

113
28.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO GEOMETRICO
PARA
FERROCARRIL

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
VICTOR MANUEL NANDEZ HERNANDEZ

MEXICO, D. F.

1987



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.

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I. PLANEACION PARA LA JUSTIFICACION DE LA RUTA	
I.1 Estudio Socioeconómico.....	10
I.2 Puntos Obligados.....	25
I.3 Localización de la Ruta.....	27
I.4 Descripción de la Ruta en Proyecto.....	46
CAPITULO II. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	
II.1 Elección de la Ruta.....	47
II.2 Elaboración de Anteproyectos.....	48
II.3 Comparación de Alternativas.....	49
CAPITULO III. TRAZO PRELIMINAR	
III.1 Trazo, Nivel y Seccionamiento Preliminar.	52
III.2 Anteproyecto del Alineamiento Horizontal.	76
III.3 Anteproyecto del Alineamiento Vertical...	79
CAPITULO IV. PROYECTO GEOMETRICO DEFINITIVO	
IV.1 Trazo, Nivel y Seccionamiento Definitivo.	90
IV.2 Estudio Geotécnico.....	111
IV.3 Estudio de Drenaje.....	116
IV.4 Proyecto de la Subrasante.....	119
IV.5 Cálculo de Sobre-elevaciones.....	126
IV.6 Proyecto de Secciones de Construcción....	130
IV.7 Cálculo de Curva Masa.....	136
CONCLUSIONES.....	160
BIBLIOGRAFIA.....	161

INTRODUCCION

La apertura de un camino, cualesquiera que sean su ubicación y longitud, es el signo más preciso de que un país se encausa por la senda positiva del progreso. Gracias al camino, florecen la agricultura, la industria, el comercio que son las riquezas intrínsecas de los pueblos, además permite conocer y llevar el desarrollo cultural a otros pueblos que se encuentran aislados, haciendo también posible que, el hombre se traslade de un lugar a otro.

Cualquier medio de transporte constituye uno de los subsectores de mayor importancia en la sociedad industrial moderna y desempeñan, prácticamente, un destacado papel en todos los aspectos de la producción, distribución y consumo; ello es debido, en primer lugar a que las materias primas se encuentran en zonas lejanas de los centros de producción, y éstos a su vez, se hallan distantes de los de consumo; es por eso que todos los países del mundo-incluyendo el nuestro-han prestado atención al desarrollo de las vías de comunicación, porque globalmente los transportes representan una parte considerable del producto nacional bruto y, en porcentajes, ocupan una proporción activa inferior al producto nacional aportado.

Las dos variables; población y desarrollo, implican además de un incremento en el volumen de la producción, un incremento en el tipo y calidad de los bienes y servicios que demanda una comunidad, metas que para ser alcanzadas requieren de obras de infraestructura básica que proporcionen los insumos y servicios que necesita la producción. Entre estos servicios destaca, por su importancia y dinamismo, el correspondiente a las vías para el traslado de bienes y personas.

En nuestro país, que prácticamente carece de vías navegables, las vías terrestres constituyen la espina dorsal del servicio de transporte de productos manufacturados a los mercados

de consumo o exportación en el ámbito del territorio nacional.

El transporte terrestre esta constituido por la red de Ferrocarriles y Carreteras; la primera, con la función económica principal del transporte de grandes masas de mercancías, como resultado de su gran poder de arrastre que le caracteriza, a distancias considerables y a un bajo costo; la carretera, para transporte más ligero, rápido y a menor distancia de mercancías, y el servicio, cada día más importante, de los vehículos de pasajeros públicos o privados.

En el contexto del presente trabajo, sólo presento únicamente los lineamientos básicos que se siguen para el trazo y proyecto de una obra ferroviaria, empezando por su justificación desde el punto de vista socioeconómico, hasta el diseño geométrico completo de la misma.

BREVE RESEÑA:

El ferrocarril constituyó por más de una centuria el medio preferido de locomoción terrestre. A partir de su nacimiento en el primer tercio del siglo pasado produjo una revolución en el transporte, con trascendentales repercusiones en la vida del hombre. Pero no debemos pensar que el ferrocarril cuando nació estaba totalmente desarrollado como lo conocemos actualmente, sino que como todo lo que conocemos, ha ido evolucionando a través de los avances tecnológicos que aplicados a dicho medio se ha llegado a obtener los modernos sistemas ferroviarios actuales.

Desde luego que el punto de partida del ferrocarril fue la invención de la máquina de vapor y su aplicación a la locomoción de un vehículo guiado por rieles. Naturalmente que los mayores esfuerzos, desde un principio se han enderezado al perfeccionamiento de la locomoción. La máquina de vapor original era sumamente simple, pero fue perfeccionándose hasta ser más eficiente y obtener un mejor aprovechamiento del combustible,

apareciendo como resultado la locomotora diesel y posteriormente la diesel-eléctrica.

En México, su introducción fue hacia el año de 1873 con la inauguración de la primera línea ferroviaria México-Vera-cruz, por el entonces presidente de la república Don Sebastián Lerdo de Tejada, participando activamente en la vida social y económica de nuestro país, propiciando también su expansión e impulsando el desarrollo en otras vías de comunicación tales como; el automóvil que a la larga se convirtió en su principal competidor. Aunque, no pasó desapercibido en el transcurso de la contienda armada de los años 1910-18, se empezaba a notar que iba perdiendo terreno frente a sus adversarios.

La administración del ferrocarril en nuestro país desde su introducción fue operada por capital privado extranjero, -- principalmente norteamericano y británico, hasta que en 1937 el presidente Lázaro Cardenas decretó la expropiación de la Compañía de los Ferrocarriles Nacionales de México, S.A., con el propósito de contar con un sistema ferroviario que fuera propiedad de la nación y que pudiera utilizarse racionalmente por el estado en el desarrollo económico del país.

Así de ésta manera, la red nacional actual tiene una longitud total de 26,376 Kms., distribuidos de la siguiente manera:

FERROCARRILES MEXICANOS

Nacionales de México - - - - -	20,230 Km.
Pacífico - - - - -	3,065 "
Chihuahua al Pacífico - - - - -	1,851 "
Sonora-Baja California - - - - -	740 "
México-Querétaro(doble vía) - - - - -	490 "
Total - - - - -	<hr/> 26,376 "

La tendencia actual es la de fortalecer este medio de --- transporte, ampliándolo y modernizándolo para alcanzar las exigencias que se avizoran para el futuro; en otras palabras es - necesario incrementar la capacidad y eficiencia de éste servicio público para ir creciendo en la medida que lo requieran -- las razonables exigencias de la población y la economía.

Para extender la infraestructura ferroviaria en México, - se ha tenido que vencer los múltiples obstáculos que presenta el accidentado relieve nacional, limitando la construcción de vías férreas, principalmente en las regiones cubiertas por las grandes cordilleras, por lo que nuestro sistema se observa -- irregularmente extendido (ver Fig. 1), manifestándose denso en la altiplanicie y sólo con algunas líneas en las áreas monta-- ñosas.

Más sin embargo, se ha procurado elegir para el proyecto de nuevas vías, los trazos más convenientes, buscando que no - tengan tantos quiebres bruscos, para poder trazar tangentes -- largas ligandolas con curvas lo más suaves y abiertas posible, aunque en ocasiones sea preferible desarrollar o alargar el -- trazo para conservar la pendiente de proyecto.

Con el propósito de querer crear mayor interés sobre la - materia, he tratado de exponer la metodología que generalmente se adopta para el proyecto geométrico de una vía férrea, utili-- zando un lenguaje sencillo y fácil de asimilar, basándome en - las normas correspondientes, considerando únicamente los aspec-- tos topográfico y geométrico del proyecto, dejando fuera los - que no cumplen con el objetivo de este trabajo y que merecen - un tratado aparte.

RED FERROVIARIA NACIONAL



DEFINICION DE TERMINOS

Es importante comprender algunos términos usualmente empleados en el lenguaje técnico para el proyecto geométrico de una vía férrea, no incluyendo aquellos, cuyo significado son ampliamente conocidos, precisos y claros.

ACARREO LIBRE.— Transporte de materiales efectuado en una distancia fijada en el proyecto y por el cual no se hace ningún pago directo.

ALINEAMIENTO HORIZONTAL.— Proyección del eje de proyecto de una vía férrea sobre un plano horizontal.

ALINEAMIENTO VERTICAL.— Proyección del desarrollo del eje de proyecto de una vía férrea sobre un plano vertical.

AMPLIACION DEL ESCANTILLON.— Aumento que se da al escantillón en las curvas, del lado del riel interior.

ANCHO DE CORONA.— De terracerías: base superior de la sección transversal de un terraplén o parte de la base de la sección transversal de un corte, limitada por las aristas superiores de las cunetas.— De balastado: base superior de la sección transversal del balasto colocado.

B.N.— Banco de Nivel.

BOMBEO.— Pendiente transversal descendente de la corona, a partir de su eje y hacia ambos lados, en tangente horizontal.

CAMA.— Superficie comprendida entre las aristas inferiores de los taludes de un corte, al nivel de la subrasante.

CERO.— En sección transversal, punto de intersección de las líneas definidas por el talud del terraplén o del corte y el terreno natural.

CONTRACUNETTA.— Canal que se ubica arriba de la línea de ceros de los cortes, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural.

CORONA.— De terracerías: superficie comprendida entre las aristas superiores de los taludes de un terraplén o superficie de

la cama de un corte sin contar las cunetas.- De balastado: superficie comprendida entre las aristas superiores de los taludes del balasto colocado.

CUNETAS.- Canal alojado en los cortes, en uno o en ambos lados y paralelamente al eje de la vía, en la intersección de la cama con el talud de corte, a fin de drenar éste.

CURVA CIRCULAR HORIZONTAL.- Arco de circunferencia del alineamiento horizontal que une dos tangentes consecutivas.

CURVA COMPUESTA.- Aquella formada por dos o más curvas circulares del mismo sentido y de distintos grados de curvatura, en el alineamiento horizontal.

CURVA ESPIRAL DE TRANSICION.- Curva del alineamiento horizontal que liga una tangente con una curva circular, cuyo radio varía en forma continua, desde infinito para la tangente hasta el de la curva circular.

CURVA VERTICAL.- Arco parabólico que une dos tangentes en el alineamiento vertical.

CURVA VERTICAL EN CIMA O CRESTA.- Curva vertical cuya concavidad queda hacia abajo.

CURVA VERTICAL EN COLUMPIO.- Curva vertical cuya concavidad queda hacia arriba.

DENSIDAD DE TRAFICO DE CARGA.- Toneladas-Kilómetros diarios, mensuales o anuales transportados por un ferrocarril.

DERECHO DE VIA.- Superficie de terreno cuyas dimensiones fija la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, aplicación protección y/o de sus servicios auxiliares.

e.- Sobreelevación del riel.

ESCANTILLON.- Distancia entre los costados interiores de los hongos de los rieles, medida normal al eje de una vía férrea, siendo de 1.435 metros para una vía ancha.

GALIBO.- Sección mínima adoptada, transversal al eje de la vía que debe estar libre de obstáculos para permitir el paso de un tren.

GRADO DE CURVATURA.- Angulo subtendido por un arco de circunferencia de veinte(20)metros de longitud.

GRADO MAXIMO DE CURVATURA.- Límite superior del grado de curvatura que debe usarse en el alineamiento horizontal.

HONGO DEL RIEL.- Parte superior del riel sobre la cual el equipo ferroviario rueda.

LADERO.- Vía auxiliar conectada en sus dos extremos a otra vía.

NORMAS PARA PROYECTO GEOMETRICO.- Disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones que la Secretaría fija o dicta para la elaboración de sus proyectos geométricos.

PASO A DESNIVEL.- Cruzamiento, a distinta elevación, de dos o más vías terrestres de comunicación, que permite el tránsito simultáneo en ellas.

PASO A NIVEL.- Cruzamiento, a una misma elevación, de dos o más vías terrestres de comunicación, que sólo admite el tránsito alternado en ellas.

PASO INFERIOR.- Cruzamiento de una vía férrea bajo otra vía terrestre de comunicación.

PASO SUPERIOR.- Cruzamiento de vía férrea por arriba de otra vía terrestre de comunicación.

PENDIENTE.- Relación entre el desnivel y la distancia horizontal que hay entre dos puntos.

PENDIENTE GOBERNADORA.- Es la pendiente que teóricamente puede darse a las tangentes verticales en una longitud indefinida.

PENDIENTE MAXIMA.- La mayor pendiente geométrica del eje de una vía férrea, limitativa en vías principales o en vías auxiliares.

PENDIENTE MINIMA.- La menor pendiente geométrica del eje de una vía férrea, limitativa en los cortes, para el buen funcionamiento del drenaje.

RASANTE.- Del proyecto: proyección vertical del desarrollo de la intersección de la superficie de rodamiento, con los planos verticales que contienen su eje en las tangentes y el eje del riel interior en las curvas.- De la vía férrea: línea definida

por la intersección de la superficie de rodamiento, con los planos verticales que contienen su eje en las tangentes y el eje del riel interior en las curvas.

RUTA.- Es la franja de terreno de ancho variable entre dos puntos obligados, dentro de la cual es factible hacer la localización de un camino. Mientras más detallados y precisos sean los estudios para determinar la ruta, el ancho de la franja será más reducido.

SECCION TRANSVERSAL.- Proyección vertical de una sección normal al eje de una vía férrea.

SOBREACARREO.- Transporte de materiales que se efectúa en una distancia en exceso de la del acarreo libre, y hasta el límite económico fijado en el proyecto y/o ordenado por la Secretaría.

SOBREELEVACION.- De terracerías: desnivel transversal entre los puntos extremos de la corona en una curva, del alineamiento horizontal.- Del riel: desnivel transversal entre los hongos de los rieles en una curva, del alineamiento horizontal.

SUBRASANTE.- Del proyecto: proyección vertical del desarrollo del eje de la corona.- De terracerías: eje de la corona.

TALUD.- Inclinación de la superficie de los cortes o de los terraplenes.

TANGENTE DE UNA ESPIRAL.- Distancia medida sobre la subtangente de una curva compuesta desde el punto donde principia la espiral, hasta la proyección del punto teórico donde principia la curva circular simple, desalojada para permitir el desarrollo de dicha espiral.

TANGENTE HORIZONTAL.- Tramo recto del alineamiento horizontal de una vía férrea.

TANGENTE VERTICAL.- Tramo recto del alineamiento vertical de una vía férrea.

VELOCIDAD DE PROYECTO.- Velocidad fijada para normar el proyecto de un ferrocarril o de un tramo del mismo.

VIA AUXILIAR.- Tramo de vía conectada a la principal o a otra

auxiliar, sobre la cual se operan trenes, se mueven o se estacionan carros, no sujetos a horario ni ordenes de tren; pero - sí a las señales y a las reglas prescritas y/o a instrucciones especiales.

VIA PRINCIPAL.- Vía que, pasando por los patios, une las estaciones y sobre la cual se operan los trenes según un horario - y/o una orden de tren, o cuyo uso está gobernado por un sistema automático de señales.

CAPITULO I

PLANEACION PARA LA JUSTIFICACION DE LA RUTA

I.1 Estudio Socioeconómico

El diseño de vías terrestres requiere, principalmente, de datos socioeconómicos, geotécnicos, datos de tránsito, topográficos, hidrológicos, técnicas de diseño y evaluación de proyectos.

En forma sintetizada, lo dicho puede expresarse en la siguiente forma por lo que hace a las fases de la ingeniería en vías terrestres:

- . Estudios de Campo.
- . Estudios de Gabinete.
- . Construcción.

En México, el desarrollo de los medios de transportes terrestres han contribuido a mejorar la distribución de la población, favoreciendo la instalación o aumento de núcleos de habitantes en regiones deshabitadas o poco pobladas; también han hecho posible el desarrollo económico de zonas que estimadas en el pasado como improductivas, actualmente incrementan su producción gracias a la presencia de mercados abiertos y aproximados por los ferrocarriles y carreteras.

Esta influencia no solo se manifiesta en el aspecto económico que es básico en la vida de los pueblos, sino también en el aspecto social, por cuanto que han acercado a los habitantes de todas las regiones de México, relacionándolos en sus intereses comunes, fomentando el espíritu de solaridad nacional y robusteciendo los sentimientos de amistad y comprensión; así mismo, la influencia de las comunicaciones y los transportes, al abatir el aislamiento en que habitaron estos núcleos de población, contribuyen poderosamente a la integración de la vida nacional, borrando los regionalismos infecundos, generalizando el idioma y las modernas técnicas de vida, con las que se eleva el nivel cultural de los pueblos.

Una clasificación o división de las vías terrestres (carreteras y ferrocarriles) de acuerdo a la finalidad anterior, podría ser la siguiente:

- 1.- Obras Viales de Función Social.
- 2.- Obras Viales de Penetración Económica en Zonas Aisladas -- con Recursos Susceptibles de Explotación.
- 3.- Obras Viales en Zonas de Pleno Desarrollo.

De acuerdo con esto último vemos que las categorías 1 y 2 corresponden a inversiones en carreteras y la 3 en carreteras o ferrocarriles.

1.- Obras Viales de Función Social:

En las regiones de poco potencial económico, en donde se encuentran localizados núcleos de población de cierta importancia donde sólo el interés social es lo primordial, es el efecto que se debe de considerar para la inversión, la carretera propicia un cambio total en la manera de vivir, pues llegarán a la población beneficios como la educación, la sanidad, etc.

Por lo general, debemos buscar la combinación de todos -- los medios de transporte existentes, es decir, con los servicios ferroviarios, carreteras, fluviales y de cabotaje, es por eso que no debemos de tratar éstos medios por separado cuando se busque hacer una planeación vial.

El criterio que se sigue entre el monto de la inversión y el número de habitantes es la forma como se aplica.

2.- Obras de Penetración Económica:

Tienen como objeto principal terminar con el aislamiento de regiones que cuentan con recursos agrícolas, ganaderos y -- mineros, con grandes posibilidades de explotación, contribuyendo con esto al crecimiento de la economía nacional. La carretera es el medio ideal para bajas cargas y en casos de minería y de volúmen pesado el ferrocarril sería el más adecuado.

En esto notamos un aumento notable en la producción, primero en actividades primarias y posteriormente en la de transformación.

3.- Obras Viales en Pleno Desarrollo:

Estas tienen un efecto en el abatimiento de los costos del transporte individual y colectivo. En estos casos se puede medir con cierto grado el ahorro obtenido, así como el conocimiento de su evaluación. Los efectos indirectos son los que se deben tomar en mayor consideración por el aspecto de rentabilidad. El medio más efectivo podría ser el ferrocarril por contar con las características principales que se buscan.

La clasificación anterior es sólo un panorama general que agrupa las diferentes perspectivas de las muchas que nos ofrece el transporte terrestre, como una solución a los problemas que surgen por la carencia de ellos, sobre todo en las regiones que lo utilizarían fundamentalmente para su progreso comercial.

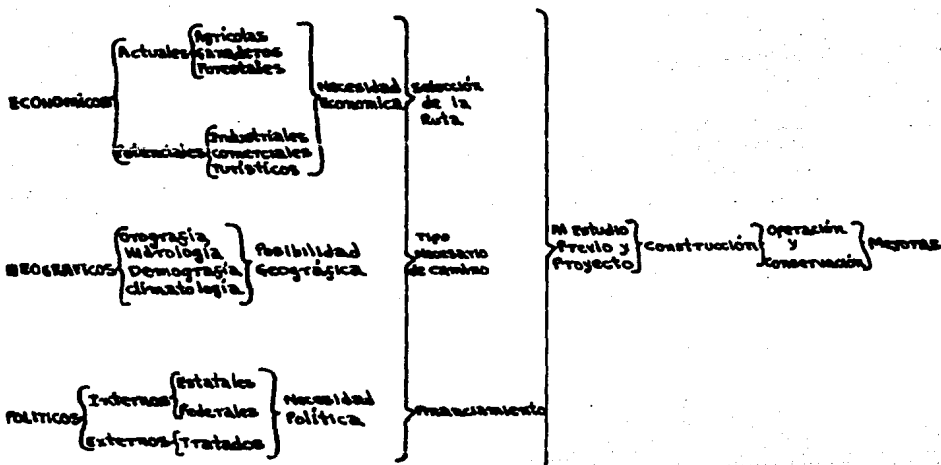
Más sin embargo, en algunos casos esta división dista mucho de la realidad que se tiene planteada, por lo que no debe usarse de ninguna manera como un modelo prototipo a aplicar, si no lo que debe hacerse más bien, es programar y realizar una serie de estudios llamados de Planeación que justifique el criterio tomado finalmente.

Sobre las cartas publicadas por Detenal y en algunos otros informes elaborados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, o por otras Dependencias Oficiales, se puede apreciar la verdadera situación de muchas regiones que necesitan de un intercambio de mercancías, de un fortalecimiento en sus relaciones internas mediante vías apropiadas de comunicación, de una industrialización cada vez más vigorosa, de una especialización productiva dentro del contexto económico nacional, y al mismo tiempo de una diversificación de sus funciones mediante el aumento del comercio, servicios generales y de los transportes.

Por ello, es necesario impulsar el adelanto de cada una de ellas, ya sea en conjunto o por separadas mediante una planeación económica y social bien estructurada.

Los estudios de Planeación consisten en agrupar, dentro -- del análisis técnico, de manera armónica y coordinada, todos -- los factores geográficos-físicos, económicos-sociales y políticos que caracterizan a una región determinada.

ETAPAS DE LA PLANEACION



El esquema anterior es un proceso formado por un análisis bastante complejo y con una sistematización u ordenamiento necesario. Esto nos indica un mejoramiento de una situación motivada por la falta de medios y la aplicación de una planeación que nos conducirá a dicho mejoramiento.

Las etapas que constituyen este proceso son las siguientes:

- 1.- Una necesidad y el deseo por parte de los integrantes de las comunidades afectadas de mejorar tal situación.
- 2.- El conocimiento obtenido a través de una investigación o estudio detallado de lo que se desee cambiar y su proyección al futuro, lo cual lo podemos precisar con la definición de una meta.
- 3.- La proposición de la colectividad en donde el don creativo del hombre se pone de manifiesto.
- 4.- Un juicio que valore todo lo anterior.
- 5.- Un programa que ordenará las acciones y su desarrollo en una forma precisa.

La Planeación del Transporte sirve como un instrumento eficaz para ajustar, equilibrar, coordinar y promover el adelanto más completo de una determinada zona. Una definición de este concepto puede ser la siguiente:

Es una actividad que busca fundamentalmente resolver a través de estudios, esquemas, diagramas y modelos que, al ser aplicados en una forma adecuada a las necesidades de un país, una región o una comunidad, tomando en cuenta su condición económica, su riqueza potencial, así como su posible explotación, sus características geográficas y topográficas imperantes, darán como resultado una estabilidad y un mejoramiento notable a su vida social, económica y política.

Los objetivos y procedimientos de investigación usados normalmente en la planeación de cualquier tipo de transporte terrestre, son siempre los mismos, sobre todo en los hechos pa

ra las carreteras y ferrocarriles, por lo que en ocasiones en ésta primera etapa hablaré invariablemente de uno u otro caso - pero siempre enfocados a la situación nacional.

Para alcanzar los éxitos en esta investigación, se requiere ante todo una planificación previa al trabajo, incluyendo:

- a) Un claro concepto sobre el término "región de interés" y una delimitación acertada de dicha área en el terreno, así como - de los objetivos precisos de la propia investigación por realizar.
- b) Una amplia recopilación bibliográfica y estadística sobre la región, previa a los recorridos en el terreno.
- c) Una metodología moderna y apropiada a los fines perseguidos, a base de estudio de los sistemas regionales, si es que consideramos este estudio a nivel regional.
- d) Un serio programa de recorridos, encuestas, entrevistas, etc. sobre la verdadera situación del terreno. Dicho programa no debe proponerse solo constatar hechos, sino además buscar causas y efectos, indagar relaciones entre fenómenos y aportar todos los elementos indispensable para comprender la realidad.
- e) Vuelta al gabinete, para profundizar en la sistematización - de todo el material recopilado.

Los resultados que se obtengan de esta investigación deberán ser aplicados en una forma inmediata o a un corto plazo razonable, ya que después no podrán tener los mismos efectos esperados, teniéndose que repetir nuevamente el proceso.

Se han llevado a cabo estudios para dividir el país en --- grandes regiones económicas (sobre base municipal, rebasándose límites estatales), a partir de 1960; más tarde se realizaron - análisis concretos para el caso de las grandes zonas y las regiones económicas productivas para fines de planeación y finalmente, recientes trabajos regionalización, dentro de los límites estatales, donde se encuentran las regiones económicas, -- utilizables para la planeación regional económica y social.

ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

El gobierno de la nación creó, a partir de 1974, Comités - Promotores del Desarrollo Socioeconómico, en varias entidades, lo que representa un paso adelante en la futura coordinación interestatal. Además, esto conduce a la necesidad de individualizar las regiones productivas dentro de cada estado, lo que a su vez no excluye la coordinación entre ese tipo de regiones, cuando se realice la programación de inversiones tanto a escala nacional como a nivel de estados y regiones.

Un "Estudio Socioeconómico" tiene por objeto, la investigación de ciertos parámetros que nos midan el grado de aprovechamiento de los recursos humanos y naturales dentro de la zona -- considerada como de estudio, su capacidad receptora y su estructura ocupacional, siendo lo más importante el estudio sobre el cambio en las costumbres de la vida social y económica que sufrirá la zona de influencia.

ZONAS DE INFLUENCIA

La zona de influencia o también conocida como área circundante; es la franja, cuyo deslinde imaginario encierra, precisamente el área que manifiesta una mayor actividad social, económica y política o bien, una situación geográfica-física importante, dentro de la que generalmente es seleccionada esa ruta -- para viajar por ella, por resultar más económica hacerlo que -- por cualquier otra, buscando los puntos de igual costo. Es aquí donde se inician los estudios antes mencionados, encauzados a -- brindarles en la mejor medida posible los servicios que requieren para su incorporación o simplemente para tener una mayor -- participación en el desarrollo potencial de nuestro país, esto se logra integrando dichas regiones al sistema cada vez más sofisticado de las comunicaciones y a los variados medios de --- transportes.

Entre esos transportes, se hallan las vías terrestres; que

mediante su valiosa cooperación se puede llevar a cabo un intercambio comercial permanente entre zonas que por ejemplo: ni pueden producir todo lo que consumen ni alcanzan a consumir todo lo que producen, pero estableciendo mercados abiertos este problema queda resuelto, estimulando a su vez la productividad.

EJEMPLOS:

Si el Rancho(R) efectuaba antes su comercio con la Ciudad (B), ahora podrá hacerlo mediante la nueva Carretera que se pretende construir de A a B y la de un Camino Vecinal desde dicho rancho hasta esta carretera, cuya ruta le resultará desde luego más económica porque tiene que recorrer una menor distancia, -- por lo que el Rancho(R) quedará integrada a la zona de influencia del Camino(A-B).

Mientras que el Rancho(R-2), seguirá comercializando sus productos con la Ciudad(B) a través de la misma ruta que utilizaba antes, es decir, por la Estación de Ferrocarril(F), pues es indudable que ésta ruta le seguirá favoreciendo desde el punto de vista distancia, y a las pequeñas poblaciones que también tienen producción excedente, se les procurará proyectar caminos de terracería de mayor o menor longitud según sea el caso, eligiendo la vía principal de salida más económica.(Ver Fig. 2).

Se podrá apreciar en la figura que el lindero de la zona de influencia de cada uno de los medios proyectados, colindará aproximadamente a la mitad de ambos ranchos.

El esquema planteado anteriormente es el más sencillo y -- simple que podría presentarse, pues la realidad es que existen otros de mayor complejidad.

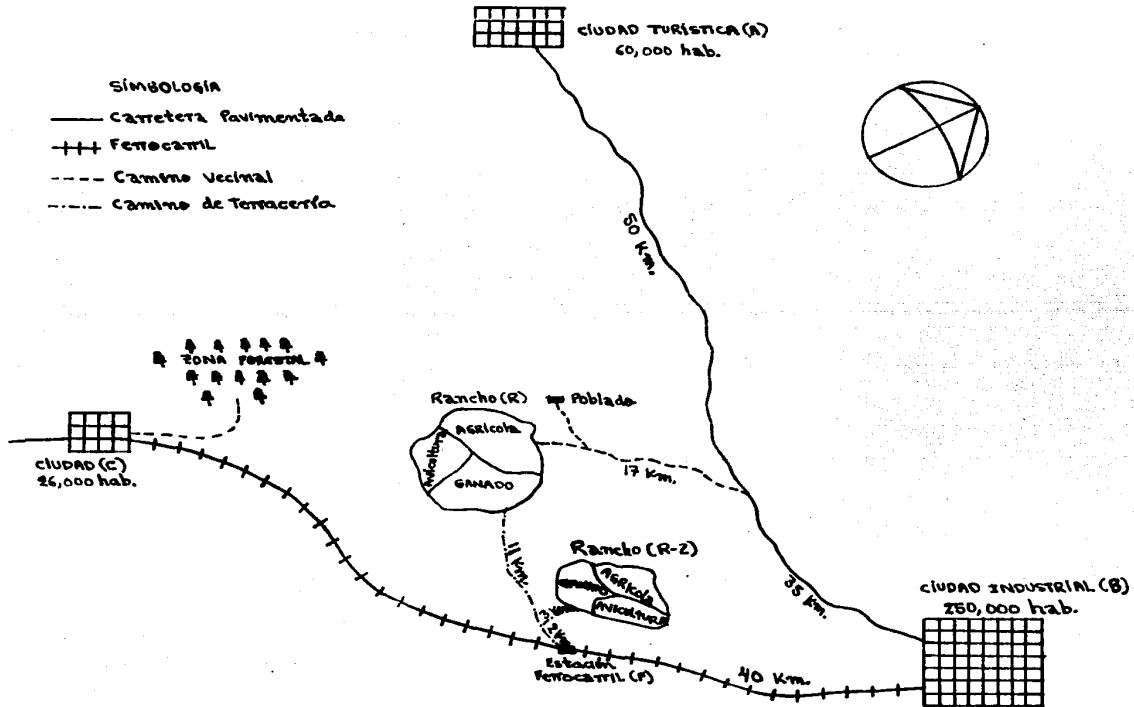


Fig. 2

VALUACION DEL FLETE (ESTUDIO DE CARGAS)

Una vez delimitada la zona de influencia se recabarán todos los datos de producción que puedan ser traducidos a flete - probable, por medio de datos empíricos juiciosamente manejados, separando de las áreas improductivas las zonas agrícolas, forestales y las de susceptible desarrollo ganadero, minero, etc., - sin descuidar los fletes comerciales e industriales de las poblaciones aledañas, registrando de éstas la cubicación promedio de explotación racional legal.

