

881215

5

28  
1

**UNIVERSIDAD ANAHUAC**

---

**ESCUELA DE INGENIERIA  
CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA U.N.A.M.**



**UNIVERSIDAD ANAHUAC**  
VINCE IN BONO MALUM

**LA FOTOGRAMETRIA Y EL CALCULO  
ELECTRONICO APLICADOS AL PROYECTO  
DE CAMINOS.**

**TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A:  
LUIS GABRIEL ZARABOZO RENTERIA**

MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN



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.

INDICE.

|  | páginas: |
|--|----------|
| 1. Introducción.   | 2.       |
| 2. Selección de ruta o localización preliminar.  | 6.       |
| 2.1. Información para el proyecto.   | 6.       |
| 2.2. Primer reconocimiento.  | 8.       |
| 2.2.1. Fotografía aérea 1:50,000.  | 8.       |
| 2.3. Fotointerpretación; Geológica, Hidrológica y Socioeconómica.<br>Estudio estereoscópico de las fajas de ruta.                                | 8.       |
| 2.4. Segundo reconocimiento. Fotografía aérea escala, 1:25,000.  | 20.      |
| 2.5. Estudio estereoscópico de líneas de ruta. Control terrestre y aerotriangulación.  | 20.      |
| 2.6. Estudio preliminar del paisaje.   | 28.      |
| 2.7. Estudio de las líneas y especificación geométrica en el instrumento Balplex. Ep. 1:25,000. Proposición de las especificaciones geométricas. | 30.      |
| 2.8. Tercer reconocimiento. Líneas de ruta.  | 32.      |
| 3. Anteproyecto.   | 40.      |
| 3.1. Fotografía aérea escala 1:5,000.  | 40.      |
| 3.2. Control terrestre con poligonal de referencia. Delimitación de cuencas.   | 41.      |
| 3.3. Anteproyecto en el instrumento Balplex y en el instrumento Autógrafo. Obtención de planos por el restituidor a escala 1:1,000.              | 46.      |
| 3.4. Estudio de entronques y pasos a desnivel. (E.P.D.).   | 49.      |
| 3.5. Cuarto reconocimiento. Comparación de alternativas.   | 53.      |
| 3.6. Presupuesto de anteproyecto. Elección de anteproyecto.  | 56.      |
| 4. Proyecto definitivo.  | 59.      |
| 4.1. Cálculo del alineamiento horizontal y dibujo de plantas definitivas.  | 60.      |
| 4.2. Cálculo de datos para el estacamiento del alineamiento horizontal.  | 79.      |
| 4.3. Seccionamiento fotográfico.   | 83.      |

|      |  |      |
|------|--|------|
| 4.4. | Estudio Geotécnico.                                | 85.  |
| 4.5. | Obras de drenaje menor.                            | 93.  |
| 4.6. | Proyecto del alineamiento vertical.                | 102. |
| 4.7. | Geometría de secciones.                            | 110. |
| 4.8. | Cálculo de terracerías y geometría de secciones.   | 116. |
| 4.9. | Perfil o sección longitudinal.                     | 123. |
| 5.   | Compilación final, recomendaciones y conclusiones. | 130. |
| 6.   | Bibliografía.                                      | 133. |

## 1) DEFINICION DE PROPUESTA DE TEMA.

a) Tema: "Proyecto de construcción del camino X → Y por medio de fotogrametría aérea, fotointerpretación y cómputo electrónico".

Fotogrametría es una técnica que el hombre ha estado perfeccionando cada vez más, tiene muchas aplicaciones en todo lo que sea medible, interpretativo o donde sea necesario dejar un testimonio por medio de las imágenes fotográficas.

Aquí lo que pretendo es desarrollar el proyecto de un camino por medio de la fotogrametría en el campo de la ingeniería civil, en donde la Secretaría de Obras Públicas ha estado trabajando, y llevando a cabo la conservación, la construcción, y la planeación de nuevos proyectos de la red de carreteras de la república mexicana. fig. 1.

### 1.1) INTRODUCCION.

El propósito de este trabajo, es mostrar todos los pasos que son necesarios seguir en la construcción de un camino o carretera haciendo uso de la fotografía aérea.

Definición de fotogrametría: Es la ciencia o arte que trata de la obtención de medidas confiables por medio de fotografías, a fin de determinar las características geométricas (tamaño, forma y posición) del objeto fotografiado.

Hace ya tiempo que la fotogrametría empezó a usarse para la elaboración de planos a diferentes escalas, sus métodos han avanzado con gran rapidez durante las últimas décadas, y hoy en día la elaboración fotogramétrica se ha sistematizado y generalizado.

Como las técnicas modernas de proyecto han incrementado, los requerimientos de calidad y cantidad en la producción, ha sido in



dispensable aplicar la fotogrametría a los métodos de proyecto.

Como ejemplo, en carreteras, se ha vuelto esencial la técnica y métodos fotogramétricos. Los métodos fotogramétricos, dependen esencialmente de los principios geodésicos y topográficos.

La geodesia es la ciencia que trata de la determinación de la forma, tamaño y masa de la tierra.

La topografía es la ciencia que trata de los métodos de medición y cálculo para la representación gráfica del terreno en planta y elevación.

Fundamentalmente pueden distinguirse dos sistemas fotogramétricos: Fotogrametría de una sola imagen y fotogrametría de doble imagen o estereofotogrametría.

En la fotogrametría de una sola imagen se miden las coordenadas bidimensionales en el plano de la fotografía y posteriormente se transforman en coordenadas tridimensionales. fig. 2.

En la fotogrametría de doble imagen o estereofotogrametría se forma un modelo óptico tridimensional con un par de fotografías convenientemente orientadas. Las fotografías deben ser tomadas con un determinado intervalo entre las estaciones de exposición (base) para obtener el traslape adecuado, en la misma línea de vuelo. fig. 3.

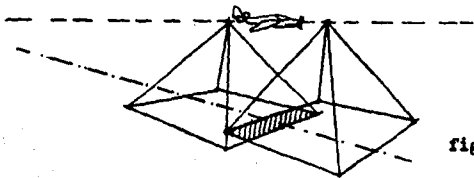


fig. 2.

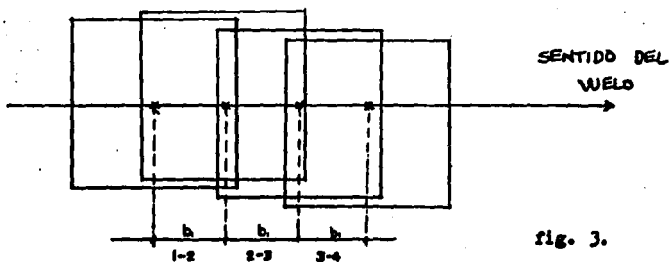


fig. 3.

También existen otros dos conceptos principales de clasificación: Fotogrametría terrestre y fotogrametría aérea. En la primera, las fotografías se toman con la cámara puesta en un trípode o en un teodolito, conservando el eje del objetivo de la cámara, horizontal, mientras que en la fotogrametría aérea la cámara es montada en un vehículo aéreo, y el eje de la cámara es vertical.

La fotogrametría en el proyecto de vías terrestres en México. Nuestro país invierte continuamente importantes recursos en la construcción y conservación de vías terrestres, como dichos recursos son insuficientes, dadas las necesidades de comunicación, y la topografía en general difícil, que nos queda por atacar, es indispensable que los proyectos sean optimizados empleando las mejores técnicas a nuestro alcance, así la calidad del proyecto mejora gracias a la eficiencia y economía de las obras.

Desde 1963 la S.A.H.O.P. ha estado utilizando para muchos de sus proyectos de carreteras y ferrocarriles la fotogrametría, la fofointerpretación y el uso de computadoras.

Estas técnicas nos permiten en menos tiempo y con mayor precisión estudiar diferentes alternativas en áreas suficientemente amplias, con mayor seguridad y economía.



La fotointerpretación es un recurso que nos muestra la información geológica, hidrológica y de uso del suelo que se necesitan en los proyectos de carreteras por medio de fotografías.

La fotogrametría nos dará la información topográfica que necesita el proyecto en sus diferentes fases, en forma de modelos - ópticos, mosaicos, ortofotos, en forma de planos convencionales - con planimetría y altimetría, o en forma digital.

El uso de las computadoras hará que todo el cálculo y el proyecto se haga más rápido y económico.

La metodología de proyecto de carreteras varía un poco según el país dependiendo entre algunas causas, los datos geográficos conocidos de su territorio, de la vegetación de cada región, etc.

En este estudio se tratara un proyecto específico de un camino y se irá siguiendo paso a paso la realización del mismo. El proyecto se divide en tres etapas:

- 1) Selección de ruta o localización preliminar.
- 2) Proyecto preliminar o anteproyecto.
- 3) Proyecto definitivo o proyecto detallado.

