracruz a Crucero Calderón, comparados con respecto al costo de operación actual que se tiene por la División Jalapa, son los siguientes:

	RUJA B AL 2.0%	RUJA B AL 2.5%	RUJA D AL 2.5%
Flete Ste.	\$5.56/TB	\$5.31/TB	\$12.46/TB
Flete Ver.	\$5.56/TB	\$5.31/TB	\$ 7.54/TB
Flete Medio	\$5.56/TB	\$5.31/TB	\$10.50/TB

60% Sureste
40% Veracruz

b) Las inversiones totales consideradas para cada uno de los proyectos, indican una tasa interna de retorno de 10.90% para el proyecto de rectificación del Mexicano y de 10.20% y 3.90% para las --- propuestas de rectificación de la línea de la División Jalapa con el -- 2.5% y 2.0% de pendiente respectivamente.

Con base a lo anterior, se puede decir que tiene prioridad la rectifi--- cación del Mexicano sobre cualquiera de las alternativas de rectifica--- ción de la línea de la División Jalapa.

V

PROYECTO GEOMETRICO

V.I GENERALIDADES

Una vez realizados los estudios económicos que justifican la construcción de nuevas líneas férreas o las mejoras a las -- existentes, es necesario programar los estudios que permitan establecer la conveniencia y las prioridades para elaborar los nuevos proyectos y las obras correspondientes.

Lo anterior significa, que es necesario realizar una serie de trabajos preliminares que deben tener como objetos inmediatos, el encontrar la mejor solución técnica y el llegar al conocimiento del costo que tendrán las obras relativas, ya que lo primero permitirá fijar -- los procedimientos de construcción, la forma, el tiempo de su ejecución, etc. y lo segundo, la contratación de su pago.

Teniendo en cuenta la importancia de los trabajos preliminares para la

elaboración del proyecto definitivo, se hará una breve descripción de dichos trabajos, antes de presentar el estudio del proyecto con más - detalle.

V.2 TRABAJOS PRELIMINARES AL PROYECTO GEOMETRICO DE FINITIVO.

No en todos los proyectos es necesario desarrollar - completamente los trabajos que componen las distintas etapas de su -- realización, sino que ello dependerá de la naturaleza del terreno, de la experiencia del proyectista y de la utilidad que se persigue en -- cada caso en particular.

El proceso en general consiste en tener primero una idea general del terreno, tanto topográfica como geológicamente y poder darse cuenta, al disponer de una amplia zona fotografiada, de las distintas posibilidades para la línea. En los estudios y pasos subsecuentes, se va - detallando y precisando cada vez más, eliminando rutas francamente -- inaceptables, ya sea por su costo, por la longitud resultante o por - la clase de suelos en ellas, hasta llegar a tener una o dos como más aceptables, que ya con estudios de detalle se compararán hasta dejar la mejor.

1. SELECCION Y LOCALIZACION DE RUTA.

La localización, al igual que el proyecto y la construcción, son producto de la experiencia de individuos y organizaciones especializadas; no se puede decir con ésto que para cada caso haya una solución, pues todos los detalles, considerados desde distintos puntos de vista (topográficos, geológicos, económicos, etc.), pue den dar lugar a muy diversas soluciones.

La topografía, la geología, la hidrología, el drenaje y los suelos, - tienen un efecto determinante de la localización y en la elección de ruta.

El proyectista debe contar con cartas geográficas y geológicas, sobre las cuales se pueden ubicar esquemáticamente las diferentes rutas. - Las cartas geográficas existen a la escala de 1:500,000 para toda la República y en ciertas zonas cartas a las escalas de 1:100,000 y de 1:25,000.

A. RECONOCIMIENTO TERRESTRE PRELIMINAR.

El reconocimiento terrestre preliminar es el paso a seguir, siendo preferible atender primero al recorrido terrestre de la zona, usando jeep, auto, caballo o a pié, debiéndose recorrer las principales veredas y caminos, anotando observaciones geológicas y de suelos, la vegetación, nombres de rancherías y poblados, ríos y todo accidente importante y desde luego, los datos principales topográficos, obtenidos con métodos expeditivos, pero de gran utilidad para el complemento y mejor interpretación del posterior estudio del terreno.

El mejor plano de la región constituye el plano preliminar de reconocimiento terrestre que debe dibujarse a escala 1:100,000 o preferente mente a 1:50,000 cuando el terreno es montañoso o que presente numerosas alternativas factibles.

B. RECONOCIMIENTO AEREO PRELIMINAR.

Para estos trabajos son adecuados los aviones de 4 plazas, ya que en este tipo de aviones se obtiene la máxima visibilidad en vuelo y la mínima velocidad de traslación para una mejor observación del terreno. Además se puede emplear el helicóptero que permite reconocimientos más detallados y precisos.

a). Por considerarse conveniente, se ha determinado que el primer reconocimiento aéreo, sea a la escala 1:50,000, el cual presenta varias ventajas:

1º Se tiene un aspecto general del terreno bastante

amplio, lo cual es muy conveniente para hacer diversos estudios de rutas dentro de una misma línea de vuelo, ya que cada fotografía abarca un ancho aproximado de 11.5 kms.

2º Se tiene un menor número de fotografías para estudiarse estereoscópicamente.

3º Al restituirse los planos fotogramétricos a la escala 1:10,000 sobre las rutas elegidas, resulta bastante más económico.

4º El apoyo terrestre se lleva a cabo con base en esas fotografías, resulta bastante más reducido el número de los puntos de apoyo.

5º Aunque de menor importancia, generalmente el ancho de la faja por volar puede variar de 10 a 30 ó 40 km.; esta área se cubre fácilmente con 1,2,3 ó 4 líneas de vuelo, que resulta muy económico por el número de fotografías como por las horas de vuelo del avión.

b) El segundo reconocimiento se lleva a cabo después de haber hecho la interpretación de las fotografías a escala 1:50,000 y tiene por objeto comprobar en el terreno lo estudiado en las fotografías; este reconocimiento se efectúa en helicóptero, lo que permite descender en los lugares de interés y recabar en ellos la información que consideren necesaria.

El finalizar este reconocimiento, se delimita la zona que deberá cubrirse con fotografías escala 1:25,000. Una vez realizado este trabajo, se hará un control terrestre necesario para poder estudiar estas fotografías en una proyección estereoscópica, estudiando varias líneas, obteniendo sus perfiles y estimando los volúmenes de materiales por mover en cada una, lo que permite elaborar un presupuesto con una aproximación razonable, que pueda ser factor determinante en la elección de una de las rutas.

c) El tercer reconocimiento que puede ser aéreo o terrestre, es propiamente un refinamiento del estudio que se ha efectuado en la proyección estereoscópica y se realiza a lo largo de la poligonal en estudio, llamada trazo preliminar.

Cuando por las circunstancias existentes, no es posible realizar el reconocimiento aéreo, se llevará a cabo solamente el terrestre, siendo menos efectivo que el aéreo, ya que no se pueden abarcar grandes áreas y se tiene que estudiar por partes la línea.

Con lo anterior, en una faja de no menos de 5 km. de ancho, se obtienen los planos a la escala 1:10,000. Con los planos antes mencionados, se procede a anteproyectar todas las posibles rutas que nos resuelvan el problema, cada una de ellas cumpliendo con los requisitos de especificaciones de alineamiento horizontal, alineamiento vertical, velocidad, desarrollo, etc., se hace un estudio comparativo y se seleccionan los anteproyectos que satisfagan las condiciones fijadas y se eliminan los que den un costo excesivo o un desarrollo mayor.

Generalmente el estudio de rutas sobre los planos a escala 1:10,000, basta para escoger una o dos líneas, que serán las que se seguirán estudiando en el proceso del proyecto.

2. ANTEPROYECTO

Para el anteproyecto se requiere establecer el trazo de la línea, haciéndose necesario complementar y definir los datos recogidos previamente. Para esto último, se requiere un levantamiento topográfico, ya sea utilizando los métodos convencionales terrestres, o empleando las facilidades que proporciona la fotogrametría y las computadoras electrónicas.

El levantamiento se traducirá en un plano con curvas de nivel de la faja en estudio, un plano del perfil longitudinal del terreno en el eje de la poligonal que sirvió de base para el levantamiento y un plano de secciones transversales a dicho eje.

Una vez obtenidos los planos con curvas de nivel a una escala conveniente, se inicia el estudio del trazo preliminar, considerando el número de posibilidades que se tengan hasta esta parte del proceso, hasta seleccionar la más conveniente que se tomará como tentativa del eje de la línea, quedando así definidos los alineamientos horizontal y vertical.

El anteproyecto requiere una exactitud razonable de la geometría de cada una de las posibilidades, que que serán inútiles cuantos cálculos se hagan para todas las líneas, excepto para la que se juzgue la mejor.

Por consiguiente, fijadas las especificaciones que regirán el proyecto geométrico, se debe buscar una combinación de alineamientos que se adapten al terreno, planimétrica y altimétricamente y cumplan los requisitos establecidos.

Los alineamientos horizontal y vertical, no deben ser considerados independientes en el proyecto, puesto que se complementan el uno al otro. La velocidad de proyecto es el parámetro que logra el equilibrio buscado entre dichos alineamientos.

Por tanto, la coordinación entre los alineamientos, debe iniciarse en la etapa del anteproyecto, donde pueden realizarse los ajustes correspondientes. El proyectista deberá utilizar planos de trabajo del tamaño y escala que requiera el estudio, o en su caso, por especificación; generalmente para la planta se utiliza la escala 1:2,000, con curvas de nivel a cada dos metros y para el perfil, se usan dos escalas, la horizontal 1:2,000 y la vertical 1:200. En este último plano, se acostumbra representar en la parte superior el alineamiento horizontal, con el fin de facilitar el estudio de la coordinación entre los alineamientos. En esta etapa, el estudio debe ser en su mayor parte a base de un análisis gráfico.

En esta parte del proceso ya se tiene la suficiente información para escoger la ruta adecuada y poder pasar al estudio con mayor detalle.

V.3. PROYECTO GEOMETRICO DEFINITIVO,

Con los estudios preliminares brevemente descritos, --

en donde ya se ha seleccionado la ruta adecuada, se puede situar ya la línea definitiva, con estudios de una precisión tal, que permite definir las características geométricas, las propiedades de los materiales y las condiciones de las corrientes pluviales que cruza (aunque en el presente trabajo no se desarrollará el estudio del drenaje).

Como ya se mencionó en el capítulo IV, la longitud de la modificación del Ferrocarril Mexicano, es de 73.5 Km. y el tramo para el cual se -- presenta el estudio del proyecto geométrico, es del kilómetro 40+000 - al kilómetro 45+000, con origen en Los Reyes, Pue.

A. DATOS REQUERIDOS PARA LA REALIZACION DEL PROYECTO.

El primer paso consiste en recabar los datos necesarios para la elaboración del proyecto, que nos llevarán a la obtención del trazo del eje de la línea en el terreno, sus referencias y los planos de construcción.

Los datos necesarios son:

a) Especificaciones de proyecto. Antes de iniciar cualquier trabajo, debe reunirse toda la información concerniente al ancho de cama, velocidad de proyecto, pendiente máxima, curvatura máxima, bombeo en tangente, etc.

b) Los registros de campo del trazo, nivel y secciones, así como el cálculo de coordenadas y orientaciones.

c) Datos geotécnicos proporcionados por el especialista en suelos, que nos muestran el panorama geológico y geotécnico de los materiales que forman el lecho de la línea a construir; clasificación geológica, coeficientes de abundamiento o reducción, taludes de corte y terraplén, características y ubicación de bancos de préstamo, etc.