La valuación del flete en el caso de los ferrocarriles tiene su punto de partida en la determinación del tonelaje que es factible mover en cada tramo, porque principalmente en función de éste tonelaje se llega a determinar el monto de la inversión que se puede destinar a la construcción.

El criterio para determinar el tonelaje bruto movido durante un determinado período varía con el tipo de proyecto, a saber:

- a) Cuando se trata de proyectar líneas de ferrocarril que unan centros generadores de carga servidos por vías en operación, la determinación del tonelaje bruto se reduce a la recopilación de estadísticas de movimiento de carga, elaboradas por la empresa de operación y mediante métodos gráficos o analíticos determinando la evolución del tonelaje para un período de 20 años, considerando la influencia de los planes regionales de desarrollo económico; el tonelaje así determinado, se expresa en millones de toneladas, este primer elemento nos permite la clasificación del ferrocarril que se pretende proyectar.
- b) Cuando se proyecte una vía férrea que atraviere regiones no comunicadas por ferrocarril, para la determinación del tonelaje factible de transportar, se sigue otra secuela; primeramente se estudia la posibilidad de contar con un "tonelaje inducido", denominándose así a la carga que se mueve por otras

vías de comunicación: Carreteras, Fluviales, Marítima o Aérea que pueden desviarse al ferrocarril en proyecto.

- c) Finalmente, cuando se trate del proyecto de un ferrocarril -- que no participa de tonelaje inducido, la determinación de la carga a mover se logra mediante la evaluación de la producción agropecuaria de la zona de influencia del ferrocarril y del posible incremento de esa producción, debido al mejoramiento de los cultivos o a la apertura de nuevos sistemas de riego.

Quando se trate de proyectar un ferrocarril para extender la producción minera de una región, la carga que es posible -- transportar se determinará en función de la producción de dicho metal programada y del consumo de carbón mineral necesario para esa producción; una consideración similar podría hacerse en el caso de regiones industriales.

En los últimos años, la obtención de datos para elaborar muchos de los estudios requeridos para la planeación, proyecto y construcción de una vía terrestre, se han estado realizando cada vez con mayor rapidez, seguridad y economía, mediante la aplicación de la FOTOGRAMETRÍA y FOTOINTERPRETACION.

La FOTOGRAMETRÍA puede definirse como una ciencia o técnica, donde se pueden hacer mediciones del tamaño de los objetos a través de fotografías, y que auxiliada por la topografía permite hacer la representación planimétrica de un área; es decir, un levantamiento fotogramétrico es pues una aplicación de la fotogrametría para hallar áreas, volúmenes, contornos, localización de puntos, detalles, etc., sobre la superficie terrestre.

Su vasto campo de aplicación comprende desde la interpretación fotográfica de vistas sueltas, para simples reconocimientos del terreno, hasta el complicado procedimiento de restitución fotográfica para obtener planos topográficos de precisión, con curvas de nivel equidistantes hasta 0.5 metros.

La Aerofotogrametría, es una aplicación particular, que -- consiste en fotografiar el área por medio de vuelos aéreos, que ayudan a las actividades de exploración, investigación, estudio y planeación en el proyecto no solo de una vía terrestre sino, incluso abarca las necesidades de otras áreas como son la arqueología, la cartografía, la geología, la silvicultura, etc.

En los reconocimientos, estudio y planeación, la aerofotogrametría se aplica en:

Por medio de estereoscopia de vistas sueltas:

- a) Reconocimiento tridimensional de zonas;
- b) Interpretación foto geológica;
- c) Interpretación foto agrogeológica;
- d) Restitución fotográfica para formar planos topográficos.

Por medio de mosaicos de contacto:

- e) Planeación de trabajos topográficos;
- f) Reconocimiento planimétrico de zonas.

Por medio de mosaicos rectificadas:

- g) Planeación catastral;
- h) Evolución de zonas afectadas.

La fotogrametría es aplicable siempre que las fotografías y mosaicos de contacto se complementen con un buen control topográfico, como primer paso para el desarrollo de los trabajos en caminados a obtener la reproducción fiel del área de que se trate.

La fotografía urbana (ortofotos y planos de línea), es otra aplicación, ya muy común en nuestros días para realizar grandes proyectos viales de gran magnitud poblacional, distritos y regiones para el estudio de su desarrollo.

El uso de esta ciencia en las vías terrestres empezó a desarrollarse por el año de 1950, con la participación importante de ingenieros de los Estados Unidos de Norteamérica, Alemania, Suecia e Inglaterra.

En un proyecto dado, la fotogrametría puede intervenir en menor o mayor grado, según se trate de la rectificación de una vía existente sobre una ruta definida o bien en la selección de la mejor de ellas.

Para hacer trabajos de planeación general, las fotografías aéreas de vuelo alto en blanco y negro, en escalas que fluctúan de 1:50,000 a 1:80,000 proporcionan una fuente de información complementaria de gran importancia.

Para los trabajos de anteproyecto, proyecto, construcción y conservación de obras, así como para la formulación de programas específicos de desarrollo de las actividades productivas, las fotografías aéreas a colores, escala 1:25,000 constituyen una valiosa fuente de información adicional.

Las fotografías aéreas pueden ser amplificadas por lo menos siete veces, por lo que las ampliaciones son utilizadas como mapas base de gran escala para proyectos particulares.

Contar con los levantamientos aerofotográficos en vuelo al to y bajo que cubran todo el territorio nacional, constituye pa ra el técnico, para el profesionalista y para el investigador, un verdadero tesoro de información inmediata, detallada y permanen te, siendo la DETENAL (Dirección General de Estudios del Territo rio Nacional) la Dependencia Oficial encargada de realizar esta labor en nuestro país.

De manera similar, la Dirección General de Planeación y -- Programa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes es -- quien se encarga de planificar de conjunto la red nacional de - vías de comunicación, así como de decidir las prioridades con - que deben atacarse los estudios previos.

Hasta aquí se expuso de una manera breve pero sustancial - el significado e importancia que tiene el Estudio Socioeconómi- co dentro de las fases de la planeación para el proyecto de una vía de transporte terrestre, cuyos resultados sirven para diag- nosticar y establecer un criterio bien definido y claro sobre - la mejor elección de dicha vía que deberá proponerse para solu- cionar el problema originalmente planteado, faltando un aspecto muy importante por mencionar; la predisposición política, prin- cipalmente la de orden interno que influye finalmente en la to- ma de decisiones, como la elección del tipo de obra o infraes-- tructura que más le conviene proyectar y construir para una de- terminada necesidad, siendo tal vez la menos indicada, favora-- ble o aplicable desde el punto de vista técnico.

Generalmente, ésta decisión final se encuentra en otras -- veces supeditada al estado financiero que viva el país, pues es sabido que muchas inversiones que se realizan no tienen ni el - efecto ni la recuperación esperada, originando con ello que el gobierno sea más austero en ese sentido, sacrificando en ocasio- nes otras necesidades que también ameritan de una atención pri- mordial.

Hoy en día, todos conocemos la situación económica tan ---

fuerte que encara nuestro país, por eso es muy difícil afirmar que por el momento, se tenga contemplada una inversión destinada a realizar nuevos estudios con la misma intensidad que en antaño, en zonas donde se tenga la certeza de la existencia de re cursos que en un momento dado pueden ser explotados a mediano o a largo plazo, sino lo que se esta tratando de hacer más bien - es fortalecer las regiones y zonas ya existentes, con la firme convicción de que respaldarán con su productividad a la recuperación económica.

Ahora podriamos pensar que, los estudios anteriores nos -- permitieron conocer los puntos inicial y final de nuestro proyecto e imaginemos también que hemos decidido unirlos por medio de un Ferrocarril.

Esta nueva etapa nos dará como resultado el planteamiento de un nuevo problema, el cual deberemos de resolver mediante la aplicación de un buen juicio técnico.

I.2 Puntos Obligados

La siguiente información que debe obtener el proyectista - son los puntos obligados, que son aquellos sitios por los que - necesariamente deberá pasar nuestro ferrocarril, por razones - técnicas, económicas, sociales y políticas tales como: Poblaciones, Sitios Turísticos, Areas Productivas, Zonas Industriales, Centros Mineros, Puertos Orográficos, Cruces con Ríos u otras Vías de Comunicación, Entronques con F.F.C.C. en operación y Sistemas de Riego o Hidroeléctricos.

En el informe de datos de campo, debe también recalcar - la destacada importancia que tienen ciertas poblaciones intermedias, donde queda asentada la evaluación de su probada producción, aunque en menor escala, insumos que demandarían en un momento dado los puntos considerados como principales. Otras comunidades pequeñas tal vez se desempeñarían muy probablemente como fuentes de abastecimiento de combustible, lubricantes y refacciones o como centros de mantenimiento y lugares apropiados para construir laderos, convirtiéndose de esta forma en sitios obligados.

Cuando no sea posible tocarlos físicamente por razones técnicas, entonces se procurará proyectar obras que complementen - el sistema troncal formado por los caminos vecinales, veredas, brechas, etc.

Quiero hacer hincapié en que éstos puntos se encuentran -- dentro de la zona de influencia y que desde luego también merecen estudiarse con la debida importancia que los puntos principales, pero siguiendo un orden jerárquico, de acuerdo a su capacidad productiva.

Finalmente la tercera información estará encaminada a investigar las características geológicas del terreno en la zona del proyecto; si éstas no conducen a soluciones técnicas y económicas favorables, obligarán al proyectista a variar parcial o

totalmente la ubicación de las rutas.

Para verificar los aspectos socioeconómicos, topográficos y geológicos arriba citados, expertos en la materia efectúan reconocimientos de campo en la zona de estudio. Para estos reconocimientos la Secretaría de Comunicaciones y Transportes cuenta con vehículos terrestres, helicópteros y aviones.

Resumiendo los estudios básicos de campo vistos hasta ahora, destinados a recabar los datos necesarios para seleccionar la ruta definitiva, a los cuales habrá de sumarle los trabajos topográficos que deberán iniciarse en esta etapa; que conforme vaya disminuyendo la faja de estudio considerada, la importancia, el detalle y la precisión de las mediciones de ésta aumentarán.

ESTUDIOS DE CAMPO (preliminares)	{	. Socioeconómicos	⇒ ELECCION DE LA RUTA
		. Fotogramétricos	
		. Topográficos	
		. Geológicos	
		. De Carga	

1.3 Localización de la Ruta

La localización consistirá en un reconocimiento para verificar la ruta vista en el anteproyecto si lo hubiera, o en su defecto de un reconocimiento terrestre o aéreo para ubicar y fijar los puntos obligados o de control respectivamente, fijando primeramente los principales y luego se procede a la localización de los puntos intermedios.

Hasta ahora se conocen más de una alternativa que podrían resolver el problema planteado, como resultado exclusivamente del estudio económico y social practicado hasta estos momentos, pero eso no es suficiente, porque todavía se requiere de un juicio o análisis final tanto del punto de vista técnico como económico, encargado de valorar todas las propuestas conocidas o por conocer.

Antes de seguir adelante, debo aclarar que existen dos métodos utilizados en la resolución del proyecto de una vía férrea y ellos son:

- 1) El Método Tradicional o Convencional
- 2) El Procedimiento Fotogramétrico Electrónico

Para un mejor conocimiento de las ventajas y desventajas que presentan cada uno de estos métodos, se expondrá de una manera separada su aplicación tal y como se realiza en la práctica.

Método Tradicional:

En todo problema de ingeniería hay que atender en general dos aspectos fundamentales; el técnico y el económico, este principio se tendrá siempre presente a partir de este momento cuando empecemos a ponerlo en práctica con los trabajos topográficos preliminares, que describiremos a continuación y que están encaminados a buscar la mejor elección de nuestra ruta bajo estos términos.

De poco o nada serviría llevar a cabo buenos estudios sobre topografía, geología, etc., si quien deba resolver el problema del proyecto no obra con buen sentido e interés por lo que esta haciendo; antecedentes necesarios que lo conduzcan a buscar soluciones satisfactorias, tanto técnica como económicamente, y viceversa, tampoco serviría realizar un proyecto excelente en sí, que estuviera basado en datos de campo erróneos o incompletos, los estudios de campo sirven de base al proyecto y éste, a la construcción, por ello deben ser hechos con todo cuidado y buen criterio.

Reconocimientos (Estudios Topográficos)

Dado que los trabajos de topografía juegan un papel sumamente importante dentro de este esquema, se recomienda formular un programa conteniendo una serie de actividades cuidadosamente ordenadas, para posteriormente ser llevadas a la ejecución de una manera sistemática, previendo además una probable alteración o interrupción de los trabajos una vez en etapa de proceso por circunstancias de origen político, social, geográfico, climático o contractual, así como las disponibilidades de personal y equipo.

El proyectista deberá proveerse de planos cartográficos y mapas geológicos de toda la región de proyecto, incluyendo la zona de influencia directa y colindancias con otras vías existentes, editadas por la Dirección General de Estudios del Territorio Nacional (Detenal) o por otras Dependencias Oficiales, donde los primeros se pueden conseguir a las siguientes escalas:

1:500,000 con curvas de nivel a 200 metros.

1:100,000 con curvas de nivel a 50 metros.

1:25,000 con equidistancia a 10 metros entre curvas de nivel.

Haciendo un breve paréntesis diremos que, fue la ya extinta Comisión Geográfica Exploradora la primera que realizó los primeros levantamientos, trabajando desde fines del siglo pasa-

do hasta principios del actual, para que posteriormente la Secretaría de la Defensa Nacional terminara totalmente el levantamiento de toda la República, pero sólo manejando la escala ---- 1:100,000.

Toda la información recopilada en la etapa de planeación - será también de gran utilidad, pues sobre ella y con los puntos inicial, final y obligados sirviendo como guía, se marcaron tentativamente todas las alternativas que se juzgaron entonces como convenientes o necesarias.

Una vez plasmadas esas rutas ahora sobre mapas geográficos se iniciarán los reconocimientos del terreno, los cuales pueden ser: terrestres, aéreos o una combinación de ambos.

Generalmente, un reconocimiento comprende la exploración - en campo de la zona en que muy probablemente deberá construirse nuestro futuro ferrocarril, dicha exploración tiene como objeto familiarizarse con la región y de observar más de cerca las rutas alternas(dos o más), desde todos los puntos de vista, identificando sus principales características físicas, tales como: accidentes topográficos, accesos de penetración para la cons--- trucción, color y tipo de suelo, climatología, vegetación, etc. buscando desde luego la solución más adecuada, ahí es donde entra el criterio y la experiencia del ingeniero.

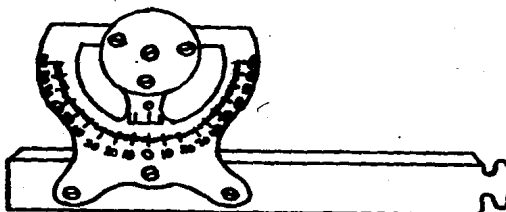
Antes de iniciar el reconocimiento terrestre, el ingeniero debe disponer además de mapas o planos complementarios elaborados por diversas Dependencias Estatales como: la Secretaría de Recursos Hidráulicos, Pemex, la Comisión Federal de Electricidad, etc., donde registren la existencia y posición exacta de canales de riego, tuberías de gasoductos, líneas de transmisión eléctrica, etc., respectivamente, es conveniente vaciar toda la información necesaria sobre un plano o croquis a escala pequeña para facilidad de manejo.

El recorrido lo efectúa la brigada clásica formada por;
a)un Ing. Localizador, b)un especialista en Planeación y por --

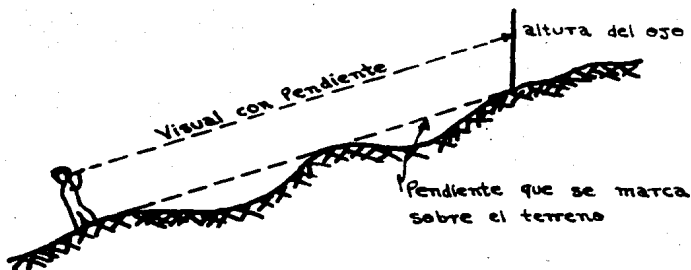
c) un Geólogo, además de personal auxiliar, quienes estudiarán de manera conjunta y de acuerdo con su especialidad las condiciones que presente el terreno, concentrándose como ya hemos señalado al aspecto puramente técnico y económico, anotando sobre la marcha datos que sean de su interés, tales como:

- la altura de los puntos obligados para obtener la diferencia relativa entre ellos, cosa que se puede llevar a cabo con un aneroides.
- las distancias aproximadas entre los mismos empleando el propio marcador de distancias del vehículo cuando de él se haga uso, o bien contando pasos cuando el recorrido sea a pié.
- las pendientes aproximadas del terreno, ya sea por tramos o en su totalidad, dato que se obtiene de las lecturas anteriores, ya que se conoce la diferencia de nivel entre dos puntos y su distancia horizontal. La pendiente será el cosiente entre ambas cantidades si el terreno es uniforme.

Cuando el terreno no sea uniforme, es decir que haya subidas y bajadas pronunciadas, entonces el Clasímetro nos proporciona la pendiente de la que podría llamarse "línea antepreliminar", visando siempre una altura igual a la del ojo del observador, para facilitar esta operación se pone una marca en el estadal o simplemente en una baliza o una vara se coloca una cinta de color vivo que da muy buen resultado.



Clasímetro



El clasímetro manual, aproxima 10 minutos y ello permite calcular desniveles con error no mayor de 1 a 2 metros por kilómetro, efectuando visuales entre 100 y 200 metros entre punto y punto o sea que la marcación de la pendiente con clasímetro, -- produce errores no mayores del 0.15% (más o menos) y ello es admisible para un estudio preliminar.

Otro aparato muy utilizado en ocasiones para este tipo de trabajo es la brújula Brunton que tiene su nivel y graduación -- para medir inclinación de visuales.

Otras observaciones serían, la inclinación de las laderas que provocan grandes cortes o terraplenes altos, la clasificación del material, drenaje, desarrollo general de la región, -- servicios con que cuentan las comunidades más cercanas y caminos de acceso a las mismas, además se adicionan los factores de control más importantes, así como los datos necesarios para la elaboración de un antepresupuesto sobre costos, un análisis económico del mismo y recomendaciones generales.

Como se podrá comprender esta no es labor de un solo día, -- se requiere obviamente un número tal que cubran toda el área de proyecto; tantos como sean necesarios.

Una vez efectuado los estudios correspondientes a los reconocimientos de las distintas rutas probables, se vuelve al gabi

nete donde el ing. localizador, el especialista en planeación y el geólogo, procesan conjuntamente toda la información recopilada en campo, evaluando, modificando y eliminando de éstas las que no cumplan con las disposiciones de anteproyecto fijadas -- por la Secretaría, escogiendo una o dos líneas preliminares --- bien definidas para estudiarlas posteriormente con más detalle.

Personal de la Secretaría procederá a efectuar una visita de campo en compañía del contratista; a él, se le indicarán todas las observaciones que a su juicio juzgen pertinentes, otorgándole finalmente la autorización para el inicio de los trabajos de la línea preliminar.

Brigadas de Localización

A continuación se procede a formar las brigadas topográficas, quienes se encargarán de los trabajos preliminares y en muchas ocasiones también de la ejecución del trazo del eje definitivo, cuya participación termina con la iniciación de las labores de la Residencia de Construcción.

Organización General

Los trabajos de las brigadas de localización, son principalmente de carácter técnico, que se complementan con algunos trabajos administrativos. Ambas actividades están bajo la vigilancia directa del jefe de la brigada, quien es el responsable de cada uno de los diferentes aspectos de esta labor. Los trabajos técnicos son de campo y gabinete, los primeros están a cargo de las brigadas topográficas; de trazo, de nivel y de secciones transversales y, los segundos son efectuados por los topógrafos auxiliados por el personal de dibujo.

Los trabajos administrativos están a cargo de un pagador -- que atiende lo relativo al pago del personal técnico y al control de la salida de los materiales y equipo.

La organización de las brigadas topográficas depende exclusivamente de la magnitud e importancia del trabajo y del método de levantamiento que se emplee.

Estas brigadas se forman normalmente como sigue:

Personal Técnico

- Ingeniero Localizador(jefe de la brigada).
- Ingeniero Trazador(sub-jefe).
- Ingeniero Nivelador.
- Ingeniero de Obras Menores y Mayores.
- Topógrafos.
- Cadeneros.
- Estadaleros.
- Calculistas.
- Dibujantes.

Brigada de Suelos

- Ingeniero de Mecánica de Suelos.
- Perforistas.
- Laboratorista.
- Equipo de perforación.
- Peones.

Personal Administrativo

- Jefe de Oficina.
- Tomador de tiempo.
- Bodeguero.
- Campanentero.

Personal Auxiliar(Jornaleros)

- Breacheros.
- Choferos.
- Veladores.
- Albañiles de monumentación.
- Etc.

Equipo

- Tránsitos.
- Nivel Fijo.
- Altimetros.
- Planchetas.
- Clasímetros.
- Aneroides.
- Brújulas.
- Balizas.
- Estadal Tipo Wild.
- Estadal Charnela.
- Cintas.
- Etc.

Gabinete

- Restidadores.
- Escritorios con Máq. de Escribir.
- Equipo de Dibujo.
- Equipo de Campamento.
- Equipo de Comedor y Cosina.
- Calculadoras.
- Material de Papelería.
- Etc.

El Ing. Localizador, es el responsable de todo el trabajo técnico y además del comportamiento de todos los elementos de las brigadas, también verifica que el trazo de la preliminar se haga de acuerdo con las especificaciones correspondientes y modificará el trazo de la línea en los lugares donde así lo crea necesario, en el gabinete revisará los cálculos y dibujos de campo y verificará los avances de los trabajos desarrollados cada día de acuerdo al programa preestablecido, se encargará además de las relaciones con las autoridades de las distintas localidades por donde va a pasar el proyecto.

El Ing. Trazador, se encargará del trazo de la línea preliminar sobre la ruta elegida.

El Nivelador, se hace cargo del nivel, dibuja el perfil del terreno natural, establecerá los bancos de nivel fijos a cada 500 metros, nivelará las mojoneras y grabará las placas de los mismos.

El Ing. de Obras Menores y Mayores, decidirá cuales son los cruces más aproximados y tomará datos generales sobre ellos como el Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias(N.A.M.E.), ya

sea por las basuras que se atorán en los arbustos o árboles próximos al cauce, por huellas de humedad en las margenes o las -- construcciones cercanas, etc. Por regla, el ingeniero tendrá -- que atenerse a la información que le proporcionen los moradores de la región, que no siempre es precisa ni concordante.

El Topógrafo, se encargará de las secciones transversales y su dibujo. De acuerdo con las necesidades del trabajo, un topógrafo puede ser movilizado de una actividad a otra, por ejemplo: una vez terminado el trazo podría hacerse cargo de otra -- brigada de secciones o del trazo de las referencias o bien formar parte del equipo de afectaciones.

El Personal de Gabinete, Calculistas y Dibujantes, realizarán todas las labores de apoyo a las brigadas.

El Calculista, colaborará con el ingeniero responsable de los trabajos de campo, calculando las orientaciones astronómicas las coordenadas del trazo, revisará la compensación de las nivelaciones y archivará los registros y libretas de campo.

Los Dibujantes, elaborarán los planos que se necesiten para realizar los trabajos de campo, así como de la planta de anteproyecto.

El Ing. en Mecánica de Suelos, tomará muestras del terreno y las analizará para dar recomendaciones geotécnicas por cada tramo considerado.

Las brigadas se instalarán en un campamento que estará localizado de preferencia en un poblado, al centro de la zona por levantar, en un lugar accesible desde todos los puntos, y cuando sea posible, cerca de las vías de comunicación.

Además se procurará instalar campamentos auxiliares constituidos por tiendas de campaña, para la movilización dentro de la zona, de acuerdo con las necesidades del trabajo.

Afectaciones por Derecho de Vía

La adquisición del terreno que alojará una nueva construcción, implica también labores de topografía que, en sí, no difieren mucho de las mediciones hechas con miras a dicha construcción. Este grupo normalmente inicia sus labores posteriormente a las ya mencionadas, encargándose del deslinde de los predios particulares y ejidos, investigando sus nombres, municipios y estados a que pertenecen; es preciso hacer notar que los avances tanto del proyecto como de la construcción dependen en gran parte de la rápida obtención de esta información y la solución oportuna de las negativas que por razón natural se tienen que presentar. El problema existe y se debe encarar, liquidando las indemnizaciones respectivas sin mucho trámite burocrático. En la primera etapa de este proyecto se pidió a todos los probables afectados su colaboración para que faciliten la labor constructiva, haciéndoles ver los múltiples beneficios que les reportaría la nueva vía.

La división descrita anteriormente no significa una organización totalmente rígida, sino por el contrario, se trata de -- dar una visión general de como se constituyen las actividades y las brigadas topográficas, cuyo personal y número de equipo van de acuerdo con las necesidades que se presenten. No debe tampoco exagerarse de esa necesidad, contratando personal en demasía, cosa que es muy frecuente cuando no se toma una conciencia debida de la obra. Una solución que es aconsejable para resolver estos casos, es la elaboración de un programa que muestra la estimación del comportamiento teórico de los trabajos de campo y de la distribución ideal del personal necesario, a este programa -- se le conoce como "ruta crítica".

Procedimiento Fotogramétrico Electrónico:

El procedimiento fotogramétrico electrónico se basa en levantamientos fotogramétricos y se auxilia de computadoras electrónicas para calcular, desde el apoyo terrestre, hasta las cantidades de obra. Las características más sobresalientes de éste método son las siguientes:

- a) El estudio de rutas alternas se hace con seguridad y economía en una zona tan amplia como sea necesaria.
- b) Rapidez en la elaboración del anteproyecto y proyecto detallado, en comparación con el sistema tradicional.
- c) Ahorra esfuerzo al proyectista, relevándolo de los cálculos rutinarios y tediosos, permitiéndole así concentrar toda su atención y su criterio en la obtención de las mejores soluciones.
- d) Economía en el proyecto definitivo comparado con el sistema convencional; introduce economías en la elaboración del proyecto en sí, y como consecuencia de lograrse las mejores soluciones, reporta considerables economías en los costos de construcción, operación y conservación.
- e) Como este método se basa en la observación del terreno a través de aerofotografías en instrumentos fotogramétricos, no es aplicable en zonas densamente cubiertas de vegetación o inundadas permanentemente.

Para iniciar sus labores necesita idénticamente de los mismos datos que utiliza el método convencional. El sistema en general se divide en 3 etapas: Selección de Ruta, Anteproyecto y Proyecto Detallado.

La etapa de selección de ruta comprende el estudio somero de todas las posibilidades de ubicación de la vía, y de la selección de la mejor, con base en los costos de construcción, conservación y operación.

Este método también requiere de reconocimientos de campo, desde los puntos de vista topográfico para fotointerpretación; uso del suelo, geotécnico, hidrológico, y mediciones fotográficas para obtener perfiles del terreno, con fines de cálculo de cantidades de obra y costos de construcción.

Primer Levantamiento Aerofotográfico

El primer vuelo aéreo que se realiza sobre la región de estudio, suele ser un reconocimiento preliminar de la misma, al igual que en el caso del método tradicional, es para conocer -- las condiciones generales de la franja que aloja las mejores alternativas.

Dependiendo de la amplitud y de las características topográficas del área por fotografiar se determina la escala de toma más conveniente. Cuando el terreno sea muy montañoso y de difícil penetración terrestre se optará por un reconocimiento aéreo escala 1:50,000.

Las fotografías a escala 1:50,000 son normalmente utilizadas solo para fotointerpretación, con el fin de delimitar las fajas de terreno que alojan las mejores líneas de ruta, por las cuales debe continuar el estudio y para planear en ellas las líneas de vuelo fotográfico a escala 1:25,000 necesarias para restitución topográfica. La interpretación de las fotos a escala 1:50,000 se hacen con la ayuda del material cartográfico, estereoscópico y barra de paralaje, para la medición aproximada de desniveles.

Los aspectos geotécnicos e hidrológicos pueden mostrarse en un croquis o mosaicos fotogeológicos, sin embargo es conveniente que el resultado del análisis se conserve en los pares estereoscópicos, para su mejor utilización por parte del proyectista.

Para efectuar el vuelo fotográfico es necesario un programa de vuelo bajo las siguientes especificaciones:

- a) Escala de toma 1:50,000.
- b) En un plano o mosaico se marcan los ejes de las líneas de vuelo y para cada eje su rumbo, su altura de vuelo sobre el nivel del mar y sus sobreposiciones o traslapes: longitudinal (de 60 a 80%) y el lateral o adyacente (de 20 a 30%).
- c) Usar película pancromática en cámara granangular montada en un avión con techo superior.
- d) Se fija un horario de toma de acuerdo con la clasificación topográfica del terreno.
- e) Las tolerancias (variaciones permisibles) de las inclinaciones de la cámara; 4° de deriva, 3° de cabeceo y 3° de balanceo.