En este estudio se desarrollarán los pasos a seguir para la ampliación de la carretera México-Pachuca que actualmente es en algunos tramos de cuatro carriles, y en otros de dos, el propósito de la ampliación será uniformar toda la vía a cuatro carriles, y hacer algunos libramientos, ya que no ha sido posible hacer de esta vía una carretera rápida porque pasa por el centro de los poblados de Tecamac y Tizayuca, deteniendo la fluidez del tránsito.

Se van a ver de forma general las principales alternativas que se propusieron, y después se estudiara la alternativa elegida y finalmente un tramo de esta, hasta la elaboración de planos de construcción.

## 2) SELECCION DE RUTA O LOCALIZACION PRELIMINAR.

En la selección de ruta se ve la necesidad primordial, en este caso la de mejorar camino México-Pachuca.

Para ello se tiene inmediatamente el planteamiento del problema, y sus posibles soluciones, y se estudia una faja de terreno por donde podría pasar. En nuestro caso se sabe que tiene que estar cerca de la línea o carretera ya existente, y partiendo de allí, se empieza a investigar. A nivel preliminar se estudian todas las posibles ubicaciones de la vía y la selección de la mejor mediante el análisis de los costos y los beneficios de las diferentes alternativas.

### 2.1) INFORMACION PARA EL PROYECTO.

Aquí se empiezan a estudiar datos tales como circulación actual, tomando en cuenta horas pico, cruces, entronques, poblaciones intermedias, posibles libramientos, velocidad de proyecto de la carretera actual y de la nueva, así como circulación a futuro, con el objeto de darle mayor capacidad y vida útil a la nueva carretera.

Esto se hace con datos de la S.C.T. por medio de aforos o encuestas de caseta a caseta, para ver posibles desviaciones, etc.

Es aquí donde se propone de cuantos carriles será la carretera, en nuestro caso se busca por medio de los datos obtenidos - la más eficiente, rápida, corta y económica en construcción. Los datos de tránsito, de volumen horario máximo, movimientos direccionales, composición y volumen horario de proyecto para febrero de 1977 dados a conocer y reportados por la extinta comisión de ingeniería de tránsito fueron los siguientes:

Detos de la comisión de ingeniería de tránsito, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.).

|                                       | Vehículos. |        |
|---------------------------------------|------------|--------|
|                                       | 1977       | 1987   |
| A Entronque Tecamac. (VTFDA) (*)      |            |        |
| Hacia Pachuca-----                    | 8,800      | 15,000 |
| Hacia México (carretera federal)----- | 4,840      | 8,300  |
| <br>                                  |            |        |
| B Entronque Sta. Lucía. (aeropuerto)  | 1977       | 1987   |
| Hacia aeropuerto Sta. Lucía-----      | 840        | 1,430  |
| Hacia Sn. Gerónimo-----               | 440        | 750    |
| Hacia Pachuca-----                    | 7,700      | 13,000 |
| Hacia México-----                     | 8,000      | 13,600 |

(\*) Volumen de Tránsito Promedio Diario Anual.

## 2.2) PRIMER RECONOCIMIENTO.

En el primer reconocimiento, se estudian las cartas topográficas que tenemos en el país, que las hay en escalas 1:500,000, - 1:250,000, 1:100,000, 1:50,000, y 1:25,000 que elabora Detenal.

Aquí se trata de elegir posibles rutas, y se hace un ler. - vuelo de reconocimiento por la zona sin tomar fotografías, para e legir con más precisión la faja del terreno que nos interesaría - o fotografiar, realizada la fotografía se analiza la posible ruta, que podría cambiar mucho con respecto a la primera elección.

### 2.2bis.) FOTOGRAFIA AEREA 1:50,000.

La selección anterior que dependía principalmente en la confiabilidad y disponibilidad del material cartográfico y topográfico, se profundiza con las fotografías.

Las fotografías a escala 1:50,000 a menos que el terreno sea muy montañoso en donde se haría control terrestre, son utilizadas solo para fotointerpretación, con el fin de delimitar las fajas de terreno que alojan las mejores líneas de ruta, por las cuales debe continuarse el estudio. La interpretación de las fotografías a escala 1:50,000 se hace con la ayuda de material cartográfico. estereoscopio de espejos y barra paralaje para la medición aproximada de desniveles.

## 2.3.) FOTOINTERPRETACION: GEOLOGICA, HIDROLOGICA Y SOCIOECONOMICA. ESTUDIO ESTEREOSCOPICO DE LAS FAJAS DE RUTA.

El análisis de las fotografías en la rama geología, produce . . . . .

un croquis o mosaico fotogeológico, sin embargo, es conveniente que el resultado del análisis se conserve en los pares estereoscópicos, para la mejor utilización por parte del proyectista, quien con base en la información anterior, el análisis topográfico y las consideraciones de operación, servicio y costo, estudia las diversas alternativas y determinará las más convenientes, estudio que debe continuarse, en nuestro caso se obtuvieron preliminarmente dos principales alternativas.

Es necesario hacer notar que una de las necesidades era hacer una ruta corta para el camino México-Pachuca, sin embargo otra necesidad es también la de hacer una ruta corta hacia Tampico, que es el mismo camino, para ello también se planteó la alternativa de librar Pachuca y Pachuquilla.

También es necesario recalcar que existe actualmente camino de 4 carriles de México-Entronque Morelos y que hay 4 carriles de Colonia-Pachuca (conocido como Boulevard).

Por lo tanto es obvio que las alternativas a seguir tenían que tomar en cuenta esta circunstancia para unirse en cada extremo.

fig. 4.

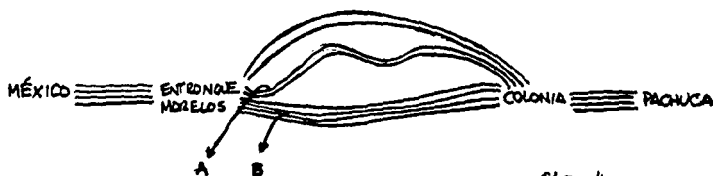


fig. 4.

Las alternativas que se generaron son las siguientes:

A) Se consideró como alternativa "A", la siguiente: Partiendo del cuerpo actual en el km 29 del tramo, dos cuerpos nuevos de 11 m. de ancho cada uno y a una distancia hombro a hombro de 8 m. librando la población de Tecamac para unirse 6 km más adelante en el entronque Sta. Lucía km. 35, para alojarse un solo cuerpo nuevo paralelo al actual durante 6 km hasta el entronque Tizayuca I km. 41, donde se separan nuevamente dos cuerpos nuevos para librar la población de Tizayuca, estos cuerpos tendrán 10 km. de longitud atravesando la zona industrial y la cuenca lechera, hasta el km 51, donde se aprovecha nuevamente el cuerpo actual y se constituye uno nuevo paralelo a aquel, de 24 km. hasta el entronque Colonia km.75. (ver fig. 14, pág.33) Esta alternativa tiene las siguientes ventajas y desventajas:

**Ventajas:**

a) Derecho de vía.- Tendría que adquirirse nuevo derecho de vía en una longitud de 8.72 Km. y ampliar el actual en 6 Km. aproximadamente.

b). Construcción.- Se aprovecha el cuerpo de la carretera actual en una longitud de 6 Km. aproximadamente entre la base aérea de Sta. Lucía y el inicio del libramiento de Tizayuca.

c). Servicio.- Esta alternativa presta servicio directo a la población de Tizayuca y a la cuenca lechera, así como a la zona industrial.

**Desventajas:**

a) Longitud.- Esta alternativa es más larga que la "B" en 350 m.

b) Entronques.- Es necesario construir 3 entronques a desnivel los cuales tienen un costo bastante elevado por sus características y situación.

c) Pasos a desnivel.- Deberán construirse varios pasos para vehículos, para peatones dentro de la cuenca lechera, además de tener pasos para ferrocarril.

d) Deberán proyectarse también incorporaciones a nivel dentro de la cuenca lechera y zona industrial, trayendo consigo los problemas de tránsito en los cruces.

B) Esta alternativa parte de un cadenasamiento muy cercano al anterior, Km. 31 000 siguiendo en forma directa hasta el pueblo de Tepojaco en cuatro carriles, un cuerpo 22.20 m. de ancho, donde se liga con la alternativa "A" para de ahí en adelante ser comunes. También tiene ventajas y desventajas:

Ventajas:

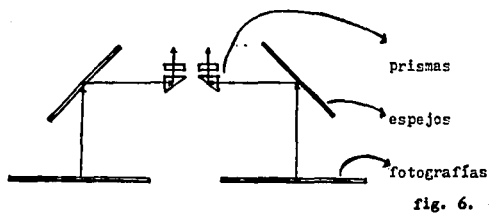
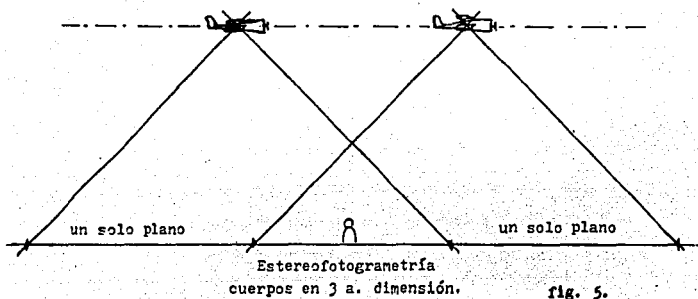
- a) Longitud.- La longitud es de 14.367 Km., o sea 350 m. - más corta que "A".
- b) Entronques.- Se tienen únicamente 2 entronques a desnivel y a un costo mucho menor.
- c) Pasos para peatones.- No son necesarios.
- d) Pasos para vehículos.- Menos que en "A".
- e) Pasos a desnivel para ferrocarril.- Solo dos y no tres.
- f) No se tienen problemas de tránsito en la zona industrial y en la cuenca lechera.
- g) Aproximadamente 100 millones mas económica que "A".