A.1. ESPECIFICACIONES.

a) Especificaciones para los planos.

PLANO DE LA PLANTA. Se presentará dibujado por coordenadas a tinta, sobre película indeformable, a escala 1:2,000 en tramos de 5 Km. en el que figuran:

Las líneas de coordenadas horizontales.

Las curvas de nivel con equidistancia vertical de 2 metros en una faja de 60 metros de ancho.

Toponimia, linderos, cercas, caminos, líneas de conducción eléctrica, ductos, canales, edificaciones y demás accidentes a los que cruce o se acerque la línea. Los planos contiguos tendrán un traslape de dibujo topográfico de 10 centímetros.

El proyecto de línea se presentará en el mismo plano en el que figurará:

El eje de la línea.

El kilometraje cada 100 m.

Los kilómetros con aproximación al centímetro de los PC, PCC, PT, PI y PST.

Los datos de curvas circulares y clotoides.

La longitud y rumbo astronómico de las tangentes.

Las mojoneras de concreto o puntos de referencia con su número y elevación.

El esquema de referencias de cada mojonera o punto;

PLANO DEL PERFIL. Se presentará dibujado a tinta sobre papel milimétrico transparente a escalas V=1:200 y H=1:4,000 en el que figurarán:

El esquema del alineamiento horizontal con sus datos.

La línea de la superficie del terreno.

La línea de rasante.

Los volúmenes en M³ de cada corte y cada terraplen.

Las curvas verticales con sus datos.

La longitud y la pendiente de cada tramo recto.

La longitud propuesta de túneles, puentes y viaductos.

Las elevaciones y kilometrajes de los PCV, PIV y PTV.

La curva masa con sus líneas compensadoras, préstamos, desperdicios - y sobrecarreos divididos en m³ -Est., m³ -Hm. y m³ -Km.

PLANO DE SECCIONES DE CONSTRUCCION. Se presentará - dibujado a tinta sobre papel milimétrico transparente, a escala 1:100 en el que figurarán las secciones con sus kilometrajes, áreas de corte y terraplén, taludes y espesores.

En el presente trabajo sólo se dibujarán secciones tipo escogidas, en corte y terraplén y en tangente o curva, ésto es por no creerse necesario presentar todo el plano de las secciones de construcción.

b) Especificaciones geométricas.

PLANTA.

La curvatura máxima, sera la siguiente:

1°00' entre Km. 0+000 y Km. 20+000

6°00' entre km. 20+000 y km. 45+000

Se usarán las siguientes clotoides:

Entre Km. 0+000 y Km. 20+000

Grado de curvatura	Longitud m.	Variación por 10 m.
0°30'	100	0°03'00"
1°00'	200	0°03'00"

Entre Km. 20+000 y Km. 45+000

1°00'	40	0°15'00"
2°00'	40	0°30'00"
4°00'	80	0°30'00"
6°00'	80	0°45'00"

El espaciamiento de laderos de encuentro, será de aproximadamente ----

15 km.

La longitud mínima de laderos, será de 1000 m. entre puntas de agujas. La separación entre el eje de la troncal y el eje de los laderos será de 5 m.

PERFIL.

Las pendientes máximas compensadas que se establecerán son las que enseguida se indican:

Entre Km 0+000 y Km. 22+800

1.00% en ambos sentidos.

Entre Km. 22+800 y Km. 45+000

Ascendente hacia Veracruz 1.00%

Ascendente hacia México 2.00%

Las curvas horizontales se compensarán disminuyendo su pendiente a razón de 0.05% por grado de curvatura. Se usará una pendiente media uniforme que incluya a la curvatura circular y a las clotoideas.

La pendiente dentro de los túneles se compensará disminuyéndola según se tabula enseguida:

Longitud del túnel en m.	Disminución de la pendiente en %.
Hasta 200	00
Entre 200 y 300	10
Entre 300 y 400	15
Entre 400 y 500	20
Más de 500	25

En los casos en que coincidan curva horizontal y túnel, se sumarán ambas compensaciones.

Las curvas verticales serán parabólicas con las siguientes variaciones en pendiente por cada cuerda de 20 m.

Entre Km. 0+000 y Km. 22+800

Curvas cóncavas $v=0.05\%$ (Columpios)

Curvas convexas $v=0.10\%$ (cimas)

Entre Km. 22+800 y Km. 45+000

Curvas cóncavas $v=0.10\%$

Curvas convexas $v=0.20\%$

No se proyectarán curvas verticales en los casos en que la diferencia algebraica de las pendientes de las tangentes verticales por unir, sea menor que el triple de la variación.

No habrá curvas verticales con pendiente de distinto signo dentro de los túneles.

No habrá curvas verticales cóncavas con pendiente de distinto signo dentro de los cortes.

Dentro de los túneles y los cortes, no habrá pendientes menores de 0.20%.

SECCIONES.

La sección del terraplén tendrá corona de 6.60 m. de ancho y taludes de 1.5:1.

La sección del corte tendrá cama de 8.40 m. de ancho y los taludes que se consideren convenientes, según la naturaleza del terreno.

La corona o cama, tendrá una ampliación de 5 m. donde se proyecten laderos.

Las secciones pueden tomarse hasta cada 40 m. en terrenos llanos y a cada 20 ó 10 en montañosos.

Las especificaciones para proyecto geométrico de terracerías, se presentará en la parte correspondiente a el cálculo de sobreelevaciones y ampliaciones.

A.2. REGISTROS DE CAMPO.

a) Registro de trazo.

Para evitar errores, se llevará a cabo un recálculo de las curvas, comprobación de rumbos; deberán venir registrados: cruces - de caminos u otros F.F.C.C., arroyos, construcciones, linderos, etc.

Habría que calcular las coordenadas, empleando los datos correctos obtenidos de la revisión del registro de trazo; así mismo se requiere un -- nuevo cálculo de las orientaciones solares como medio de comprobación - (no se presentará este cálculo).

b) Registro de nivel.

En este registro viene el cálculo de la nivelación, en el cual hay que comprobar las elevaciones de las estaciones a cada 20 - m., así como las estaciones intermedias, cerciorarse de que todos los - bancos cuenten con su respectiva referencia, incluyendo las elevaciones en cruce de F.F.C.C. o carreteras, que servirán como auxilio para fijar la subrasante de nuestra línea, ya sea que se cruce a nivel o a desni-- vel.

c) Registro de secciones.

Una vez que se ha trazado en el terreno la línea definitiva y se ha nivelado, se procede a sacar una sección transversal del terreno en cada estación de 20 m. y en todos aquellos puntos interme--- dios en donde el terreno sea accidentado o presente cambios notables.

A.3. DATOS GEOTECNICOS.

Se hará mención solamente de los datos de suelos para el tramo correspondiente del Km. 40+000 al Km. 45+000 sin mencionar los datos que se referentes al cálculo de terracerías.

El estrato es una lutita dura y resistente con echado casi horizontal - poco fracturada de espesor indefinido, con clasificación 00-00-100, re-

comendándose un talud de 1/4:1 y un coeficiente de abundamiento de ---
1.10.

B. ALINEAMIENTO HORIZONTAL.

Los elementos que integran el alineamiento horizontal son las tangentes, las curvas circulares y las curvas de transición. - En ferrocarriles se usan mucho las líneas de transición, pues al en---
trar un tren en una curva, viniendo de una tangente, tiene un cambio - brusco de dirección, cambio que se efectúa rápidamente en perjuicio -- del equipo y la curva de transición, es aquella cuya proporción de curvatura aumenta gradualmente desde cero hasta la curva circular central, evitando los cambios bruscos de dirección.

Hay una gran cantidad de curvas de transición y si se tratara de men---
cionar todas ellas, sería demasiado extenso, por lo que sólo se presen---
tará la utilizada, en la modificación del Ferrocarril Mexicano y en el tramo antes citado.

B.1. CURVAS HORIZONTALES.

Las curvas utilizadas, son curvas circulares simples con espirales de transición, éstas están formadas por una espiral de -
entrada, una curva circular simple y una espiral de salida. Si las --
espirales de entrada y de salida son de la misma longitud, la curva es simétrica (de este tipo son las empleadas en el presente trabajo), en caso contrario, es asimétrica. En la figura V-1, se muestran los elementos de una curva circular simple con espirales simétricas, los que se calculan de la siguiente manera:

- a) Grado de curvatura de la curva circular.

$$G = \frac{1145.92}{R}$$

- b) Longitud de la espiral.

$$l_e = \frac{40 \rho}{G}$$

- c) Longitud total de la curva.

$$l = 2l_e + l_{cc}$$

$$\text{donde: } l_{cc} = \frac{\Delta}{G} 20$$

- d) Coordenadas del PCC, expresando en grados.

$$X = \frac{l_e}{100} (100 - 0.00305 \rho^2)$$

$$Y = \frac{l_e}{100} (0.582 \rho - 0.0000126 \rho^3)$$

- e) Distancia del centro de la curva circular a la tangente original.

$$D = Y + R \cos \rho$$

- f) Tangente de la espiral.

$$T = X - R \sin \rho$$

- g) Angulo de deflexión de las tangentes.

$$\Sigma = \Delta + 2 \rho$$

- h) Subtangente.

$$TST = T + D \tan \frac{\Sigma}{2}$$

- i) Diferencia entre D y R.

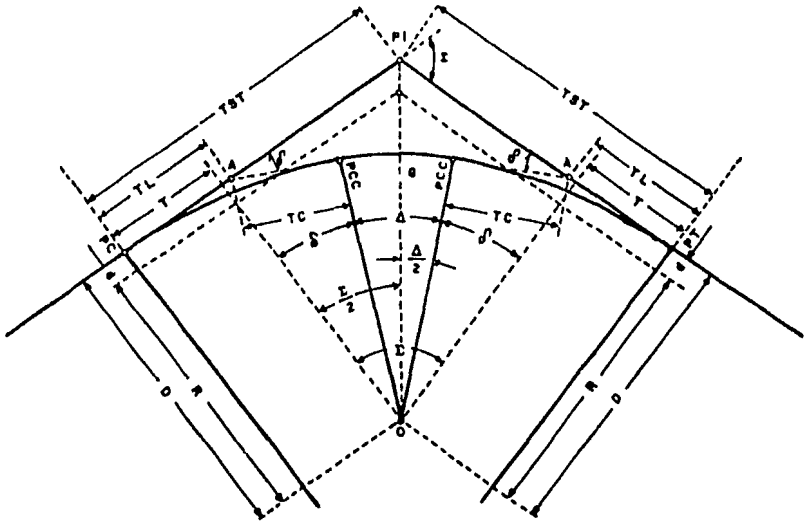
$$d = D - R$$

- j) Tangente larga.

$$TL = X - \frac{Y}{\tan \rho}$$

- k) Tangente corta.

$$TC = \frac{Y}{\sin \rho}$$



- PI = Punto de intersección de la prolongación de las tangentes.
 PC = Punto en donde comienza la curva.
 PT = Punto en donde termina la curva.
 PCC = Punto de curva circular.
 O = Centro de la curva circular.
 \mathcal{S} = Angulo central de la espiral.
 Δ = Angulo central de la curva circular.
 Σ = Angulo de deflexión de las tangentes.
 G = Grado de la curva circular central.
 TST = Subtangente.
 TL = Tangente larga.
 TC = Tangente corta.
 T = Tangente de la espiral.
 D = Distancia del centro de la curva circular central de la tan
 gente original.
 R = Radio de la curva circular central.
 d = Diferencia entre D y R.
 l_{cc} = Longitud de la curva circular central.
 l_e = Longitud de la espiral.
 L = Longitud total de la curva.