El plan de vuelo se entrega al personal encargado de ejecutar

tarlo, el que después de fotografiar el área manda los rollos - al laboratorio, anexando un informe de las condiciones de ilumi- nación, visibilidad y tipo de terreno observado durante el desa- rrollo de sus actividades, éstos datos guían al laboratorista - en el proceso del revelado de la película. Después del revelado se elaboran las copias de contacto, necesarias para ordenar las aerofotografías según la posición relativa que ocupan en el --- área fotografiada; se enumeran las líneas de vuelo y, en cada - línea, ordinalmente las aerofotos según el sentido del cadena- miento de la ruta a estudiar; al final de esta etapa se tiene - formado un mosaico índice. A continuación se copia todo el vuelo para proporcionar un juego a cada una de las dependencias:

- 1.-Departamento de Geotécnia de la SCT, para estudios fotogeoló- gicos.
- 2.-Dirección General de Planeación y Programa, para informarles sobre el curso que han de seguir los estudios socioeconómi- cos que sean necesarios.
- 3.-Al Departamento de Fotogrametría de la SCT, para el estudio estereoscópico de rutas.

Se puede llegar a calcular la escala de una fotografía con las relaciones que existe entre una distancia medida en la foto- grafía y la distancia correspondiente en el terreno. En muchos casos, aparecerán en la fotografía varios puntos identificables de posición conocida, y las distancias conocidas entre estos -- puntos ofrecen un medio para determinar la escala. La escala se puede calcular también aproximadamente con la relación de la -- distancia focal de la cámara aérea a la altura de vuelo, o a la altura del aeroplano arriba de la elevación media del terreno, por medio de la fórmula siguiente:

$$S_p = \frac{f}{H - h_p} \quad \text{---} \quad (1)$$

Siendo:

S_p : escala promedio de vuelo.

H : altura de la lente de la cámara por encima del plano de referencia (nivel del mar).

h_p : elevación media de los puntos del terreno arriba del nivel del mar.

f : distancia focal de la cámara aérea.

Nota: f , h_p y H en las mismas unidades. Inversamente, se puede calcular con la misma fórmula la altura de vuelo para obtener fotografías a la escala deseada.

Observando la ecuación (1) se deduce que, a menos que el área fotografiada sea completamente plana, no se puede obtener una escala representativa, por lo que h_p corresponde al promedio de las alturas sobre el nivel del mar, de los puntos contenidos en la fotografía.

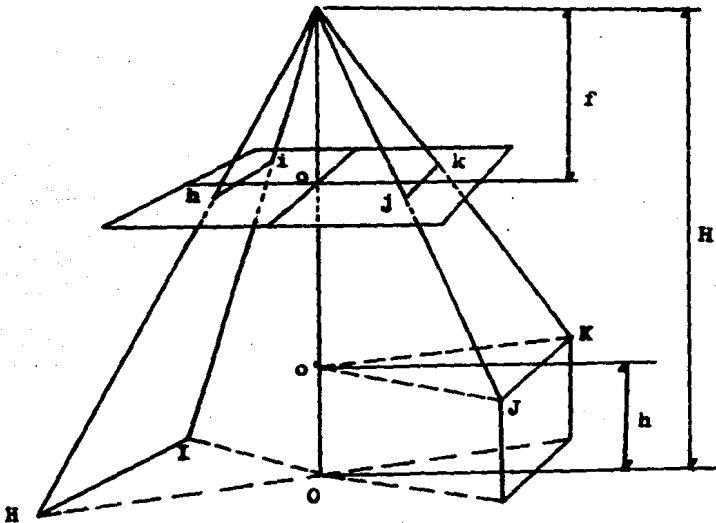


Fig. 4 Altura de la cámara y escala de la aerofotografía.

Existen tres tipos de toma en fotografía:

- a) **Verticales:** Cuando el eje de la cámara es vertical y la película horizontal. Corresponde a perspectivas del terreno sobre un plano horizontal.
- b) **Oblicuas:** Son las tomadas con el eje de la cámara haciendo un ángulo con la vertical. (La película siempre es perpendicular al eje de la cámara). Se denominan oblicuas altas cuando aparece el horizonte y oblicuas bajas cuando éste no aparece.
- c) **Compuestas:** Son en realidad grupos de fotografías tomadas oblicuamente y en forma simultánea por varias cámaras que hacen ángulo con la vertical.

Las fotografías compuestas están prácticamente fuera de uso; las oblicuas se utilizan para algunos propósitos, usualmente de reconocimiento. En adelante todo lo que se expone está relacionado a las fotografías aéreas verticales, exceptuando los casos especiales.

Estudios Fotogeológicos

Los estudios geológicos aplicados al proyecto se llevan a cabo mediante la interpretación de fotografías aéreas verticales escala 1:50,000 con la finalidad de definir las rutas más viables.

La interpretación fotogeológica es una técnica mediante la cual se analizan, estereoscópicamente, bajo determinados criterios, las imágenes de los objetos contenidos en las fotografías aéreas con el fin de deducir su significado geológico.

Esta técnica permite obtener información referente a las características de la zona donde se alojará el proyecto, normalmente es presentada en mapas fotogeológicos obtenidos de mosaicos de contacto que incluyen datos relativos a la morfología, rocas, suelos, drenaje y materiales de construcción.

Morfología

El estudio de los rasgos morfológicos no está desprovisto

de importancia si se les observa con relación a los agentes que le dieron origen, es decir, mediante la geomorfología; ya que - montañas, lomeríos o llanuras de una misma región puede comportarse de diferente manera para un ferrocarril que tiene especificaciones rígidas de pendiente.

Bajo este punto de vista, el estudio fotogeológico de la morfología comprende el análisis de zonas montañosas originadas por intrusión, vulcanismo, plegamiento o fallamiento; y de zonas de llanuras de lava, de pié de monte, de dunas lacustres y costeras.

De acuerdo con las características de cada unidad geomórfica, se tiene especial cuidado en definir zonas con laderas inestables con tendencias a deslizarse, zonas inundables o zonas lacustres de mala calidad de los materiales. Estos problemas en ocasiones frecuentes son de mucha trascendencia y si no fueran observados en forma regional, a través de fotografías aéreas, - pudieran pasar inadvertidos.

Rocas y Suelos

La delimitación de las rocas, además de sus características petrográficas se hace con relación a su comportamiento mecánico, es decir, de acuerdo con sus características estructurales como son: Grado de fracturamiento, estratificación e intemperismo.

El estudio de suelos se lleva a cabo considerando su procedencia, indicándose si son residuales o transportados, ya que - su comportamiento dependerá en gran parte de su origen, pues -- sus características serán variables tratándose de suelos fluviales, lacustres, palustres, eólicos o de litoral.

Del estudio de rocas y suelos a nivel de elección de ruta se establecen diferentes zonas, cuyo análisis de arabilidad y - de taludes influyen en forma determinante en el proyecto más -- económico, principalmente de cortes, túneles y terraplenes; tales zonas corresponden a:

- Zonas con predominio de roca.
- Zonas de roca altamente fracturada e intemperizada.
- Zonas de suelo de mala calidad, para cimentación de terraplenes.
- Zonas de materiales utilizables para la construcción.

Drenaje

El estudio del drenaje está basado en la interrelación --- que existe entre la morfología, el clima, las rocas y los suelos, los cuales determinan la densidad y el arreglo del drenaje.

Existen varios factores que intervienen en el análisis del drenaje que son atendidos en esta etapa del proyecto.

Desde aquellos arroyos que tienen cauces poco definidos -- hasta los ríos importantes con cauces divagantes, pasando por aquellos que tienen erosión remontante o de los que escurren sobre calizas donde hay sumideros.

La observación de estos problemas conjuntamente con la delimitación de la red hidrográfica para determinar las cuencas, datos de estabilidad del cauce, características de las márgenes y materiales acarreados, ocupan un renglón muy importante para elegir los sitios de cruces más apropiados.

Materiales de Construcción

A nivel de elección de ruta es posible conocer las zonas -- para localizar los bancos de materiales para construcción, basta decir que en esta etapa se han estudiado las rocas y los suelos; además, dado el carácter regional del estudio fotogeológico se obtiene información más amplia para aquellas zonas donde hay escasez de materiales pétreos e información de fuentes de -- aguas superficiales y subterráneas.

Estudio Estereoscópico de Rutas

El primer estudio estereoscópico es simple y sencillo; es decir, se continua con la misma rutina llevada hasta ahora, separando las más ventajosas, aplicando el mismo criterio de eliminación del primer método.

Sobre las mejores rutas se practicará un segundo reconocimiento aéreo más detallado que el anterior, con la participación de los mismos elementos, con objeto de verificar en el terreno las características que se fotointerpretaron en el gabinete; este reconocimiento tiene las mismas especificaciones que el realizado a escala 1:50,000.

La escala de vuelo esta vez será de 1:25,000, las cuales necesitan un control terrestre; tanto horizontal como vertical, que se proyecta sobre las fotografías aéreas y se obtiene directamente en el campo por procedimientos topográficos (ver cap. III) con el fin de orientarlas en instrumentos Balplex 760, donde puede realizarse, a nivel de anteproyecto preliminar, el estudio de alternativas en planta, perfil y sección transversal, haciendo todas las medidas en el Balplex. En caso necesario, se hace restitución a escala 1:5000/5 metros de una faja, tan angosta como pueda delimitarse en el propio instrumento, de acuerdo con las posibilidades de ubicación de las alternativas. Se detallan más los estudios fotogeológicos, las cuencas de drenaje y se confirman algunos otros cruces.

I.4 Descripción de la Ruta en Proyecto

En cualquiera de los dos métodos utilizados la descripción de la ruta va quedando definida por las características topográficas, geológicas y geotécnicas que van presentando cada una de las alternativas a lo largo del proceso de selección, para finalmente dedicarse única y exclusivamente a la que contiene el trazo definitivo, la cual tendrá forzosamente una descripción más fiel del terreno que ocupa.

C A P I T U L O I I

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

II.1 Elección de la Ruta

La elección de la ruta es un proceso que involucra varias actividades, desde la recopilación de datos socioeconómicos, pasando por el estudio y análisis de los mismos, hasta los levantamientos aéreos o terrestres necesarios para finalmente por medio de una evaluación de los costos de construcción, operación y conservación presentados en los anteproyectos de las mejores rutas, se seleccione la que mejor adaptación tenga a esas condiciones.

Esta es una de las fases más importantes e interesantes en el estudio de nuestro proyecto:

- a) Recopilación de datos.
- b) Estudio sobre cartas geográficas o mosaicos fotográficos.
- c) Reconocimientos.
- d) Fotografías aéreas.
- e) Estudio comparativo preliminar
- f) Estudio estereoscópico.
- g) Anteproyectos y Antepresupuesto.
- h) Estudio comparativo final.
- i) Selección de la ruta.

II.2 Elaboración de Anteproyectos

La segunda etapa, que se designa con el nombre de Anteproyecto, se inicia con el estudio en gabinete y el replanteo en el campo de una poligonal de referencia a lo largo de una o más rutas de equiparable elección.

Método Tradicional:

La formulación de anteproyectos facilita en todos sus aspectos la comparación entre dos o más rutas que tienen una aproximación lo más cercano posible al que sería el trazo definitivo. Es por eso que en campo se traza una preliminar en cada ruta elegida, dichas preliminares pueden hacerse utilizando los siguientes aparatos:

- | | |
|------------------------------------|------------------|
| a) el tránsito, la cinta, y nivel. | c) Telurómetros. |
| b) el tránsito y la estadia. | d) Plancheta. |

Procedimiento Fotogramétrico Electrónico:

Disponiendo de la planta topográfica de restitución y tomando como guía general el estudio estereoscópico de rutas, se procede a elaborar el anteproyecto en planta y perfil (escala -- 1:10,000/10 ó 1:5,000/5) de cada una de las alternativas de la línea.

Antepresupuesto

En ambos casos se exige presentar un antepresupuesto basado en tabuladores con precios unitarios actualizados. Este antepresupuesto constará de los siguientes conceptos:

- Desmante.
- Terracerías.
- Obras Menores (drenaje).
- Puentes y Túneles.
- Volúmenes Geométricos y Volúmenes de Corte y Terraplén.

Mientras que para el primer caso las cubriciones son a -- "mano", el segundo naturalmente se auxilia en computadoras programadas para este objetivo, lo que representa un gran ahorro en tiempo y una menor equivocación en los cálculos.

II.3 Comparación de Alternativas(Evaluación de Costos)

La elección del mejor anteproyecto entre dos o más posibles, no es una decisión fácil, ni de una sola persona, sino de un conjunto de técnicos que aplican su amplio criterio y experiencia al estudio comparativo, y de cuya solución depende el futuro del ferrocarril en cuestión.

El análisis económico de las diversas alternativas del proyecto se lleva a cabo para establecer comparaciones entre sus costos aproximados de construcción, operación y conservación, así como de los beneficios probables que de ellas se deriven. Así mismo, debe tomarse en cuenta los perjuicios materiales ocasionados por la obra, y cuantificarlos a fin de ser considerados en esta evaluación.

Mediante la evaluación de las alternativas(a través de los índices de costo/habitante servido, índice de productividad o índice de rentabilidad usando beneficios y costos actualizados, según sea el tipo de vía férrea), se selecciona la mejor línea de ruta, la cual se muestra en planta y perfil con cantidades de obra aproximadas, antepresupuesto y memoria de evaluación.

El análisis de costos, no debe ignorar la visión clara y consciente de las características físicas de la vía: Pendientes deflexiones y grado de curvaturas, ascenso y descenso y longitud de la línea.

Es evidente que dos operaciones económicas numéricamente iguales, pero realizadas en fechas diferentes no puede atribuírseles el mismo valor, por lo que cuando se establece un análisis comparativo entre alternativas en las que existirán beneficios e inversiones de diferentes cuantías y fechas diversas de realización, se recurre a una técnica tal que permita plantear en un año de referencia los efectos futuros de las inversiones y las causas mismas.

Es por ésto que se ha adoptado el método de actualización

consistente en reemplazar una cantidad de I_n situada en el año "n" o valor inicial, por otra de valor I_m situada en el año "m" y equivalente a la anterior de acuerdo con la expresión:

$$I_n = I_m(1+i)^{n-m} \quad \text{-----} \quad (1)$$

Siendo i la tasa de actualización o de crecimiento anual.

Suponiendo $m=0$ en la expresión anterior y despenjando I_m se tiene:

$$I_m = \frac{I_n}{(1+i)^n} \quad \text{-----} \quad (2)$$

I_m es denominado como valor "actual" de I_n .

De lo anterior se concluye que un conjunto de operaciones económicas (inversiones o beneficios) tendrían un valor "actual" igual a:

$$I = I_0 + \frac{I_1}{(1+i)^1} + \frac{I_2}{(1+i)^2} + \text{-----} + \frac{I_n}{(1+i)^n} \quad \text{-----} \quad (3)$$

La selección de la inversión (alternativa de línea en nuestro caso) se realiza mediante el establecimiento de balances diferenciales actualizados en el que comparan las economías realizables en la operación y conservación actualizadas, con relación al monto de las diferencias en inversiones y para obtener así el beneficio total actualizado; por lo cual se cuantifican para cada año los conceptos siguientes:

- a) Inversiones en la infraestructura y la superestructura de la línea.
- b) Adquisiciones de locomotoras y equipo de arrastre.
- c) Rehabilitaciones y trabajos de señalización.
- d) Conservación de locomotoras y equipo de arrastre.
- e) Consumos de energía.
- f) Conservación de la vía e instalaciones.
- g) Operaciones en terminales y estaciones.

El método de actualización presenta entre otras ventajas - las siguientes:

- a) Permite introducir en los cálculos todos los parámetros variables con el tiempo, previendo en lo posible su evolución; tal es el caso del tonelaje por mover, los precios, salarios, la productividad, condiciones de utilización, etc.
- b) Se pueden establecer prioridades en función de los beneficios actualizados o la tasa de rentabilidad con la cual las sumas de beneficios e inversiones se anulan.
- c) Se obtiene el año óptimo de realización de la inversión.
- d) Se puede bosquejar un plan de inversiones escalonadas de acuerdo con el servicio que deba asegurar el ferrocarril.

La tasa de actualización empleada, depende del mayor o menor interés que el país atribuya a los efectos inmediatos o remotos de una inversión.

Una tasa elevada significaría el deseo de obtener rápidos resultados sin atribuir mucha importancia a los efectos de largo plazo.

El lapso de tiempo adoptado (en la eliminación de alternativas) como período de actualización es de 20 años, pues se considera que con un horizonte económico mayor resulta difícil prever con una precisión aceptable la evaluación de todos los factores; además de que el valor del coeficiente $1/(1+i)^n$ decrece con el tiempo, por lo que los efectos posteriores se minimizan.

C A P I T U L O III

TRAZO PRELIMINAR

III.1 Trazo, Nivel y Seccionamiento Preliminar

Trazo

Método Tradicional

Se llama línea preliminar a la poligonal abierta que se -- traza entre puntos obligados con una pendiente ligeramente me-- nor a la pendiente gobernadora correspondiente precisamente en-- tre dos puntos obligados, es decir, es una poligonal abierta -- que nos va a servir de apoyo para conocer la topografía del te-- rreno en una faja a ambos lados de dicha línea (configuración), la cual nos permite hacer el estudio del eje definitivo.

Anteriormente citamos cuatro procedimientos que se siguen para el trazo de la preliminar; en nuestro caso emplearemos só-- lo el del tránsito, cinta y nivel: cuyo personal consta de un -- trazador, un nivelador y un topógrafo, todos ellos con su res-- pectivo personal auxiliar.

El trazador, siguiendo las instrucciones del ingeniero lo-- calizador, inicia el trazo de la poligonal colocando el tránsi-- to en el punto de partida, al cual denominará estación 0+000 -- si se trata del origen, lo referenciará perfectamente para po-- der ser localizado cuando se regrese al campo hacer el trazo de definitivo, procurará a su vez trazar largas tangentes (mantenien-- do el orden de precisión especificada), clavando estacas a cada 20 metros a manera de referencia, hasta llegar al siguiente vé-- r tice y así sucesivamente. Dichos vértices (PI) también deberán -- identificarse mediante mojoneras o bien por trompos con tachue-- las, referenciando por lo menos uno de cada cinco vértices, co-- mo mínimo.

Para la medición de los ángulos horizontales se recomien-- da el sistema de deflexiones en lugar de los métodos de medi--- ción directa y conservación de azimutes que no describiremos. --

El primero consiste en determinar los ángulos de deflexión (Fig. 5) que según el sentido de la línea o del cadenamiento, pueden ser derechos(en el sentido de las manecillas del reloj) o izquierdos(sentido contrario a las manecillas del reloj) formándose en cada uno de los vértices de la poligonal entre una tangente y la prolongación de la precedente, visando atrás dos veces: una en posición directa y la otra en posición inversa para disminuir el error de colimación, tomando sus rumbos magnéticos para comprobar los ángulos observados.

Todos los registros se leen de abajo hacia arriba(Fig. 6), para semejar la forma en que el ingeniero ve la línea desde su aparato.

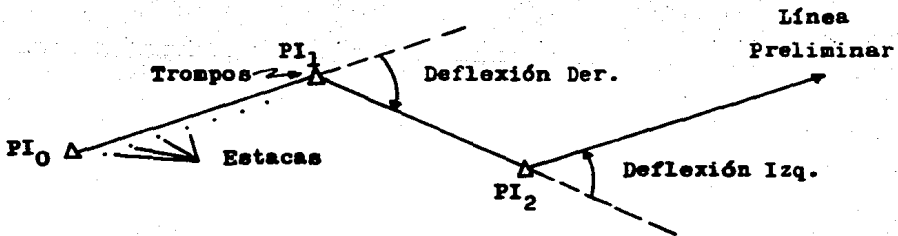


Fig. 5

Preliminar A				
ESTACION	DISTANCIA	DEFLEXIONES	F.M.O.	F.A.C.
0+300		28° 11' 0		
280				
260				
240				
220				
0+200				
192.40				
180		23° 14' 1	N 25° 0' E	N 23° 14' E
160	100.00 mts.			
140				
120				
113				
0+100				
080				
060				
040				
020				
0+000			N 10° 0' E	N 10° 0' E

TRAZO: Fecha:	
CROQUIS	NOTAS
	Pz.
	Orilla de camino
	Pz.
	centro de Arroyo
	Arbol de Pirul

Fig. 6 Registro de campo de una preliminar levantada por deflexiones

Las tangentes correspondientes deben orientarse astronómicamente cada 5 ó 10 Km. como máximo para determinar el rumbo astronómico y comprobar que el cierre angular de la poligonal que de dentro de la tolerancia que establece la siguiente expresión:

$$T = a\sqrt{N}$$

Donde:

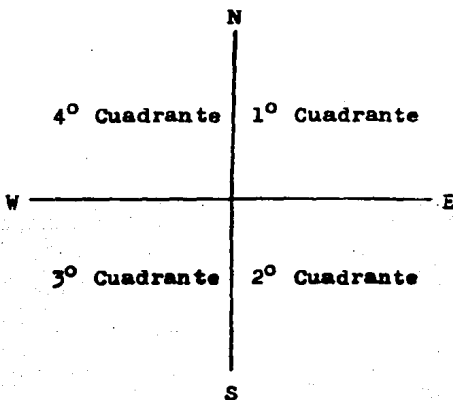
T: Tolerancia en minutos.

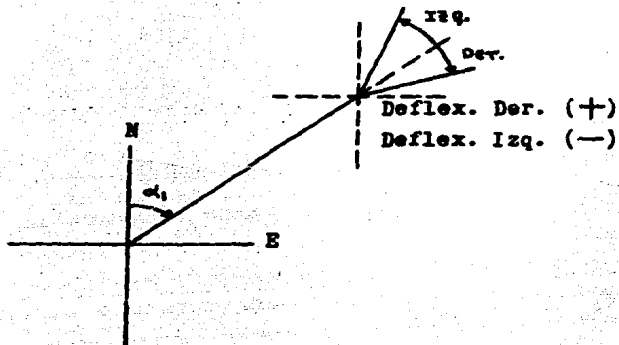
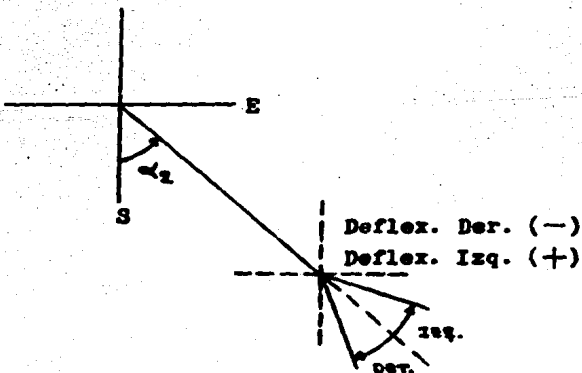
a: Aproximación de lectura en el tránsito.

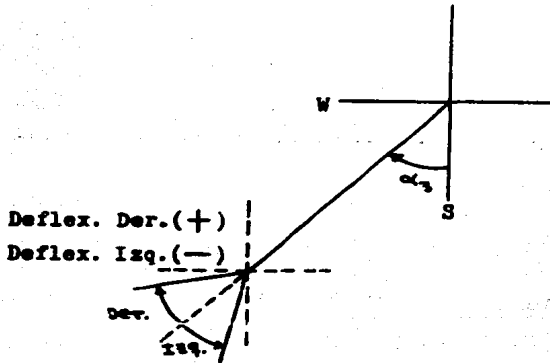
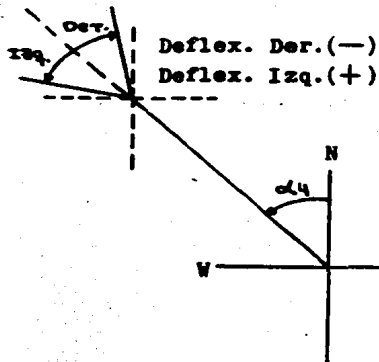
N: Número de lecturas efectuadas.

En gabinete el trazador calcula sus orientaciones y las coordenadas de los vértices de la preliminar y verifica el dibujo de la misma.

Cálculo de Rumbos en función de las Deflexiones



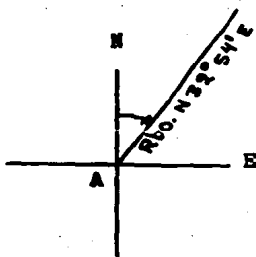
1° Cuadrante (N α E)2° Cuadrante (S α E)

3^o Cuadrante (S & W)4^o Cuadrante (N & W)

Ejemplo: Conocido el rumbo de partida y las deflexiones de cada vértice, determinar los rumbos de las siguientes líneas.

Datos

Rbo. $\overline{AB} = N-32^{\circ} 54' E$



Deflexiones

B = $104^{\circ} 57' D$

C = $96^{\circ} 03' D$

D = $54^{\circ} 17' I$

E = $94^{\circ} 09' D$

F = $72^{\circ} 50' I$

G = $84^{\circ} 34' I$

H = $90^{\circ} 11' I$

I = $54^{\circ} 23' D$

J = $92^{\circ} 54' D$

Solución:

$$\begin{array}{r} \text{Rbo. } \overline{AB} = N \quad 32^{\circ} 54' E \\ + \quad 104^{\circ} 57' D \\ \hline 137^{\circ} 51' \\ - \quad 179^{\circ} 60' \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{Rbo. } \overline{BC} = S \quad 42^{\circ} 09' E \\ - \quad 96^{\circ} 03' D \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{Rbo. } \overline{CD} = S \quad 53^{\circ} 54' W \\ - \quad 54^{\circ} 17' I \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{Rbo. } \overline{DE} = S \quad 0^{\circ} 23' E \\ - \quad 94^{\circ} 09' D \\ \hline 93^{\circ} 46' \\ - \quad 179^{\circ} 60' \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{Rbo. } \overline{EF} = N \quad 86^{\circ} 14' W \\ + \quad 72^{\circ} 50' I \\ \hline 159^{\circ} 04' \\ - \quad 179^{\circ} 60' \\ \hline \end{array}$$

$$\text{Rbo. } \overline{FG} = S \quad 20^{\circ} 56' W$$

Rbo. $\overline{FG} = S$	$20^{\circ} 56' W$
	$- 84^{\circ} 34' I$
Rbo. $\overline{GH} = S$	$63^{\circ} 38' E$
	$+ 90^{\circ} 11' I$
	$- 153^{\circ} 49'$
	$- 179^{\circ} 60'$
Rbo. $\overline{HI} = N$	$26^{\circ} 11' E$
	$+ 54^{\circ} 23' D$
Rbo. $\overline{IJ} = N$	$80^{\circ} 34' E$
	$+ 92^{\circ} 54' D$
	$- 173^{\circ} 28'$
	$- 179^{\circ} 60'$
Rbo. $\overline{JK} = S$	$6^{\circ} 32' E$

Comprobación

Σ deflex. Der.	Σ deflex. Izq.
$104^{\circ} 57'$	$54^{\circ} 17'$
$96^{\circ} 03'$	$72^{\circ} 50'$
$+ 94^{\circ} 09'$	$+ 84^{\circ} 34'$
$54^{\circ} 23'$	$90^{\circ} 11'$
$92^{\circ} 54'$	$301^{\circ} 52'$
$442^{\circ} 26'$	
Σ deflex. Der. - Σ deflex. Izq.	
$- 442^{\circ} 26'$	
	$301^{\circ} 52'$
	$140^{\circ} 34' D$

Rbo. $\overline{AB} = N$	$32^{\circ} 54' E$
	$+ 140^{\circ} 34' D$
	$- 173^{\circ} 28'$
	$- 179^{\circ} 60'$
Rbo. $\overline{JK} = S$	$6^{\circ} 32' E$ O.K.

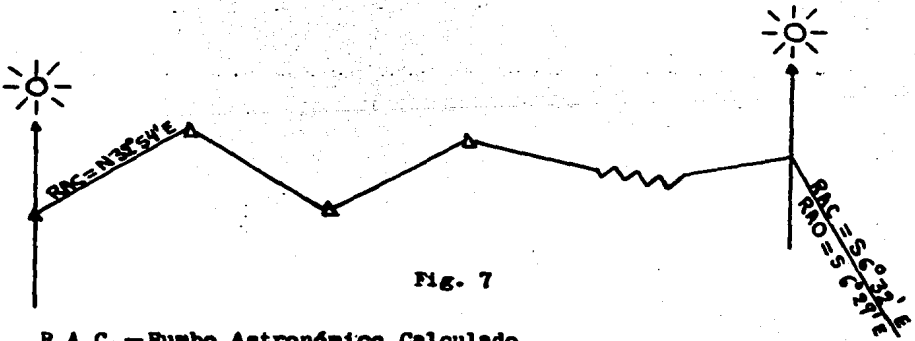


Fig. 7

R.A.C. = Rumbo Astronómico Calculado.
 R.A.O. = Rumbo Astronómico Observado.

Una vez calculado los rumbos de los lados de la poligonal, el trazador procede al cálculo de las coordenadas de los vértices de dicha poligonal, ya sea por procedimiento puramente convencional o bien por calculadoras programables que hacen menos laboriosos y erráticos los cálculos.

Calculadas las coordenadas de la preliminar, se procede al dibujo de la misma por medio de una cuadrícula a escala 1:2000, este dibujo se hace en papel duplex y se le conoce con el nombre de plano de trabajo, para el dibujo de la cuadrícula se procura acomodar el plano de acuerdo con la orientación dominante del trazo de la preliminar.

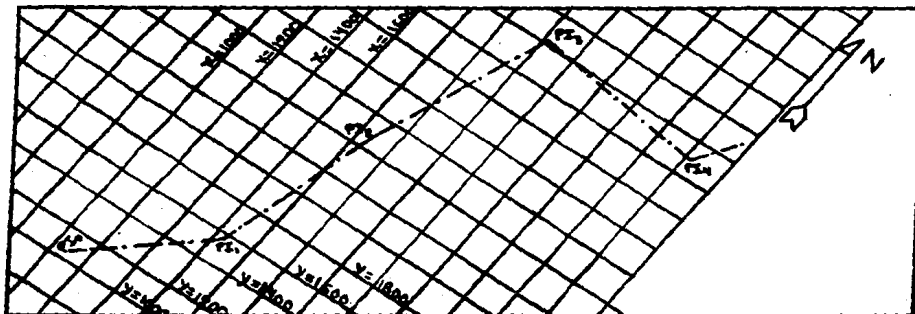


Fig. 8

Una vez hecha la planta a lápiz, el dibujante se encarga de intintar el trazo y cadenear gráficamente las estaciones de 20 metros, marcando los kilometrajes correspondientes a los P.I., finalmente el ingeniero que realizó el levantamiento revisará todo el dibujo.