Desventajas:

- a) Se tiene que adquirir derecho de Vía en toda su longitud.

He explicado las alternativas que surgieron, aquí se inicia un estudio de estas alternativas. Para bosquejar la más adecuada, en fotografías esc. 1:50,000 se hacen los estudios, en los que se observará principalmente topografía, geología e hidrología.

Se hace el estudio por medio del estereoscopio donde se acomodan 2 fotografías orientadas adecuadamente de tal forma que a la vez se ve una sola imagen, colocandolas a registro exactamente. Esto significa que tendremos 3a. dimensión, ya que cada fotografía tiene una parte de la otra, y habiendo sido fotografiadas desde diferentes puntos de vista, tendremos a la vista un cuerpo, y no un plano. fig. 5.



Funcionamiento simple del estereoscopio, dirección de la luz a través de este.



Así entonces se estudia y se fotointerpreta socioeconómicamente la región por donde pasarían las alternativas, gracias a - que se puede ver en 3a. dimensión, puede uno estudiar poblaciones, veredas, entronques, en donde se prevee el tipo de camino y su afectación.

En el proyecto notamos que para la alternativa "A", son más las afectaciones que las comunicaciones, porque tiene que pasar por la cuenca lechera y la zona industrial de Tizayuca, se empezó a estudiar los servicios que podrían ofrecerse y si se cumplía con la principal necesidad de la carretera, que era librar poblaciones para hacer el tránsito más rápido y eficiente. Por el contrario la alternativa "B" no afectaba esas zonas, pero al separarse de Tizayuca y de la cuenca lechera y el área industrial, alejaba y alargaba el camino. Para poder estudiar más a fondo estas alternativas había que restituir una faja del camino a una escala más grande.

Estudio socioeconómico, y de recursos que tiene la zona:

- 1) Agricultura.
- 2) Ganadería.
- 3) Forestal.
- 4) Pesca.
- 5) Industrial.
- 6) Minería
- 7) Turismo.
- 8) Comunicaciones y transportes.

- 1) Agricultura.

La actividad agrícola se caracteriza por ser eminentemente temporalera, del total anotado como cultivable el 85% corresponde a zonas de temporal, y el 15% a zonas de riego, 562,104 Has. y 97,590 Has. respectivamente.

Durante el año de 1979, se obtuvo una producción de 2,450,611 Tons. en una superficie de 305,711 Has., de estas Has. cultivadas,

179.3 mil se dedicaron a maíz, 28.5 mil a cebada, 25.2 mil a frijol, 23.3 mil a alfalfa, 10.4 mil a café, 8 mil a caña de azúcar, 3.2 mil a tuna y 27.8 mil a otros cultivos.

## 2) Ganadería.

Las principales especies son bovina, porcina, ovina, caprina, avícola, y apícola. La producción es precaria por la deficiente técnica en el manejo de animales y pastizales.

El principal mercado es el Distrito Federal, al que se envían un promedio de 20,000 reses anuales.

En Tizayuca se desarrolla la cuanca lechera más importante del estado de Hidalgo, con una producción de 300,000 litros diarios.

## 3) Forestal.

En el Estado de Hidalgo por ejemplo, se cuenta con 506,525 Has. arboladas, de las cuales 72,800 son selva y 433,725 son bosques. Se han inventariado 36,988,921 m<sup>3</sup> de madera en rollo.

Los principales productos maderables son el pino y oyamel, y no maderables el orégano (hoja) y pimienta (fruto).

Existen además en la zona tropical o semitropical cedro rojo, caoba, palo rosa, bálsamo y especies de segunda como encino, álamo, palo blanco, capulín etc.

## 4) Pesca.

La zona por donde pasa el camino, desde México, hasta Pachuca, carece de litorales, sin embargo cuenta con ríos, lagunas bordos y presas donde se practica la pesca, cuya superficie explotable es de aproximadamente 130 mil Has.

La explotación más importante es la carpa en sus distintas variedades, pero es de subsistencia, lo que origina la ausencia de datos estadísticos de producción, consumo, empleo, etc.

Otras especies explotadas son charal, ajolote y gusano de fan go, mas las especies que se han plantado como las carpas espejo, herbívora, plateada, dorada y común, la tilapia, la lobina y la trucha arcoiris.

En el año de 1979 se produjeron 752 Tons. de productos pesqueros.

#### 5) Industrial.

Destaca la industria artesanal, aunque actualmente se impulsa la mediana y gran empresa.

Existen en el Estado de Hidalgo cinco grandes zonas industriales: Pachuca integrada con el Municipio de Real del Monte, Tulancingo integrado con el Municipio de Santiago Tulantepec, Tizayuca, Cd. Sahagún integrada con los Municipios de Tepeapulco y Emiliano Zapata y Tula integrada por los municipios de Atotonilco y Tepeji de Ocampo. En donde se desarrollan estas industrias:

Actividades mineras, fabricación de herramientas, fabricación de alimentos y bebidas, partes para automóviles, textiles, fabricación de ropa, pasteurización de leche, productos eléctricos, herrajes, artículos de hule, material para construcción, fundición, industria metal-mecánica, terminal de transporte, motores y maquinaria, tractores industriales, fabricación de cal y cemento, alimentos para ganado y petróleo.

#### 6) Minería.

La industria extractiva dispone de vastos recursos susceptibles de explotarse tanto en yacimientos de minerales metálicos: oro, plata, plomo, cobre, zinc, etc., como minerales no metálicos: cal, arcillas, caolín, mármol.

El estudio mineralógico reveló que las reservas de mineral para la obtención de plata mixta, ascendían para fines de 1978 a 2.5 millones de toneladas.

El Estado de Hidalgo ocupa el cuarto lugar en la producción de oro, y el quinto lugar en plata.

#### 7) Turismo.

El Estado de Hidalgo cuenta con innumerables atractivos turísticos, sin embargo ha tenido un lento y casi nulo desarrollo de la actividad. La falta de infraestructura, los deficientes servicios y la escasa o nula promoción han sido determinantes para que el turismo se encuentre en un letargo y con un atraso de varios años

con respecto al resto de las entidades del país.

En 1980 la afluencia turística al estado fue del orden de 331,227 turistas, de los cuales el 93% fueron nacionales y el 7% extranjeros.

Esta es sin duda el resultado de la dificultad de acceso al Estado de Hidalgo, la que arroja estos números de afluencia, y que al ampliarse el camino, seguramente mejorará.

#### 8) Comunicaciones y Transporte.

La zona cuenta con una deficiente red de carreteras federales y estatales, incorporadas al sistema vial de la República, que permiten el acceso relativo a la mayor parte de la zona, sin embargo gran parte de estos caminos son revestidos y de terracería.

Los incrementos anuales arrojados en la construcción de la red carretera estatal durante los últimos cinco años, han estado por debajo del crecimiento promedio nacional.

Hasta 1980 Hidalgo contaba con 6,181 Km. de caminos, de los cuales 1,791 Kms. eran pavimentados (29%), 4,128 revestidos (66.8%) y 262 de terracería (4.2%).

Para el mismo año el transporte ferroviario contó con 743 km. de vías ferreas.

En materia de comunicación aérea Hidalgo cuenta con un aeropuerto en la Ciudad de Fachuca, y varias aeropistas distribuidas en el Estado y alrededores.

2.4) 2o. RECONOCIMIENTO (FOTOGRAFIA AEREA DE ESC. 1:25,000).  
FOTOINTERPRETACION GEOLOGICA.

El objeto del segundo reconocimiento terrestre es efectuar el control geológico correspondiente a la interpretación de las fotografías aéreas, así como la obtención de otros datos importantes para determinar la ruta o rutas más convenientes desde el punto de vista geológico.

El presente informe incluye los datos obtenidos de la fotointerpretación y su comprobación en el campo.

SEGUNDO RECONOCIMIENTO GEOLOGICO

CARRETERA México-Pachuca.  
TRAMO Entronque Tecamac-Entronque Tizayuca II.  
LONGITUD 20.5 km.  
ORIGEN DEL CADENAMIENTO K-31.0  
RUTAS PROPUESTAS A y B ENTRE K-28+900 - K-52+000.  
FECHA DEL RECONOCIMIENTO \_\_\_\_\_  
LEVANTAMIENTO AEROPOTOGRAFICO EMPLEADO S.O.P.  
ESCALA 1:25,000 FECHA DE VUELO 3-III-72.