B.2. MÉTODO PARA DETERMINAR LA CURVA DE TRANSICIÓN.

La clotoide de transición adecuada en proyectos de vías férreas, determina teniendo como datos el grado de la curva circular y la velocidad de proyecto que es de 50 Kph. en el tramo estudiado. La curva de transición se puede obtener directamente de las fórmulas o de las tablas desarrolladas a partir de éstas.

Las fórmulas son:

$$\begin{aligned} \mathcal{V} &\leq \frac{100000}{3} & ; & \quad \mathcal{V} = \frac{10G}{l_e} \\ l_e &\geq 0.0001V^3G & ; & \quad l_e = \frac{10G}{\mathcal{V}} \\ \mathcal{P} &= \frac{l_e G}{40} & ; & \quad \mathcal{P} = 0.25 \frac{G^2}{\mathcal{V}} \\ e &= 0.001V^2G \end{aligned}$$

Como vía de ejemplo se presentan los cálculos para la primera curva, apreciando los resultados de las demás en el plano de la planta.

Datos: $G = 6 \text{ } 00'$
 $V = 50 \text{ Kph.}$
 $l_e = 80 \text{ m.}$

$$\mathcal{V} \leq \frac{100000}{V^3} = \frac{100000}{(50)^3} = 0.80^\circ = 0^\circ 48'$$

$$\mathcal{V} = \frac{10G}{l_e} = \frac{10(6)}{80} = 0.75^\circ = 0^\circ 45' < 0^\circ 48'$$

$$l_e \geq 0.0001V^3G = 0.0001(50)^3(6) = 75 \text{ m.}$$

$$l_e = \frac{10G}{\mathcal{V}} = \frac{10(6)}{0.75} = 80 \text{ m.} > 75 \text{ m.}$$

$$\mathcal{P} = \frac{l_e G}{40} = \frac{80(6)}{40} = 12^\circ 00'$$

$$\delta \mathcal{P} = 0.25 \frac{G^2}{\sqrt{V}} = 0.25 \frac{(6)^2}{0.75} = 12^\circ 00'$$

$$e = 0.001V^2G = 0.001(50)^2(6) = 15 \text{ cm.}$$

Finalmente resumiendo los resultados obtenidos, tenemos:

$$\mathcal{V} = 0^\circ 45'$$

$$l_e = 80 \text{ m.}$$

$$\mathcal{P} = 12^\circ 00'$$

$$e = 15 \text{ cm.}$$

Si se prefiere, se puede usar la tabla V-1 (se presenta sólo unafracción de la tabla original), donde la primera columna indica el grado G de la curva circular y los encabezados de las columnas, son la velocidad V en Kph. y la variación \mathcal{V} en grados, minutos y segundos por cada diez metros.

Las cifras que aparecen en cada casillero indican: primer renglón, longitud l_e de la clotoide en metros. Segundo renglón, ángulo central \mathcal{P} de la clotoide en grados, minutos y segundos y tercer renglón, sobre-elevación e del riel exterior en centímetros en el tramo de la curva circular.

Preferentemente se usará la clotoide que se encuentra más a la derecha - del mismo renglón, que sea permitida por \mathcal{P} y por l_e .

Para la elección de las clotoides, debe tenerse la seguridad de que la suma de los ángulos \mathcal{P} de la entrada y de la salida de cada una de las -- curvas, sea menor o en su caso, igual al ángulo central Σ .

Ya determinada la curva de transición, se procede a calcular los elementos de la curva, mediante las fórmulas o por las tablas existentes.

La tabla de donde podemos obtener los elementos de las curvas y el trazo de éstas, se escoge teniendo como datos el grado de la curva circular, la variación por cada diez metros y la longitud de la espiral.

Como ejemplo, se presenta la tabla V-1 para los siguientes datos:

$$G = 6^{\circ}00'$$

$$\sphericalangle = 0^{\circ}45'$$

$$l_e = 80 \text{ m.}$$

Cálculo de la primera curva por las fórmulas.

Datos: $PI = 40 + 092.72$

$$\Sigma = 58^{\circ}07' \text{ Der.}$$

$$G = 6^{\circ}00' \quad ; \quad \sphericalangle = 0^{\circ}45'$$

$$\rho = 12^{\circ}00'$$

$$l_e = 80 \text{ m.}$$

$$R = \frac{1145.92}{G} = \frac{1145.92}{6} = 190.99 \text{ m,}$$

$$X = \frac{l_e}{100} (100 - 0.00305\rho^2) = \frac{80}{100} [100 - 0.00305(12)^2]$$

$$X = 79.65 \text{ m.}$$

$$Y = \frac{l_e}{100} (0.582\rho - 0.0000126\rho^3) = \frac{80}{100} [0.582(12) - 0.0000126(12)^3]$$

$$Y = 5.57 \text{ m.}$$

$$D = Y + R \cos \rho = 5.57 + 190.99 \cos 12^{\circ} = 192.38 \text{ m.}$$

$$T = X - R \sin \rho = 79.65 - 190.99 \sin 12^{\circ} = 39.94 \text{ m.}$$

$$\Delta = \Sigma - 2\rho = 58^{\circ}07' - 2(12) = 34^{\circ}07'$$

$$TST = T + D \tan \frac{\Sigma}{2} = 39.94 + 192.38 \tan \frac{58^{\circ}07'}{2} = 146.83 \text{ m.}$$

$$d = D - R = 192.38 - 190.99 = 1.39 \text{ m.}$$

$$TL = X - \frac{Y}{\tan \rho} = 79.65 - \frac{5.569}{\tan 12^{\circ}} = 53.45 \text{ m.}$$

$$TC = \frac{Y}{\sin \rho} = \frac{5.569}{\sin 12^{\circ}} = 26.78 \text{ m.}$$

GRADOS DE CURVA CIRCULAR

V Km/Hora	40	45	50	60	70	
Variación Por 10 m.	0° 15'	0.4	0.5	0.6	0.9	1.0 0° 03' 45"
	0° 30'	0.8	1.0	1.3	1.8 0° 07' 30"	2.0 0° 15' 00"
	0° 45'	1.2	1.5	1.9 0° 11' 15"	2.7 0° 20' 00"	3.0 0° 33' 45"
	1° 00'	1.6	2.0	2.5	3.6 0° 30' 00"	4.9 1° 00' 00"
	1° 15'	2.0	2.5	3.1	4.5	6.2 1° 23' 45"
	1° 30'	2.4	3.0	3.8 0° 45' 00"	5.4 1° 07' 30"	7.4 2° 15' 00"
	2° 00'	3.2	4.1	5.0 1° 41' 15"	7.2 2° 00' 00"	9.8 4° 00' 00"
	2° 15'	3.6	4.6	5.6	8.1	11.0 5° 03' 45"
	2° 30'	4.0	5.1	6.3	9.0 5° 07' 30"	10.0 6° 15' 00"
	3° 00'	4.8	6.1	7.5 3° 00' 00"	10.8 4° 50' 00"	12.5 9° 00' 00"
	3° 30'	5.6	7.1	8.8	12.6 6° 07' 30"	17.2 12° 15' 00"
	4° 00'	6.4	8.1	10.0	14.4 8° 00' 00"	19.6 16° 00' 00"
	4° 30'	7.2	9.1	11.3 6° 45' 00"	16.2 10° 07' 30"	22.0
	5° 00'	8.0	10.1	12.5	18.0 12° 30' 00"	
6° 00'	9.5	12.2	15.0 12° 00' 00"	21.6 18° 00' 00"		
7° 00'	11.2	14.2	17.5			
8° 00'	12.8	16.2				
9° 00'	14.4	18.2				
10° 00'	16.0	20.3				

TABLA V.1

GRADOS DE CURVA CIRCULAR

V Velocidad Km / Hora	40	45	50	60	70
Variación Por 10 m.	1° 30' 00"	1° 00' 00"	0° 45' 00"	0° 30' 00"	0° 15' 00"
0° 15'	0.4	0.5	0.6	0.9	1.0 0° 05' 45"
0° 30'	0.8	1.0	1.3	1.8 0° 07' 30"	2.5 0° 15' 00"
0° 45'	1.2	1.5	1.9 0° 11' 15"	2.7	3.0 0° 35' 45"
1° 00'	1.6	2.0	2.5	3.6 0° 30' 00"	4.9 1° 00' 00"
1° 15'	2.0	2.5	3.1	4.5	5.0 1° 35' 45"
1° 30'	2.4 0° 22' 30"	3.0	3.8 0° 45' 00"	5.4 1° 07' 30"	6.2 2° 15' 00"
2° 00'	3.2	4.1	5.0	7.2 2° 00' 00"	8.0 4° 00' 00"
2° 15'	3.6	4.6	5.6 1° 41' 15"	8.1	9.0 5° 05' 45"
2° 30'	4.0	5.1	6.3	9.0 3° 07' 30"	10.0 6° 15' 00"
3° 00'	4.8 1° 30' 00"	6.1	7.5 3° 00' 00"	10.8 4° 30' 00"	12.0 9° 00' 00"
3° 30'	5.6	7.1	8.8	12.6 6° 07' 30"	14.0 12° 15' 00"
4° 00'	6.4	8.1	10.0	14.4 8° 00' 00"	16.0 16° 00' 00"
4° 30'	7.2 3° 22' 30"	9.1	11.3 6° 45' 00"	16.2 10° 07' 30"	19.6 22.0
5° 00'	8.0	10.1	12.5	18.0 12° 30' 00"	
6° 00'	9.6 6° 00' 00"	12.2	15.0 12° 00' 00"	21.6 18° 00' 00"	
7° 00'	11.2	14.2	17.5		
8° 00'	12.8	16.2			
9° 00'	14.4 13° 30' 00"	18.2			
10° 00'	16.0	20.3			

TABLA V. 1

$$l_{cc} = \frac{\Delta}{G} 20 = \frac{34^{\circ} 07'}{6} 20 = 113.72 \text{ m.}$$

$$L = 2 l_e + l_{cc} = 2(80) + 113.72 = 273.72 \text{ m.}$$

$$PC = PI - TST = (40 + 092.72) - 146.83 = 39 + 945.89$$

$$PT = PC + L = (39 + 945.89) + 273.72 = 40 + 219.61$$

El resumen de resultados es el siguiente:

	PI = 40 + 092.72
	$\Sigma = 58^{\circ}07'$ Der.
PC = 39 + 945.89	G = 6°00'
PCC = 40 + 025.89	$\nu = 0^{\circ}45'$
PCC = 40 + 139.61	$\mathcal{P} = 12^{\circ}00' \times 2$
PT = 40 + 219.61	$\Delta = 34^{\circ}07'$
	TST = 146.83 m.
	$l_{cc} = 113.72 \text{ m.}$
	$l_e = 80 \text{ m, } \times 2$

B.3. CALCULO DE COORDENADAS.

El cálculo de coordenadas, se hace empleando los datos correctos obtenidos de la revisión del registro de trazo definitivo; -- así mismo se requiere la orientación astronómica y las coordenadas de enlace con el tramo anterior. El cálculo de coordenadas se presenta en la tabla V-3.