Nivelación de la Línea Preliminar

Conforme avanza el trazo de la línea preliminar, el ingeniero nivelador se apresta a llevar a cabo la nivelación de la misma, utilizando nivel fijo y estadal; el procedimiento es de ida y regreso; la nivelación de ida es una nivelación de perfil para conocer el perfil del terreno natural por donde se lleva el trazo y que nos permite conocer las pendientes que se van presentando en el campo, la nivelación de regreso es una nivelación diferencial que nos servirá para comprobar la nivelación en el campo, para llevar a cabo esta labor se fijan bancos de nivel a cada 500 metros como máximo, sobre clavos en raíces de grandes árboles o rocas, los cuales pueden quedar a uno u otro lado de la línea preliminar y lo más cercano posible a ella, -- estos bancos de nivel quedarán debidamente referidos, y con relación a estos se determinan las elevaciones del terreno en todas las estacas puestas por el trazador y puntos intermedios -- (puntos de liga) que se requieren para definir completamente el perfil del terreno a lo largo de la poligonal. La tolerancia -- que se aceptará para dicha comprobación será la que se obtenga de aplicar la siguiente expresión:

$$T = 0.01\sqrt{L}$$

Siendo:

T: Tolerancia en centímetros.

L: Distancia en kilómetros.

La elevación de los bancos de nivel y la de los puntos de liga se determinarán al milímetro.

P.L.- Puntos de Liga fijos
definidos.

B.N.- Fijos, definidos y de
difícil destrucción y
fácil de localizar.

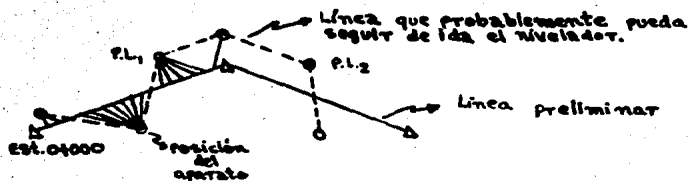
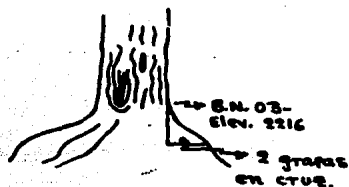
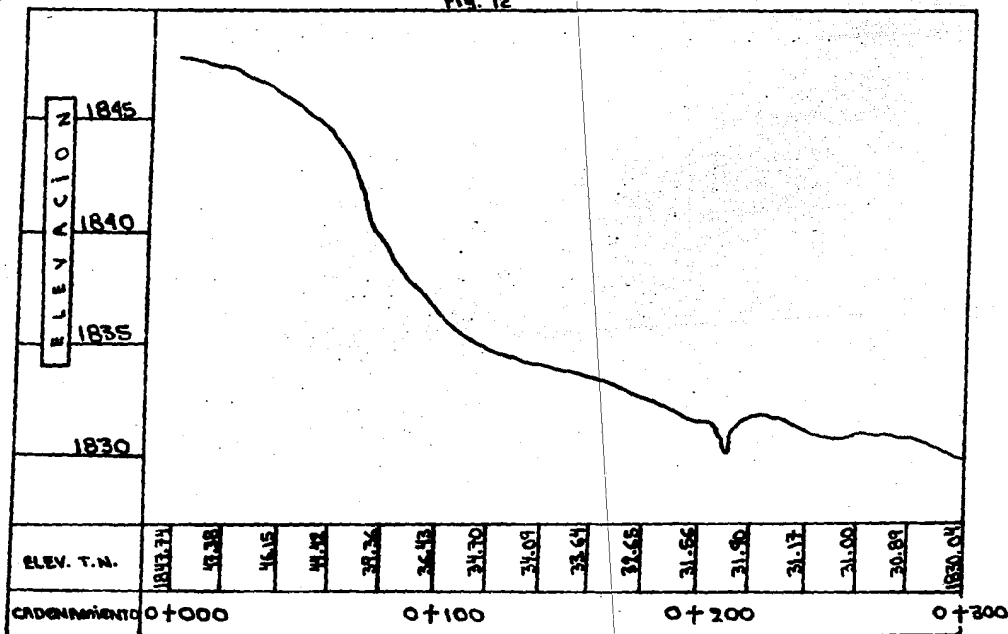


Fig. 9

En el gabinete el ingeniero nivelador calcula su nivelación y posteriormente la dibuja a lápiz en papel milimétrico -- grueso, dicho perfil servirá para que el ingeniero localizador verifique las pendientes con la cual fue trazando la línea preliminar de acuerdo con la pendiente de proyecto especificada para todo el tramo en estudio, en caso de que no suceda lo anterior, se modificará rápidamente el trazo de dicha línea en el terreno; este dibujo se hace a escala horizontal 1:2000 y vertical 1:200.

Perfil de la Preliminar

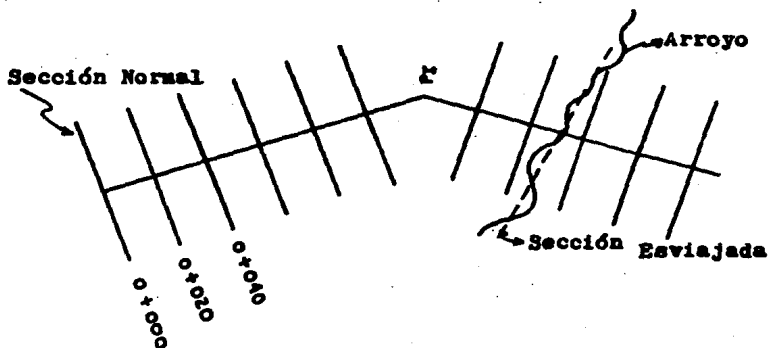
Fig. 12



Secciones Transversales Preliminares

El grupo del topógrafo (topógrafo, estadalero y uno o dos cadeneros) siguen al del nivelador tomando secciones transversales preliminares en las estaciones cerradas, y en todos aquellos puntos intermedios en que se requiera, con el fin de poder conocer la configuración del terreno y los accidentes existentes, en una amplitud tal, que cubra totalmente la faja de terreno que aloja al anteproyecto; es decir, estas secciones en la mayoría de los casos se obtienen a cada 20 metros y normales al eje del trazo, salvo en algunos casos especiales cuando se requiere de una mayor información para poder definir perfectamente los accidentes topográficos, cuando el terreno sea sensiblemente plano se recomienda que las secciones se obtengan a cada 40 metros. La equidistancia de las cotas redondas serán congruente con el tipo de terreno.

El ingeniero de obras menores (drenajista) debe indicarle al topógrafo los sitios en que también deberá obtener secciones correspondientes a los cruces (arroyos y vados) necesarias para empezar a estudiar el proyecto del drenaje transversal.



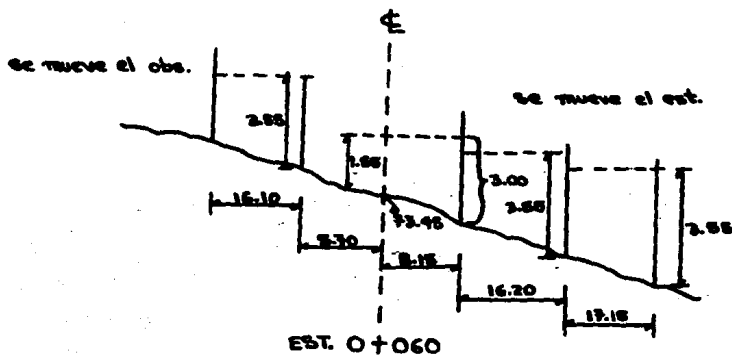


Fig. 13 Perfil de Sección Transversal

		NOTAS y croquis	
	01080		
72.00	21.80	72.00	21.80
21.80	EST. 0+060	21.80	21.80
	01040		
	01020		
	01000		

Fig. 14 Registro de Campo (libreta de secciones)

Procedimiento Fotogramétrico Electrónico

Control Terrestre

La segunda etapa de este método se inicia con las labores del control terrestre, que generalmente se requiere para apoyar la toma de fotografías aéreas escala 1:25,000 (o excepcionalmente 1:50,000) y 1:5,000.

El control de tierra necesario, tanto horizontal como vertical, que se proyecta sobre las fotografías aéreas, se obtiene en el campo por procedimientos topográficos.

El control horizontal consiste en trazar poligonales o -- triangulaciones aéreas, o una combinación de las dos.

El control vertical establece bancos de nivel a intervalos convenientes y estaciones de control en elevación.

Resumiendo, el control terrestre consiste en la ubicación de un número relativamente pequeño de puntos cuya posición y -- elevación se conocen o se van a determinar al terreno, y estarán ligados entre sí por medio de una poligonal que se trazará en campo usando tránsito, estadía y nivelación fija o empleando el levantamiento de grandes lados medidos con telurómetros de -- alta precisión; por lo que las mediciones del control quedan -- comprendidas en el campo de la geodesia práctica o topográfica.

Así pues, lo mismo que para el método convencional se procede a la formación de la "brigada de tierra", quienes realizarán los estudios topográficos.

Control para fotos a escala 1:25,000

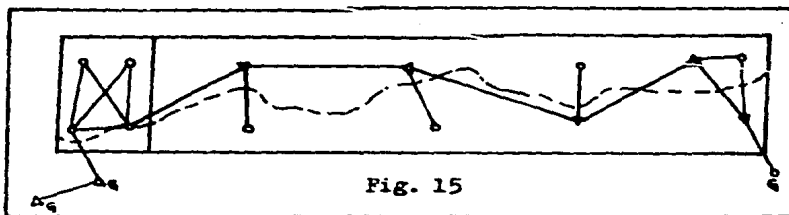
Para el proyecto de este control se toman como guía las líneas de ruta determinadas por el estudio de las fotos a escala 1:50,000 y como base, la información relativa a puntos geodésicos y nivelaciones de precisión existentes en la zona de trabajo.

Si las fotos a escala 1:50,000 no han sido tomadas aún y -- si la zona carece de suficientes detalles planimétricos que puedan ser -- puntos de control, debe verse la conveniencia del

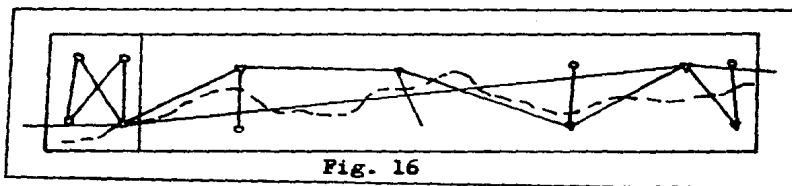
preseñalamiento.

En forma general, el primer control tendrá el siguiente aspecto:

a) Si la liga a vértices geodésicos es económicamente posible.



b) Si el control es independiente (sin liga geodésica).



Ya que por necesidades del estudio, las fotos de esta escala son orientadas en balplex, preferentemente de 6 o más proyectores, conviene que el control se proyecte precisamente para retriangulaciones (o triangulación aérea, que no es más que cualquier tipo de prolongación del control por medio de fotografías aéreas. En levantamientos a escala media y pequeña, no es necesario que el control de tierra esté en todas las fotografías, - sino que puede aparecer en cada tercer foto, en cada quinta o, en algunos casos, hasta cada décimaquinta fotografía; las distancias intermedias se salvan por medio de triangulación aérea) de un número máximo de fotos igual al número de proyectores disponibles en la barra.

Pero, ya sea que las aerotriangulaciones se hagan en bal--plex o en otro instrumento, por razones de precisión es recomendable limitarlas a 6 u 8 fotos. Habrá en un extremo de la faja un modelo de salida con apoyo completo(3 puntos de x-y-z y uno de z, como mínimo), un modelo de llegada, con un mínimo de dos puntos de x-y-z(situados en los extremos de una línea normal al eje de vuelo) y puntos intermedios de x-y-z, distantes entre sí 4 Km., en promedio, en ambos sentidos.

Es muy conveniente situar algunos puntos de control cerca de la línea de ruta, para facilitar posteriores liga con la poligonal de referencia, o en su caso, con el trazo definitivo directo. Se procura que los puntos queden en las zonas de triple traslape, para que su utilidad sea máxima, y a no menos de 2 cm de la orilla de la imagen, por razones de distorsión.

Si los puntos han de ser señalados, es recomendable el empleo de cruces o tréboles con brazos de 3 metros de longitud y 0.5 metros de ancho. Las mojoneras deben ser estables y tener dispositivos de identificación.

La medición de este control comprende, desde luego, la determinación de azimutes, ángulos, distancias y desniveles.

La determinación de azimutes puede hacerse por liga geodésica, mediante giróscopo o por observaciones astronómicas. En el correspondiente departamento de la SCT usualmente se hace mediante observaciones del sol.

Los ángulos se miden con tránsitos de un segundo de lectura y se controlan con determinaciones de azimut y cierres de la poligonal mediante lados largos o por ligas con vértices preexistentes de levantamientos confiables. La tolerancia en el cierre angular es de $10\sqrt{n}$, siendo n el número de ángulos leídos.

Las distancias pueden medirse con cualquier longímetro electrónico capaz de medir las distancias del amplio rango que este tipo de trabajo implica; en nuestro caso usamos telurómetros MRA-3.

La tolerancia en el cierre planimétrico es de $0.18m\sqrt{L}$, -- después de la compensación angular, siendo L el desarrollo de la poligonal cerrada, en kilómetros y m el número de una constante.

Tan importante como la medición del control, lo es la identificación de los puntos; así, cuando el vértice no haya sido preseñalado se puede precisamente determinar en un detalle singular, desde el propio vértice mediante coordenadas polares, la posición y elevación de algún punto característico cercano, que se identifique fácilmente en el campo, y en la foto, a la escala de la imagen que se observará en el instrumento fotogramétrico. El trabajo de identificación se facilita con el empleo de ampliificaciones y se describen mediante cróquis acotados en las libretas de campo.

En todos los casos, los vértices deberán quedar marcados - en mojoneras, en rocas fijas, etc. anotando en ellas o en algún testigo cercano, los datos de identificación del punto.

Para facilitar el manejo de los diferentes tipos de puntos es muy conveniente establecer nomenclaturas que distingan a los puntos de uno y otro control, los de poligonal de los auxiliares, los terrestres de los fotogramétricos, etc.

La toponimia es también un aspecto muy importante del control terrestre; ha de obtenerse en el campo toda la información que de una u otra forma pueda afectar al proyecto.

Control para Fotos a Escala 1:5,000

Los puntos de este control tienen función múltiple, se utilizan para la orientación de modelos, y como referencias para el trazo del proyecto, tanto en el período de estudio, como durante la construcción.

Dado que a partir de este control se obtienen los datos -- del terreno para el proyecto definitivo, su realización requiere de la mejor identificación y la máxima exactitud.

Para lograr lo primero, los puntos de posición son invariablemente preseñalados, es decir, son marcados en el terreno antes de la toma de fotos; para lo segundo, se aplican los equipos y procedimientos más eficientes y seguros.

Para la planeación de este control, sirve de guía la línea de ruta resultante de la etapa previa y la posición de las líneas de vuelo. El control se forma con una poligonal llamada -- "de referencia", cuyos vértices se sitúan cercanos a la línea de ruta, y una serie de puntos auxiliares de elevación que se ubican en los tercios laterales de las fajas, para el control en omega.

El aspecto general del control para las fotos a escala -- 1:5,000 es el siguiente:

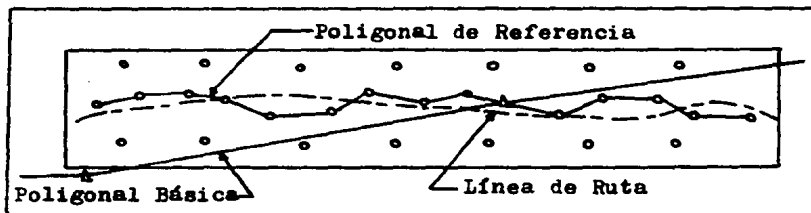


Fig. 17

Los puntos de la poligonal de referencia deben situarse -- con una separación de 200 a 300 metros (idealmente 225 metros) -- entre sí, a modo de asegurar que en cada par queden por lo menos dos puntos de tres coordenadas. Esta separación es también conveniente para los trabajos de replanteo del trazo.

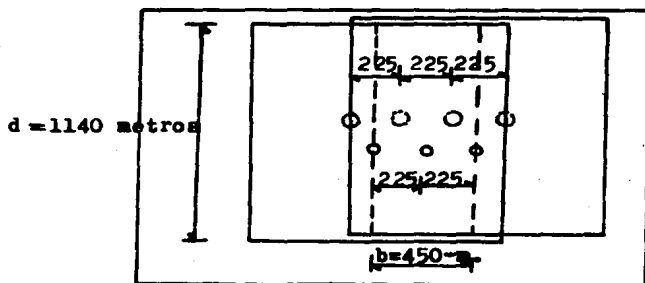


Fig. 18

Los puntos de la poligonal pueden situarse a uno u otro lado de la posible posición del trazo definitivo, buscando siempre que desde ellos se tenga la máxima visibilidad hacia el eje del proyecto, que las terracerías o los movimientos propios de la construcción no vayan a destruirlos y que no queden cubiertos por árboles o sombras.

Cuando en la zona del proyecto hay suficientes detalles -- planimétricos naturales, solo se preseñalan los puntos de la poligonal y los puntos auxiliares de elevación son escogidos en las fotos definitivas a escala 1:5,000; de lo contrario, estos puntos son también preseñalados, tomando como guía, la posición de la línea de vuelo.

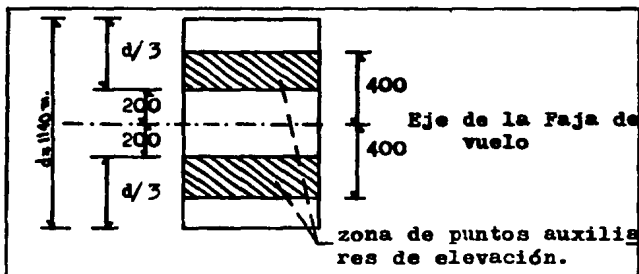


Fig. 19

Así, los puntos laterales quedan distantes entre 200 y 400 metros del eje, a ambos lados de la faja. La separación longitudinal es, del orden de 450 m. en forma alternada, como se indica en la figura 20.

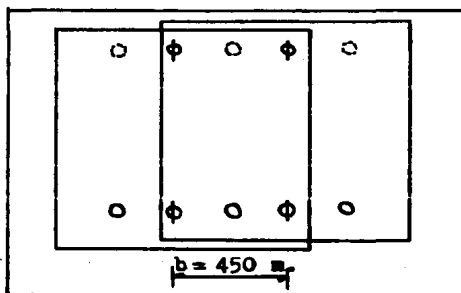


Fig. 20

Si los puntos laterales no fueron preseñalados, a fin de que sirvan también en los modelos contiguos, se les localiza en las zonas de triple traslape, en la forma que se indica en la figura 21.

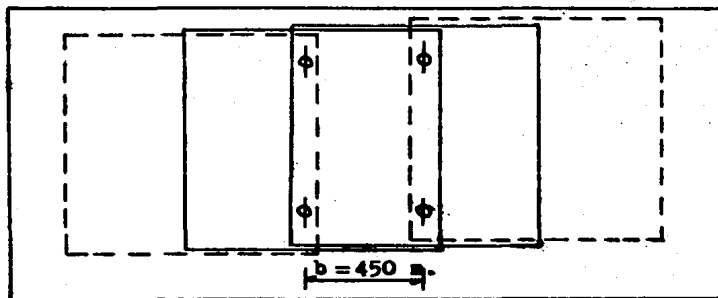


Fig. 21

Se buscará siempre ubicar los puntos de control, pero especialmente los de elevación, en terreno plano y despejado, para que los pequeños errores de identificación de su posición no causen grandes errores en elevación. A fin de facilitar su identificación, las señales deberán colocarse horizontalmente y contrastando lo suficiente con el terreno circundante.

Si los puntos auxiliares de elevación son detalles del terreno, la identificación requerirá de buenos croquis acotados y piquetes finos en las fotografías.

Los puntos de la poligonal deberán quedar bien marcados en mojoneras o varillas firmemente ancladas en el terreno o en rocas fijas, para que su posición sea estable; asimismo tendrán dispositivos permanentes de identificación.

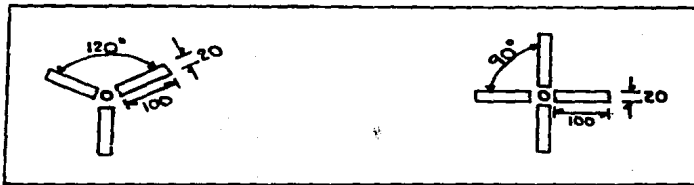


Fig. 22

Las señales para los puntos de control de las fotos a escala 1:5,000 consisten usualmente en rectángulos formando trébol o cruz, y pueden fabricarse con cartón, tela, madera, piedra, etc., pintados de color blanco o negro, según sea el color del terreno circundante; las dimensiones comunes de los rectángulos son de 20 a 100 cm., cuando se colocan en campo abierto; sin embargo, pueden reducirse hasta a la mitad cuando las señales quedan sobre pavimento u otras superficies igualmente limpias, donde es usual pintarlas directamente.

La medición de este control se hace mediante teodolitos de un segundo de lectura, miras de poligonación, estadales de bue-

na calidad, niveles montados y longímetros electrónicos.

La medición planimétrica se comprueba mediante ligas con la poligonal del control previo, que se toma como básica, haciendo las compensaciones correspondientes cuando los errores resultantes son tolerables.

La tolerancia en el cierre angular es de $10''\sqrt{n}$, siendo n el número de ángulos leídos.

La tolerancia en el cierre planimétrico es $0.18 \sqrt{L}$, después de la compensación angular; siendo L el desarrollo de la poligonal cerrada, en kilómetros.

Las elevaciones de los puntos de la poligonal de referencia son obtenidos mediante nivelación geométrica de circuito cerrado, o mediante dos niveles avanzando en el mismo sentido, pero con puntos de liga (PL) diferentes. Esta nivelación es auto-comprobada, pues las ligas altimétricas con el control previo, nivelado trigonométricamente, solo tienen por objeto establecer la elevación de partida; entre ambas nivelaciones no hay compensación.

Las elevaciones de los puntos laterales pueden obtenerse por nivelación geométrica, haciendo cierres frecuentes con la poligonal de referencia o por intersecciones durante la medición de la poligonal.

La tolerancia en los cierres de la nivelación del eje es $0.01 \sqrt{L}$, siendo L el número de kilómetros de desarrollo.

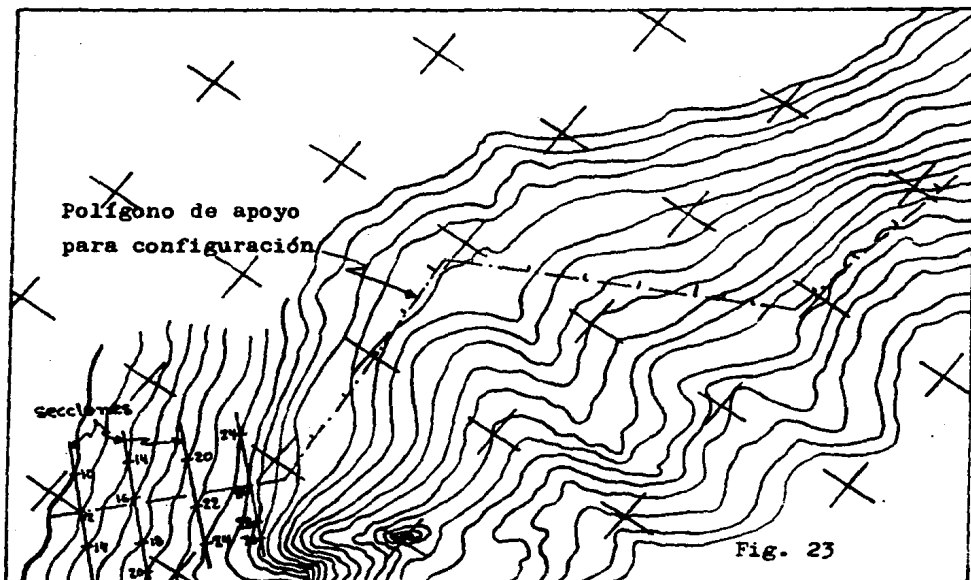
Para la nivelación de los puntos laterales, se acepta $0.03 \sqrt{L}$, debiendo hacerse cierres a cada kilómetro, como máximo.

Para el cálculo del control existen diversos programas, como los que se tienen para calcular orientaciones, distancias, poligonales, triángulos, etc. que se corren en computadoras de gran capacidad.

III.2 Anteproyecto del Alineamiento Horizontal

Método Tradicional

Una vez dibujada la poligonal base o de referencia sobre un plano de trabajo, se prosigue al dibujo de las curvas de nivel.



La configuración de la faja de terreno que aloja el probable trazo definitivo se hace mediante el apoyo de las secciones transversales preliminares que se obtuvieron en el campo y que nos permiten conocer las cotas de igual elevación y las de los puntos notables del terreno, que al unirse nos van dando las curvas de nivel, como lo indica la Fig. 23, debiéndose marcar con una línea más gruesa las que correspondan a una cota cerrada y con una más delgada las intermedias con equidistancia de -

uno o dos metros, según lo estipule la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, por lo general la línea de apoyo se intinta en color negro y las curvas de nivel en color sepia.

El plano que contiene las curvas de nivel debe llevarse al terreno para comprobar la configuración hecha en gabinete, y corregir así los posibles errores que puedan aparecer debido a -- una mala información. Si los errores son de tal magnitud que no puedan ser corregidos en el lugar se marcará el área afectada -- exigiendo se vuelva a rectificar tanto las lecturas como el cálculo.

El Anteproyecto, es el resultado del conjunto de estudios y levantamientos topográficos que se llevan a cabo con base en los datos previos, para situar en planos obtenidos de esos levantamientos, el eje que seguirá nuestro ferrocarril.

Una vez terminados los planos con curva de nivel a la escala la especificada, se inicia el estudio para el trazo definitivo, considerando todas las posibilidades de cada anteproyecto que -- sea posible presentar para seleccionar el más conveniente mediante una evaluación razonablemente exacta de la geometría de -- esas posibilidades, como lo expusimos oportunamente en el punto II.3, sin hacer falta una exactitud minuciosa, ya que serán inútiles cuantos cálculos se hagan para todas las alternativas posibles, excepto para aquella que se juzgue posteriormente la mejor.

Un trazo óptimo es aquel que se adapta económica a la topografía del terreno. Sin embargo, la selección de una línea y su adaptabilidad al terreno dependen del tipo y volumen de carga -- previsto durante su vida útil, así como de la velocidad de proyecto.

Por consiguiente, una vez clasificada la vía y fijadas las especificaciones que regirán el proyecto geométrico, se debe -- buscar una combinación de alineamientos que se adapten al terreno, planimétricamente y altimétricamente y que cumplan con los

requisitos establecidos.

En muchas ocasiones, algunos factores pueden llevar a forzar una línea. Entre ellos pueden citarse los requerimientos -- del derecho de vía, la división de propiedades privadas (afectaciones), el efecto de la vía proyectada sobre otras existentes, los cruces de ríos, las intersecciones con otras vías de comunicación, las previsiones para lograr un buen drenaje, la naturaleza geológica de los terrenos donde se alojará la construcción, en resumen, cambios que pueden significar grandes economías, sobre todo en volúmen de terracerías cuando se trate de un terreno sumamente "movido".

Estos factores y otros semejantes que pudieran establecerse, influyen en la determinación de los alineamientos horizontal y vertical de una obra férrea. Alineamientos que dependen mutuamente entre sí, por lo que deben guardar una relación que permita la construcción con el menor movimiento de tierra posible y con el mejor balance entre los volúmenes que produzcan la excavación y terraplén.

III.3 Anteproyecto del Alineamiento Vertical

Método Tradicional

Una vez definido el anteproyecto horizontal, se procede a bosquejar el primer ensayo de la línea subrasante (en ferrocarriles siempre se proyecta a nivel sub-balasto) que define al alineamiento vertical. La posición de la subrasante depende principalmente de la topografía de la zona atravesada, pero existen otros factores que deben considerarse también y ellos son:

- a) La condición topográfica del terreno influye en diversas formas al definir la subrasante. Así, por ejemplo tenemos que en terrenos planos, la altura de la subrasante sobre el terreno es regulada, generalmente por el drenaje. En terrenos de lomo se adoptan subrasantes suaves con la menor pendiente, las cuales convienen tanto para su operación, como por la economía que esto representa. En terrenos montañosos la subrasante es controlada estrechamente por las restricciones y condiciones de la topografía.
- b) Deben evitarse proyectar hasta donde sea posible curvas verticales sobre curvas horizontales.

E L E V A T I O N

-1855-

-1855-

-0.35%

-1.5%

PCN = 166 + 200
ELEV = 1848.720

PIV = 166 + 440
ELEV = 1848.300

PCN = 166 + 500
ELEV = 1846.500

FIG. 28. VERTICAL CURVE DATA
APPROXIMATE 1952

TERRAIN	CONTE	ELEVACION SUPLENTE	ELEVACION TERRENO NAT.
		48.80	1851.60
		49.33	1851.31
		47.36	1852.15
		47.67	1852.43
		47.96	1852.31
		47.89	1852.91
		48.42	1853.11
		47.35	1853.50
		47.28	1853.83
		47.21	1854.33
		49.14	1854.66
		51.07	1855.11
		49.00	1855.47
		48.73	1856.37
		48.36	1856.72
		48.37	1856.47
		48.31	1856.33
		48.64	1857.01
		48.54	1857.24
		48.57	1857.50
		48.95	1857.98
		48.13	1857.67
		47.93	1857.67
		47.36	1857.61
		47.25	1857.56
		48.31	1857.21
		47.06	1857.01
		46.79	1856.79
		46.50	1856.60
		46.70	1856.11
		45.90	1855.58
		45.60	1855.14
		45.30	1854.60
		45.00	1854.06
		44.70	1853.43
		44.40	1852.82
		44.10	1852.16

166+000

1

2

3

4

5

6

7

Procedimiento Fotogramétrico Electrónico

Anteproyecto

El objetivo fundamental de esta fase es definir la línea - que mejor satisfaga los requerimientos de beneficio y costo, -- que debe ser trazada en el campo o procesada fotogramétricamente, para desarrollar el proyecto detallado.