Los datos obtenidos se enumeran en las formas para informe geológico y en un plano de cada zona fotointerpretada geológicamente, los cuales están en las páginas siguientes.

R O C A S

- CAMINO México-Pachuca. TRAMO Ent. TizayucaI-Ent. TizayucaII  
AEROFOTOS Nos. (7-2) FOTOS Nos. \_\_\_\_\_  
MUESTRA No. \_\_\_\_\_ PUNTO DE CONTROL No. 3  
1.-GRUPO: SEDIMENTARIA ( ) IGNEA (x) METAMORFICA ( )  
2.-CLASIFICACION MEGASCOPICA Basalto.  
3.-COLOR Gris Oscuro.  
4.-GRADO DE FRACTURAMIENTO Muy fracturado.  
5.-MATERIALES DE RELLENO DE LAS FRACTURAS Materia orgánica y  
arcilla.  
6.-ESTRATIFICACION Masivo.  
7.-POTENCIA DE LOS ESTRATOS \_\_\_\_\_  
8.-ESPESOR PROMEDIO DE LA ZONA INTEMPERIZADA 1.00 a 3.00 m.  
9.-MORFOLOGIA Y TIPO DE DRENAJE Lomerío de fuerte pendiente y  
drenaje paralelo y dentrítico raro.  
10.-TALUD RECOMENDABLE 1/2:1 para cortes hasta 10.00 m.  
11.-FORMA DE ATAQUE Explosivos y bulldozer  
12 -APROVECHAMIENTO para pavimento.  
13.-CLASIFICACION ESTIMADA PARA PRESUFUESTO POR UNIDAD 00-40-60.  
14.-BANCO DE MATERIALES No. \_\_\_\_\_  
15.-OBSERVACIONES \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

S U E L O S

CARRETERA México-Pachuca. TRAMO Ent.Tizayuca I-Ent. TizayucaII

Punto de Control No. 1 Aerofotos Nos. (7-2) Fotos \_\_\_\_\_

1.-Origen del suelo Transportado.

2.-Color Gris Oscuro.

3.-Tamaño máximo \_\_\_\_\_ 4.-Porcentaje mayor de 3" (7.6cm) \_\_\_\_\_

5.-Porcentaje grava \_\_\_\_\_ arena \_\_\_\_\_ finos 80 materia orgánica 20

6.-Angulosidad: muy anguloso \_\_\_\_\_ anguloso \_\_\_\_\_ subredondeado \_\_\_\_\_  
redondeado \_\_\_\_\_.

7.-Petrografía de las partículas gruesas \_\_\_\_\_

8.-Dureza de las partículas de arena y grava: muy dura \_\_\_\_\_  
dura \_\_\_\_\_ blanda \_\_\_\_\_ muy blanda \_\_\_\_\_.

9.-Espesor-horizontes: \_\_\_\_\_

10.-Compacidad: muy compacto \_\_\_\_\_ compacto \_\_\_\_\_ poco compacto \_\_\_\_\_  
suelto \_\_\_\_\_ muy suelto \_\_\_\_\_.

11.-Contenido de agua: saturado \_\_\_\_\_ muy húmedo \_\_\_\_\_ poco húmedo x  
seco \_\_\_\_\_.

12.-Naturaleza de los finos: Plásticos x No plásticos \_\_\_\_\_

13.-Otros componentes \_\_\_\_\_

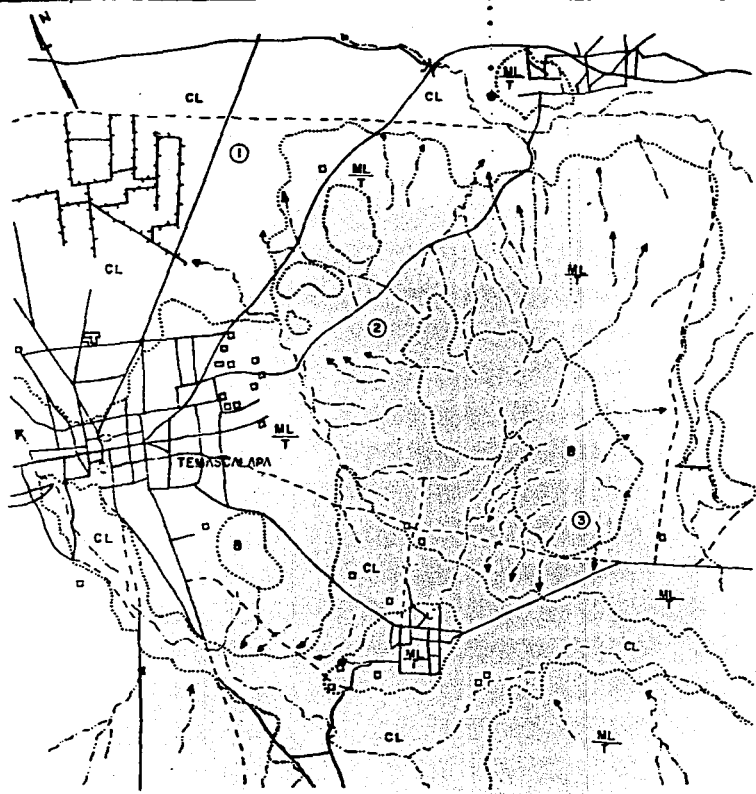
14.-Variación en sentido horizontal \_\_\_\_\_ vertical \_\_\_\_\_

15.-Espesor del suelo 1.00 m.

16.-Clasificación S.U.C.S. CL

17.-Aprovechamiento \_\_\_\_\_

18.-Observaciones \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



## EXPLICACION

### SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

- CAMINO PAVIMENTADO
- CAMINO TERRACERIA
- POBLACION

### SIMBOLOS HIDROGRAFICOS

- RIO
- REPRESA
- CANAL

### SIMBOLOS GEOLOGICOS

- CONTACTO GEOLOGICO
- PUNTOS DE CONTROL GEOLOGICO

### LEYENDA

#### ROCAS

- BASALTOS DE COLOR GRIS OSCURO EN DIFERENTES GRADOS DE ALTERACION Y FRACTURACION

#### SUELOS

- CL. ARCILLAS INORGANICAS DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, ARCILLAS CON ARENA Y POCAS GRAVA
- ML T LIMOS ARENOSOS, POCO COMPACTA SOBRYACIENDO A TOBA LIMO ARENOSA MUY ALTERADA DE COLOR CAFE AMARILLENTO

|  |  |
|--|--|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANAHUAC</b><br>VINCE IN BOND MALUM      |
|  | <b>ESTUDIO GEOLOGICO</b><br><b>MAPA FOTOGEOLOGICO</b>  |
| CALICO MEXICO - PACHUCA<br>TRAMO ENTRONQUE TIZAYUCA I - TIZAYUCA II<br>ORIGEN ENTRONQUE TIZAYUCA I<br>KILOMETRO 48 000 AL 50 000 | <b>TESIS PROFESIONAL</b><br><br><b>LUIS ZARABOZO R</b> |

FALLA DE ORIGEN



#### 2.4) 2o. RECONOCIMIENTO (FOTOGRAFÍA AEREA DE 1:25,000).

Este es el siguiente paso donde se toman fotografías de la faja o fajas, por donde pasan las alternativas previamente determinadas.

A estas fotografías se les hace control terrestre, esto es se preñala el terreno con marcas especiales naturales o artificiales, esto ayudará a estudiar las fotografías en el Balplex 760 o hacer restitución a escala 1:5000 / 5m. de una faja.

El instrumento Balplex 760, es un aparato de precisión, por medio de proyectores se observan las fajas del terreno en una mesa (ver fotografía) (y detalle de proyección), esto sirve para hacer un anteproyecto preliminar del estudio de alternativas en planta, perfil y sección transversal, haciéndose todas las medidas en este instrumento, de tal forma que se puede hacer un estudio con la observación de la topografía, de las posibles alternativas en planta, perfil y sección transversal, después sería necesaria una restitución, que se podría hacer con el instrumento Autógrafo A-8, que nos proporcionaría planos del terreno, con curvas de nivel con bastante precisión a esc. 1:5,000 / 5m. y que nos ayudaría a estudiar las posibles alternativas más fácilmente.

#### 2.5) ESTUDIO ESTEREOSCOPICO DE LINEAS DE RUTA, CONTROL TERRESTRE Y AEROTRIANGULACION, 2a. FOTOINTERPRETACION SOCIOECONOMICA.

Aquí en principio se usa un estereoscopio para hacer nuevamente el estudio de las rutas, con esta escala 1:25,000, se pueden ver más detalles de topografía e hidrología, como base para una mejor y más adecuada elección.

El control terrestre o apoyo terrestre. . .  
Este se lleva a cabo para tener un marco de referencia uniforme. Los levantamientos comprenden control altimétrico y planimétrico.

Un sistema de control terrestre debe considerarse confiable cuando proporciona los puntos necesarios para los modelos fotogramétricos requeridos.