CALCULO DE COORDENADAS DEL TRAZO DEFINITIVO

ESTACION	PUNTO OBSERVADO	SURTAN- GENTE ATRAS	TANGENTE	SURTAN- GENTE ADELANTE	DISTANCIA	DEFLEXIONES		RUMBO AZIMUTHICO CALCULADO	PROYECCIONES					COORDENADAS		
						IES.	DER.		COB	+N	-S	EN	+E	-W	Y	X
	39+434.02							N 39° 41' E							32 456.70	32 145.10
39+434.02	39+514.77				80.75			/	0.76959	82.14		0.63854	51.56		2 51.884	2 196.66
39+514.77	39+740.60				225.83			N 39° 41' E	/	173.80		/	144.20		2 692.64	2 340.66
39+740.60	39+888.21				225.83		88°02'	S 52° 17' E	0.61176			138.15	0.79105	178.64	2 554.49	2 519.50
39+888.21	39+945.89				57.68			/	/			35.29		45.63	2 519.20	2 565.13
39+945.89	40+092.72				146.83			S 52° 17' E	/			89.82		118.15	2 428.38	2 681.28
40+092.72	40+219.61				146.83		58°07'	S 5° 50' W	0.99482			146.07	0.10164		2 283.31	2 666.36
40+219.61	40+244.30				24.69			/	/			24.56	/	2.51	2 256.75	2 663.65
40+244.30	40+635.14				390.84			S 5° 50' W	/			388.82	/	39.72	1 859.93	2 624.13
40+635.14	40+732.74				390.84		22°32'	N 63° 18' E	0.44932	175.61		0.69337	349.17		2 045.54	2 973.30
40+732.74	40+733.30				0.56			/	/	0.25		/	0.50		2 045.79	2 973.80
40+733.30	40+855.10				121.80			N 63° 18' E	/	54.73		/	108.81		2 100.52	3 082.61
40+855.10	40+966.97				121.80		46°06'	S 70° 36' E	0.33216			40.48	0.94322	114.88	2 080.06	3 187.48
40+966.97	40+981.67				14.70			/	/			4.88	/	13.87	2 059.10	3 211.36
40+981.67	41+168.52				186.85			S 70° 36' E	/			62.08	/	176.24	1 993.12	3 387.60
41+168.52	41+310.78				186.85		74° 44'	N 34° 40' E	0.82248	153.68		0.56880	108.28		2 146.80	3 493.08
41+310.78	41+328.91				18.13			/	/	14.91		/	10.31		2 161.71	3 504.18
41+328.91	41+463.37				134.46			N 34° 40' E	/	110.59		/	76.48		2 272.30	3 560.67
41+463.37	41+583.35				134.46		52°20'	N 17° 40' W	0.95284	128.12		0.30346		40.81	2 400.42	3 539.86
41+583.35	41+593.02				9.67			/	/	9.21		/	2.93		2 409.63	3 536.83
41+593.02	41+692.00				98.98			N 17° 40' W	/	94.31		/		30.04	2 503.94	3 508.88
41+692.00	41+784.95				98.98		39°35'	N 21° 55' E	0.92773	91.83		0.37328	38.95		2 595.77	3 543.84
41+784.95	41+822.21				37.28			/	/	34.57		/	13.91		32 630.34	33 557.75
41+822.21	41+820.50	At I G														
41+820.50	41+984.42	Ad I G			163.92			N 21° 55' E	0.92773	152.07		0.37328	61.18		2 782.41	3 618.93
41+984.42	42+119.17				163.92		85°38'	N 43° 41' W	0.72317	118.54		0.69067		113.21	2 900.95	3 505.72
42+119.17	42+144.56				25.39			/	/	18.36		/	17.54		2 918.31	3 488.18
42+144.56	42+296.43				151.87			N 43° 41' W	/	109.83		/	104.89		3 028.14	3 383.28
42+296.43	42+425.83				151.87		80°23'	N 16° 42' E	0.95782	143.46		0.28738	43.64		3 174.80	3 426.93
42+425.83	42+622.61				196.78			/	/	188.46		/	56.55		3 363.08	3 483.48
42+622.61	42+748.04				125.43			N 16° 42' E	/	120.14		/	36.04		3 483.22	3 519.22
42+748.04	42+862.33				125.43		47°55'	N 64° 37' E	0.42867	53.77		0.90346	113.32		3 536.99	3 632.84
42+862.33	42+880.77				18.44			/	/	7.90		/	16.88		3 544.89	3 649.90
42+880.77	43+019.22				138.45			N 64° 37' E	/	89.55		/	125.08		3 604.24	3 774.58
43+019.22	43+147.56				138.45		37°21'	N 27° 16' E	0.88888	123.07		0.45813	63.43		33 727.31	33 838.01
SUMAS								350°53' 336°128'		2200.72	930.11		2039.48	366.57		

CALCULO DE COORDENADAS DEL TRAZO DEFINITIVO

ESTACION	PUNTO OBSERVADO	SUBTAN- GENTE ATRAS	TANGENTE	SUBTAN- GENTE ADELANTE	DISTANCIA	DEFLESIONES		RUMBO ASTRONOMICO CALCULADO	PROYECCIONES					COORDENADAS		
						IZQ.	DER.		COB	+N	-S	SEN	+E	-W	Y	X
	43+147.56							N 27°16' E							3 3727.31	3 3838.01
43+147.56	43+375.61				228.05			/	0.88888	202.71		0.45813	104.48		3930.02	3942.49
43+375.61	43+479.40				103.79			N 27°16' E	/	92.26		/	47.55		4022.28	3990.04
43+479.40	43+542.04				67.91	37°56'		N 10°40' W	0.98272	66.74		0.18509		12.57	4089.02	3977.47
43+542.04	43+733.03				190.99			/	/	187.69		/	35.35	4276.71	3942.12	
43+733.03	43+842.04				190.99	90°00'		S 79°20' W	0.18509		35.35	0.98272		187.69	4241.36	3754.43
43+842.04	44+034.42				192.38			/	/		35.61	/		189.06	4205.75	3565.37
44+034.42	44+182.04				192.38	90°00'		S 10°40' E	0.98272	189.06	0.18509		35.61	34016.69	3600.98	
44+182.04	44+347.00				164.98			/	/	162.11	/		30.53	33854.58	3631.51	
44+347.00	44+541.25				194.25			S 10°40' E	/	190.89	/	35.95		3663.69	3667.46	
44+541.25	44+685.22				194.25	77°28'		S 66°48' W	0.39394	76.52	0.91914		178.54	3587.17	3488.92	
44+685.22	44+856.49				171.27			/	/	87.47	/		157.42	3519.70	3331.50	
44+856.49	45+059.40				202.91			S 66°48' W	/	79.93	/		186.50	3439.77	3145.00	
45+059.40	45+231.99				202.91	59°06'		S 7°42' W	0.99098	201.08	0.13399		27.19	3238.69	3117.81	
45+231.99	45+403.18				171.19			S 7°42' W	0.99098	169.65	0.13399		22.94	33069.04	33094.87	
SUMAS							276°62' 77°28'			549.40	1207.67		254.12	997.26		

C. ALINEAMIENTO VERTICAL.

El iniciarse el estudio del alineamiento vertical en un tramo, deben tener dibujados: el esquema del alineamiento horizontal con los datos correspondientes a las curvas horizontales y el perfil longitudinal del terreno y los datos referentes a los suelos.

El objeto de tener junto con el perfil, el desarrollo horizontal con sus datos respectivos, es para poder proyectar mejor la subrasante.

C.1. CURVAS VERTICALES.

Económicamente es imposible construir un ferrocarril con pendiente uniforme, como lo es, en planta, construirlo es línea recta. En planta, es indispensable enlazar con curvas los tramos rectos y en perfil, es muy conveniente enlazar con curvas verticales las distintas pendientes, con objeto de pasar insensiblemente de una pendiente a otra, eliminándose con ésto, los choques o tirones bruscos entre los carros y entre éstos y la locomotora. La vía, igualmente - sufre mucho si no hay curva vertical de transición. Mientras mayor - desarrollo tenga la curva vertical, menos sufrirán el equipo y la vía, pero; en general, mayor será la cantidad de terracerías y por lo tanto, mayor será el costo de construcción de la vía, aquí radica la importancia de obtener el desarrollo óptimo de la curva.

Las curvas verticales utilizadas, son del tipo parabólico de ecuación.

$y = Kx^2$ y hay dos casos de considerar:

1º Cuando el punto de intersección de las pendientes está hacia abajo (curvas cóncavas) y que se denominan "columpios".

2º Cuando está hacia arriba (curvas convexas) y que se denominan "cimas".

Se mencionarán dos métodos para calcular curvas verticales parabólicas y son:

a) METODO DE CALCULO POR VARIACION PARABOLICA.

Fijando de antemano las variaciones de pendiente por cada 20 m. para aplicar el método, deben transformarse las pendientes de las tangentes por enlazar, que se expresan en "porciento", en "pendientes por veinte", con objeto de hacer homogéneos los datos; para esto, divídanse las pendientes en porciento, entre 5 ó multiplíquense -- por 0.2.

Por otro lado, el número de cuerdas o estaciones, conviene sea entero, pero además debemos indicar que en algunos casos conviene que sea par y en otros impar. Conviene que sea par cuando PIV (Punto de Intersección de las tangentes por enlazar), se haya localizado en una estación completa de 20 m. e impar, cuando ha sido localizada en una media estación de 10 m. Lo anterior, con el objeto de que las cuerdas coincidan con las estaciones que se marcan en el terreno, facilitándose con esto las operaciones numéricas. Esto es válido también para el método tradicional para calcular curvas parabólicas.

El método es como sigue: divídase la diferencia algebraica "D" de las pendientes de las tangentes por enlazar (ya transformadas en pendientes por veinte), entre la variación "V" que se elija; si el cociente es entero y par y el PIV se localizó en estación completa, ese cociente representará el número de cuerdas "N" de 20 m. que debe tener la parabólica y "V" la variación definitiva y si es impar o fraccionario, tómese el número par inmediato superior a "A" y vuélvase a dividir "D" entre "N", el cociente representará la variación definitiva "V" que -- debe adoptar. A la pendiente de una de las tangentes, se le suma o se le resta según el caso, la semivariación y se sigue sumando o restando la variación para ir obteniendo las pendientes de las cuerdas; a la pendiente de la última cuerda, se le suma o se le resta la semivariación y se debe encontrar, como comprobación numérica, la pendiente de la última tangente. Si el PIV se localizó en una media estación, el número de cuerdas debe ser impar, procediéndose de la misma manera para determinar las pendientes de las cuerdas.

b) METODO TRADICIONAL PARA CALCULAR PARABOLAS.

Las curvas verticales, como se dijo anteriormente, son parábolas de la forma $y = Kx^2$ en que:

$$K = \frac{P_s - P_e}{10 N}$$

donde: P_s = Pendiente de salida.

P_e = Pendiente de entrada.

N = Número de estaciones de 20 m.

La longitud mínima que puede tener la curva vertical, será en estaciones cerradas, la diferencia algebraica de pendientes. Si con esta forma de calcular la curva no se obtiene la deseada, se alargará a discreción hasta obtener la curva tan suave como se requiera.

Existen otros procedimientos para el cálculo de la longitud de las curvas verticales en cima o en columpio, que relacionan la velocidad y la diferencia algebraica de pendientes. Sin embargo, en ferrocarriles, las curvas verticales adquieren gran importancia, por lo tanto, para obtener un número de estaciones adecuado, se usará la siguiente expresión:

$$N = \frac{P_s - P_e}{v}$$

Obteniendo el número de estaciones "N", se calcula la constante "K", con el mayor número posible de decimales. Posteriormente se enumeran las estaciones de la curva: $x = 0, 1, 2, 3, 4$, etc., siendo el PCV, la estación "0", se elevan al cuadrado, siendo conveniente que sea con un mínimo de 4 decimales. El siguiente paso, es multiplicar la constante K , por las "x" elevadas al cuadrado, obteniendo la corrección para cada punto, corrección que se sumará o se restará a la cota de la tangente vertical de entrada, según sea cima o culumpio respectivamente.