Si la línea de ruta seleccionada se aloja en terreno cubierto de vegetación alta y densa, el trabajo debe continuarse directamente en el campo, trazando como poligonal preliminar (apoyo del levantamiento topográfico) la propia línea de ruta; de otro modo, sobre ésta y sus posibles variantes se preñala una poligonal de referencia, de tal manera que destaque en las fotografías aéreas, las cuales pueden ser a escala 1:5,000 o 1:10,000; 1:5,000 si la vegetación densa tiene una altura inferior a 50 cm. y 1:10,000 en caso contrario.

Segundo Vuelo Aerofotográfico

Mientras en el campo se trabaja en el señalamiento del --- control terrestre, en el gabinete se prepara el plan del si---- siguiente vuelo para la toma de las fotografías.

El plan de vuelo incluye un mosaico fotográfico que contiene la zona de trabajo, donde se marcan las líneas de vuelo fotográfico por realizar, anotando para cada línea la altura de vuelo sobre el nivel del mar, necesaria para dar la escala requerida.

Para la toma de fotografías de esta etapa generalmente se especifica de la manera siguiente:

- 1.-Escala media 1:10,000 ó 1:5,000.
- 2.-Sobreposición longitudinal de 80%(para escoger y trabajar pares con 60%).
- 3.-Cámara granangular(acorde con el resto del equipo fotogramétrico).

- 4.-Película pancromática de base topográfica.
- 5.-Que en los períodos de toma, el sol tenga ángulo de altura de 60° a 80° .
- 6.-Tolerancia: Deriva 4° , Balanceo 3° y Cabeceo 3° .

Efectuada la toma de fotografías, en el laboratorio fotográfico se revela la película expuesta, se hace un juego de copias de contacto y se "arma el vuelo" ordenando las fotos según su posición relativa de campo.

A continuación se enumeran las líneas de vuelo y dentro de cada línea se numeran ordinalmente las fotos.

Realizado lo anterior, un juego de copia es enviada al campo para la identificación de los puntos de control y para la continuación de los trabajos de medición.

Con base en estas fotografías y el control terrestre, constituido por la poligonal de referencia y puntos laterales de control vertical, se elaboran los planos fotogramétricos a escala 1:1,000/lm. ó 1:2,000/2m. de una faja de terreno para restitución topográfica cuyo ancho normalmente es de 200 a 400 m., necesarios para estudiar en ella varias alternativas de anteproyecto de trazo. Al mismo tiempo, con las fotografías en los Balplex se estudian con todo detalle las características del terreno natural y de los accidentes naturales y artificiales que en él se presenten; en esta forma se comparan varios anteproyectos estimando los movimientos de tierra, el costo de las obras de drenaje, puentes y obras complementarias (como los muros de contención, lavaderos, etc.), así como los costos de operación de las alternativas, con objeto de escoger de ellas, aquella que arroje el costo mínimo para el tipo de servicio que dará.

Como la localización de los anteproyectos se hace en la mesa de trabajo del proyectista, éste tiene todas las facilidades para determinar con rapidez y comodidad las características geométricas y los presupuestos y costos de operación de cada alternativa, llegando en esta forma a optimizar la selección del anteproyecto definitivo.

C A P I T U L O I V

PROYECTO GEOMETRICO DEFINITIVO

Introducción

Es importante conocer algunas especificaciones que regirán a partir de este momento nuestro proyecto geométrico definitivo así como el cálculo que implica el diseño de los elementos geométricos del mismo.

Especificaciones Generales de Proyecto

Alineamiento Horizontal

El alineamiento horizontal es la proyección horizontal del eje de una vía férrea y corresponde a la subrasante.

Elementos que lo integran:

- a) Tangentes.
- b) Curvas Circulares y/o Curvas de Transición.

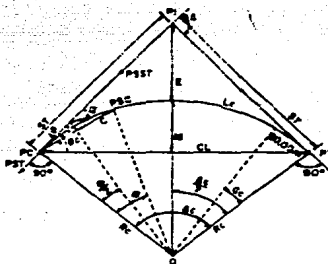
Dos tangentes consecutivas se unen por medio de una curva circular o de una curva con espirales de transición.

Las tangentes tienen las siguientes propiedades:

- a) Longitud, definida por el cadenamiento de sus puntos extremos.
- b) Dirección y Sentido, definido por su rumbo astronómico.
- c) Localización, definida por las coordenadas de sus puntos extremos.

Las Curvas Circulares estarán definidas por su grado de -- curvatura y por su longitud. Los elementos que la caracterizan se muestran en la Fig. 25.

Las Curvas con Espirales de Transición se utilizarán para unir las tangentes con curvas circulares formando una curva compuesta por los siguientes elementos: Una transición de salida - de longitud simétrica o asimétrica, una curva circular central y una transición de salida con las mismas características que - la de entrada, tal como se muestra en la Fig. 26.



PI	Punto de intersección de la prolongación de las tangentes		
PC	Punto en donde comienza la curva circular simple		
PT	Punto en donde termina la curva circular simple		
PST	Punto sobre tangente		
PSST	Punto sobre subtangente		
O	Centro de la curva circular		
Δ	Ángulo de deflexión entre tangentes		
Δc	Ángulo central de la curva circular		
Δs	Ángulo de deflexión a un PSC		
Δe	Ángulo de una cuerda cualquiera		
Δr	Ángulo de la cuerda radial		
Δt	Grado de curvatura de la curva circular		
Rc	Radio de la curva circular	$Rc = \frac{114592}{\Delta^2}$	
ST	Subtangente	$ST = Rc \operatorname{Tang} \frac{\Delta}{2}$	
E	Externa	$E = Rc (Sec \frac{\Delta}{2} - 1)$	
M	Ordenada media	$M = Rc \operatorname{Sen} \frac{\Delta}{2}$	
C	Cuerda	$C = 2 Rc \operatorname{Sen} \frac{\Delta}{2}$	
CL	Cuerda larga	$CL = 2 Rc \operatorname{Sen} \frac{\Delta}{2}$	
f	Longitud de un arco	$f = \frac{Rc \Delta}{57.3}$	
Lc	Longitud de la curva circular	$Lc = \frac{Rc \Delta}{57.3}$	

Fig. 25

FORMULARIO

CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES SIMETRICAS

12 CASO GENERAL:

a).- CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES SIMETRICAS (FIG. 26)

$$TST = T + D \operatorname{sen} \frac{E}{2}$$

$$B = Y + R \operatorname{csc} \frac{E}{2}$$

$$Y = X - R \operatorname{csc} \frac{E}{2}$$

$$d = D - R$$

$$EC = D \operatorname{csc} \frac{E}{2} - R$$

$$C = \frac{dD}{G}$$

$$C = \frac{Y}{\operatorname{sen} \alpha}$$

$$TL = \frac{C}{\operatorname{sen} \beta}$$

$$TC = \frac{C}{\operatorname{sen} \beta} \operatorname{sen} \alpha$$

$$\Delta = E - 2 \beta$$

22 CASOS ESPECIALES:

a).- CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES ASIMETRICAS (FIG. 27)

$$TST_1 = T_1 + D_1 \operatorname{sen} \frac{E}{2} - (d_1 - d_2) \operatorname{csc} E$$

$$TST_2 = T_2 + D_2 \operatorname{sen} \frac{E}{2} + (d_1 - d_2) \operatorname{csc} E$$

b).- CURVA CIRCULAR CON ESPIRAL EN UN SOLO EXTREMO (FIG. 28)

$$TST = T + D \operatorname{sen} \frac{E}{2} - d \operatorname{csc} E$$

$$ST = R \operatorname{sen} \frac{E}{2} + d \operatorname{csc} E$$

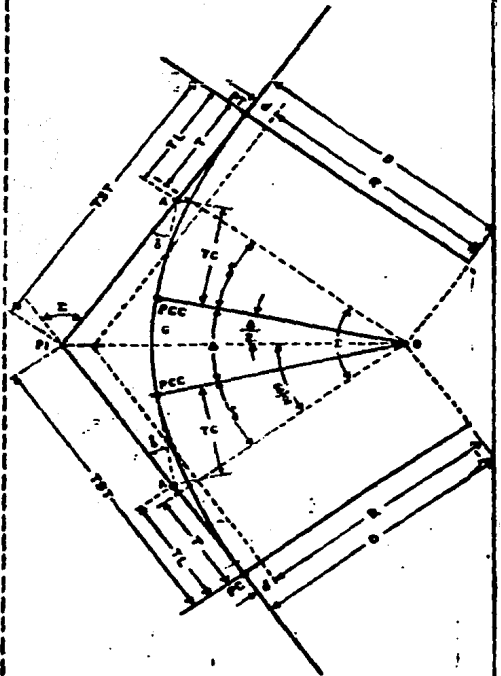


Fig. 26

CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES ASIMÉTRICAS

CURVA CIRCULAR CON ESPIRAL EN UN SOLO EXTREMO

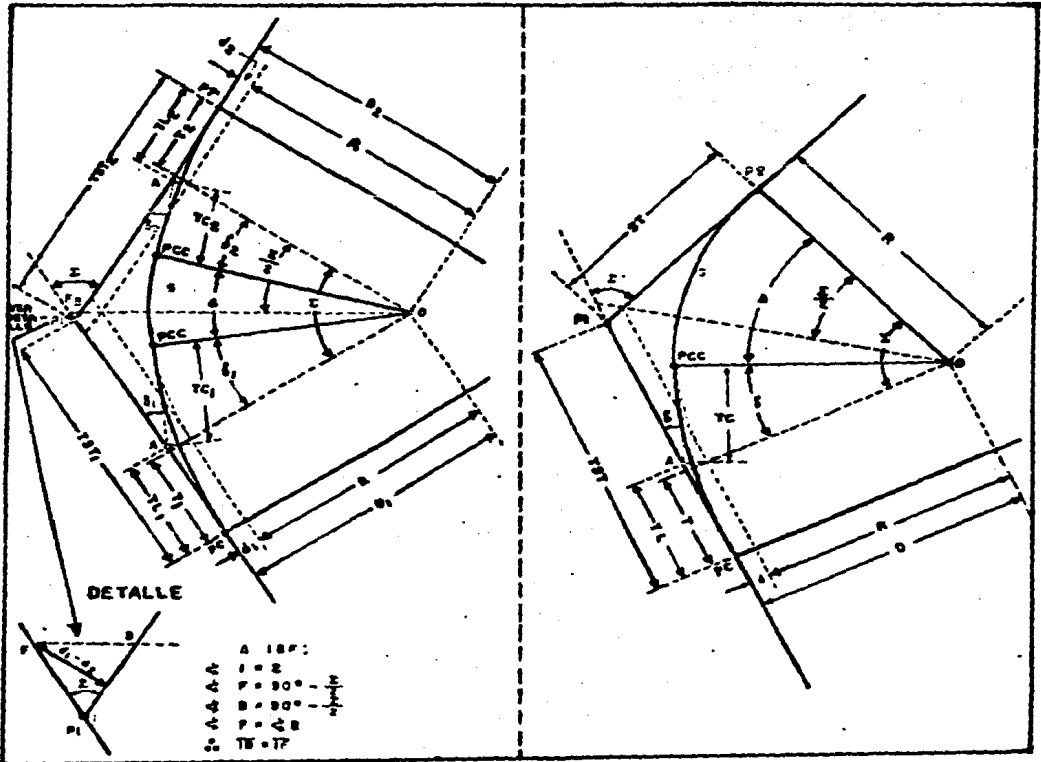


Fig. 27

Aquí en México se ha adoptado la clasificación americana - para catalogar las vías por clases o tipos y ellos son A, B, C y D en función del tonelaje transportado anualmente, lo cual regula el calibre del riel, cargas límites, gálibos, señales, etc así como la presión que ejerce dicho tráfico sobre el diseño de la vía, por lo que respecta a curvaturas, pendientes, etc, los cuales precisan de un estudio previo minucioso para cada caso - en particular según los aspectos de economía y funcionamiento.

TABLA 1 Vías Férreas clase "A" (Tráfico de 5 millones de Ton. de carga Anual)

Tipo de Terreno	Velocidad mínima en trenes carga	Pend. gobernadora	Velocidad mínima en trenes pasajeros	Grado de curvatura
Plano y Lomerío	75 Km/hr	0.50 %	100 Km/hr	2°
Montañoso	60 "	0.70 %	80 "	3°
Escarpado	55 "	1.0 %	70 "	4°

TABLA 2 Vías Férreas clase "B" (Tráfico de 2-5 millones de Ton. de carga Anual)

Tipo de Terreno	Velocidad mínima en trenes carga	Pend. gobernadora	Velocidad mínima en trenes pasajeros	Grado de curvatura
Plano y Lomerío	55-75 Km/hr	0.7 %	80-100 Km/hr	3°
Montañoso	45-60 "	1.0 %	68-80 "	4.5°
Escarpado	40-55 "	1.5 %	55-70 "	6°

TABLA 3 Vías Férreas clase "C" (Tráfico de 0.5-2 millones de Ton. de carga Anual)

Tipo de Terreno	Velocidad mínima en trenes carga	Pend. gobernadora	Velocidad mínima en trenes pasajeros	Grado de curvatura
Plano y Lomerío	35-55 Km/hr	1.0 %	60-80 Km/hr	4°
Montañoso	30-45 "	1.5 %	50-65 "	6°
Escarpado	25-40 "	2.0 %	40-55 "	8°

TABLA 4 Vías Férreas clase "D" (Tráfico de 0.3 millones de Ton. de carga Anual)

Tipo de Terreno	Velocidad mínima en trenes carga	Pend. gobernadora	Velocidad mínima en trenes pasajeros	Grado de curvatura
Plano y Lomerío	35 Km/hr	1.5 %	60 Km/hr	6°
Montañoso	30 "	2.0 %	50 "	8°
Escarpado	25 "	2.5 %	40 "	10°

Alineamiento Vertical

El alineamiento vertical es la propia subrasante.

El alineamiento vertical esta constituido por rectas y curvas, con pendiente compensada, ligadas entre sí de la siguiente manera:

- a) Las rectas son proyección de las tangentes y de las curvas -- del alineamiento horizontal.
- b) Las curvas verticales son proyección de las tangentes o de -- tangentes y curvas del alineamiento horizontal.
- c) Dos rectas contiguas se unen por medio de una curva vertical parabólica, excepto cuando la diferencia algebraica de sus -- pendientes sea igual o menor a la variación máxima respectiva admitida para cuerdas de 20 metros o bien, cuando el número - de estaciones, N es igual o menor que uno no se requiere proyectar curva vertical.

Las curvas verticales parabólicas, tienen las siguientes - propiedades:

- a) Variación constante, v, de la pendiente, para cada cuerda de 20 metros.
- b) Diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida, originada por la intersección de dos rectas consecutivas.
- c) El punto de intersección de dos rectas consecutivas debe coincidir con el centro o con uno de los extremos de una estación de 20 metros.
- d) Número de estaciones, N, expresado por un número entero, aproximado siempre al inmediato superior, que se calcula con la - fórmula:

$$N = \frac{D}{v}$$

Donde:

N: es par si el PIV está en uno de los extremos de la estación.

N: es impar si el PIV se encuentra en el centro de la estación.

En las curvas verticales, las variaciones máximas de pendiente v , serán las siguientes (adoptadas por la Asociación Americana de Ingenieros de Ferrocarriles, AREA):

TIPO DE VIA	EN COLUMPIOS	EN CIMAS
A	$0.05\% = 0.01P/V$	$0.10\% = 0.02P/V$
B	$0.10\% = 0.02P/V$	$0.20\% = 0.04P/V$

Tabla 5

IV.1 Trazo, Nivel y Seccionamiento Definitivo

Trazo

Método Tradicional

La siguiente etapa corresponde a la localización del eje de trazo definitivo del ferrocarril, es decir, esta localización se efectúa primeramente en gabinete para luego trazarla en el terreno.

El proyecto del alineamiento horizontal se hace apoyándose en el plano de trabajo, donde tenemos la topografía correspondiente a una faja de terreno a ambos lados de la línea preliminar finalmente escogida.

Lo primero que se realiza en gabinete es dibujar la "Línea a Pelo de Tierra".

Se llama línea a "pelo de tierra" a la línea que se dibuja en la planta topográfica, siguiendo la configuración del terreno con una pendiente ligeramente menor a la gobernadora y conociendo la equidistancia entre curvas de nivel, se calcula la -- abertura del compás a la escala del plano, para interceptar con sus puntas dos curvas de nivel consecutivas. La unión de esos puntos entre sí, dará como resultado una línea quebrada que será la base para proyectar la línea definitiva, ver figura 28.

Cálculo de la Abertura del Compás:

Supongamos que una línea se proyecta con una pendiente máxima de 2%, la cual se estima que corresponderá a una pendiente geométrica (en promedio) de 1.85%, para tener la seguridad de -- que no rebasará la pendiente dada. ¿Cuál será la abertura del -- compás, si el plano está a la escala 1:2,000 ?.

Datos:

Pend. Máx. de Proyecto = 2.0%

Pend. Geométrica = 1.85%

Equidistancia entre curvas de nivel = 2.0 m.

Escala del Plano 1:2,000

Solución:

a) La pendiente de 1.85% requiere $100/1.85 = 54$ metros de distancia entre curvas de nivel de 2.0 metros, precisará $2.0 \times 54 = 108$ metros entre puntos consecutivos de la traza del plano de la pendiente del 2% compensado en su intersección en el terreno, también puede utilizarse la pendiente del 2% en vez de -- 1.85% si se desea.

b) Otra manera de solucionar el mismo problema planteado es la siguiente:

$$\text{Pendiente} = \frac{\text{Desnivel}}{\text{Distancia}}$$

Donde:

La pendiente en nuestro caso es de 1.85%.

El desnivel será de 2.0 metros.

Por lo que la distancia (incognita) vendría a ser la abertura -- del compás.

Despejando:

$$\text{Abertura del compás} = \frac{\text{Desnivel}}{\text{Pendiente}} = \frac{2.0 \text{ m.}}{0.0185} = 108 \text{ metros}$$

El proyectista deberá separar las puntas de su compás 108 metros, para poder marcar la línea a "pelo de tierra" o rasante al subir o descender por la configuración del terreno, marcando puntos en cada curva de nivel.

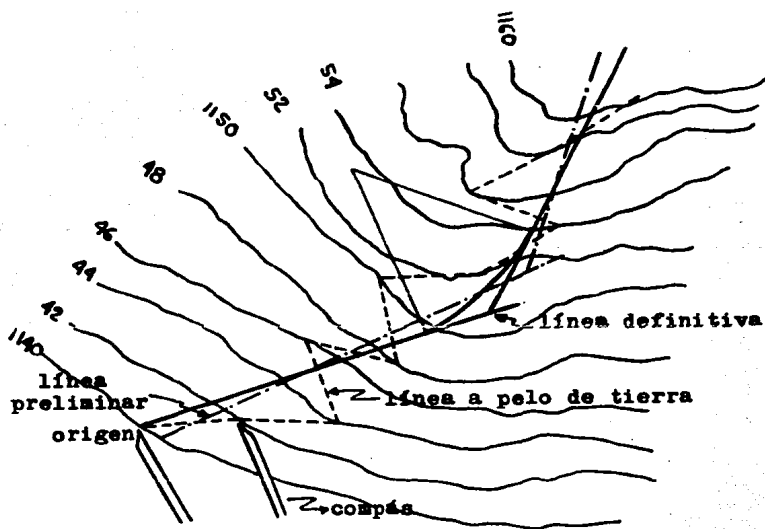


Fig. 28

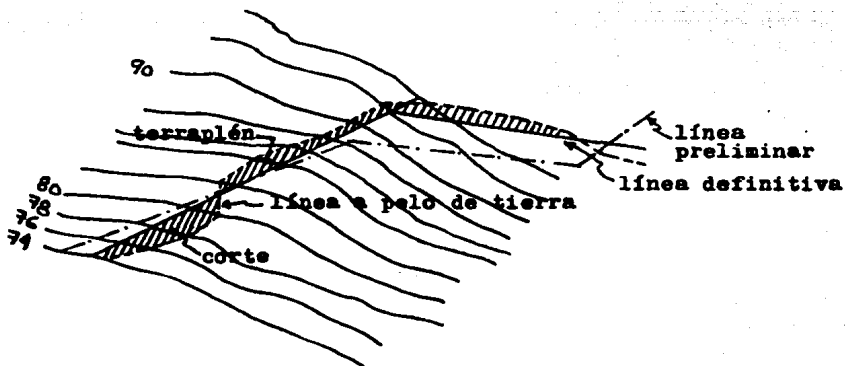


Fig. 29

Una vez dibujada la línea a "pelo de tierra", el localizador procede al proyecto de las tangentes del alineamiento horizontal definitivo sobre la misma planta, tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) Se tratará en forma aproximada de compensar áreas pequeñas -- más o menos iguales, a uno y otro lado de la línea a "pelo de tierra", buscando con esto que se compensen las terracerías o sea cortes y terraplenes (ver Fig. 29) lo que nos representará un ahorro en los volúmenes de tierra.
- b) Al proyectar las tangentes, debe procurarse que éstas corten el mayor número de veces posible la línea a "pelo de tierra".
- c) Se procurará que las tangentes sean lo más largas posibles, - respetando las especificaciones de proyecto.
- d) Que el cambio de dirección de las tangentes tengan deflexiones pequeñas, de acuerdo con la topografía del terreno.

Después de lo anterior se procede a verificar mediante un ensayo las pendientes del anteproyecto del alineamiento vertical, de tal manera de poder ir controlando éste alineamiento; para esto se hace un cadenamiento gráfico a lápiz sobre las tangentes proyectadas en planta, después se elabora el perfil deducido que se obtiene de la misma planta y el cual se dibuja en papel milimétrico a una escala adecuada, obteniéndose de él los valores correspondientes a las pendientes, en caso de que no se logre una compensación correcta en las terracerías se regresará a la planta para modificar la posición de las tangentes proyectadas, hasta lograr que tanto el alineamiento horizontal como el vertical queden en las mejores condiciones posibles; conforme se vaya definiendo lo anterior se proseguirá al cálculo de los elementos que forman al alineamiento horizontal para posteriormente poderlos trazar en campo.

Al terminar de proyectar las tangentes del alineamiento horizontal, se revisa todo el trazo hecho en gabinete y se empieza a determinar gráficamente las coordenadas de todos los P.I., tal y como muestra el siguiente registro de la Fig. 30.

PI ₀ (0+000)	(X ₀ , Y ₀)	Coordenadas conocidas del origen.
PI ₁ ()	(X ₁ , Y ₁)	
PI ₂ ()	(X ₂ , Y ₂)	
PI ₃ ()	(X ₃ , Y ₃)	
PI _n ()	(X _n , Y _n)	

				CALCULO DE COORDENADAS		VIA FERREA	
						TRAMO _____	
						SURTAMBO _____	
						DE KM _____	
						A KM _____	
						FECHA _____	
ESTACION	VERTICE		ANGULO HORIZONTAL	DISTANCIA HORIZONTAL	RUMBO	COORDENADAS	
						X	Y
		PI ₀				498372.045	2154688.649
	PST ₁	PST ₁	0° 00' 00"	468.588	S 54° 33' 50" W	498390.257	2154416.964
	PST ₁	PST ₂	19° 48' 05"	315.848	N 74° 16' 56" E	498694.294	2154502.528
	PST ₂	PST ₃	156° 22' 26"	260.468	N 50° 39' 21" E	498887.994	2154661.319
	PST ₂	PST ₄	180° 00' 00"	240.185	N 50° 39' 21" E	499073.792	2154813.591
	PST ₄	PST ₅	180° 00' 00"	416.182	N 50° 39' 21" E	499396.601	2155077.436
	PST ₅	PST ₆	180° 00' 00"	280.520	N 50° 39' 21" E	499612.544	2155255.276
	PST ₆	PST ₇	180° 00' 00"	561.683	N 50° 39' 21" E	499892.255	2155484.571
	PST ₇	PST ₈	179° 59' 58"	383.411	N 50° 39' 22" E	500188.768	2155727.643
	PST ₈	PST ₉	40° 07' 31"	139.947	N 89° 13' 07" W	500048.834	2155729.552
				2388.244		500048.910	2155729.191
						0.076	0.361
						Et = 0.369	
						1:6500	

Fig. 30

El cálculo de distancias y rumbos de las tangentes entre -- P.I. del alineamiento horizontal, se realiza de la siguiente manera:

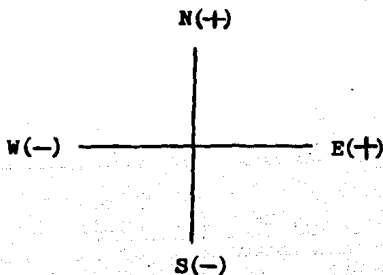


Fig. 31

Para los Rumbos:

$$\text{Tang. Rbo}_1 = \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} \text{ ----- (1)}$$

Para las Distancias:

$$D_1 = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \text{ ----- (2)}$$

Ejemplo:

Sean $PI_1(22769.736, 9748.985)$ y $PI_2(22561.502, 9625.918)$

$$\begin{aligned} \text{Tang. Rbo}_1 &= \frac{22561.502 - 22769.736}{9625.918 - 9748.985} \\ &= \frac{-208.234}{-123.067} = +1.69203 \text{ ----- (3)} \end{aligned}$$

$$\text{Tang.}^{-1} .69203 = 59^\circ 25' 00''$$

$$D_1 = \sqrt{(-208.234)^2 + (-123.067)^2}$$

$$D_1 = 241.882 \text{ m.}$$

De la expresión (3) vemos que el numerador es negativo(-) y el denominador también es negativo(-), por lo que el Rumbo según la Fig. 31 se encuentra en el tercer cuadrante, y vale:

$$\text{Rbo.}_1 = \text{S } 59^\circ 25' 00'' \text{ W}$$

Posteriormente se calculan las Deflexiones en los puntos de intersección entre tangentes, siguiendo las siguientes reglas:

- En Rumbos iguales como (N-E y N-E), (N-W y N-W), (S-E y S-E) y (S-W y S-W) al ángulo mayor se le resta el menor.
- En Rumbos con las siguientes características (N-E y N-W), (S-E y S-W) y viceversa, los ángulos se suman.
- En Rumbos con las siguientes características (N-E y S-E), (N-W y S-W) y viceversa, los ángulos se suman y se le resta a 180° .

Conviene hacer un croquis para ubicar el sentido de la Deflexión(D ó I) y comprobar los ángulos obtenidos por la regla anterior.

Ejemplo:

Calcular la Deflexión(Δ) en el punto B con los siguientes datos:

$$\text{Recta } \overline{AB} \quad \text{Rbo. N } 64^\circ 22' 26'' \text{ W } (\alpha_1)$$

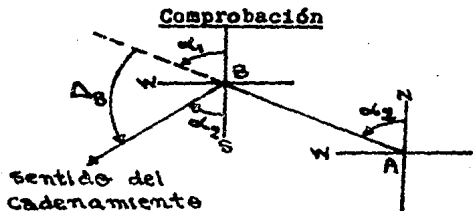
$$\text{Recta } \overline{BC} \quad \text{Rbo. S } 59^\circ 25' 00'' \text{ W } (\alpha_2)$$

Solución:

Por la regla(c), tenemos:

$$\begin{array}{r} + 64^\circ 22' 26'' \\ + 59^\circ 25' 00'' \\ \hline 123^\circ 47' 26'' \end{array} \quad \begin{array}{r} - 179^\circ 59' 60'' \\ - 123^\circ 47' 26'' \\ \hline 56^\circ 12' 34'' \end{array}$$

$$\text{Deflexión}(\Delta_B) = 56^\circ 12' 34'' \text{ (I)}$$



Diseño Geométrico del Alineamiento Horizontal

El trabajo de gabinete consiste en proyectar y calcular todos los elementos necesarios del alineamiento horizontal dentro de las especificaciones y el criterio económico correspondiente de tal manera que dicho proyecto resulte con la mayor seguridad posible.

Curvas Circulares Simples

Cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola curva circular, ésta se denomina curva simple. Y según el sentido del cadenamamiento, las curvas simples pueden ser Izquierdas o Derechas.

Las curvas circulares simples tienen como elementos característicos los mostrados en la Fig. 25.

Curvas con Espirales de Transición

Más que en el caso de una carretera, el ferrocarril requiere para pasar de un tramo en tangente a otro en curva circular - hacerlo en forma gradual por medio de una curva progresiva o de transición llamada curva con espirales de transición. Para efectuar las transiciones se emplea la Clotoide o Espiral de Euler.

La característica particular de la Clotoide es la de ligar una tangente con una curva circular, cuya longitud se efectúa, - de manera continua, el cambio de valor del radio de curvatura va desde el infinito para la tangente hasta el que corresponde a la curva circular, como muestra la Fig. 26.

Aquí solo se analizará el caso más sencillo y recomendable que es la curva circular con espirales simétricas o de igual longitud, la cual consta de una espiral de entrada, una curva circular simple y una espiral de salida, cuando éstas sean de diferente longitud la curva será asimétrica, ver Fig. 27.

El Departamento de Proyectos y Construcción de la Dirección General de Vías Férreas de la antigua SOP, editó la tabla 6, que sirve para determinar la clotoide de transición adecuada en proyectos de vías férreas, dado el grado de la curva circular y la velocidad.

La primera columna indica el grado G de la curva circular.