Fotograma de formato 23 x 23 cm. Fig. 8.

FALLA DE ORIGEN

Tanto las coordenadas X, Y, Z, como los croquis o marcas pre-  
señaladas deben ser de calidad.

#### Proyecto de control.

Existen diferentes criterios de realización de este apoyo terres-  
tre, por ejemplo para nuestro apoyo terrestre de las fotografías -  
1:25,000, se puede hacer el vuelo antes del control o la otra al-  
ternativa sería después del control, con puntos preseñalados.

Para los dos casos se proyecta con la ayuda del estereoscopio  
de espejos, una poligonal de lados y situación variable, de acuer-  
do a la intervisibilidad entre los vértices y puntos laterales a  
que nos obliguen las condiciones topográficas de la zona esteres-  
cópica. fig. 7.

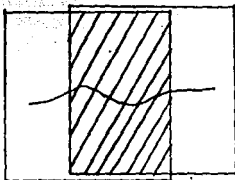


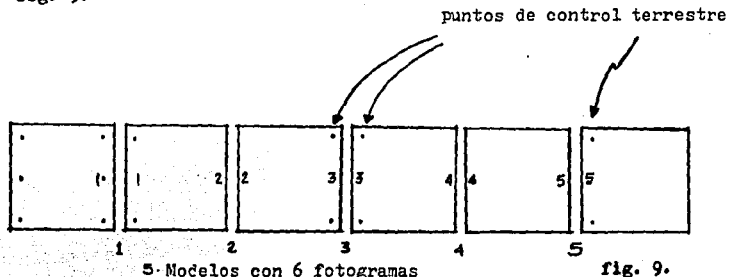
fig. 7.

El área sombreada es la zona estereoscópica.

Se hace control terrestre, esto es que se mandan brigadas al  
campo para que con las fotografías 1:25,000 marquen, o punteen la  
la fotografía o fotograma y especifiquen coordenadas terrestres,  
geodesicamente, para que después al estudiarlo en los aparatos,  
haya una comunicación con el sistema nacional de coordenadas y el  
sistema de coordenadas del instrumento, (Balplex, Autógrafos, etc.)  
fig. 8.

Como hemos notado, tenemos la necesidad de uniformizar las  
coordenadas, pero tendríamos que marcar muchos puntos en las fo-  
tografías para hacer los planos con el Autógrafo, así para sim-  
plificar esta tarea, nos valemos de la Aerotriangulación.

La aerotriangulación se puede efectuar con los instrumentos, tales como el Balplex, el Autografo A-7, Autografo A-8, y con otros instrumentos restituidores. En el balplex podría hacerse con una proyección sucesiva con cinco modelos de la faja de ruta. fig. 9.



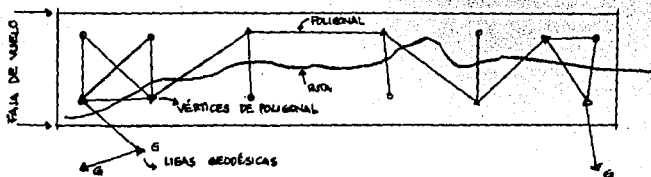
Y teniendo control terrestre solo al principio, en medio y al final, se puede por medio de la aerotriangulación obtener los puntos de control terrestre del resto de la ruta, lo que simplifica el trabajo de campo enormemente ya que agiliza una parte del estudio en forma radical, se perdía antes mucho tiempo y dinero en el campo, y claro es necesario tener este control, y que mejor que hacerlo por aerotriangulación, siguiendo el punto por todas las coordenadas.

Entonces para el proyecto de este control se toman como guía las líneas de la ruta determinadas por las fotos a escala 1:50,000 y 1:25,000 y como base la información relativa a puntos geodésicos y nivelaciones de precisión existentes en la zona de trabajo.

Se decide en las fotos 1:50,000 y con el 2o. vuelo de reconocimiento si se preseñala o no las fotografías 1:25,000 si no han sido tomadas o si la zona no tiene suficientes detalles planimétricos.

En forma general en todos los proyectos el control terrestre tiene el siguiente aspecto: fig. 10.

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



b) si el control es independiente.

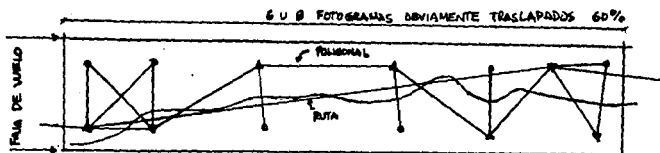


fig. 10.

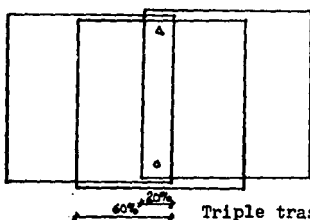
Estos serían los mínimos controles terrestres para analizar en el balplex o autógrafos, cuando estas fotografías se orientan en el balplex, se usan preferentemente de 6 o más proyectores. Conviene que el control se proyecte precisamente para aerotriangulaciones de un número máximo de fotografías igual al número de proyectores disponibles en la barra, pero ya sea que se hagan las aerotriangulaciones en el balplex o en otro instrumento, por razones de precisión es recomendable limitar a 6 u 8 fotografías.

El desarrollo del control terrestre es como sigue:

En un extremo de la faja de vuelo habrá un modelo de salida con apoyo completo (3 puntos de coordenadas X-Y-Z, y un punto con coordenada Z como mínimo), un modelo de llegada al otro extremo

con un mínimo de dos puntos de coordenadas X-Y-Z (situados en los extremos de una línea normal al eje de vuelo), y puntos intermedios de coordenadas X-Y-Z distantes en promedio entre sí 4 Km. en ambos sentidos. ( escala 1:25,000 ).

Es muy conveniente situar algunos puntos de control cerca de la línea de ruta, para facilitar posteriores ligas 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 por razones de distorsión. fig. 11.



Triple traslape. fig. 11.

Si los puntos han de ser preseñalados se usan cruces o tréboles con brazos de 3m. de longitud y 0.50m. de ancho. Las mojonearas deben ser estables y fácilmente identificables. fig. 12.

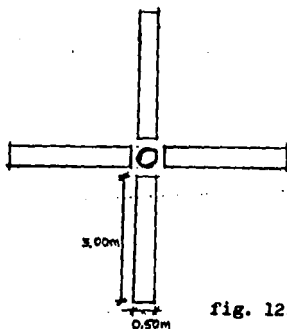
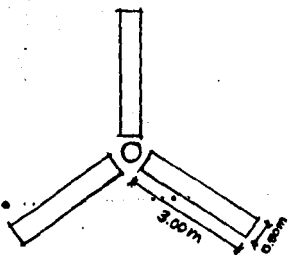


fig. 12.

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

La determinación de azimutes puede hacerse por liga geodésica, mediante giróscopo, o por observaciones astronómicas. En S.A.H.O:P. usualmente se hace mediante observaciones del sol.

Los ángulos se miden con tránsitos de 1seg de aproximación, y se controlan con determinaciones de azimut y cierres de 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 = Número de ángulos leídos.

Las distancias pueden medirse con un distanciómetro electrónico capaz de medir las distancias del amplio rango que este tipo de trabajo implica. Para esto existen varios instrumentos, como el telurómetro WRA-3 y uno de los más nuevos el "tellurometer CA 1000". La tolerancia en el cierre planimétrico es de  $0.20m \sqrt{L}$ , (\*) después de la compensación angular, siendo L = Km. del desarrollo de la poligonal cerrada.

En el "tellurometer CA 1000" la precisión es de  $1.5cm. \pm 1.5P.$  P.M. como máximo, tiene un alcance mínimo de 45m. y un alcance máximo de 10 Km. estándar y 30 Km. con bocina de largo alcance.

Este instrumento mide por ondas de radio con una frecuencia portadora 10.1 GHz- 10.45 GHz (sintonizable en todo alcance). El instrumento tiene una unidad maestra y una remota en donde ambos son transmisoras y receptoras, con intercomunicación entre operarios desde luego en ambas direcciones.

Entre algunos otros instrumentos para medir largas distancias están: Los geodímetros, hay varias clases de estos, algunos miden por medio de haces luminosos y los otros por medio de rayos laser, ambos sistemas necesitan de una estación reflectora.

El Distomat, es otro instrumento que mide distancias por medio de rayos infrarojos, este es para distancias más cortas.

(\*) L en metros.

Las cotas son determinadas por nivelación trigonométrica leyendo los ángulos verticales en ambos sentidos simultáneamente, la tolerancia al cierre altimétrico es de  $0.20m\sqrt{D}$ , tan importante como la medición del control, lo es la identificación de los puntos, así, cuando el vértice no haya sido preseñalado, o no quede precisamente en un detalle singular, desde el propio vértice se determinará por coordenadas polares, la posición y elevación de algún punto característico cercano, que se identifique fácilmente en el campo y en la fotografía, a la escala de la imagen - que se observará en el instrumento fotogramétrico.