C.2. OBTENCION DE CURVAS VERTICALES.

Se calculará la curva vertical correspondiente al ---
 PIV = 41 + 920, por el método por variación parabólica, ya que por el
 método tradicional, se ejemplifica en la tabla de cálculo de subrasan-
 te y curva masa.

Se presenta el cálculo por los dos métodos para mostrar la confiabili-
 dad de cualquiera de ellos.

$$\text{Datos: } PI = 41 + 920$$

$$V = 0.20 \% = 0.04 \text{ p/v en cima.}$$

$$P_S = -2.2 \% = -0.44 \text{ p/v}$$

$$P_E = -0.3 \% = -(-0.06) \text{ p/v}$$

$$D = -0.38 \text{ p/v}$$

$$N = \frac{D}{V} = \frac{-0.38}{0.04} = 9.5 \doteq 10$$

$$V = \frac{-0.38}{10} = -0.038 \text{ p/v}$$

$$V/2 = -0.019 \text{ p/v}$$

Estación	Pendiente (P/V)	Elevacion Subrasante
	Tangente	
	— 0.06	1999.91
	V/2 = — 0.019	
1	— 0.079	99.831
	V = cte = — 0.036	
2	— 0.117	99.714
3	— 0.155	99.559
4	— 0.193	99.366
5	— 0.231	99.135
6	— 0.269	98.866
7	— 0.307	98.559
8	— 0.345	98.214
9	— 0.383	97.831
PTV	— 0.421	1997.41
V/2	Tangente	
	V/2 = — 0.019	
	— 0.44	

Las elevaciones se aproximarán al centímetro , que es lo -
que en la práctica se necesita.

D. SECCIONES TRANSVERSALES.

Por medio del proyecto de la subrasante, podemos conocer el espesor, que resulta de la diferencia entre las elevaciones de la línea de la subrasante y el perfil del terreno. Una vez obtenidos los espesores, se pasan estos datos al plano respectivo y se procede a proyectar las secciones, de acuerdo con el espesor, las sobre-elevaciones, las ampliaciones, los taludes para terraplenes y para cortes y las indicaciones que se proporcionan através de organizaciones especializadas en suelos.

D.1. BOMBEO.

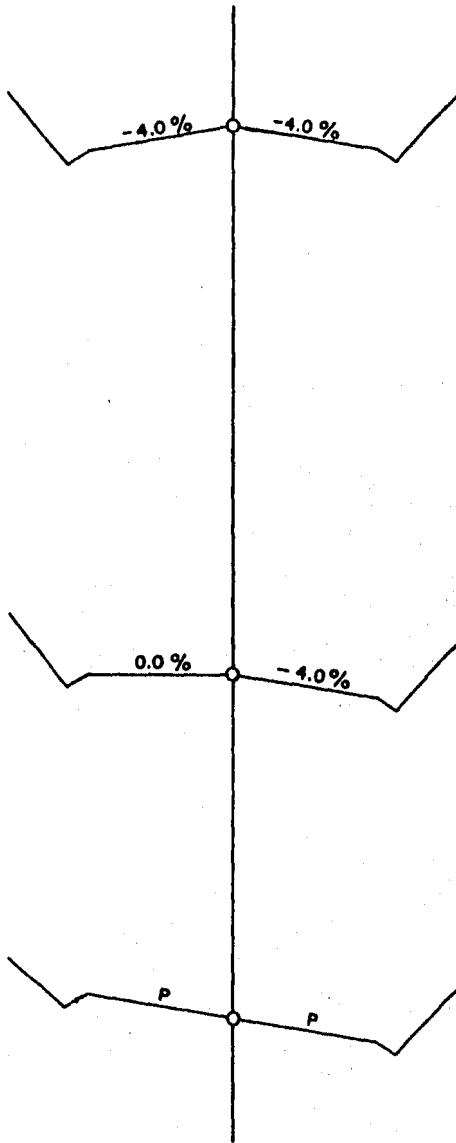
El bombeo, es la pendiente que se le dá a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno y otro lado de la subrasante, para evitar la acumulación del agua en la corona del terraplén.

El bombeo de la terracería en tangente, será de -4.0% a cada lado del eje de la vía (ver figura V-2) hasta el punto "N" que es en donde empieza la transición.

Entre el punto "N" y el principio de la espiral (PC ó PT), el lado exterior de la curva variará de -4.0% hasta 0.0% y el lado interior de la curva, se conservará con el -4.0 %.

Entre el principio de la espiral (PC ó PT) y el principio de la curva circular PCC, el lado exterior variará de 0.0% hasta la sobre-elevación máxima (dada como especificación de la tabla V-4) y el lado interior de la curva, variará de -4.0% hasta la sobre-elevación máxima.

La curva circular conservará la sobre-elevación máxima de acuerdo con la velocidad del tramo y el grado de curvatura.



Punto N

Distancia máxima a 20 m., en caso de tangentes menores de 40 m. sitúese el Punto N al centro de la tangente.

En los casos de curvas inversas, sin tangente intermedia, la sección común de PC y PT será a nivel.

PC o PT

Distancia variable igual a la longitud de la espiral.

PCC

Fig. V.2 BOMBEO DE TERRACERIAS

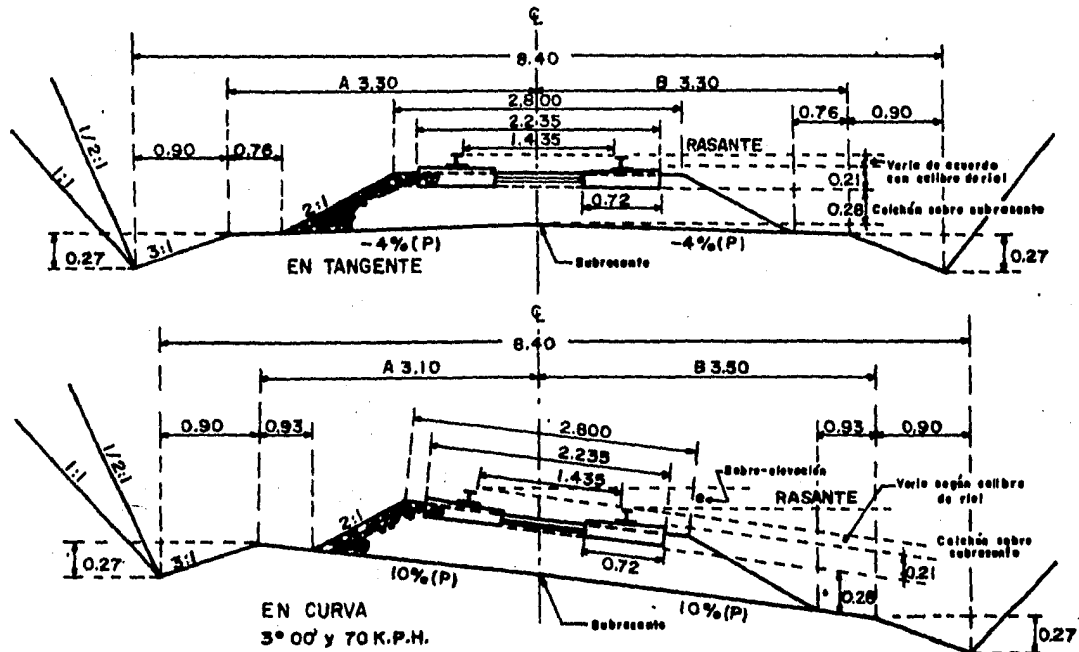
VELOCIDAD 50 K. P. H.						
GRADO			CORTE		TERRAP.	
	e	P	A	B	A'	B'
°			3.30	3.30	3.30	3.30
0° 30'	1.2	4%	3.28	3.32	3.28	3.32
1° 00'	2.5	4%	3.27	3.33	3.27	3.33
1° 30'	3.7	4%	3.25	3.35	3.25	3.35
2° 00'	4.9	4%	3.23	3.37	3.23	3.37
2° 30'	6.2	4%	3.22	3.38	3.22	3.38
3° 00'	7.4	5%	3.20	3.40	3.20	3.40
3° 30'	8.6	6%	3.18	3.42	3.18	3.42
4° 00'	9.8	7%	3.17	3.43	3.17	3.43
4° 30'	11.1	8%	3.15	3.45	3.15	3.45
5° 00'	12.3	9%	3.13	3.47	3.13	3.47
6° 00'	14.8	10%	3.10	3.50	3.10	3.50

TABLA V-4. Para obtención de sobre-elevación, pendiente transversal y dimensiones para secciones.

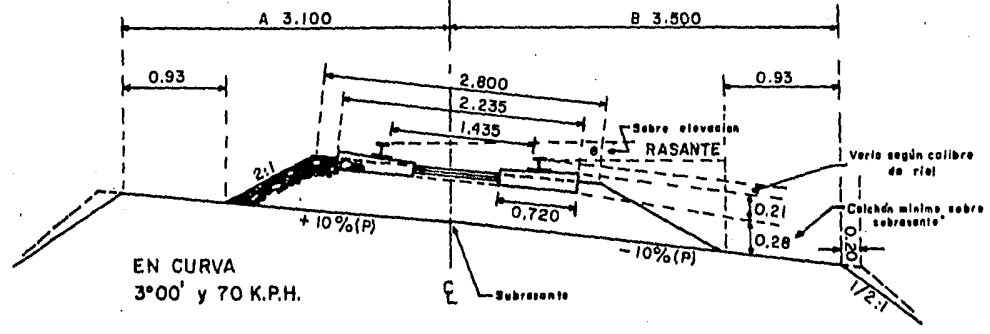
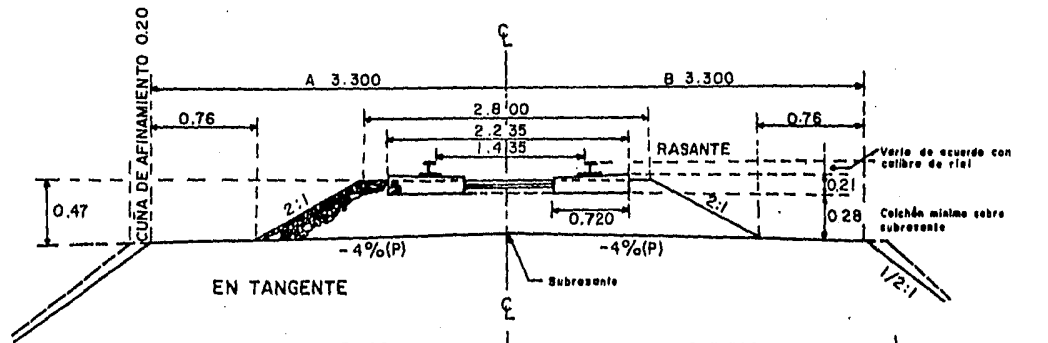
Por especificación, se usarán tablas para la obtención de sobre-elevación, pendiente transversal de terracería, dimensiones para secciones de corte y terraplén en función del grado de curvatura y la velocidad del tramo, para trenes mixtos y de carga. Se presenta solamente la tabla V-4 para la velocidad de proyecto del tramo estudiado.

ESPECIFICACIONES PARA PROYECTO GEOMETRICO DE TERRACERIAS

SECCION TIPO EN CORTE



SECCION TIPO EN TERRAPLEN



D.2. SOBRE-ELEVACIONES Y AMPLIACIONES.