Los encabezados de las columnas son la velocidad V en kilómetros por hora y la variación v en grados, minutos y segundos por cada diez metros.

$$v \leq \frac{100000}{V^3} \quad ; \quad v = \frac{10 G}{1}$$

Las cifras que aparecen en cada casillero indican:

Primer renglón, longitud "1" de la clotoide en metros.

$$1 \geq 0.0001V^3G \quad ; \quad 1 = \frac{10 G}{V}$$

Segundo renglón, ángulo central de la clotoide en grados, minutos y segundos.

$$\delta = \frac{1 G}{40} \quad ; \quad \delta = 0.25 \times \frac{G^2}{V}$$

Tercer renglón, sobreelevación "e" del riel exterior en centímetros en el tramo de la curva circular.

$$e = 0.00V^2G$$

Al elegir las clotoides debe verificarse que la suma de los δ de entrada y salida de una curva, sea menor o igual que el ángulo central .

Preferentemente se usará la clotoide que se encuentra más a la derecha del mismo renglón que sea permitida por los " δ " y por las "1".

VELOCIDAD KM/HORA	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	160	180
VARIACION POR 10 M.	2°00'00"	1°30'00"	1°00'00"	0°45'00"	0°30'00"	0°15'00"	0°10'00"	0°07'30"	0°05'00"	0°03'45"	0°03'00"	0°02'30"	0°02'00"	0°01'30"	0°01'00"
0°15'	0.3	0.4	0.5	0.6	0.9	1.0	1.6	2.0	2.5	3.0	3.6	4.2	4.9	6.1	8.1
0°30'	0.6	0.8	1.0	1.3	1.8	2.5	3.2	4.0	5.0	6.1	7.2	8.5	10.0	12.5	16.2
0°45'	0.9	1.2	1.5	1.9	2.7	3.7	4.8	6.0	7.5	9.1	10.8	12.7	14.7	18.2	23.2
1°00'	1.2	1.6	2.0	2.5	3.6	4.9	6.4	8.1	10.0	12.1	14.4	16.9	19.6	24.5	31.6
1°15'	1.1	2.0	2.5	3.1	4.5	6.2	8.0	10.0	12.1	14.4	16.9	19.6	21.1	24.5	31.6
1°30'	1.8	2.4	3.0	3.8	5.4	7.2	9.0	11.1	13.2	15.5	18.0	20.7	21.6		
2°00'	2.5	3.2	4.1	5.0	7.2	9.8	12.8	16.2	20.0	24.2					
2°15'	2.8	3.6	4.6	5.6	8.1	11.0	14.4	18.2	22.5						
2°30'	3.1	4.0	5.1	6.3	9.0	12.1	15.5	20.0							
3°00'	3.7	4.8	6.1	7.5	10.8	14.4	18.2	23.2							
3°30'	4.3	5.6	7.2	8.8	12.6	17.2	22.4	24.3							
4°00'	4.9	6.4	8.1	10.0	14.4	19.6	25.1								
4°30'	5.5	7.2	9.1	11.2	15.5	21.1									
5°00'	6.1	8.0	10.1	12.5	17.2										
6°00'	7.4	9.6	12.5	15.5											
7°00'	8.6	11.2	14.7	17.5											
8°00'	9.8	12.8	16.2	20.0											
9°00'	11.0	14.4	18.2												
10°00'	12.3														

GRADO DE LA CURVA CIRCULAR

La longitud de éstas ciotoides está calculada de manera que la velocidad de ascenso vertical de la rueda exterior por la raspa de sobresalvación sea aproximadamente de 3 cm. por segundo de tiempo.

NOTA: La línea más gruesa limita el grado máximo de curvatura para las diferentes velocidades cuando van a circular trenes de carga y de pasajeros. Abajo de la línea gruesa se puede utilizar los máximos grados cuando van a circular exclusivamente trenes de pasajeros.

Propuso y Calculó
Ing. G. Quiroga S.

TABLA 6

Primeramente veremos un ejemplo sencillo e ilustrativo del del cálculo de los elementos de una curva circular simple.

Ejemplo:

Supongamos que en el P.I. 1+143.20 cuya deflexión es ---
 $\Delta = 21^\circ 13' 47''$ (I), se desea proyectar una curva circular simple con un grado de curvatura $G = 3^\circ 30'$, el cual corresponde a una velocidad de proyecto de 80 Km. ¿Determinar los elementos - de dicha curva?.

Solución:

a) Radio de la Curva.- Es el radio de la curva circular, se simboliza como R_c .

$$R_c = \frac{1145.92}{G} = \frac{1145.92}{3.50^\circ} = 327.406 \text{ m.}$$

b) Longitud de la Curva.- Es la longitud del arco entre el PC y el PT.

$$LC = 20 \frac{\Delta}{G} = 20 \frac{21.2297^\circ}{3.50^\circ} = 327.406 \text{ m.}$$

c) Subtangente.- Es la distancia entre P.I. y el PC o PT, medida sobre la prolongación de las tangentes.

$$ST = R_c \tan \frac{\Delta}{2} = (327.406) \tan 10.6149 = 61.360 \text{ m.}$$

d) Externa.- Es la distancia mínima entre el PI y la curva.

$$E = R_c \left(\sec \frac{\Delta}{2} - 1 \right) = (327.406) (\sec 10.6149 - 1) = 5.603 \text{ m.}$$

e) Ordenada Media.- Es la longitud de la flecha en el punto medio de la curva.

$$M = R_c \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right) = (327.406) (1 - \cos 10.6149) = 5.700 \text{ m.}$$

f) Cuerda Total de la Curva, de PC a PT.

$$C = 2R_c \sin \frac{\Delta}{2} = (654.811) \sin 10.6149 = 120.620 \text{ m.}$$

$$\text{Est. PC} = \text{Est. PI} - ST = (1 + 143.20) - (61.36) = 1 + 081.84$$

$$\text{Est. PT} = \text{Est. PC} + LC = (1 + 081.84) + (121.31) = 1 + 203.15$$

El cadenamiento de un trazo en el que solo haya curvas circulares se hace de la siguiente forma:

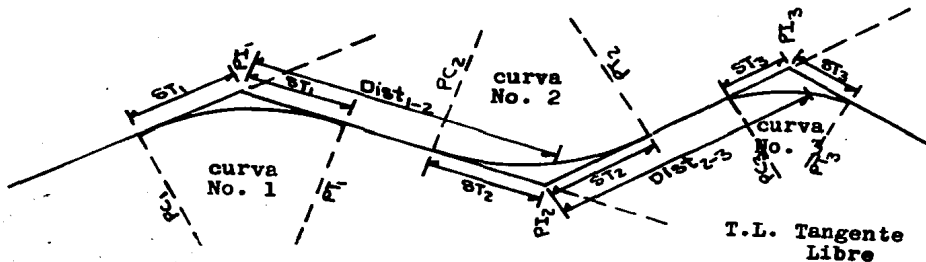


Fig. 32

Curva No. 1

$$\text{Est. PC}_1 = \text{Est. PI}_1 - ST_1$$

$$\text{Est. PT}_1 = \text{Est. PC}_1 + LC_1$$

Curva No. 2

$$\text{Est. PI}_2 = \text{Est. PT}_1 + \text{Dist. 1-2} - ST_1$$

$$\text{Est. PC}_2 = \text{Est. PI}_2 - ST_2$$

$$\text{Est. PT}_2 = \text{Est. PC}_2 + LC_2$$

Curva No. 3

$$\text{Est. PI}_3 = \text{Est. PT}_2 + \text{Dist. 2-3} - ST_2$$

$$\text{Est. PC}_3 = \text{Est. PI}_3 - ST_3$$

$$\text{Est. PT}_3 = \text{Est. PC}_3 + LC_3$$

**Cálculo de una Curva con Espirales
de Transición para Ferrocarril**

Ejemplo:

Se propone proyectar una curva circular con espirales simétricas, en el PI₂ con los siguientes datos:

Datos

$$PI_2 = 0 + 728.99$$

$$\Sigma = 18^\circ 44' 27'' \text{ (D)}$$

$$G = 2^\circ 00' 00''$$

Variación de Curvatura $0^\circ 10' \times 10 \text{ m.}$

$$V_p = 80 \text{ Km/Hr.}$$

Solución:

De la tabla 6 se obtiene la longitud de la espiral:

$$l_e = 120.00 \text{ m.}$$

a) Radio de la Curva Circular:

$$R_c = \frac{1145.92}{G} = \frac{1145.92}{2^\circ 00' 00''} = 572.96 \text{ m.}$$

b) Deflexión de la Espiral:

$$\Delta_e = \frac{Gl_e}{40} = \frac{(2^\circ 00' 00'')(120)}{40} = 6^\circ 00' 00''$$

c) Deflexión de la Curva Circular:

$$\Delta_c = \Sigma - 2\Delta_e = (18^\circ 44' 27'') - 2(6^\circ 00' 00'') = 6^\circ 44' 27''$$

d) Longitud de la Curva Circular:

$$LC = \frac{20 \Delta_c}{G} = \frac{20(6^\circ 44' 27'')}{2^\circ 00' 00''} = 67.41 \text{ m.}$$

e) Cálculo de las coordenadas del P_{cc} :

$$X_c = \frac{1e}{100}(100 - 0.00305 S_e^2) = \frac{120}{100} [100 - 0.00305(6^\circ)^2] = 119.868 \text{ m.}$$

$$Y_c = \frac{1e}{100}(0.582 S_e - 0.0000126 S_e^3) = \frac{120}{100} [0.582(6^\circ) - 0.0000126(6^\circ)^3] =$$

$$Y_c = 4.186 \text{ m.}$$

f) Cálculo de las coordenadas del PC ó del PT (desplazamiento):

$$T = X_c - R_c \text{sen} S_e = (119.868) - (572.96)(\text{sen } 6^\circ) = 59.976 \text{ m.}$$

$$d = Y_c - R_c \text{sen vers.} = Y_c - R_c(1 - \text{cos} S_e) =$$

$$d = 4.187 - (572.96)(0.005478) = 1.047 \text{ m.}$$

g) Subtangente:

$$TST = T + [(R + d) \text{tang.} \frac{T}{2}] = 59.976 + [(572.96 + 1.047) \text{tang.}(9.370416)] = 154.70 \text{ m.}$$

h) Tangente larga:

$$TL = X_c - Y_c \text{cot} S_e = (119.868) - (4.186)(9.514) = 80.046 \text{ m.}$$

i) Tangente corta:

$$TC = Y_c \text{csc} S_e = (4.186)(9.5667) = 40.042 \text{ m.}$$

Resumen:

$$PC = PI - TST = (0 + 728.99) - 154.70 = 0 + 574.29$$

$$P_{cc} = PC + 1e = (0 + 574.29) + 120.00 = 0 + 694.29$$

$$P_{cc} = P_{cc} + LC = (0 + 694.29) + 67.41 = 0 + 761.70$$

$$PT = P_{cc} + 1e = (0 + 761.70) + 120.00 = 0 + 881.70$$

Trazo en Campo de una Curva con Espirales de Transición

- 1^o) Se localiza el PI.
- 2^o) Se centra el aparato en el PI, y se ubican los PC, PT, X_C y TL de entrada y salida.
- 3^o) Se cambia el aparato al punto X_C, sobre la tangente se visa a PC (por facilidad se gira 90°) y se localiza el P_{cc} (midiendo el Y_C a partir de la tangente).
- 4^o) Se cambia el aparato y se centra sobre el PC y se visa a X_C, y se empiezan a dar las deflexiones de la espiral por cuerdas de 10 m. y en veintenas cerradas, para eso se calculan las deflexiones en gabinete mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha_x = \left(\frac{l_x}{l_e} \right)^2 \frac{\delta_e}{3}$$

l_x = Distancia desde el PC ó PT a cualquier punto de la espiral.

l_e = Longitud de la espiral.

δ_e = Deflexión de la espiral.

Para la primera estación cerrada la $l_x = (0 + 580) - (0 + 574.29) = 5.71$ m., su deflexión vale:

$$\alpha_x = \left(\frac{5.71}{120} \right)^2 \times \frac{6^\circ 00' 00''}{3} = 0.0045 \quad \therefore \alpha_x = 0^\circ 00' 16''$$

Para localizar el punto de la siguiente veintena cerrada de la estación 0+600 la l_x vale:

$l_x = (0 + 600) - (0 + 574.29) = 25.71$ m., y su deflexión:

$$\alpha_x = \left(\frac{25.71}{120} \right)^2 \times \frac{6^\circ 00' 00''}{3} = 0.09181 \quad \therefore \alpha_x = 0^\circ 05' 31''$$

Y así sucesivamente para las demás estaciones cerradas (ver Fig. 34).

- 5^o) Se trazan las espirales de entrada y salida, y posteriormente se cambia el aparato al P_{cc}; se visa el TL, se gira 180° y -- nos encontramos sobre la tangente para iniciar a trazar la -- curva circular. La tolerancia es de 4 cm. y el ángulo de 1 mi nuto.

REGISTRO DE TRAZO DEFINITIVO

TRAZO DEFINITIVO					VIA FERREA	TRAZO
ESTACION	DEFLEXION	ORTOS CURVA	RUMBO MAGNETICO OBSERVADO	RUMBO MAGNETICO CALCULADO	TRAMO	HORA
					SUBTRAMO DE KM	PCRA
					A KM	TIEMPO
900						
920						
0+900						
881.70	PT	0				
880		0° 00' 01"				
860		0° 03' 55"				
840		0° 14' 29"				
820		0° 31' 43"	PI ₂ = 0+728.99			
800		0° 55' 37"	Z = 18° 44' 27" (Ocr.)			
780		1° 26' 11"	Ag = 6° 44' 23"			
761.70	Pcc	2° 00' 00"	G = 2° 00' 00"			
761.70	Pcc	3° 22' 13.5"	R = 572.96 mts.			
760		3° 17' 07"	ISI = 159.70 "			
740		3° 17' 07"	LC = 67.41 "			
720		1° 17' 07"	VP = 80.00 km/hr			
700		0° 17' 07"	ESPIRAL			
694.29	Pcc	0	V _{ax} = 0.10 x 10 m/s.			
694.29	Pcc	2° 00' 00"	Se = 6° 00' "			
680		1° 33' 07"	LC = 170.0 "			
660		1° 01' 13"	TL = 80.0 mts.			
640		0° 35' 59"	Tc = 40.092 mts.			
620		0° 17' 25"				
600		0° 05' 31"				
580		0° 00' 16"				
0+574.29	PC	0				
560						
549						

Fig. 33

TRAZO DE ESPIRALES CON COORDENADAS

TRAZO _____ VIA FERREA _____ TRAMO _____ SUBTRAMO _____				FORMULA $Y = X \text{TANG.} X \text{ DEFLEXION}$			
ESTACION	X	Y	DEFLEXION	ESTACION	X	Y	DEFLEXION
$P_{CC} = 0 + 694.29$	120.00	4.19	$2^{\circ} 00' 00''$	$PT = 0 + 881.70$	0.0	0.0	$0^{\circ} 00' 00''$
0 + 680	105.71	2.86	$1^{\circ} 38' 07''$	+ 880.00	1.70	0.0	$0^{\circ} 00' 01''$
0 + 660	85.71	1.53	$1^{\circ} 01' 13''$	+ 860	21.70	0.02	$0^{\circ} 03' 55''$
0 + 640	65.71	0.69	$0^{\circ} 35' 59''$	+ 840	41.70	0.18	$0^{\circ} 14' 29''$
0 + 620	45.71	0.23	$0^{\circ} 11' 25''$	+ 820	61.70	0.57	$0^{\circ} 31' 43''$
0 + 600	25.71	0.04	$0^{\circ} 06' 31''$	+ 800	81.70	1.32	$0^{\circ} 55' 37''$
0 + 580	5.71	0.00	$0^{\circ} 00' 16''$	+ 780	101.70	2.55	$1^{\circ} 26' 11''$
$P_{CC} = 0 + 574.29$	0.00	0.00	$0^{\circ} 00' 00''$	$P_{CC} = 0 + 761.70$	120.00	4.19	$2^{\circ} 00' 00''$

Fig. 34

Al terminar el proyecto y el cálculo correspondiente al -- Alineamiento Horizontal(eje definitivo), el trazador regresa al campo con estos datos y apoyandose en la línea preliminar, fija la primera tangente orientandola astronómicamente, y conforme avanza el trazo se orientarán cada 5 Kms. para obtener los R.A. C. y con ellos se verifica el cierre angular, cuyo error deberá quedar dentro de la tolerancia que establece la siguiente expresión:

$$T = a\sqrt{N}$$

T: Tolerancia en minutos.

a: Aproximación del tránsito empleado.

N: Número de lecturas efectuadas.

Coordenadas del Origen:

Preliminar= (X_1, Y_1) } Teóricamente iguales.
Definitivo= (X', Y') }

Diferencia entre X_1 y $X' = E_x$ } $E_L = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$; $E_L \leq$ Tolerancia
Diferencia entre Y_1 y $Y' = E_y$ } Lineal

La representación en el perfil del Alineamiento Horizontal que se muestra en la Fig. 35, es una simbología que se utiliza para saber como van las curvas horizontales con respecto al trazo y que se pueda evitar proyectar una curva vertical sobre una horizontal.

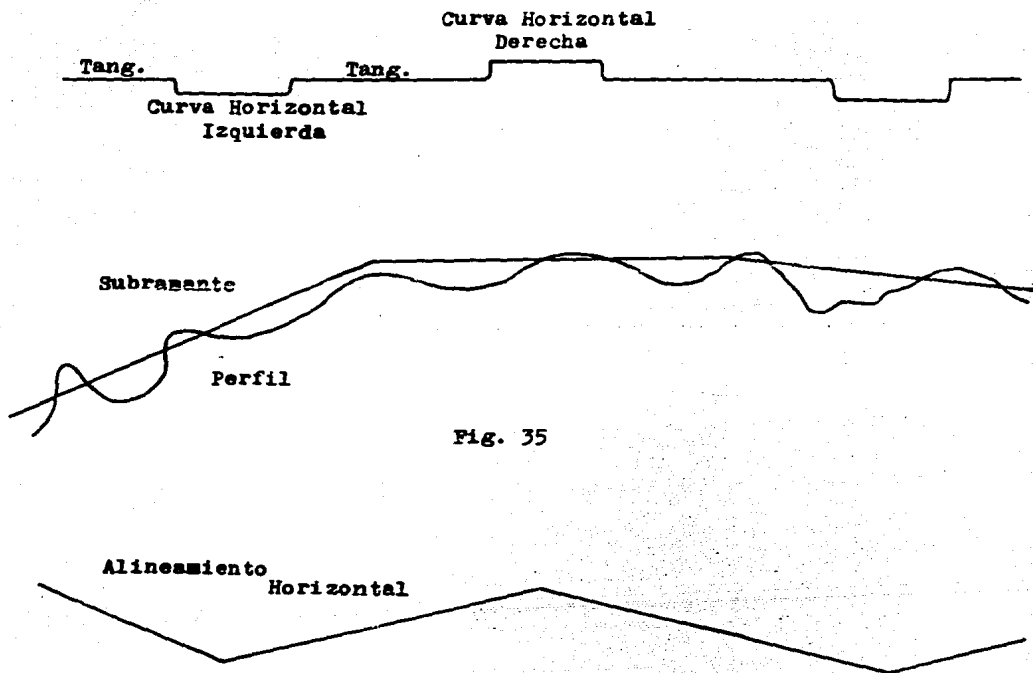


Fig. 35

Nivel Definitivo

Habiendo trazado y referenciado la línea definitiva en el campo, el ingeniero nivelador procede a llevar a cabo la nivelación correspondiente a dicho trazo, como sabemos esta nivelación es de perfil de ida y diferencial de regreso entre bancos de nivel para comprobación; los bancos se fijan también cada -- 500 metros procurando que queden fuera del derecho de vía para evitar su destrucción. La forma de fijar dichos bancos es igual que en el caso de carreteras, es decir la tolerancia es también de 5 mm/500 m.

Una vez determinadas las elevaciones del terreno a lo largo de todo el eje trazado se dibuja el perfil en papel milimétrico a escala horizontal 1:2000 y escala vertical 1:200, el -- cual se intinta poniendo en la parte inferior sus cotas correspondientes.

Seccionamiento Definitivo(Secciones de Construcción)

Trazado y Nivelado en el terreno la línea definitiva, los topógrafos realizan el levantamiento de las secciones transversales de construcción en cada estación cerrada de 20 metros y -- en puntos intermedios en que el terreno sea accidentado o en -- los cruces o cauces para el proyecto definitivo de las obras de drenaje menor y mayor como son los puentes.

IV.2 Estudio Geotécnico

La calidad de los materiales que se encuentran en la zona en donde se localiza el trazo definitivo, es un factor muy importante para lograr el proyecto de la subrasante económica, ya que además del empleo que tendrán en la formación de las terracerías, servirán para la cimentación del ferrocarril. Para conocer el perfil estratigráfico del sub-suelo y determinar los tipos de rocas y suelos existentes, nivel de aguas freáticas, etc se recomienda efectuar sondeos a una profundidad estipulada por las especificaciones de proyecto. La separación de estos sondeos varía según la homogenización de los materiales.

Para estudios preliminares en los bancos de préstamo se efectúan uno o dos sondeos y para estudios definitivos por lo menos a cada 1600 metros.

Como vemos la elevación de la subrasante está limitada en ocasiones por la capacidad de carga del suelo.

Pruebas que se efectúan a los materiales para terracerías

Preparación de muestras	{	secado desgregado cuarteo
Determinación del contenido de humedad.	}	
Determinación de pesos volumétricos.	}	
Determinación de densidades y absorción.	}	
Determinación de granulometría.	}	
Determinación del grado de compactación.	}	

a) Por la dificultad que ofrecen a su ataque, las especificaciones generales de construcción de la SCT, clasifican a los materiales de terracerías como A, B y C.

- Material A { Son fragmentos sueltos aislados de 7-75 cm. Es atacado con pala de mano, pico, escrepa, pala mecánica, - etc. Suelos poco o nada cementados.
- Material B { Este material requiere ser atacado por arados o explosivos pequeños.
- Material C { Solamente pueden ser atacados por explosivos y utilizando pala mecánica para su remoción.

b) Por el tratamiento que van a tener en la formación de los terraplenes, se clasifican como:

Material Compactable $\left\{ \begin{array}{l} A \\ y \\ B \end{array} \right.$ Material Bandeable (C)

Será material compactable si se puede compactar mediante pruebas de laboratorio y bandeable en caso contrario.

Coefficiente de Variabilidad Volumétrica

El material ya sea de corte o de préstamo empleado en la formación de los terraplenes, experimenta un cambio de volumen al pasar de su estado natural a formar parte del terraplén, --- siendo esencial el conocimiento de este cambio para la correcta determinación de los volúmenes y de los movimientos de tierra correspondientes.

Se llama coeficiente de variabilidad volumétrica a la relación que existe entre el peso volumétrico del material en su estado natural y el peso volumétrico que ese mismo material tiene al formar parte del terraplén. Este coeficiente se aplica al volumen del material en su estado natural para obtener su volumen en el terraplén.

El coeficiente será mayor que la unidad, cuando un metro cúbico de terraplén pueda construirse con un volumen menor de material, obtenido en el corte o en el préstamo. Contrariamente

el coeficiente será menor que la unidad cuando el volumen de terraplén requiera un volumen mayor de material constitutivo.

A continuación presento un informe del estudio geotécnico:

OBSERVACIONES

- A.-Material que por sus características no debe ser usado en la formación del cuerpo del terraplén. Únicamente en el arroyo de taludes del mismo.
- B.-Material que presenta características apropiadas para usarse en la formación del cuerpo del terraplén. En las secciones de corte formadas con estos materiales, se requiere formar la capa subrasante con material producto del banco más cerca no para este fin; el espesor de la capa subrasante será de 0,30 metros y deberá compactarse al 100% de su P.V.S.M. con respecto a la prueba AASHTO estandar.
- C.-Material que presenta características apropiadas para usarse en la formación del cuerpo del terraplén y la capa subrasante. En secciones en corte o a pelo de tierra formados con estos materiales se requiere formar la capa subrasante escarificandolos y compactandolos en una capa de 0.30 metros al 100% como mínimo. Si el material es roca, no será necesario abrir caja en ningún caso.
- D.-En la formación de las terracerías, se deberá retirar todos aquellos fragmentos que se hallen sueltos superficialmente.
- E.-El cuerpo del terraplén formado con este material deberá recibir un tratamiento de bandeado mediante tres pasadas con un tractor tipo D-8 o similar.
- F.-En el caso de requerirse el empleo de estos materiales en la formación de terraplenes y capa subrasante, los préstamos sólo podrán ubicarse en las zonas de corte, iniciandose a partir de la orilla de la cuneta ya sea abatiendo sus taludes o formando bermas, debiendo quedar bien conformadas y con un drenaje apropiado una vez terminado su aprovechamiento.

Recomendaciones Generales para todo el Tramo

- 1.-El despalme se hará hasta la profundidad indicada en las tablas y de manera conveniente para eliminar el material superficial.
- 2.-En los taludes de los cortes no se dejarán porciones de materiales susceptibles a desplazarse sobre la vía.
- 3.-La construcción de las obras menores de drenaje se hará antes de iniciar las construcciones de terracerías, concluidas tales obras, deberá arrojarse adecuadamente para evitar cualquier daño a las estructuras durante la construcción.
- 4.-Debe evitarse que la boquilla aguas abajo de las alcantarillas descargue sus aguas sobre el talud del terraplén construido; en estos casos la obra de drenaje se prolongará con lavaderos hasta los cerros del terraplén.
- 5.-Con el material producto del despalme se deberá arropar los taludes que forman el terraplén, dejandoles un talud de 3:1 (tres por uno).
- 6.-Se debe en todos los casos propiciar la forestación de los taludes de los cortes y terraplenes.

TABLA 7

S. C. T.
 DIRECCION GENERAL DE VIAS FERREAS
 DIRECCION DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
 OFICINA DE GEOTECNIA

INFORME DE ESTUDIO GEOTECNICO

VIA FERREA MEXICO - AHO. LAREDO

TRAMO AHORCADO - SAN LUIS POTOSI

SUB-TRAMO PABELTAS - VILLA DE REYES

KM. 128+000 - A - 151+000 ORIGEN EL AHORCADO QRO.

KILOMETRO DESDE HASTA	ESTRATO Nº	ESPESOR (m.)	CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTE DE VARIACION VOLUMETRICA						CLASIFICACION PRESUPUESTO A B C	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVA- CIONES
					90 %	95 %	100 %	BANDE- DO	VOLTEO	ALTURA MAX.		TALUD	ALTURA MAX.	TALUD		
128+000	1	0.30	TIERRA VEGETAL	DESPLAZNE							100-00-00					A
	2	0.70	LIMO COLOR CAFE OSCURO, SACO COMPACTO (NL)	COMPACTADO	1.06	1.00	0.95				60-40-00					C,F
	3	INDEF	LIMO ARENOSO COLOR CAFE CLARO POCO HUMEDO, COMPACTO (NL)	COMPACTADO	1.06	1.00	0.95				60-40-00	1.00	1/2:1	2.00	1.5:1	C,F
131+000	1	0.30	TIERRA VEGETAL	DESPLAZNE							100-00-00					A
	2	INDEF	LIMO COLOR CAFE OSCURO POCO HUMEDO, COMPACTO (NL)	COMPACTADO	1.06	1.00	0.95				60-40-00	1.00	1/2:1	1.50	1.5:1	C,F
132+300	1	0.30	TIERRA VEGETAL	DESPLAZNE							100-00-00					A
	2	0.30	LIMO ARCILLOSO COLOR CAFE ABARILLADO POCO HUMEDO MEDIANAMENTE COMPACTO, CON 10% DE FRAGMENTOS CHICOS Y MEDIANOS (NL-FCM)	COMPACTADO	0.99	0.99	0.89				40-60-00					C,D,F
131+480	3	INDEF	RIPISTA FRACTURADO POCO	BANDEADO					1.12		00-80-20	1.5	1/4:1	1.00	1.5:1	B,E,F

IV.3 Estudio de Drenaje

El objetivo fundamental del drenaje es la eliminación del agua o humedad de las terracerías a través de un desalojo tanto transversal como longitudinal, para evitar que esta perjudique la estabilidad de las terracerías con consiguientes asentamientos perjudiciales. Debe evitarse también que los cortes, formados por materiales de mala calidad, se saturen de agua con peligro de derrumbes o deslizamientos según el tipo de material del corte, y debe evitarse además, que el agua subterránea reblandezca la subrasante con su consiguiente peligro.

Las obras que constituyen el drenaje transversal son: Los Tubos, Bóvedas, Losas(drenaje menor) y los puentes(drenaje mayor) resolviendo el paso debajo de las vías, de las aguas superficiales de los arroyos y ríos cruzados por la línea férrea.

Las aguas pluviales(sobre el derecho de vía) requieren a su vez de un drenaje longitudinal constituido por cunetas y -- contracunetas y finalmente, las aguas subterráneas, que con -- frecuencia precisan drenarse para evitar la pérdida de la capacidad de carga de las vías por medio de subdrenes que abatan -- el nivel freático; más abajo que el efecto de ascenso(por capilaridad) característico de cada suelo.

Para un buen proyecto del drenaje es preciso obtener las secciones transversales de cada cruce lo más fiel posible, así como las áreas hidráulicas por cuencas o sección y pendiente -- que determinarán el tipo y las dimensiones de cada alcantarilla hasta de 6.0 metros de claro en el caso de losas y bóvedas.

Los perfiles de los ejes de las obras se dibujan a escala 1:100, calculando la longitud, dimensiones constructivas con -- sus respectivas cantidades de obra.

Para lograr la economía deseada y no alterar el buen funcionamiento del drenaje, es necesario que el estudio de la subrasante respete la elevación mínima que requiere el proyecto -- de las alcantarillas.