La identificación se facilita con ampliaciones fotográficas de la zona donde están los puntos de control, se marcan con piquetes finos en las ampliaciones, y se describen mediante croquis acotados en libretas de campo.

Se usaran nomenclaturas especiales para identificar y distinguir los puntos de uno y otro control, los de poligonal de los auxiliares, los terrestres de los fotogramétricos.

**En el proyecto se usa la siguiente nomenclatura:**

--- Fuente y aerotriangulación con numeraciones 900 en adelante (fotogramétrico) X,Y,Z.

✓ Auxiliar, como apoyo en el traslape (fotogramétrico) - con cota de altura solamente Z.

⊕ De poligonal, 1 al 498 terrestre X,Y,Z.

⊙ Lateral, 500 al 900 terrestre X,Y,Z.

La toponimia es también muy importante en el control terrestre, y trata todo lo relacionado con lugares, letreros, y hace toda una descripción del lugar por donde pasa nuestra poligonal y que puede afectarla.



El cálculo de las coordenadas de los puntos de este control, debe considerar las ligas geodésicas, si las hay, la reducción de distancias sobre el elipsoide y su corrección por proyección, las determinaciones del azimut, las convergencias de meridianos, las tolerancias de cierre, y su compensación, así como las correcciones por refracción y curvatura, en el cálculo de desniveles.

El balplex tiene dos proyectores en principio para proyectar dos fotogramas en la mesilla de anteproyecto, esta tiene un visor que funciona con un alternador en los proyectores, dando una imagen y luego otra alternadamente, de tal forma que los ojos no notan el cambio, pero si perciben el efecto estereoscópico al ver una y otra imagen. fig. 13.

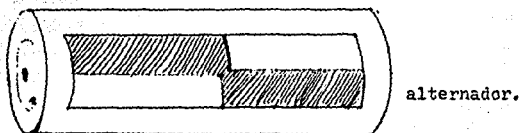


fig. 13: Visor con alternador sin girar.

Este visor se encuentra en la mesilla de anteproyecto, y tiene proyectado en la mesilla un punto luminoso que también se ve desde dos puntos de vista, dando la impresión de estar en el espacio, uno puede entonces seguir los trazos de las curvas de nivel poniéndolo a una altura determinada al ras del terreno, de acuerdo al control terrestre, y luego se van tocando solo los puntos a esa altura, la mesilla tiene un trazador en su parte inferior que fotointerpretando todo se va restituyendo en un plano, curvas, de nivel, caminos, poblaciones, ríos, bancos de materiales y todo lo que haya en el fotograma o modelo, pudiendo hacer cortes seccionales y perfiles para realizar el estudio de movimiento de tierras, kilometrajes, afectaciones y así obtener el proyecto más económico y eficiente.

## 2a. Fotointerpretación socioeconómica.

Se estudian las afectaciones a escala 1:25,000, para ver si no afectaban poblaciones, o caminos de ganado, pastizales, sembradíos, y se plantearon las posibles soluciones con el consecuente servicio a cada población por donde pasa, en nuestro caso por Tecamac, Sta. Lucía, San Jerónimo Xonahuacan, San Pedro Potzohuacan, Sto. Domingo Ajolupan, Sta. María Ajolupan, Los Reyes Acozac, Huitzila, - Zona industrial Tizayuca, cuenca lechera Tizayuca, Tizayuca, Tepojaco, y otras poblaciones más pequeñas, las anteriores mencionadas se refieren solo a el tramo que va a ampliarse, y no a todas las poblaciones México-Pachuca, como se puede ver en las fig. de las págs 33 y 34.

Finalmente se recopilaron estos datos que nos dieron ya una guía para saber que haríamos con nuestras alternativas.

## 2.6) FOTOESTUDIO PRELIMINAR DEL PAISAJE, FOTOINTERPRETACION GEOTECNICA, HIDROLOGICA Y ESTUDIO PRELIMINAR DE CRUCES.

El estudio del paisaje se realiza para mantener el equilibrio ecológico, o para imponerlo si este no existiera.

También se evita afectar zonas históricas o arqueológicas.

El proyectista decide donde debe haber paraderos, iluminación, camellones, tipo de vegetación y donde se podría implantar esta, etcétera.

En la interpretación geotécnica se investigan las características del terreno como elemento de construcción (cimentaciones y terracerías), así como estratificación del material terreo y detalles de él, como compacidad, fracturas, intemperización y determinación de variación volumétrica.

La fotointerpretación hidrológica estudia a las cuencas, ríos, arroyos, lagos, parteaguas y topografía hidrológica en general, analizando su influencia en el desarrollo del proyecto.

Finalmente el estudio preliminar de cruces hace uso de todo el material antes estudiado (paisaje, geotécnica e hidrología), para que el proyectista decida donde deberían estar los cruces a lo largo del camino.

Estos estudios y fotointerpretaciones nos servirán para proponer los lugares en donde podría estar alojada nuestra ruta, se hace una bitácora con estos estudios y se van incorporando los que el estado o región vayan solicitando, ya que estas poblaciones conocen específicamente las necesidades de la región en que viven.

2.7) ESTUDIO DE LAS LINEAS Y ESPECIFICACION GEOMETRICA EN BALPEX  
Ep 1:5,000, PROPOSICION ESPECIFICACIONES GEOMETRICAS.

En esta parte del proyecto, se estudia parte por parte en el balplex a escala 1:5,000 de los fotogramas de 1:25,000, que como habiamos visto amplia 5 veces.

Aquí se proponen especificaciones geométricas del camino, con la ayuda de todos los datos anteriores, pero se proponen para cada una de las alternativas, con sus diferentes soluciones.

Para la alternativa "A" se propone: \*

Desde el entronque Morelos un cuerpo nuevo de 11 m a la derecha del actual, hasta el entronque Tecamac. Km. 16 → Km. 28+900, (12.9 km.).

Entronque Tecamac, entronque Sta. Lucía, dos cuerpos nuevos de 11 m de ancho cada uno, al lado derecho. Km. 28+900 → Km. 35, (6.1 km.).

Entronque Tizayuca I, entronque Tizayuca II, dos cuerpos nuevos de 11 m de ancho cada uno, del lado derecho. Km. 41 → Km. 52, (11.0 km.).

Entronque Tizayuca II, entronque Colonia, un cuerpo nuevo de 11 m. de ancho, al lado derecho. Km. 52 → Km. 76, (24.0 km.).

Ver cuadro alternativa "A" pág. 33. fig. 14.

Para la alternativa "B" se propone: \*

Entronque Morelos, entronque Tecamac, un cuerpo nuevo de 11 m. de ancho, al lado derecho del actual. Km. 16 → Km. 31, (15.0 km.).

Entronque Tecamac, entronque Tizayuca II, un cuerpo nuevo de 22 m. de ancho, al lado derecho del actual pero no junto a él. Km. 31 → Km. 51+500, (20.5 km.).

Entronque Tizayuca II, Matilde, Hgo., un cuerpo nuevo de 11 m. de ancho, al lado derecho del actual. Km. 51+500 → Km. 71+500, (18.5 km.).

Matilde, Hgo., entronque Colonia, un cuerpo nuevo de 11 m de ancho, al lado izquierdo del actual. Km. 71+500 → Km. 76, (4.0 km.).

Se hizo una restitución en el autografo para estudiar movimientos de tierras, puentes, entronques a nivel y a desnivel, drenaje, etc. para llegar a un anteproyecto.

Ver cuadro alternativa "B", fig. 15. Pág. 34.

2.8) 3er. RECONOCIMIENTO, LINEAS DE RUTA.

Se hace un reconocimiento aereo de las lineas de ruta (alternativas), en donde ya teniendo restitutiones y fotografias, se hace un vuelo bajo para observar las alternativas de cerca para una última revision, de aquí ya viene el antepresupuesto y eleccion de ruta.

2.9) ANTEPRESUPUESTO Y ELECCION DE RUTA.

Se obtienen finalmente antepresupuestos de cada alternativa:







Consideraciones que se han tomado en cuenta para la comparación de ambas alternativas:

1.- La longitud de la alternativa "A", en el tramo de comparación, es de 14.75 Km. y de la alternativa "B" es de 14.40 KM..

2.- Las estructuras y pasos a desnivel son únicamente para el tramo mencionado.

3.- El presupuesto obtenido para la alternativa "B", es hasta cierto punto apreciativo, pues cuando fué calculado (julio 1979) se contaba únicamente con levantamientos de campo.

4.- Finalmente se da el presupuesto total del tramo entronque Morelos-Entronque Tizayuca II, para cada una de las alternativas.