Para el cálculo de sobre-elevaciones y ampliaciones, se necesitan los datos de curva y la velocidad de proyecto, con éstos se procederá a usar el método descrito en el inciso de bombeo. Obteniéndose las sobre-elevaciones y ampliaciones de estaciones intermedias. Se presenta solamente el cálculo de una curva hacia la izquierda y otra hacia la derecha para ilustrar el procedimiento de cálculo, se puede ver en la Tabla V-5.

D.3. DETERMINACION DE AREAS.

Dentro de los distintos procedimientos para determinar áreas, los siguientes son los más comunes:

a) Método del planímetro.

Por la rapidez de su operación y por la precisión que que proporciona, el planímetro es el instrumento que más se presta para la determinación de las áreas. De los distintos tipos existentes, el polar de brazo ajustable es el más empleado.

b) Método gráfico.

La sección se divide en trapecios y dos triángulos extremos, mediante líneas verticales a una separación constante. La aplicación del método, consiste en acumular distancias, marcándolas en una tirilla de papel; una vez efectuada esta operación en toda la sección, la distancia entre las marcas extremas en la tirilla, multiplicada por la equidistancia, define el área total de la sección.

c) Método analítico.

Este método se basa en la descomposición de la sección, en figuras regulares obtenidas al trazar líneas verticales por los puntos de quiebre del terreno y de la sección de construcción.

PROYECTO DE SECCIONES

	ESTACION	G	VEL.DE PROY.	SOBREELEVACION		AMPLIACION		TRANSI- CION	OBSERVA- CIONES
				IZQ.	DER.	IZQ.	DER.		
N	42+ 871.55			0.00	0.00			0.00	
	+ 880			- 0.66	+ 0.66			8.45	
PC	42+871.77			- 0.72	+ 0.72	3.30	3.30	9.22	
	+900			- 2.23	+ 2.23	3.33	3.27	28.45	
	+920			- 3.80	+ 3.80	3.36	3.24	48.45	
	+940			- 5.37	+ 5.37	3.40	3.20	68.45	
	+960			- 6.94	+ 6.94	3.43	3.17	88.45	
PCC	42+960.77	I		- 7.00	+ 7.00	3.43	3.17	89.22	
		4	50						
PCC	43 +067.56			- 7.00	+ 7.00	3.43	3.17	80.00	
	+080			- 6.53	+ 5.91	3.41	3.19	67.56	
	+100			- 5.78	+ 4.16	3.38	3.22	47.56	
	+120			- 5.03	+ 2.41	3.34	3.26	27.56	
	+140			- 4.28	+ 0.66	3.31	3.29	7.56	
PT	43 +147.56			- 4.00	0.00	3.30	3.30	0.00	
	+160			- 4.00	- 2.49			12.44	
N	43+167.56			- 4.00	- 4.00			20.00	

	ESTACION	G	VEL.DE PROY.	SOBREELEVACION		AMPLIACION		TRANSI- CION	OBSERVA- CIONES
				IZQ.	DER.	IZQ.	DER.		
N	44 + 327			- 4.00	- 4.00			20.00	
	+ 340			- 1.40	- 4.00			7.00	
PC	44 + 347			- 0.00	- 4.00	3.30	3.30	0.00	
	+ 360			+ 1.63	- 4.98	3.27	3.33	13.00	
	+ 380			+ 4.13	- 6.48	3.22	3.38	33.00	
	+ 400			+ 6.63	- 7.98	3.17	3.43	53.00	
	+ 420			+ 9.13	- 9.48	3.12	3.48	73.00	
PCC	44 + 427	D		+ 10.00	- 10.00	3.10	3.50	80.00	
		6	50						
PCC	44 + 605.22			+ 10.00	- 10.00	3.10	3.50	80.00	
	+ 620			+ 8.15	- 8.89	3.14	3.46	65.22	
	+ 640			+ 5.65	- 7.39	3.19	3.41	45.22	
	+ 660			+ 3.15	- 5.89	3.24	3.36	25.22	
	+ 680			+ 0.65	- 4.39	3.29	3.31	5.22	
PT	44 + 685.22			+ 0.00	- 4.00	3.30	3.30	0.00	
	+ 700			- 2.96	- 4.00			14.78	
N	44 + 705.22			- 4.00	- 4.00			20.00	

TABLA V.5

SECCIONES EN CURVA

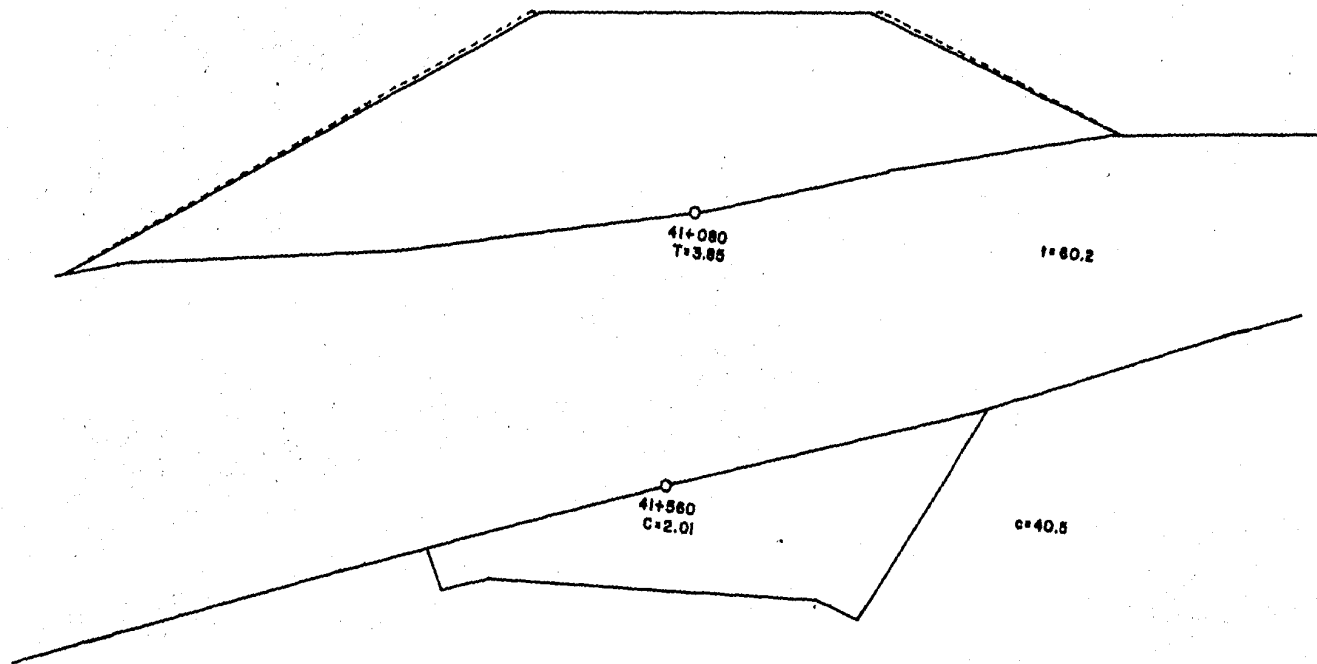
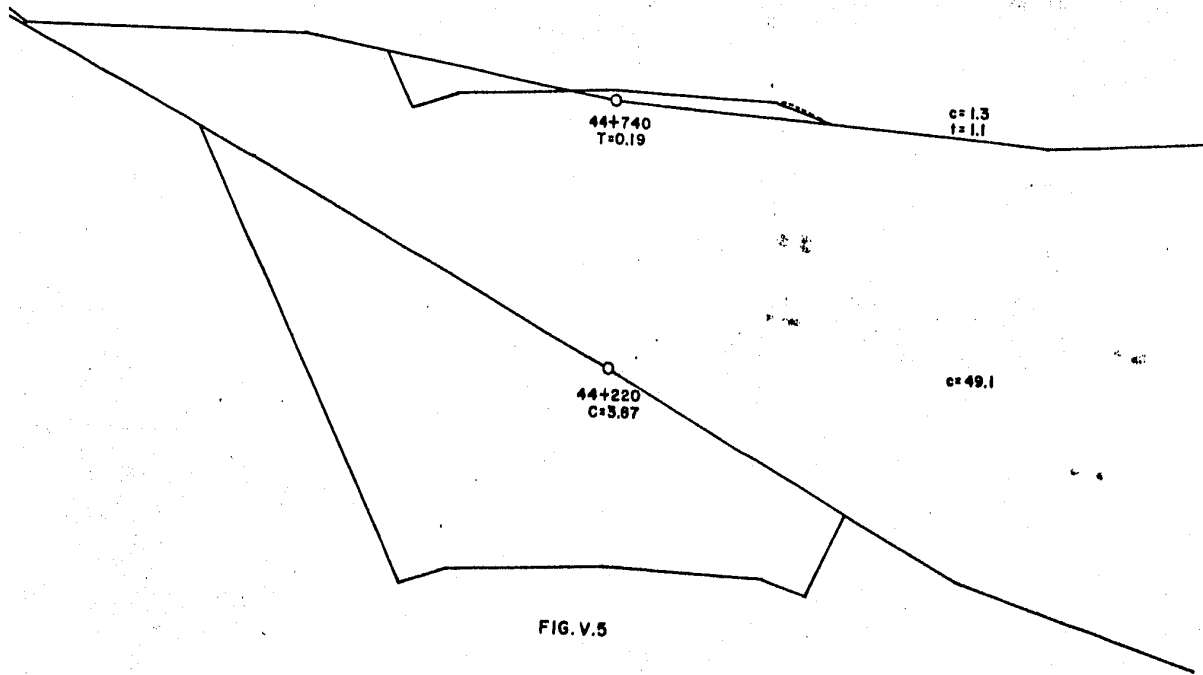


FIG. V. 4

SECCIONES EN TANGENTE



Por su naturaleza, este método es útil cuando las áreas de las secciones se calculan con la ayuda de una computadora, ya que si el cálculo se hace manualmente, el método puede resultar muy elaborado.

Como se dijo en la parte de especificaciones, no se presentará el plano completo de secciones, así que sólo se ilustran dos en curva con las estaciones 41+080 y 41+560 y dos en tangente con las estaciones 44+740 y 44+220, siendo en cada uno de los casos, una en terraplén y la otra en corte y se pueden ver en las Fig. V-4 y V-5 respectivamente.

E. CURVA MASA.

El diagrama de masas, es una curva cuyas ordenadas equivalen a los volúmenes acumulados de las terracerías correspondientes al cadenamamiento, que representa las abscisas.

E.1. CALCULO DE VOLUMENES.

Conociendo las áreas de las diferentes secciones transversales por cualquiera de los procedimientos ya indicados, se procede al cálculo de los volúmenes de tierra por mover.

El cálculo de los volúmenes entre dos estaciones consecutivas, se hace suponiendo que son prismas regulares por lo que el volumen será:

$$V = (A_1 + A_2) \frac{d}{2}$$

en donde: $V =$ Volumen en m^3 (redondeando al m^3).

$A_1 =$ Area de la sección 1.

$A_2 =$ Area de la sección 2.

$d =$ Distancia o diferencia de cadenamamiento entre A_1 y A_2 .

E.2. COEFICIENTE DE VARIABILIDAD VOLUMETRICA.