Esto es determinante en terrenos planos, pues en terrenos considerados como de lomerío y montañoso, solamente en casos -- aislados habrá que tomar en cuenta la elevación mínima, ya que el proyecto de la subrasante será obligada por las condiciones que este tipo de configuración topográfica impone y generalmente habrá espacio vertical suficiente para dar cabida a las --- obras menores.

La metodología para encontrar la elevación a la cual debe sujetarse la subrasante, está en función de las características propias de la alcantarilla y de la sección de construcción, --- principalmente de la elevación del desplante, la pendiente según el eje de la obra, el colchón mínimo, el ángulo de esviajamiento, la altura de la obra por proyectar y la pendiente longitudinal y transversal de la misma.

Ejemplo:

Calcular la elevación mínima en una alcantarilla de tubo - de una sección en tangente de 3.50 metros de semi-corona.

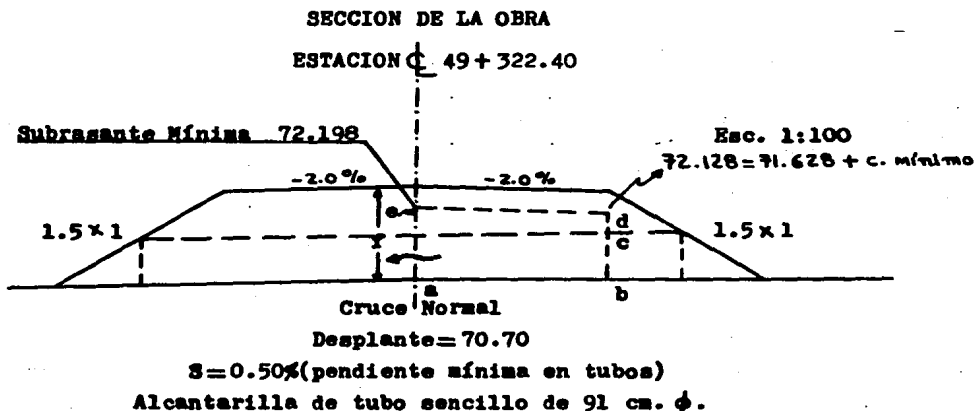


Fig. 36

- a.- Desplante = 70.70 m.
 b.- $70.70 \text{ m.} + (3.50 \text{ m.} \times 0.50\%) = 70.718 \text{ m.}$
 c.- $70.718 \text{ m.} \quad 70.718 \text{ m.} + 0.91 \text{ m.} = 71.628 \text{ m.}$
 d.- $71.628 \text{ m.} + \text{colchón mínimo: } 71.628 \text{ m.} + 0.50 \text{ m.} = 72.128 \text{ m.}$
 e.- $72.128 \text{ m.} + (3.50 \text{ m.} \times 2.0\%) = 72.198 \text{ m.} = \text{Subrasante mínima.}$
 f.- Espesor de Terraplén.

Nota:

El colchón mínimo en alcantarillas de tubo es de 0.50 m.

La subrasante mínima siempre se determina por el hombro -- de la sección más crítico, como sucede cuando se presenta una -- curva horizontal, ya sea derecha o izquierda, en este caso que se trata de una sección en tangente cualquiera de los dos hom-- bros nos dará la misma elevación que finalmente regirá nuestra subrasante definitiva.

IV.4 Proyecto de la Subrasante

La subrasante es el perfil de las terracerías de nuestro - ferrocarril, formada por rectas(tangentes) con pendiente, unidas por medio de arcos de curva parabólica vertical.

Para que el proyecto de la subrasante sea económica, hay - que tomar en cuenta que:

- a) La subrasante debe cumplir con las especificaciones de proyec to geométrico dadas.
- b) En general, el alineamiento horizontal se considerará definiti- tivo, pues todos los problemas inherentes a él han sido re--- sueltos en la fase de anteproyecto. Sin embargo habrá casos - en que se requiera modificarlo localmente.
- c) La subrasante debe respetar las elevaciones mínimas fijadas - por los siguientes elementos:
 - Obras Menores,
 - Puentes,
 - Zonas de Inundación, e
 - Intersecciones.

En las obras menores se determinará la altura mínima tal y como se indicó en la Fig. 36.

En el caso de los puentes no es posible conocer su eleva-- ción definitiva hasta que se proyecte la estructura, cosa que - nunca sucede primero, por lo que se debe tener una idea aproxima- dada de la misma y no suspenderla ahí. Para ello se tomarán en cuenta los siguientes requisitos:

- a) Altura del NAME(Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias).
- b) Sobreelevación de las aguas, ocasionada por el estrechamien-- to que originará el puente en el cruce. Generalmente anda del orden de 2.0 m.
- c) Espacio libre vertical para dar paso a cuerpos flotantes. Nor- malmente 2.0 m.
- d) El peralte de la superestructura. Aproximadamente 1.8 m.

Cuando sea necesario se colocará una nota conteniendo lo siguiente:

SUBRASANTE SUJETA A MODIFICACION POR PROYECTO DE PUENTE

En las zonas de inundación se procura pasar la subrasante como mínimo 1 m. arriba del NAME de esta zona.

En las zonas de intersección con otras vías terrestres a desnivel, la subrasante esta supeditada al galibo vertical.

El proyectista debe disponer de estos datos antes de que empiece a realizar los primeros ensayos de la subrasante sobre el "perfil de trabajo".

d) Los movimientos de terracerías se controlarán por la pendiente de las tangentes que se proyecten. La subrasante que conducen a éstos movimientos en forma económica se llama "Subrasante Económica".

Una vez comprendidas estas recomendaciones y las expuestas al inicio de este capítulo con relación al alineamiento vertical, se procederá a trazar las tangentes verticales respetando siempre la pendiente máxima de proyecto y procurando que los P.I. queden ubicados en estaciones cerradas de 20 metros o a media estación con el objeto de facilitar el cálculo de los elementos de la curva vertical que enlazarán a dichas tangentes.

Curvas Verticales(Procedimiento para Calcularse)

Económicamente es imposible construir un ferrocarril con pendiente uniforme, como lo es en planta, construirlo en 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 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. El desarrollo que conviene dar a las -- curvas verticales depende o es directamente proporcional a la -- diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida por enlazar. Hay dos casos que considerar:

1^o.--Cuando el punto de intersección de las pendientes está hacia abajo y que llamaremos "Columpios" y,

2^o.--Cuando el punto de intersección de las pendientes está hacia arriba y que llamaremos "Cimas".

La ecuación de la parábola referida a su eje, tomando éste como eje de las "Y", y la tangente en su vértice como de las -- "X", es la siguiente:

$$x^2 = 2py \text{ -----(1)}$$

En todo lo que adelante se diga respecto a pendientes, debe entenderse que son tomadas con relación al eje de las "X", - que se considerará horizontal.

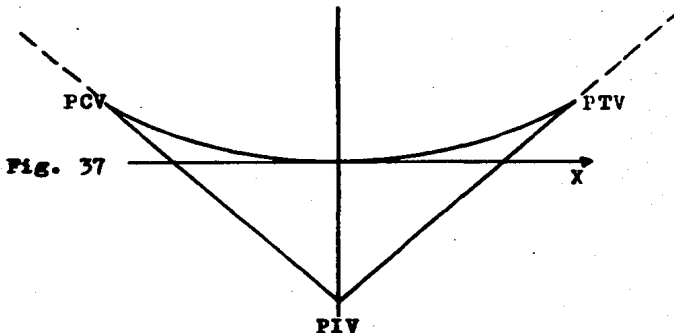


Fig. 37

La demostración de las propiedades de la curva vertical parabólica queda fuera del objetivo del presente trabajo.

Procedimiento de Cálculo

Es conveniente que el número de cuerdas o estaciones sea entero, pero además debemos indicar que en algunos casos conviene que sea par y en otros impar. Conviene que sea par cuando el P.I. (Punto de Intersección), se haya localizado en una estación completa de 20 metros e impar cuando lo haya sido en una media estación de 10 metros. Lo anterior es con el objeto de que las cuerdas coincidan con las estaciones que se marcan, en el terreno, facilitándose con esto las operaciones numéricas.

- 10.- Obténgase la Diferencia Algebraica "D" de las pendientes de las tangentes por enlazar (ya transformadas en pendientes -- por veinte).
- 20.- Divídase la Diferencia Algebraica "D" por la variación "v" que se elija en la tabla 5. a) Si el cosiente es entero y -- par y el P.I. se localizó en estación completa, ese cosiente representará el número de estaciones o cuerdas de 20 metros que debe tener la parábola. b) Si el cosiente es impar y fraccionario, tómesese el número entero inmediato superior, y vuelvase a dividir "D", por este último resultado; el cosiente de esta operación representará la variación definitiva "v" que se debe adoptar.
- 30.- El número de estaciones se multiplica por 20 metros para determinar la longitud (L) de la curva vertical parabólica.
- 40.- A la pendiente de una de las tangentes se le suma o se le resta, según sea el caso (columpio o cima), la semivariación ($1/2 v$) 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 también la misma semivariación y se debe encontrar, como comprobación numérica, la pendiente de la última tangente.

50.-Si el P.I. se localizó en una media estación, el número de cuerdas será impar, procediéndose de la misma manera para - determinar las pendientes de las cuerdas.

Por lo anterior vemos que las operaciones numéricas para - determinar las pendientes de las cuerdas se comprueban, puesto que partiendo de la pendiente de una tangente se debe llegar a la pendiente de la otra.

Ejemplo Numérico:

Calcular la curva vertical de una vía clase A, con un punto de intersección en "Columpio", localizado en estación completa; luego el número de cuerdas debe ser par, la pendiente de la 1ª tangente (entrada) es -1.00% y la pendiente de la 2ª tangente (salida) es de $+0.20\%$.

Resolución:

De la tabla 5 se obtiene una variación de 0.010 .

$$\begin{aligned} (-1.00\%) &= (-0.010)(20) = -0.20 \text{ P/V (pendiente por veinte)} \\ (+0.20\%) &= (+0.002)(20) = +0.04 \text{ P/V (pendiente por veinte)} \\ \hline &= +0.24 \text{ P/V D (Diferencia algebraica de las pendientes)} \end{aligned}$$

$$\text{No. de Cuerdas o Estaciones} = \frac{D}{v} = \frac{0.24}{0.01} = 24 \text{ Estaciones}$$

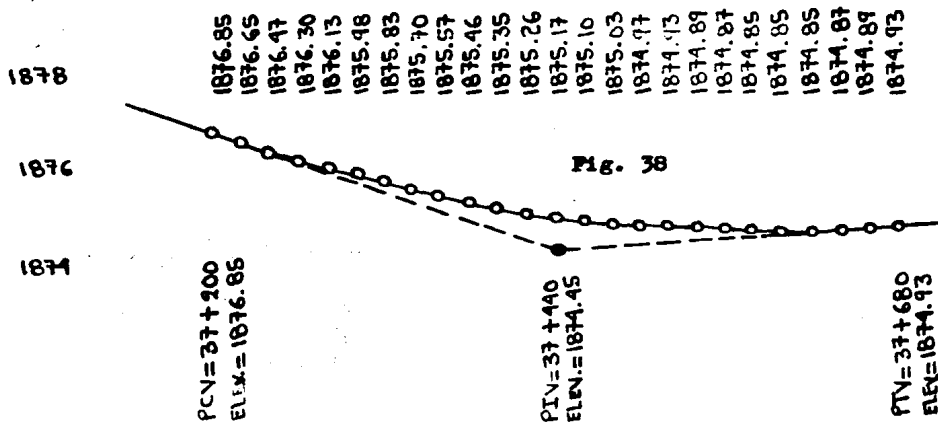
Longitud total de la curva vertical: $24 \text{ Est.} \times 20 \text{ m.} = 480 \text{ m.}$

Como el cosiente fué par, la variación es; $v = 0.010$ y la semivariación; $1/2v = 0.005$.

Cota del P.I.V. ----- 1874.45 metros

Cota del P.C.V. $(1874.45 + 240 \times 0.010)$ ----- 1876.85 metros

Cota del P.T.V. $(1874.45 + 240 \times 0.002)$ ----- 1874.93 metros



PENDIENTE DE LA 1 ^a TANGENTE		1876.850	COTA DEL P.C.V.
- 0.200			
<u>+ 0.005</u>		CUERDA	1er. PUNTO
- 0.195	" " " 1 ^a	-0.195	" " "
<u>+ 0.010</u>	" " " 2 ^a	6.655	" " 2o. "
- 0.185	" " " 3 ^a	-0.185	" " 3er. "
<u>+ 0.010</u>	" " " 4 ^a	6.470	" " 4o. "
- 0.175	" " " 5 ^a	-0.175	" " 5o. "
<u>+ 0.010</u>	" " " 6 ^a	6.295	" " 6o. "
- 0.165	" " " 7 ^a	-0.165	" " 7o. "
<u>+ 0.010</u>	" " " 8 ^a	6.130	" " 8o. "
- 0.155	" " " 9 ^a	-0.155	" " 9o. "
<u>+ 0.010</u>	" " " 10 ^a	5.975	" " 10o. "
- 0.145	" " " 11 ^a	-0.145	" " 11o. "
<u>+ 0.010</u>	" " " 12 ^a	5.830	" " 12o. "
- 0.135	" " " 13 ^a	-0.135	" " 13o. "
<u>+ 0.010</u>	" " " 14 ^a	5.695	" " 14o. "
- 0.125	" " " 15 ^a	-0.125	" " 15o. "
<u>+ 0.010</u>	" " " 16 ^a	5.570	" " 16o. "
- 0.115	" " " 17 ^a	-0.115	" " 17o. "
<u>+ 0.010</u>	" " " 18 ^a	5.455	" " 18o. "
- 0.105	" " " 19 ^a	-0.105	" " 19o. "
<u>+ 0.010</u>	" " " 20 ^a	5.350	" " 20o. "
- 0.095	" " " 21 ^a	-0.095	" " 21o. "
<u>+ 0.010</u>	" " " 22 ^a	5.255	" " 22o. "
- 0.085	" " " 23 ^a	-0.085	" " 23o. "
<u>+ 0.010</u>	" " " 24 ^a	5.170	" " "
- 0.075	" " " "	-0.075	" " "
<u>+ 0.010</u>	" " " "	5.095	" " "
- 0.065	" " " "	-0.065	" " "
<u>+ 0.010</u>	" " " "	5.030	" " "
- 0.055	" " " "	-0.055	" " "
<u>+ 0.010</u>	" " " "	4.975	" " "
- 0.045	" " " "	-0.045	" " "
<u>+ 0.010</u>	" " " "	4.930	" " "
- 0.035	" " " "	-0.035	" " "
<u>+ 0.010</u>	" " " "	4.895	" " "
- 0.025	" " " "	-0.025	" " "
<u>+ 0.010</u>	" " " "	4.870	" " "
- 0.015	" " " "	-0.015	" " "
<u>+ 0.010</u>	" " " "	4.855	" " "
- 0.005	" " " "	-0.005	" " "
<u>+ 0.010</u>	" " " "	4.850	" " "
+ 0.005	" " " "	+0.005	" " "
<u>+ 0.010</u>	" " " "	4.855	" " "
+ 0.015	" " " "	+0.015	" " "
<u>+ 0.010</u>	" " " "	4.870	" " "
+ 0.025	" " " "	+0.025	" " "
<u>+ 0.010</u>	" " " "	4.895	" " "
+ 0.035	" " " "	+0.035	" " "
<u>+ 0.005</u>	" " " "	1874.930	" " P.T.V.
<u>+ 0.040</u>	" " " 2 ^a TANGENTE		

IV.5 Cálculo de Sobreelevaciones

Para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga al tomar un tren una curva circular, se debe dar una sobreelevación a dicha curva, en el caso de ferrocarriles esto se consigue sobreelevando únicamente el riel exterior de la misma, con el objeto de que al estar parado un tren dentro de la curva circular o al transitar por ella a una velocidad menor que la de proyecto (velocidad de equilibrio) no se produzca un volcamiento de los carros. La sobreelevación máxima que se puede dar al riel exterior es de $e_{\max} = 15 \text{ cm.} = 6'$.

Deducción de la fórmula para calcular la sobreelevación en curvas circulares.

Una curva circular de radio R , es recorrida por un tren de peso P a una velocidad V , tal que produce una fuerza centrífuga inversamente proporcional al radio de la curva y proporcional al cuadrado de la velocidad (MV^2/R).

Esa fuerza transversal, provoca mayor presión sobre el riel exterior, lo cual demanda sobreelevarlo para crear otra componente horizontal P_t transversal del peso P que equilibre a la centrífuga y produzca reacciones iguales en ambos rieles.

a : Escantillón $1.435 \text{ m.} = 4'8\frac{1}{2}"$ (vía ancha).

P : Peso del tren.

P_t : Fricción lateral.

N : Normal.

e : Sobreelevación.

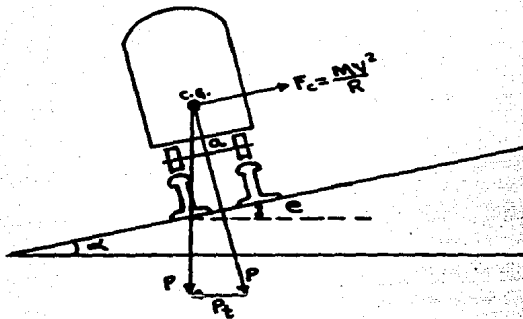


Fig. 39

$$F_c = P_t \text{ ----- (1)}$$

$$\frac{e}{a} = \frac{P_t}{P} \quad ; \quad P_t = \frac{eP}{a} \text{ ----- (2)}$$

$$F_c = \frac{M V^2}{R} \quad \text{pero} \quad M = \frac{P}{g} \quad \text{por lo que}$$

$$F_c = \frac{P V^2}{g R} \text{ ----- (3)}$$

Igualando la ecuación (2) y (3), tenemos que:

$$\frac{P V^2}{g R} = \frac{e P}{a} \quad \text{donde} \quad e = \frac{P V^2}{g R P} a$$

$$e = \frac{a V^2}{g R} \text{ ----- (4)}$$

$$\text{pero} \quad R = \frac{1145.92}{g} \text{ ----- (5)}$$

Sustituyendo la expresión (5) en la (4), se tiene:

$$e = \frac{a v^2 G}{1145.92 g} \text{ ----- (6)}$$

Por lo que si:

$v = \text{Km/Hr.}$

$e = \text{Cm.}$

$G = \text{Grado de curvatura.}$

Sustituyendo:

$$e = \frac{1.435 \times 1000^2 \times v^2 \times G}{9.81 \times 3600^2 \times 1145.92} \times 100$$

$$e = 0.001 v^2 G \text{ ----- (7)}$$

En el tercer renglón de la tabla 6 se puede obtener el valor de la sobreelevación e máxima del riel exterior en el tramo de la curva circular.

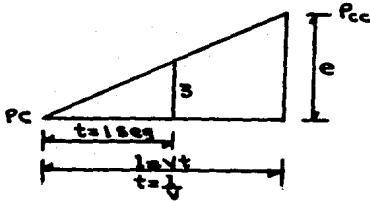
Tramo de Transición.

La sobreelevación es requerida a partir del P.C. donde se inicia la curva de radio R , hasta su término en el P.T., resultando indispensable tener que pasar a través de transiciones en los extremos de la curva desde la sección transversal en tangente, hasta la sobreelevación a que corresponda a la curva; lo cual demandaría teóricamente, tener que partir desde un radio infinito y realizar una curva clotoide de muy difícil trazado.

En general la longitud de la espiral de transición es determinada en base a la sobreelevación o es función de ella, un ejemplo de este caso es el siguiente:

Para llegar a tener un confort en la transición se debe tomar una sobreelevación correspondiente a un ritmo de 3 cm/seg (para velocidades altas de 160 a 200 Km/Hr se aconseja tomar --

2.5 cm/seg).



$$\frac{e}{3} = \frac{1}{3} \quad ; \quad l = \frac{2}{3} \quad v$$

v en Km/Hr

$$l = \frac{2}{3} \times v \times 0.277 \quad (\text{en Mts.})$$

$$l = 0.09 \times e \times v \quad ; \quad l = 9\% \times e \times v$$

En los Ferrocarriles Nacionales de México, se usa 4 cm/seg

$$l = \frac{2}{4} \times v \times 0.277 \quad ; \quad l = 0.0695 \times e \times v$$

$$l = 7\% \times e \times v$$

6

$$e = \frac{1}{7\%} \frac{l}{v}$$

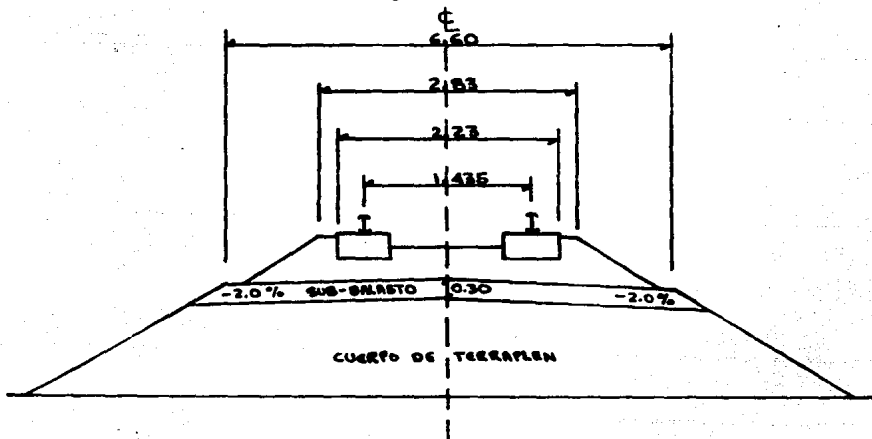
IV.6 Proyecto de Secciones de Construcción

El proyecto de las secciones de construcción se lleva a cabo de la siguiente manera:

- a) La diferencia de elevaciones entre la subrasante y el terreno natural nos da los espesores de proyecto en corte y/o terraplén, obtenidas en las formas para Curva Masa (ver tabla 7).
- b) Esos espesores son marcados sobre el eje de las secciones -- transversales (eje de trazo) previamente intintadas a escala 1:100, correspondiente a cada estación de 20 metros o a cualquier punto intermedio que haya sido nivelado.
- c) Con los datos de la sección tipo o de proyecto proporcionada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y las recomendaciones de geotécnica se procede a dibujar a lápiz cada -- sección de construcción.

SECCION DE PROYECTO SECCION TIPO PARA TERRAPLEN

Eje de Trazo



Determinación de Areas:

Una vez dibujadas las secciones de construcción, se empieza a arrear cada una de ellas con el objeto de obtener los volúmenes de terracerías tanto de corte como de terraplén para fines de presupuesto y pago.

Nomenclatura Utilizada en Vías Férreas:

Sección de Terraplén	DT: Despalme en Terraplén.
	CT: Cuerpo de Terraplén.
	CS: Capa Subyacente.
	SB: Sub-Balasto.

Sección de Corte	DC: Despalme en Corte.
	C2: Corte en el Estrato 2.
	C3: Corte en el Estrato 3.
	CS: Capa Subyacente.
	SB: Sub-Balasto.
CC: Compactación de la Cama de los Cortes.	

Existen por lo menos tres métodos para obtener el área de las secciones de construcción:

- a) Método Analítico,
- b) Método Gráfico, y
- c) Método Planimétrico.

En este caso sólo mencionaremos uno que bien podría considerarse dentro del método gráfico; siendo el más práctico por su rapidéz.

Se divide primeramente la superficie en fajas verticales de ancho unitario (Fig. 41) y dado que las secciones estan dibujadas en papel milimétrico y a escala 1:100 las líneas verticales delimitan claramente un rectángulo de un ancho constante y altura variable.

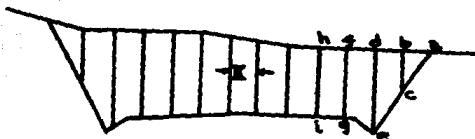
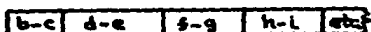


Fig. 41



tira de papel

Se toma una tira de papel y a partir de la línea inicial b-c de la sección mostrada en la figura 41, se van sumando las longitudes de las demás líneas restantes (b-c, d-e, f-g, h-i, -- etc.) multiplicando la suma total obtenida por el ancho considerado, que es constante.

Mientras mayor precisión se requiera en la obtención del área, menor deberá ser el ancho de la franja.

K: Ancho de la franja entre líneas verticales.

ΣL : Suma de las longitudes de las líneas verticales.

$$A = K(\Sigma L)$$

ÁREAS DE TERRAPLEN (m²)

DT = 4.9 m²
 CT = 46.0 m²
 CB = 2.8 m²
 SB = 2.3 m²

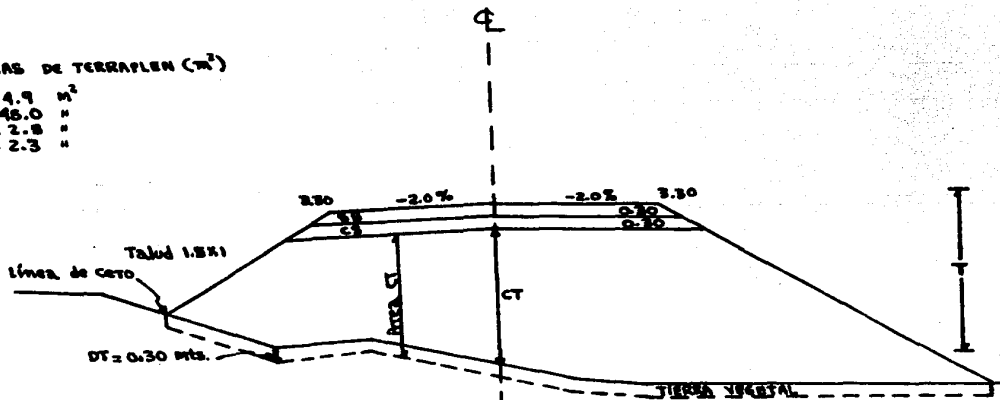
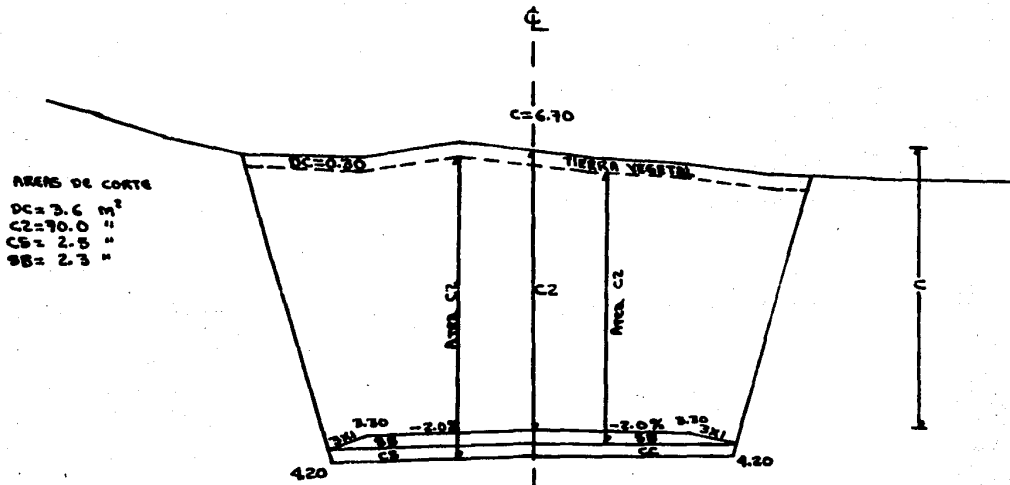


Fig. 42



AREAS DE CORTE
 DC = 3.6 m²
 C2 = 70.0 "
 CB = 2.5 "
 CB = 2.3 "

Fig. 43

Nota: cuando el terreno es bueno para una sección en corte; solo se compacta, pero no se incluye en el Area C2, usándose CC en vez de CB.

Cálculo de Volúmenes:

Las áreas así determinadas de corte y terraplén son vaciadas ordenadamente en las formas de Curva Masa para obtener los volúmenes de terracerías. El volumen comprendido entre secciones, se calculará tomando el promedio de las áreas de dichas secciones multiplicandola por la distancia entre ellas. Existen otros procedimientos para calcular estos volúmenes, pero se empleará el mencionado.

Como la separación entre dos secciones es ordinariamente - de 20 mts. o sea una estación, el volumen en este caso será:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \cdot 20 = 10(A_1 + A_2)$$

$$\text{En general: } V = \frac{A_1 + A_2}{2} D = (A_1 + A_2) \frac{D}{2}$$

Donde A_1 y A_2 son las áreas de las secciones extremas y D la distancia entre ellas.

Cuando una de las áreas sea igual a cero, como es el caso de los puntos que cambian de corte a terraplén, o viceversa, el volumen será el área de la otra sección dividida entre dos y -- multiplicada por la distancia entre las dos secciones.

Se tendrá especial cuidado al tratar con la sección que resulte de los puntos en que el perfil cambia de corte a terraplén, o viceversa, pues cuando el terreno es inclinado, aunque en el eje de trazo no haya movimiento de material, en realidad si existe área en corte y en terraplén en ese punto, una se promediara con la de la sección de atrás y la otra con la de adelante.

IV.7 Cálculo de la Curva Masa

El Diagrama de Masas es una curva continua formada por las coordenadas de la Curva Masa, cuyas ordenadas representan los volúmenes de excavación o relleno acumulados y las abscisas las estaciones correspondientes.

Se acostumbra a dibujar dicho diagrama sobre el mismo plano en que se encuentra dibujado el perfil longitudinal y la subrasante.

Es indispensable la obtención de la Curva Masa, pues permite determinar la distribución económica tanto de los volúmenes excavados como de los movimientos de ese material, su sentido de acarreo ya sea hacia atrás o hacia adelante y, la compensación longitudinal del proyecto.

La curva se dibujará en escala horizontal 1:2,000 mientras que la escala vertical dependerá de los movimientos de terracerías que se tenga, recomendándose 1 cm. por cada 200 metros cúbicos.