#### Alternativa "A".

Tránsito. El volumen horario máximo, movimientos direccionales, composición y volumen horario de proyecto para febrero de 1977, fueron reportados por la extinta comisión de ingeniería de tránsito, los cuales son los siguientes:

##### 1) Entronque Tecamac (VTFDA)

|                                  |                 |
|----------------------------------|-----------------|
| Hacia Pachuca.....               | 8,800 vehículos |
| Hacia México (carretera federal) | 4,840 vehículos |
| volumen de proyecto para 1987.   |                 |

##### 2) Entronque Tizayuca II

|                                  |                  |
|----------------------------------|------------------|
| Hacia Tizayuca.....              | 6,500 vehículos  |
| Hacia el libramiento Tizayuca... | 7,200 vehículos  |
| Hacia Pachuca.....               | 13,800 vehículos |
| volumen de proyecto para 1987.   |                  |

La modernización de esta carretera, para tales volúmenes de tránsito y para el año de proyecto, justifican plenamente que los entronques anteriores deben resolverse a desnivel.

De estos entronques el que presenta mayores dificultades - por estar constituido por 5 ramas, es el "Santa Lucía", este entronque tiene que dar acceso a las carreteras de Pachuca, Base - Sta. Lucía, San Jerónimo, hacia México (carretera federal), y hacia México (autopista de cuota), debido a lo anterior el entronque requiere por lo menos de 4 estructuras y de 4 Km. accesos (ramas), que tienen un costo aproximado de \$42 millones, además de que este tipo de entronques hasta cierto punto resultan conflictivos y requieren de un señalamiento profuso por lo que la mayor parte de los usuarios no lo conocen bien, pueden presentarse accidentes.

Resumen de los entronques y pasos a desnivel de la alternativa "A".

|                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| Entronque Tecamac.....      | \$ 11 millones. |
| Entronque Santa Lucía.....  | 42              |
| Entronque Zumpango.....     | 10              |
| Entronque Tizayuca I.....   | 12              |
| Entronque Tizayuca II.....  | 12              |
| Entronque Tizayuca III..... | 10              |
|                             | <hr/>           |
|                             | \$ 97 millones. |

P. S. V.

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| Km. 32 (FFCC).....   | \$ 7 millones   |
| Km. 33 .....         | 3               |
| Km. 39.5 (FFCC)..... | 4               |
| Km. 42.5 (FFCC)..... | 4               |
|                      | <hr/>           |
|                      | \$ 18 millones. |

P. I. V.

|                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| Km. 30+267 (una vía) ..... | \$ 5 millones    |
| Km. 35 (una vía) .....     | 3                |
| Km. 40.5 (una vía) .....   | 1.5              |
| Km. 41.0 (una vía) .....   | 3                |
| Km. 46+005 (una vía) ..... | 5                |
| Km. 47+263 (dos vías)..... | 5                |
| Km. 50+015 (dos vías)..... | 5                |
|                            | <hr/>            |
|                            | \$25.5 millones. |

Alternativa "B".

La alternativa "B" tiene las siguientes ventajas con respecto a la alternativa "A".

1) En la alternativa "A" el cruce de PFCG por su cercanía con el entronque Tizayuca I, ocasionaría problemas en el alineamiento vertical por las jorobas que implican los 2 pasos. Este fenómeno no se presenta en la alternativa "B".

2) El acceso a Sta. Lucía se resuelve con un entronque tipo diamante, que es de un costo muy inferior al anterior, ( 10 millones).

3) Elimina el entronque a Zumpango.

4) Elimina el entronque a Tizayuca I, pues se da acceso a esta población, por el entronque de la zona industrial (Tizayuca III), el cual también es necesario en la alternativa "A".

5) Se reduce la distancia de recorrido en 350m., que tiene un valor significativo en costos de operación para volúmenes de tránsito alto.

6) Se mejora notablemente el nivel de servicio de la carretera actual, pues un gran volumen de tránsito tomará la nueva carretera.

7) Como consecuencia de todo ello se disminuirá en forma sensible los accidentes de tránsito y los atropellamientos, en la carretera actual.

8) De la nueva posibilidad de que esta nueva carretera sea de cuota.

9) El costo de los entronques, estructuras necesarias y pasos a nivel es del orden de \$79.5 millones, mientras que el de la alternativa "A" es del orden de \$140.5 millones.

10) Aun cuando el presupuesto estimado que sirvió de comparación para ambas alternativas es de \$109 millones, sin considerar estructuras para la alternativa "A" y de \$141 millones para la alternativa "B" es aproximadamente de \$66 millones inferior al de la alternativa "A".

Resumen de entronques en la alternativa "B".

|                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| Entronque Tecamac.....      | \$ 11 millones  |
| Entronque Santa Lucía.....  | 10              |
| Entronque Tizayuca II.....  | 12              |
| Entronque Tizayuca III..... | 10              |
|                             | <hr/>           |
|                             | \$ 43 millones. |

P. S. V.

|                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| Km. 21+690 (FFCC)..... | \$ 7 millones   |
| Km. 22+010 .....       | 3               |
| Km. 42+221 .....       | 4               |
|                        | <hr/>           |
|                        | \$ 14 millones. |

P. I. V.

|                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| Km. 30+267 (una vía) ..... | \$ 5 millones          |
| Km. 34+870 (una vía) ..... | 3                      |
| Km. 37+672 (una vía) ..... | 1.5                    |
| Km. 46+005 (una vía) ..... | 3                      |
| Km. 47+267 (dos vías)..... | 5                      |
| Km. 50+015 (dos vías)..... | 5                      |
|                            | <u>\$22.5 millones</u> |
|                            | \$79.5 millones.       |

Como información adicional, con base en los precios de la empresa que ganó el concurso de la carretera de referencia, se calculó el costo total de ambas alternativas habiéndose obtenido los siguientes resultados:

Alternativa "A" con longitud total de 34.35 Km.

|  |                           |
|--|---------------------------|
| Terracerías, drenaje y pavimento ..... | \$ 210.5 millones         |
| Estructuras y pasos a desnivel .....   | 140.5                     |
| Señalamiento .....                     | 4.0                       |
|  | <u>\$ 355.0 millones.</u> |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Estructuras tramo entronque Morelos-entronque |                           |
| Tecamac-Km. 45-entronque Tizayuca II.....     | \$ 22.0 millones          |
| Paso superior de ganado.....                  | 10.0                      |
|   | <u>\$ 387.0 millones.</u> |

Alternativa "B" con longitud total de 34 Km.

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Terracerías, drenaje y pavimento.....         | \$ 209.5 millones         |
| Estructuras y pasos a desnivel.....           | 79.5                      |
|   | <u>\$ 289.0 millones.</u> |
| Estructuras tramo entronque Morelos-entronque |                           |
| Tecamac-Km.45-Entronque Tizayuca II.....      | \$ 22.0 millones          |
| Paso superior de ganado .....                 | 10.0                      |
|   | <u>\$ 321.0 millones.</u> |

### 3) ANTEPROYECTO O PROYECTO PRELIMINAR.

El objetivo fundamental de esta fase es definir la línea que mejor satisfaga los requerimientos de beneficios y costos, puede ser trazada en el campo o por procesos fotogramétricos para desarrollar el proyecto definitivo.

Si la línea de ruta seleccionada se aloja en terreno con vegetación densa y alta, 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 esta, y sus posibles variantes se pre señala una poligonal de referencia, y se toman fotografías a escala 1:5,000 ó 1:10,000 La escala 1:5,000 si la vegetación tiene una altura menor a 50 cm. y la esc. 1:10,000 si la altura es superior a los 50 cm. pero inferior a los 2.00 m.

#### 3.1) FOTOGRAFIA AEREA 1:5,000 ó 1:10,000.

En el camino que estamos estudiando funcionan bien fotografías a escala 1:5,000 ó 1:10,000 para hacer ahora el estudio en balplex y en el autografo o restituidor. El estudio en balplex sera igual que en escala 1:25,000 dependiendo de la elección de la escala 1:5,000 o 1:10,000 esto depende de la vegetación como habiamos dicho. Entonces en balplex el estudio se hara plano en escala 1:1000 / 1m. o 1:2000 / 2m. si se uso escala 1:5000 ó 1:10000 respectivamente.

Aquí es donde los instrumentos restituidores como el autografo Wild A-8 y A-7 son útiles, con estos las fotografías aereas, y el control terrestre, constituido por la poligonal de referencia, y puntos laterales de control vertical, se elaboran planos a escala 1:1000 ó 1:2000 con curvas de nivel a cada 1m. ó 2m., según las pendientes del terreno. El ancho de la faja de restitución es normalmente de 200 a 400cm. de acuerdo con las posibilidades de ubicación del eje definitivo.

En este trabajo, un autografo A-8, bien ajustado permite una precisión altimétrica de 0.10 a 0.15 %, de la altura de vuelo, - sin considerar el efecto de la vegetación.

### 3.2) CONTROL TERRESTRE CON POLIGONAL DE REFERENCIA, DELIMITACION DE CUENCAS.

Los puntos de este control tienen uso múltiple, ya que pueden utilizarse para la orientación de modelos, o como referencias para el trazo de proyectos, tanto en el periodo de estudio, como durante la construcción. Como de este control se obtienen los datos del terreno para el proyecto definitivo, se requiere de la mejor identificación y la máxima precisión.