Determinados los volúmenes y para fines de compensación del material por excavar con los rellenos a efectuar, se requiere la homogeneización de valores entre excavaciones y rellenos, ya -- que los materiales al ser movidos del lugar donde han permanecido por largo tiempo, abundan o reducen, al ser extraídos. Este cambio se es tima mediante estudios geotécnicos, dando por resultado coeficientes de variabilidad volumétrica que se utilizará para homogeneizar, de -- acuerdo con la forma en que vayamos a utilizar el material producto - de los cortes; ésto también definirá el cálculo de una sola o más or denadas de curva masa.

E.3. ORDENADA DE CURVA MASA.

La ordenada de curva masa, es una estación determina da, es la suma algebraica de los volúmenes de terraplén y de corte; - estableciéndose que los volúmenes de corte son positivos y los de terraplén negativos.

Esta ordenada servirá para dibujar el diagrama de masas en un sistema de coordenadas rectangulares.

E.4. PROPIEDADES DE LA CURVA MASA.

De la forma como se construye la curva, resultan evi dentes las siguientes propiedades:

a) En los límites de un corte, la curva crece de iz quierda a derecha y decrece cuando es terraplén.

b) En las estaciones donde hay cambio de corte a te rraplén, habrá un máximo y donde hay cambio de terraplén a corte, se presentará un mínimo.

CALCULO DE RASANTE Y CURVA MASA

ESTACION	ELEVACION TERRENO	TANG. VERTICAL		CURVA VERTICAL CORRECCION	ELEVACION RASANTE	ESPESESOR CORTE TEAR	AREAS			A + A			D Z	VOLUMEN			COEF. ABUM. O REDUC.			VOL. AB. O RED.		SUMA ALG.		ORDENADA CURVA MASA		
		PEND.	COTAS				ESTRATOS			TERRA-PLEN	ESTRATOS			TERRA-PLEN	ESTRATOS			TERRA-PLEN	TOTAL CORTE	TERRA-PLEN	T+1 CORTE	T-1 TEAR				
							1	2	3		1	2			3	1	2						3			
+ 43	160	2044.36			1971.47	72.89																				
+ 180	44.35				71.02	73.33																				
+ 200	43.35	- 2.22			70.57	72.76																				
+ 220	42.22				70.12	72.13																				
+ 240	38.12				69.67	68.45																				
+ 260	65.25				69.22	76.32																				
+ 280	72.32				68.77	104.81																				
+ 300	81.02				68.32	112.77																				
+ 320	88.22				67.87	121.02																				
+ 340	88.02				67.42	129.87																				
+ 360	107.80	PIV	1.98462	S/C	12.12	130.83																				
+ 380	117.51				66.92	120.98																				
+ 400	128.12				66.47	120.02																				
+ 420	132.90				66.02	117.22																				
+ 440	134.22				65.57	112.02																				
+ 460	128.82	- 2.2			64.72	87.12																				
+ 480	115.73				64.27	221.41																				
+ 500	103.03				63.82	126.15																				
+ 520	88.02				63.37	224.81																				
+ 540	68.85				62.92	105.85																				
+ 560	24.22				62.47	81.88																				
+ 580	44.88				62.02	82.72																				
+ 600	34.22				61.57	74.82																				
+ 620	23.22				61.12	82.02																				
+ 640	2007.22				60.67	46.62																				
+ 660	1922.81				60.22	28.42																				
+ 680	79.34				59.77	19.42																				
+ 692	75.86				59.32	16.00																				
+ 700	73.83				58.87	14.35																				
+ 720	68.55				59.04	7.49																				
+ 740	61.32				58.60	2.78																				
+ 760	60.47				58.16	2.31																				
+ 780	63.20				57.72	5.78																				
+ 800	70.51				57.28	13.23																				
+ 820	78.00				56.84	21.16																				
+ 840	76.22				56.40	20.18																				
+ 860	71.12				55.96	15.22																				
+ 880	68.22				55.52	11.20																				
+ 900	64.35				55.08	9.25																				
+ 920	68.53				54.64	11.89																				
+ 940	71.32				54.20	17.19																				
+ 960	77.02				53.76	23.32																				
+ 980	78.86				53.32	23.34																				
SUMAS	27422.57				84378.20	20487																				

3043.97

54821

CALCULO DE RASANTE

c) Cualquier línea horizontal que corte a la curva, marcará dos puntos entre los cuales habrá compensación, es decir, entre ellos el corte igualará al terraplén.

d) La diferencia de ordenadas entre dos puntos, representará el volúmen de la diferencia de terracerías dentro de la -- distancia comprendida entre esos puntos.

e) Cuando la curva queda encima de la línea horizontal que se estudia, los transportes o acarrees de materiales se harán hacia adelante y cuando la curva quede abajo de esa horizontal, los transportes se harán hacia atrás.

f) El área comprendida entre la curva masa y una horizontal cualquiera, representa el volúmen por longitud media de acarreo.

F. MOVIMIENTO DE TIERRAS.

Después de fijar la o las compensadoras a lo largo - del tramo que se está trabajando y de ligar con la curva de masas de los tramos adyacentes, procedemos a determinar las distancias medias de acarreo de todos y cada uno de los movimientos de tierra resultantes, así como a asignarles un número o letra, para su identificación.

F.1. ACARREO LIBRE.

Es la distancia máxima a la que puede ser transportado un material, estando el precio de esta operación incluido en el de la excavación. La distancia de acarreo libre es de 20 m.; ésta se -- representa por medio de una horizontal en la zona inmediata a los --- máximos o mínimos de la curva masa.

F.2. SOBRECARRERO.

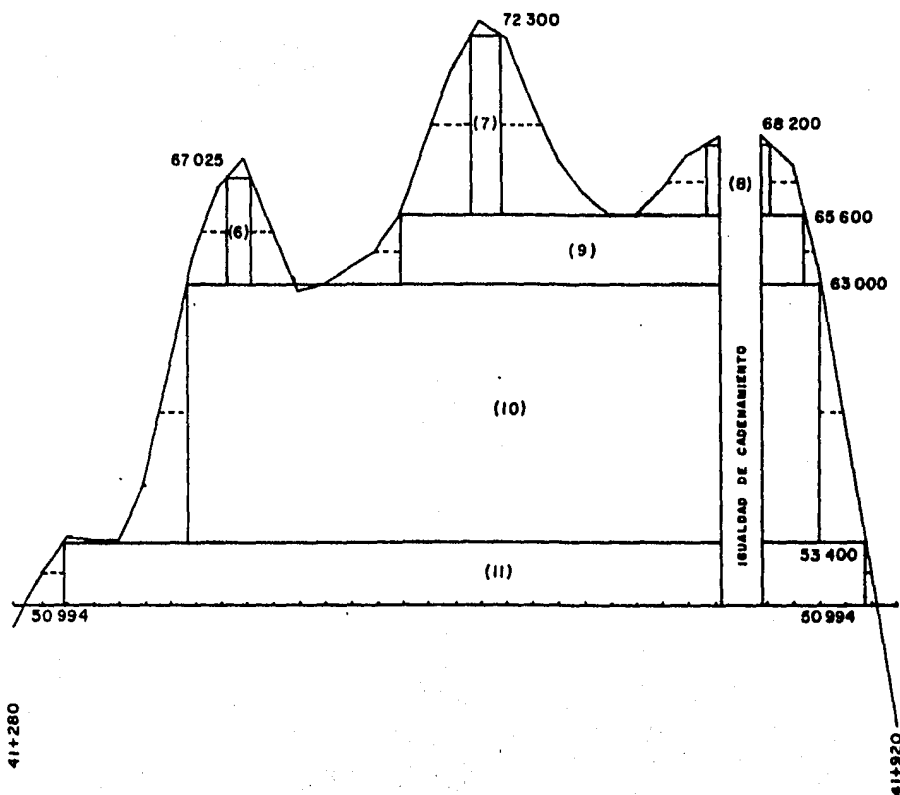
Todo el material que se traslada de un corte o un préstamo a un terraplén, a distancia mayor que la del acarreo libre, se le denomina sobrecarreo.

Para determinar la distancia media de sobrecarreo, se divide por la mitad la ordenada comprendida entre la línea de compensación y la línea del acarreo libre; por el punto medio (centro de gravedad), se traza una horizontal que estará limitada en sus extremos por la curva del diagrama. Se mide la longitud de esta horizontal y se le resta la longitud del acarreo libre; la resultante es la distancia de sobrecarreo.

Las unidades de medida de las distancias de sobrecarreo, son las siguientes:

Distribución de centro a centro de gravedad	Unidad
De 20 a 120 metros	m ³ - Est.
De 120 a 520 metros	m ³ - Hm.
Mayor de 520 metros	m ³ - Km.

Enseguida se presenta una parte de la curva masa que comprende de la estación 41 + 280 a la estación 41 + 920, donde se encuentran marcados gráficamente el acarreo libre y el sobrecarreo, además de la forma de calcularlos de acuerdo a las unidades ya mencionadas.



$$(6) \quad S/A = \frac{67025 - 63000}{1,10} \times 1,8 \text{ Est.} = 6586 \text{ m}^3 - \text{Est.}$$

$$(7) \quad S/A = \frac{72300 - 65600}{1,10} \times 3,0 \text{ Est.} = 18273 \text{ m}^3 - \text{Est.}$$

$$(8) \quad S/A = \frac{68200 - 65600}{1,10} \times 2,0 \text{ Est.} = 4727 \text{ m}^3 - \text{Est.}$$

$$(9) \quad S/A = \frac{65600 - 63000}{1.10} \times 2.8 \text{ Hm} = 6618 \text{ m}^3 - \text{Hm}$$

$$(10) \quad S/A = \frac{63000 - 53400}{1.10} \times 4.2 \text{ Hm} = 36655 \text{ m}^3 - \text{Hm}$$

$$(11) \quad S/A = \frac{53400 - 50994}{1.10} \times 0.6 \text{ Km} = 1312 \text{ m}^3 - \text{Km}$$

Los demás volúmenes a mover y la curva masa completa, están en el plano del perfil. (Ver apéndice B)

Conociendo el movimiento de tierras que se desprende del proyecto geométrico y antes de proceder a la construcción, se requiere tener los siguientes proyectos, los cuales solamente se mencionan por estar fuera del alcance de este trabajo:

- 1.- Drenaje y Alcantarillado
- 2.- Puentes
- 3.- Túneles
- 4.- Superestructura de la vía férrea
- 5.- Tendido de la vía.

C O N C L U S I O N E S

1.- La resctificación propuesta a la línea de la División del Ferrocarril Mexicano (Ruta D), tiene un ahorro en el costo de operación del flete medio de \$10.50/TB y la rectificación de la línea de la División Jalapa, tiene un ahorro en el costo de \$5.56/TB y -- \$5.31/TB para 2.5% y 2.0% de pendiente respectivamente, estos beneficios comparados con respecto al costo de operación actual que se tiene en la División Jalapa.

2.- La tasa interna de retorno, para la inversión que se requiere para llevar a cabo cada uno de los proyectos, indica que es del 10.90% para la rectificación del Mexicano y de 10.20% y 3.90% para las rectificaciones de la División Jalapa.

3.- Teniendo el proyecto de rectificación del Ferrocaa

rril Mexicano, el mayor ahorro en el costo de operación del flete medio y la tasa interna de retorno más alta, se considera que es la alternativa más viable, además que cualquier rectificación que se intente a la línea de la División Jalapa (Ruta B), de acuerdo con los proyectos analizados, implicará que el tráfico del Sureste con destino al centro y norte del país, siga dando un rodeo de 110 Km. con respecto al proyecto de rectificación de la línea del Mexicano (Ruta D).