Propiedades del Diagrama de Masas:

- 1a. El diagrama de masas será ascendente en corte y descendente cuando predomine el terraplén.
- 2a. La diferencia entre dos puntos cualesquiera del diagrama de masas nos dará un volumen que puede ser de corte o terraplén.
- 3a. Los cortes se consideran positivos y nos acusarán un diagrama hacia arriba. Los terraplenes serán negativos y su diagrama será hacia abajo.
- 4a. La línea horizontal que iguala volúmenes de corte y terraplén se llama "Línea Compensadora General".
- 5a. Todos los movimientos arriba de la compensadora general se denominan movimientos adelante y por abajo de ella movimientos atrás.

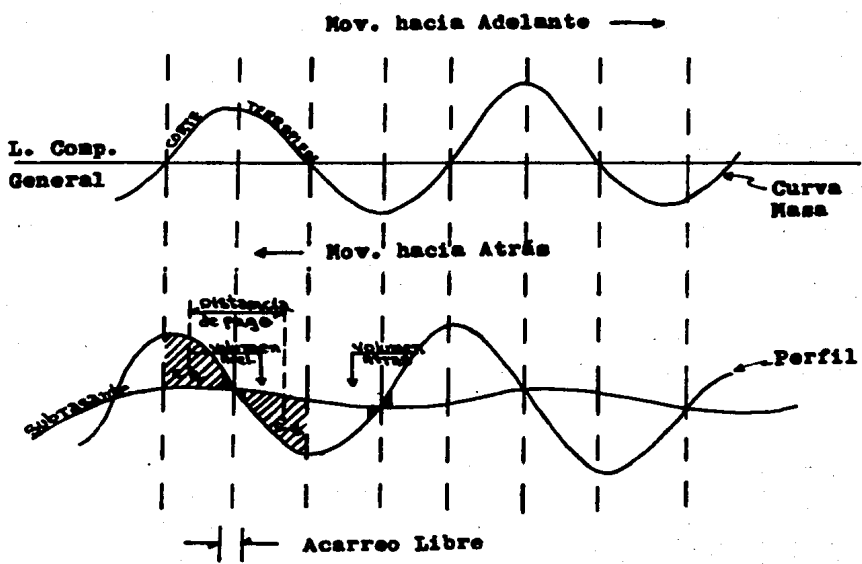


Fig. 44

Para graficar la Curva Masa o Diagrama de Masas es preciso determinar sus ordenadas y para ello debe llenarse la forma de Cálculo de Curva Masa (Tabla 7) abundando los volúmenes de corte dicho de otra manera, éstos se afectarán por su coeficiente de variabilidad volumétrica. Por último, a la ordenada de origen o de partida se le van sumando algebraicamente los volúmenes de corte y terraplén.

La diferencia de elevaciones entre terreno natural y la elevación de subrasante debe ser igual a la diferencia de la suma total entre espesores de corte y terraplén, por ejemplo:

De la forma para Curva Masa se tiene que:

Elev. Terreno Natural	74230.18	}	69.30
Elev. de Subrasante	74160.88		
			↕
Espesores de Corte	80.70	}	69.30
Espesores de Terraplén	11.40		

Lo anterior demuestra una forma sencilla de comprobar que las operaciones y sumas totales de estas columnas son las correctas, procurando además rectificar cada una de las operaciones que se efectúen posteriormente para que los resultados sean confiables.

F.C. MEXICO - LABEDO
 TRAMO AMORCADO - SALINAS PATOSI
 SUBTRAMO PARRITAS - VILLA DE REYES
 DE EST. 150+000 - 150+600
 ORIGEN AMORCADO-ORO HACIA S.L.P.

ESTACION	ELEVACION TERRENO	TANG. VERTICAL		CURVA VERTICAL CORRECCION	ELEVACION SUB-RASANTE	ESFESORES	
		PEND.	COTAS			CORTE	TERR.
150+000	2016.32				2009.13	7.15	
020	2015.64				8.83	6.33	
040	2015.05				8.53	6.48	
060	2014.41				8.23	6.14	
080	2013.49				7.93	5.52	
150+100	2013.30				7.63	5.63	
120	2012.84				7.33	5.43	
140	2011.95				7.03	4.88	
160	2012.02				6.33	5.25	
180	2010.05				6.43	3.58	
150+200	2009.69				6.13	3.52	
220	2009.08				5.83	3.21	
240	2008.41				5.53	2.83	
260	2007.61				5.23	2.34	
280	2007.05				4.93	2.08	
150+300	2006.73				4.63	2.06	
320	2006.34				4.33	1.93	
340	2006.03				4.03	2.00	
348	2006.08				4.00	2.02	
360	2004.28				3.73	0.51	
331	2004.51				3.61	0.90	
380	2003.69				3.43	0.22	
150+400	2003.04	-1.5%			3.13		0.13
405	2002.15				3.10		0.95
420	2002.09				2.83		0.38
423	2002.99				2.83	0.16	
440	2002.16				2.63		0.41
460	2001.80				2.23		0.43
480	2001.36				1.93		0.61
150+500	2000.88				1.63		0.39
520	2000.42				1.33		0.95
523	2000.99				1.33		0.34
529	1999.16				1.24		2.08
540	1999.44				1.03		1.63
560	1999.21				2000.73		1.56
580	1999.98				0.43		0.49
150+600	1999.96				2000.13		0.21
	34230.18				34160.88	80.30	11.40
				69.30		69.30	

Proyecto: _____

Fecha: _____

**FUENTES DE ABASTECIMIENTO
PARA CONFORMAR LAS TERRACERIAS**

- Préstamos Laterales.
- Préstamos de Banco.
- Compensaciones Longitudinales.

Al conjunto de movimientos hacia adelante y hacia atrás se le denomina "Acarreos" y van desde el centro de gravedad del -- corte al centro de gravedad del terraplén, clasificandose de -- acuerdo a las distancias por recorrer.

Acarreo Libre.- Es el transporte de materiales acarreados en -- una distancia de 20 metros y por el cual no se hace ningún pago, porque va ya incluido en la extracción del mismo.

Sobrecarreo.- Es el transporte del material que excede la distancia del acarreo libre. Dicha distancia de sobrecarreo se obtiene restando el acarreo libre de la distancia que existe entre los centros de gravedad de la excavación o corte y del terraplén.

Actualmente la medición de la distancia está dividida en tres formas:

- a) hasta 100 metros, por Estaciones de 20 mts.,
- b) hasta 500 metros, medida por Hectómetros, y
- c) más de 500 metros, medida por Kilómetros.

Para efectos de pago al contratista, el concepto "Acarreo" es el resultado de multiplicar el volumen sobrecarreado por -- las unidades de medida de la distancia, pagándose así por metro --cúbico-Estación, metro cúbico-Hectómetro y metro cúbico-Kilómetro respectivamente.

Ejemplo: Determinar el tipo de acarreo que muestra la Fig. 45.

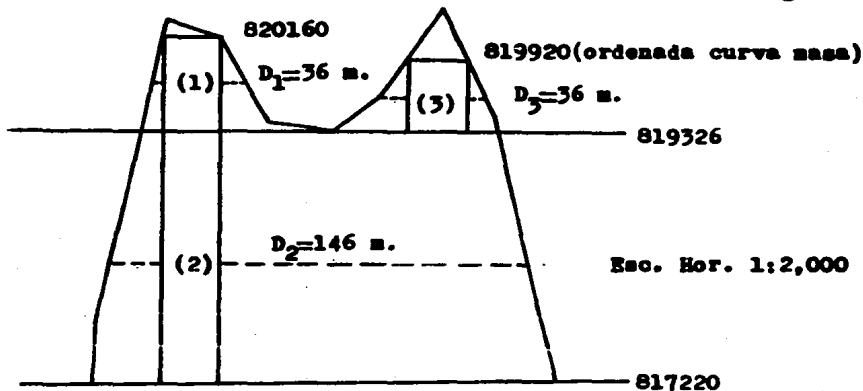


Fig. 45

$C_v = \text{Coef. Variabilidad Volumétrica} = 0.96$

El movimiento (1) tiene un sólo pago:

$$(820160 - 819326) = 834 \text{ m}^3$$

$$D_1 = 36.00 \text{ mts.}$$

<u>20.00 mts. = A. Libre</u>
16.00 mts. = <u>16.00</u>
20.00

$$= 0.80 \text{ Est.}$$

El movimiento (2) tiene dos pagos:

$$(819326 - 817220) = 2106 \text{ m}^3$$

$$D_2 = 146.00 \text{ mts.}$$

<u>20.00 mts. = A. Libre</u>
- 126.00 mts.
<u>100.00 mts. = 1er. Hectómetro</u>
26.00 mts. = <u>26.00</u>
100.00

$$= 0.26 \text{ Ha. Adicional}$$

El movimiento (3), también tendrá un sólo pago:

$$(819920 - 819326) = 594 \text{ m}^3$$

$$D_3 = 36.00 \text{ mts.}$$

$$\frac{20.00 \text{ mts.} = A, \text{ Libre}}{16.00 \text{ mts.} = \frac{16.00}{20.00} = 0.80 \text{ Est.}}$$

$$\frac{16.00 \text{ mts.} = 16.00}{20.00} = 0.80 \text{ Est.}$$

RESUMEN

$$1) \text{ S/A } \frac{274 \text{ m}^3}{0.96} \times 0.80 \text{ Est.} = 695 \text{ m}^3 - \text{ Est.}$$

$$2) \text{ S/A } \left\{ \begin{array}{l} \frac{2106 \text{ m}^3}{0.96} \times 1.00 \text{ Hm.} = 2194 \text{ m}^3 - \text{ Hm.} \\ \frac{2106 \text{ m}^3}{0.96} \times 0.26 \text{ Hm.} = 570 \text{ m}^3 - \text{ Hm. Adic.} \end{array} \right.$$

$$3) \text{ S/A } \frac{594 \text{ m}^3}{0.96} \times 0.80 \text{ Est.} = 495 \text{ m}^3 - \text{ Est.}$$

Obtención de la Distancia Media de Acarreo

La distancia media de acarreo es una línea horizontal que pasa por el centro de gravedad de las figuras que nos dan al unir los puntos de la curva masa.

Así por ejemplo, para obtener la distancia media de acarreo en una figura regular se mide la altura máxima de la misma y se divide entre dos, como si se tratara de un rectángulo, tal y como se indica en la Fig. 46.

Para resolver el caso en una figura irregular (Fig. 47) es necesario determinar las áreas A_1 y A_2 mediante cualquier método conocido, recomendándose utilizar el planímetro para una mayor exactitud de las mismas.

Otra manera de conocer el centro de gravedad de la Fig. 47 es trazando líneas compensadoras de área tratando de formar una figura regular conocida.

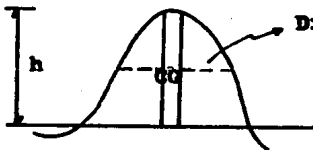


Fig. 46

$$D.M.A. = \frac{h}{2}$$

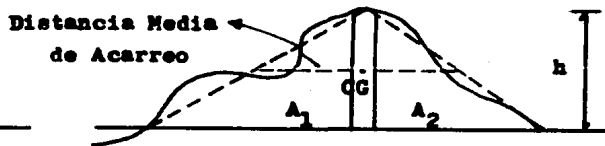
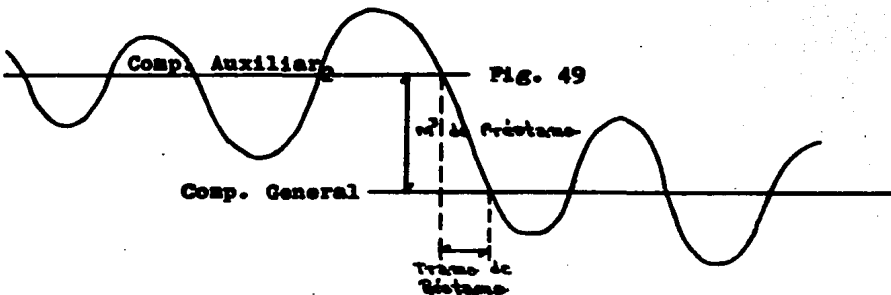
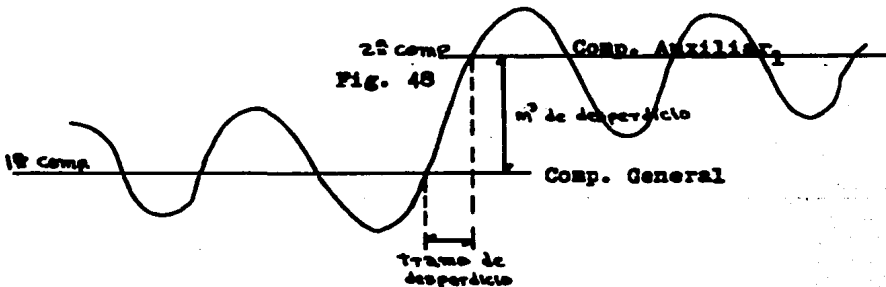


Fig. 47

$$D.M.A. = \frac{A_1 + A_2}{h}$$

COMPENSACIONES LONGITUDINALES
Compensadora General y Auxiliar

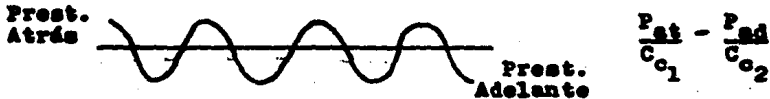
Al estudiar un tramo pueden trazarse varias compensadoras, incluyendo una compensadora general, según resulte la Curva Masa obtenida, llamadas compensadoras auxiliares, quedando entre éstas y la general tramos sin compensación. En estos tramos, si la curva asciende habrá un volumen de excavación excedente que no hay donde emplearlo para rellenar, o sea un Desperdicio, y - si la curva desciende indicará que hace falta material para el terraplén, que no podemos obtener de la simple excavación. En este caso debe traerse material de otro lado, o sea un Préstamo. Ver Fig. 48 y 49.



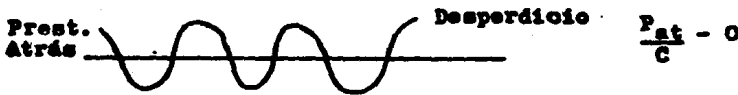
Desde este punto de vista la posición de la Compensadora - Económica en un Diagrama de Masas será aquella línea horizontal cuya suma del importe de las excavaciones iguale los precios de los préstamos adelante y los préstamos atrás.

Se entiende por Compensación Longitudinal a lo que se va a cortar de nuestro centro de línea y se va a utilizar en la conformación de los terraplenes. Las Compensaciones Longitudinales pueden estar limitadas por:

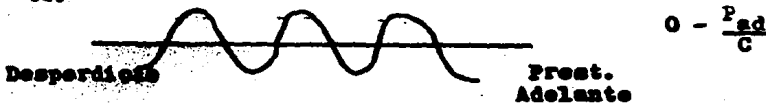
a) El préstamo atrás y por un préstamo adelante:



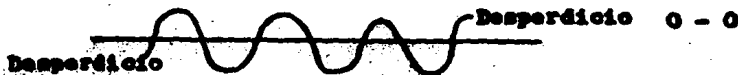
b) Un préstamo atrás terminando en un desperdicio:



c) Puede estar limitado por un desperdicio y un préstamo adelante:



d) Un desperdicio y otro desperdicio:



Para determinar la posición de la Compensadora Económica - se usará la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 & P_{Est} \left(\sum \frac{Est_1}{C_1} - \sum \frac{Est_2}{C_2} \right) + P_{HM} \left(\sum \frac{HM_1}{C_1} - \sum \frac{HM_2}{C_2} \right) + P_{HMexc} \left(\sum \frac{HMexc_1}{C_1} - \sum \frac{HMexc_2}{C_2} \right) \\
 & + P_{1/2Km} \left(\sum \frac{1/2Km_1}{C_1} - \sum \frac{1/2Km_2}{C_2} \right) + P_{HMexc_{1/2Km}} \left(\sum \frac{HMexc_{1/2Km_1}}{C_1} - \sum \frac{HMexc_{1/2Km_2}}{C_2} \right) \\
 & = \frac{P_{atrás}}{C_1} - \frac{P_{adelante}}{C_2} \quad \text{----- (I)}
 \end{aligned}$$

Cabe mencionar que el segundo miembro de la ecuación (I) es una condición que va a variar de acuerdo al caso de Compensación Longitudinal que se presente, ya sea el caso a, b, c ó d.

La Secretaría es quien fija los precios unitarios de los acarreos por transporte del material producto de la excavación, según la distancia de los mismos, incluyendo el precio por el acarreo libre, y son elaborados de acuerdo a la zona donde se realiza la obra. Los precios unitarios que daremos a continuación corresponden al año de 1983 y que solo nos servirán para ilustrar un ejemplo.

P. Unitario de Acarreo en Estaciones:	$P_{Est.}$	\$ 1.18
" " " " "	Hectómetros: P_{HM}	\$ 5.90
" " " " "	Hectómetro Exced: $P_{HM-Exc.}$	\$ 2.45
" " " " "	1/2 Km ó 5 HM: $P_{1/2 Km}$	\$15.70
" " " " "	HM exced. al 1/2 Km: $P_{HMexc_{1/2 Km}}$	\$ 1.71

Ejemplo Numérico:

Calcular la posición económica de la Compensadora Auxiliar C-D en función de la Compensadora General A-B, mostrada en la - Fig. 50, tomando los precios unitarios de la pag. 151.

Costo de la Compensadora General

Distancia A-B = 980.00 mts.

980.00	mts.	
- 20.00	"	= A. Libre
960.00	"	
- 500.00	"	= 5 Hm.
460.00	"	= Excedente

Precio_{ler.} 1/2 Km = $\frac{5.00 \text{ Hm}}{1.00} = 5.00 \text{ Hm} \text{ ----- } \$ 15.70$

Precio_{Hm-Exc.} al 1/2 Km = $\frac{4.60 \text{ Hm-Adic.}}{1.00} = 4.6 \text{ Hm-Adic.}$

= 4.6 Hm-Adic. x \$ 1.71 ----- \$ 7.87

 - \$ 23.57

Costo de la Compensadora Auxiliar C-D

D ₁ = 210.00	mts.	
- 20.00	"	
190.00	"	
- 100.00	"	= 1.0 Hm. (colocar en col. 4 de la tabla 8)
90.00	"	= 0.9 Hm-Exc. (colocar en col. 6 de la tabla 8)

D ₂ = -2.0	Est.	
1.0	Est. de Acarreo Libre	
1.0	Estaciones (colocar en col. 1 de la tabla 8)	

$D_3 = 7.1$ Est.
 $\frac{1.0}{6.1}$ Est. de Acarreo Libre
 6.1 Estaciones (colocar en col. 2 de la tabla 8)

$D_4 = 4.2$ Est.
 $\frac{1.0}{3.2}$ Est. de Acarreo Libre
 3.2 Estaciones (colocar en col. 1 de la tabla 8)

$D_5 = 420.00$ mts.
 $\frac{20.00}{400.00}$ " "
 $\frac{100.00}{300.00}$ " = 1.0 Hm (colocar en col. 4 de la tabla 8)
 " = 3.0 Hm-Exc. (colocar en col. 6 de la tabla 8)

TABLA 8

	ESTACIONES		HECTOMETROS				KILOMETROS			
	A 120 Mts.		A 1.0 Hm.		Hm. Exc.		A 1/2 Km.		Hm. Exc.	
	AT ₁	AD ₂	AT ₁	AD ₂	AT ₁	AD ₂	AT ₁	AD ₂	AT ₁	AD ₂
	$\sum \frac{E_{11}}{C_1}$	$\sum \frac{E_{12}}{C_2}$	$\sum \frac{H_{M1}}{C_1}$	$\sum \frac{H_{M2}}{C_2}$	$\sum \frac{H_{MEX1}}{C_1}$	$\sum \frac{H_{MEX2}}{C_2}$	$\sum \frac{V_2 K_1}{C_1}$	$\sum \frac{V_2 K_2}{C_2}$	$\sum \frac{H_{MEX1}}{C_1}$	$\sum \frac{H_{MEX2}}{C_2}$
1	$\frac{1.0}{1.0} = 1.0$	$\frac{6.1}{1.0} = 6.1$		$\frac{1.0}{1.0} = 1.0$		$\frac{0.9}{1.0} = 0.9$				
2	$\frac{3.2}{1.0} = 3.2$			$\frac{1.0}{1.0} = 1.0$		$\frac{2.0}{1.0} = 2.0$				
3										
4										
5										
\sum	$\sum I_1 =$	$\sum I_2 =$	$\sum I_3 =$	$\sum I_4 =$	$\sum I_5 =$	$\sum I_6 =$	$\sum I_7 =$	$\sum I_8 =$	$\sum I_9 =$	$\sum I_{10} =$
	$\sum I_1 = 4.2$	$\sum I_2 = 6.1$	$\sum I_3 = 0$	$\sum I_4 = 2.0$	$\sum I_5 = 0$	$\sum I_6 = 2.9$	$\sum I_7 =$	$\sum I_8 =$	$\sum I_9 =$	$\sum I_{10} =$

La expresión (I) se puede reducir según la tabla 8 a la ecuación (II), quedando finalmente puras sumatorias:

$$\begin{aligned}
 &PH(\Sigma_1 - \Sigma_2) + PH(\Sigma_3 - \Sigma_4) + PH_{exc}(\Sigma_5 - \Sigma_6) + P_{1/2 Km}(\Sigma_7 - \Sigma_8) \\
 &+ PH_{exc. al 1/2 Km}(\Sigma_9 - \Sigma_{10}) = \frac{P_{pat}}{C_1} - \frac{P_{pad}}{C_2} \text{ ----- (II)}
 \end{aligned}$$

$$1.18(4.2 - 6.1) + 5.90(0 - 2.0) + 2.45(0 - 3.9) = - 23.57$$

$$1.18(- 1.9) + 5.90(- 2.0) + 2.45(- 3.0) = - 23.57$$

$$- 2.26 - 11.80 - 9.56 = - 23.62$$

$$- 23.62 \doteq - 23.57$$

En conclusión, se acepta la Compensadora Auxiliar C-D propuesta.

Así pues, deberán efectuarse tantos tanteos como sean necesarios para poder obtener dicha igualdad.

Proyecto Definitivo

Procedimiento Fotogramétrico Electrónico:

Tomando como guía la línea de anteproyecto seleccionada, - el proyectista inicia el estudio del trazo definitivo sobre pl^gnos fotogramétricos a escala 1:2,000/2 mts., normando su criterio con las especificaciones geométricas elegidas para cada caso.

En esta tercera etapa es conveniente efectuar otro reconocimiento de campo, para verificar la fotointerpretación hecha - en Autógrafo o Balplex de las fotos 1:10,000. Se recorre toda - la línea seleccionada atendiendo problemas de afectaciones, cruces, suelos y drenaje; del que en algunas ocasiones surgen modificaciones.

A continuación se toman de la planta los datos correspondientes al trazo para su matematización por medio de computadoras, obteniendo todos los elementos que componen dicho alineamiento. Se efectúa el estudio geotécnico detallado en el campo a base de sondeos directos, así como también los estudios geofísicos en los cortes de más de siete metros, con objeto de determinar los coeficientes de variación volumétrica de los materiales, la clasificación de los estratos y la inclinación que se - debe dar a los taludes en los cortes.

Simultáneamente, las brigadas tophidráulicas y de exploración realizan los levantamientos y estudios tophidráulicos necesarios en los cruces escogidos, obteniendo muestras del terreno para determinar sus características en cuanto a capacidad de carga y resistencia a la acción de otros agentes o factores a - los que estará sometido el terreno.

Una vez matematizado el trazo, se le dibuja en planta y en las fotografías 1:10,000 para proyectar sobre ellas la poligonal de referencia, la que tiene dos funciones; combinada con la nivelación lateral permite la orientación absoluta de los mode-

los estereoscópicos en los que se secciona el proyecto, y segunda, desde sus vértices, con los datos para el estacamiento, por coordenadas rectangulares, o polares, o por intersecciones se sitúan en el campo los puntos necesarios para el trazo del eje de proyecto definitivo. Los vértices de esta poligonal se ubican separados entre 300 y 400 metros debidamente señalados, los ángulos se miden con tránsito de un segundo de lectura, las distancias con telurómetros y las nivelaciones en su mayor parte con nivel automático.

Seccionamiento y Perfil de Construcción Fotogramétrica

El objetivo de este trabajo es obtener el perfil longitudinal de las secciones transversales para el diseño geométrico de las secciones de construcción.

Con las diapositivas de las fotografías 1:5,000 debidamente orientadas en los Autógrafos y con el auxilio del perfiloscopio, que es un aditamento que se coloca al Autógrafo, se levantan las secciones transversales a cada 20 metros así como los perfiles de todos los cruces para ser utilizados en el proyecto definitivo del drenaje menor y obras mayores. Con los datos de las secciones transversales de construcción se alimenta a la computadora y se obtiene el perfil longitudinal constructivo del eje de proyecto. Todos estos datos se vacían a los registros convencionales de Trazo, Nivel y Seccionamiento para poder trazar la línea definitiva en campo y también para conformar la memoria de cálculo.

Proyecto de la Subrasante

Una vez obtenido el Trazo, Perfil Longitudinal y Seccionamiento definitivo, se procede a dibujarlos en su plano respectivo, el primero a una escala de 1:2,000, el Perfil a una escala horizontal de 1:2,000 y a una escala vertical 1:200, mientras que las Secciones de Construcción a escala 1:100.

A partir de esta etapa el desarrollo del proyecto de la -- subrasante se puede realizar de la misma manera que como se efectúa en el proceso tradicional, que explicamos en el capítulo - IV.4.

Teniendo definida la Subrasante, se puede continuar utilizando el proceso fotogramétrico electrónico, vaciando los datos inherentes al Alineamiento Vertical en unas formas de codificación para su procesamiento.

Con los resultados del proceso anterior se dibujan las secciones de construcción y, el diagrama de masas a una escala -- conveniente en correspondencia con el perfil para poder estudiar las posiciones más económicas de las compensadoras generales y auxiliares en la forma convencional y de acuerdo con los precios unitarios de la zona que tabula la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Definidas estas posiciones se calculan los movimientos de tierra de las terracerías en los rangos de -- sobrecarreos y acarreos.

Existe un subprograma de cálculo electrónico que acoplado al anterior hace posible que la computadora "dibuje" con puntos el diagrama de masas, lo cual permite interpretar rápidamente -- los resultados del proceso.

Cuando se han calculado los volúmenes tanto de las terracerías como de las obras menores y mayores, se esta en condiciones de formar el "Cuadro de Cantidades de Obra del Proyecto".

Finalmente, los planos y datos que deberán entregarse para su aprobación son:

- 1) Planta Topográfica original conteniendo el trazo del eje y -- sus datos de Alineamiento Horizontal.
- 2) Perfil Estimativo de Construcción con cantidades de obra y especificaciones de proyecto.
- 3) Geometría del Seccionamiento de Construcción.

- 4) Carpeta conteniendo todos los Informes y Registros de Campo y Cálculo de Orientaciones y Coordenadas.
- 5) Carpeta con Justificación y Funcionamiento del Drenaje: relación de obras, datos hidráulicos, tipo de obra y localización, justificación de áreas hidráulicas por cuencas o sección-pendiente, registros e informes de campo, dibujo de perfiles de los cruces a escala 1:100 con sus respectivos proyectos definitivos, así como su correspondiente memoria de cálculo conteniendo las cantidades de obra y planos constructivos.

CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo hemos tenido la oportunidad de observar claramente las ventajas y desventajas que presentan -- ambos métodos. El proceso Fotogramétrico Electrónico es eficiente sobre todo en las etapas de elección de ruta y anteproyecto, donde, si las condiciones de vegetación, topografía y tamaño de la obra, son propicias, la fotogrametría no tiene rival en cuanto a amplitud y precisión suficiente para determinar las mejores soluciones, en forma rápida y económica, aunque la obtención de datos del terreno para el proyecto detallado se haga directamente en el campo, como son también los estudios socioeconómicos y los medios de control horizontal y vertical para la obra, fuera de eso los métodos de fotogrametría aérea dejan muy poco que hacer a las brigadas clásicas de tierra.

El Procedimiento Fotogramétrico Electrónico se está aplicando en nuestro país tanto al proyecto de caminos como al de vías férreas con resultados satisfactorios, obteniéndose las siguientes ventajas principales:

- 1.-Los estudios como ya dijimos se realizan con la amplitud necesaria o deseada, económica y rápidamente, y
- 2.-Permite que el proyectista emplee prácticamente todo su tiempo en aplicar su criterio para optimizar el proyecto, sobre todo en la etapa de selección y proyecto de subrasante, relevándolo al mismo tiempo de los antiguos cálculos rutinarios y tediosos.

Su principal desventaja consiste en que no es aplicable en zonas de vegetación cerrada, o permanentemente inundadas, lo que si representa una ventaja al primero dado que es más fácil resolver este tipo de problemas en campo por procedimientos convencionales que por medios fotogramétricos.

Además deseo hacer hincapié, en que el Método Tradicional aunque laborioso, permite a su vez conocer la secuencia real -- del proyecto geométrico.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- **Ferrocarriles**
Francisco M. Tognio
Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.
- 2.- **Camino**
José L. Escario y Núñez del Pino
Interamericana
- 3.- **México: formación de regiones económicas**
UNAM. 1979
- 4.- **Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras**
SAHOP. 1977
- 5.- **Manual de Caminos Vecinales**
René Etcharren Gutiérrez
Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.
- 6.- **Procedimiento Fotogramétrico Electrónico Aplicado al Proyecto de Vías Férreas**
Congreso Panamericano de Ferrocarriles
Buenos Aires, Argentina. 1968
- 7.- **Aplicación de la Fotogrametría a Vías Terrestres**
Sociedad Mexicana de Fotogrametría, Fotointerpretación y Geodesica
Bulmaro Cabrera Ruiz
- 8.- **Instructivo para Levantamiento Topográfico**
Gerencia de Proyectos y Construcciones
Pemex. 1965

9.- Topografía**Montes de Oca****Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.****10.-Topografía Elemental****Raymond E. Davis y Joe W. Kelly****C.E.C.S.A.**