Para la alternativa de rectificación de la Ruta B al 2,0%, se ha planteado como complemento, la construcción de una nueva línea entre Tamarrindo y Chinameca, denominada Costera Sur del Golfo, de 200 Kms. de longitud y costo aproximado de 2,000 millones de pesos en el año de 1980. Esta línea no se justifica debido a que la línea VCI, tiene que seguir operando con su conservación a cuenta de la línea propuesta. Además, la línea Costera Sur del Golfo, en caso de que en un futuro pudiera justificarse, sería igualmente complementaria de cualquiera de las dos líneas a Veracruz, de la misma manera que lo sería la línea Costera Norte del Golfo, entre Veracruz y Tampico.

4.- Al rectificarse el Ferrocarril Mexicano, puede considerarse a futuro, la conveniencia de levantar ciertos tramos de la red del Altiplano correspondiente al Estado de Puebla, si se piensa en una troncal repartidora de alta densidad a operar en el futuro con vía doble, señales y fuerza tractiva eléctrica. Tal línea consideraría los siguientes puntos: México, Teotihuacán, San Lorenzo, C. Calderón, Apizaco, San Marcos, Los Reyes, C. Morelos y Córdoba. Con dicha línea como eje repartidor recolector, debe planearse a futuro la rectificación de C. Morelos-Tehuacán y lo que pueda levantarse en los tramos Teotihuacán-Irolo, Irolo - C. Calderón, C. Calderón - Oriental, Puebla - Tehuacán, Amozoc - Grajales y San Lorenzo - Xoxtla; ésto significa una total reestructuración de la red férrea en esta zona, representando para el trazo del Mexicano, grandes beneficios adicionales difíciles de evaluar.

La línea de Jalapa, puede seguir operando entre Grajales - Oriental - Jalapa y Veracruz, lo cual sólo significa 4 Km. adicionales respecto del recorrido actual, pero para un tráfico enormemente menor que el que actualmente tiene. Como esta línea no tiene las características repartidoras del trazo del Mexicano y es aprovechable para la línea recomendada -como más viable- podrá considerarse como una línea auxiliar del Mexicano rectificado, pudiendo aprovecharse para el desalojo del tráfico de Veracruz, fundamentalmente cuando las condiciones lo requieran.

APENDICE **A**

CARACTERISTICAS DE CARROS DE FERROCARRIL

CARACTERISTICAS DE LOCOMOTORAS

COSTOS Y FACTORES PARA FERROCARRILES

DATOS DISPONIBLES

CARACTERISTICAS DE CARROS DE FERROCARRIL

Tipo de Carro	Número de Unidades	Peso del Carro (Ton.)	Capacidad de Carga (Ton.)	Costo del Carro (M. N.)	Longitud (M)	Altura (M)	Area Sección Transversal (M ²)	Factor de Carga Media por Carro (Ton.)	Tiempo Patio/Tiempo Manejo (Hrs.)
TIPO (I)	--	Pct	Cct	--	--	--	---	F _{cm}	--
Furgón	7,765	28,400	70	458,987.50 (1976)	16.56	4.57	11.75	0.85	12/2
Furgón	11,099	21,950	50	178,500.00 (1969)	13.51	4.55	11.54	0.85	12/2
Tanque	550	26,840	70	441,466.80 (1975)	15.49	4.60	5.693	0.88	6/2
Tanque	855	21,800	40	343,307.71 (1975)	10.71	4.27	-	0.88	6/2
Góndola	5,612	27,900	70	380,694.00 (1976)	17.52	2.35	4.75	0.85	6/2
Góndola	663	18,966	50	65,254.00 (1952)	11.684	2.57	3.943	0.85	6/2
Plataforma	343	29,450	70	439,078.00 (1976)	17.53	-	*	0.75	12/2
Plataforma	145	12,725	50	80,975.50 (1969)	11.20	-	*	0.75	12/2
Jaula	306	20,390	50	134,375.00 (1968)	13.51	4.155	10.153	0.45	6/2
Jaula	210	19,700	40	105,991.75 (1961)	13.51	4.16	10.091	0.45	6/2
Tolva -- abierta.	808	22,800	70	220,000.00 (1970)	11.18	3.249	7.593	0.85	6/2

Tipo de Carro	Número de Unidades	Peso del Carro (Ton.)	Capacidad de Carga (Ton.)	Costo del Carro (M. N.)	Longitud (M)	Altura (M)	Area Sección Transversal (M ²)	Factor de Carga Media por Carro (Ton.)	Tiempo Patio/Tiempo Manejo (Hrs.)
TIPO (I)	--	P _{ct}	C _{ct}	--	--	--	---	F _{cm}	--
Tolva -- abierta.	28	-	50	-	-	-	-	0.85	6/2
Tolva cubierta.	204	24,800	70	220,000.00 (1970)	11.510	3.905	9.113	0.85	6/2
Plataforma P. Back.	162	33,165	70	381,600.00 (1975)	28.33	3.64	6.32	0.75	6/2
Góndola	586	26,400	100	223,937.50 (1975)	15.595	2.30	6.482	0.85	6/2
Coche Pullman.	188	60,000	8	4'436,672.00 (1976)	25.90	4.26	11.68	1.00	3/0.5
Coche Primera.	122	57,000	12	2'957,781.00 (1976)	25.90	4.26	11.68	1.00	3/0.5
Coche Segunda.	356	55,000	16	2'739,890.00 (1976)	25.90	4.26	11.68	1.00	3/0.5

* Considérese 0.5 m² como mínimo.

OTROS DATOS

Vida típica de los carros

= 30 años.

Factor de reserva de carros

= 0.15 carga y 0.35 pasajeros.

Factor de recuperación de capital

= 0.09 (8%, 30 años)

Series Consi- deradas	Número de Unidades	Potencia de Loco- motora (HP)	Número Ejes Motrices	Peso Tonelada Métrica	Consumo Combustible		Area Sección Transversal (M ²)	Costo Unitario de la Locomotora (M. N.)
					Plena Carga	Holgando		
		P _{1c}		P _{1t}			A _{t1}	
58, 63, 88	150	1500	4	102.25	0.185	0.006105	11.53	3'007,787.50 (1973)
68	10		6	147.0	0.185	0.006105	11.82	4'511,081.25 (1973)
70, 71, 72, 75, 90	203	1750	4	112.4	0.185	0.006105	12.45	3'315,000.00 (1973)
73, 74	92		6	132.3	0.185	0.006105	9.52-12.37	3'900,190.82 (1973)
92, 94	105	2000	4	113.4	0.185	0.006105	12.80	4'464,475.00 (1975)
	-		6	-	-	-	-	-
91	30	2250	4	111.6	0.185	0.006105	12.14	4'173,250.00 (1974)
	-		6	-	-	-	-	-
81, 82	98	2500	4	116.5	0.185	0.006105	12.30	2'855,400.00
	-		6	-	-	-	-	-
	-	2750	4	-	-	-	-	-
83	32		6	164.8	0.190	0.00627	12.34	3'490,600.00 (1963)

Series Consi- deradas	Número de Unidades	Potencia de Loco- motora (HP)	Número Ejes Motrices	Peso Tonelada Métrica	Consumo Combustible Litros/Caballo-Hora		Area Sección Transversal (M ²)	Costo Unita- rio de la Locomotora (M. N.)
					Plena Carga	Holgando		
		P _{1c}		P _{1t}			A _{t1}	
84	10	3000	4	118.6	0.190	0.00627	12.64	4'021,623.70 (1975)
85, 86, 87	173		6	167.7	0.190	0.00627	12.66	5'686,562.50 (1975)
	-	3500	4	-	-	-	-	-
89, 93	104		6	163.3	0.190	0.00627	12.93	5'257,712.50 (1974)

OTROS DATOS:

Vida normal de locomotora.	= 20 años.
Factor de reserva para locomotora.	= 0.25.
Tiempo de patios para locomotora.	= 2.00 hrs.
Factor de recuperación de capital para locomotora.	= 0.10 (8%, 20 años)
Tiempo de cambios de operación manual.	= 0.15 hrs.
Relación de litros de combustible a litros lubricante.	= 130.

COSTOS Y FACTORES PARA FERROCARRILES

CONCEPTO	VALOR Y UNIDAD
Componente fija anual del costo de mantenimiento para equipo rodante, por carro.	\$ 2'250,000/carro-año
Componente fija anual del costo de mantenimiento para locomotoras.	\$110,000.00/loc-año
Componente fija anual del costo de mantenimiento de vía por kilómetro.	\$ 28,000.00/km-año
Componente variable anual del costo de mantenimiento para equipo rodante por carro.	\$ 0.17/carro-km
Componente variable anual del costo de mantenimiento para locomotora.	\$ 1.08/loc-km
Componente variable anual del costo de mantenimiento para vía.	\$ 0.015/ton-km
Costo de tripulaciones M=3.36/km.	\$ 67.20/hora
Costo de combustibles.	\$ 0.50/litro (Con subsidio)
	\$ 1.00/litro (Sin subsidio)
Costo de lubricantes.	\$ 3.50/litro (Con subsidio)
	\$ 4.50/litro (Sin subsidio)
Relación de costos de tráfico a costos totales de operación y mantenimien <u>to</u> .	0.01
Relación de costos indirectos a costos totales de operación y mantenimien <u>to</u> .	0.09

A P E N D I C E **B**

PLANO DE LA PLANTA

PLANO DEL PERFIL

B I B L I O G R A F I A

"Ferrocarriles"

Ing. Francisco M. Togno.

"Geología aplicada a la ingeniería civil y fotointerpretación"

Ing. Juan B. Puig.

"Vías Terrestres y aeropistas"

Ing. Carlos Crespo Villalaz.

"Manual de caminos vecinales"

René Etcharren.

"Manual de proyecto geométrico de carreteras"

Secretaría de Obras Públicas.

"Especificaciones generales para proyecto geométrico de vías ferreas"

Secretaría de Obras Públicas.

"Especificaciones para proyecto geométrico de terracerías"

Dirección General de Proys. y Labs. Secretaría de Obras Públicas.

"Apuntes de vías terrestres"

Ing. Gonzalo Medina Vela.

Tesis. "Evaluación y anteproyecto del Ferrocarril Guadalajara-Salti--
llo". Francisco Gorostiza Pérez.

Tesis. "Rehabilitación económica del Ex F.C. Mexicano en su tramo ---
electrificado de Esperanza a Paso del Macho".

Rogelio Gloria Arredondo.

"Determinación económica de la subrasante"

Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

"Proyecto Definitivo"

Ing. Jaime Mantelango Sierra.

"Fotogrametría y cómputo electrónico para proyecto de vías terrestres"

Carlos Ayala Sarifian y J. Alberto Villasana Lyon.

"Tablas para el cálculo de clotoides de transición"

Ing. G. Quiroga S. Dirección General de Vías Férreas.

Secretaría de Obras Públicas.

"Curvas verticales parabólicas en los ferrocarriles"

Ing. Aurelio Chávez.

"Tablas y Gráficas"

Oficina de F.F.C.C. de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

"La Empresa de los Ferrocarriles Nacionales de México"

Dirección de Administración y Métodos. F.N. de M.

"Introducción al Cálculo de tonelajes de arrastre"

Dirección de Capacitación en Tracción. F.N. de M.

"Tarifa Única de servicios diversos en los Ferrocarriles Nacionales"

Departamento de Tráfico. F.N. de M.

"Horario No.4 División Puebla"

F.N. de M.

"Horario No.4 División Mexicano"

F.N. de M.

"Horario No.5 División de Veracruz al Istmo"

F.N. de M.

"Horario No.14 División Jalapa"

F.N. de M.

Estadística

F.N. de M.

Archivo Histórico.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.