Para lo primero se necesita que los puntos de posición sean - invariablemente preferenciales, o sea marcados en el terreno antes de la toma de las fotografías, para lo segundo, se aplican los procedimientos más eficientes y seguros. Para la planeación de este control, sirve de guía la ruta resultante de la etapa previa y la posición de las líneas de vuelo. El control se forma con una poligonal llamada "de referencia", los vértices de esta 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 de  $\omega$  (omega). fig.16.

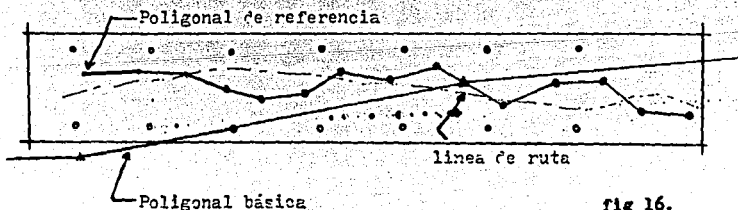


fig 16.

Los puntos de la poligonal de referencia se sitúan a una distancia o separación de 200m. a 300m. (idealmente 225m.) entre sí, a modo de asegurar que en cada par queden por lo menos 2 puntos - de 3 coordenadas. Es conveniente también esta separación para los trabajos de trazo. fig. 17.

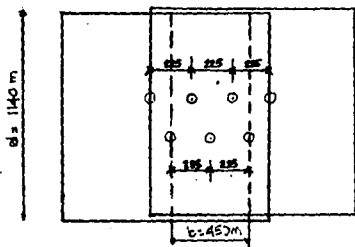


fig. 17.

Los puntos de la poligonal pueden situarse a uno u otro lado de la posible posición del trazo definitivo, buscando que desde los puntos 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 fotografías definitivas a escala 1:5000 de lo contrario también son preseñalados, tomando como guía, la posición de la línea de vuelo.



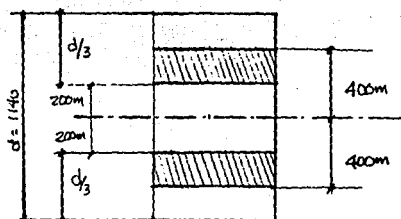


fig. 18.

Así los puntos laterales quedan distantes entre 200 y 400m. del eje a ambos lados de la faja. (\*) La separación longitudinal es del orden de 450m. en forma alternada, como se indica en la figura No. 17 y fig. 19.

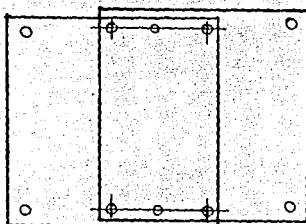


fig. 19.

Si los puntos laterales no fueron preseñalados, a fin de que sirvan también en los modelos contiguos, se localizan en las zonas de triple traslape (fig. 20..)

(\*) fig. 18.

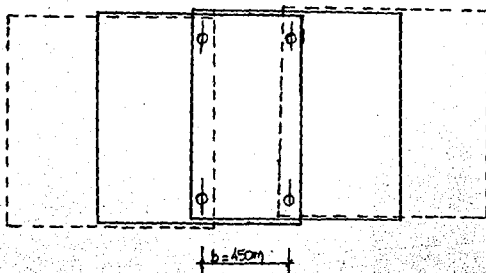


fig. 20.

Se tratará de 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 en las fotografías serán piquetes finos.

Los puntos de la poligonal serán marcados en mojoneras o varillas firmemente ancladas en el terreno o en rocas fijas, para que su posición sea estable, así mismo tendrán dispositivos de identificación permanente.

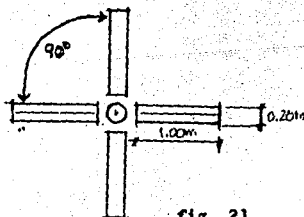
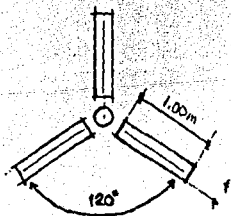


fig. 21.

Las señales para los puntos de control de las fotografías a escala 1:5000 consisten usualmente en rectángulos formando trébol o cruz (de cartón, tela, madera, piedra, etc.) pintados de color blanco o negro, según sea el color del terreno circundante, las dimensiones más usuales de los rectángulos son de 20 x 100 cm. cuando están en campo abierto, sin embargo pueden reducirse hasta la mitad cuando las señales quedan sobre pavimento u otras superficies igualmente limpias, donde es usual pintarlas directamente. fig. 21.

La medición de este control se hace mediante teodolitos de un segundo de lectura, miras de poligonación, estadales de buena calidad, niveles montados y distanciómetros electrónicos.

La medición planimétrica se comprueba mediante ligas con la poligonal del control previo, que se toma como básica, compensando cuando los errores son tolerables. La tolerancia en el cierre angular es  $10\sqrt{n}$ , siendo n el No. de ángulos leídos.

La tolerancia en el cierre planimétrico es  $0.20 m \sqrt{L}$ , 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 obtenidas mediante nivelación geométrica de circuito cerrado, o mediante for niveles avanzando en el mismo sentido pero con puntos de liga (FL) diferentes. Esta nivelación es autocorrobada, pues las ligas altimétricas con el control previo, nivelado trigonometricamente, solo tienen por objeto establecer la elevación de partida, no hay compensación entre ambas nivelaciones.

Las nivelaciones 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  $0.01 m \sqrt{L}$ , siendo L, Número de Kilómetros de desarrollo.

(\*) Especificaciones: Topografía y Fotogrametría en la práctica moderna. Carl-Olof Ternryd/Eliz Lundin. C.E.C.S.A.

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

Nota: Para cálculo del control existen diversos programas, - por ejemplo: Para calcular orientaciones, distancias, poligonales, triángulos, etc. que se corren en computadoras de gran tamaño y megadianas, sin embargo se considera que para el cálculo del control - para proyecto de vías terrestres, serían muy apropiadas las computadoras de escritorio, de tarjeta magnética e impresión de resultados, con una memoria del orden de 2,000 bits.

### 2.3) ANTEPROYECTO DEL PAISAJE.

### 2.4) ANTEPROYECTO EN BALPLEX Y PLANOS 1:1000, O DIRECTAMENTE EN RESTITUIDOR AUTOGRAFO.

Tomando como base la línea de ruta y utilizando los planos a escala 1:1,000 ó 1:2,000, las fotografías aéreas, y eventualmente el balplex, se estudia con detalle la mejor ubicación de la línea, definiendo perfiles y secciones del terreno para varias alternativas, calculando costos de construcción, operación, etc.

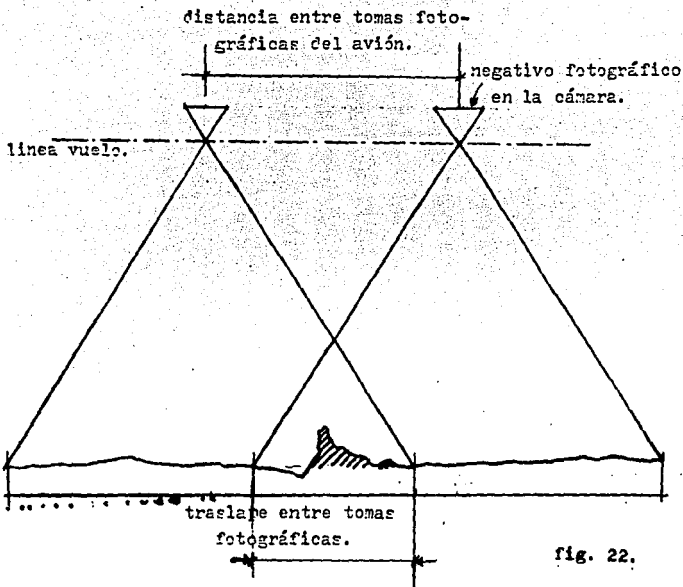
La mayor cantidad de detalles y la mayor precisión de los planos a escala 1:1,000/lm., obtenidos de un vuelo a escala 1:5,000, permite un anteproyecto más seguro, que requiere menor ajustes en el campo que si se usaran los planos a escala 1:2,000/2m. que se obtienen de las fotografías 1:10,000.

Pero vuelvo a repetir, las escalas dependen de las condiciones del terreno, en nuestro caso, con el camino Tecamac-Fachuca, solo fue necesario restituir en planos escala 1:2,000/lm.\*

\* Notese que son curvas @ 1.00m.

El resultado de esta fase se presenta en fotografías aéreas a escala 1:5,000 ó 1:10,000, planta y perfil con los datos de justificación de la elección.

Para la toma de las fotografías se utilizan cámaras métricas de eje vertical, con lentes gran angular con distorsión máxima de 0.01 mm. y distancia focal de aproximadamente 152 mm., con formato de 22 X 23 cm. Como habíamos mencionado antes, para lograr la continuidad estereoscópica, debe existir una sobreposición longitudinal de 60 a 80% y una sobreposición lateral de 20 a 30% dependiendo de la relación relieve del terreno natural. fig. 22.



Formación de la visión estereoscópica.

Para sacar la escala media ( $E_m$ ) de las fotografías, llamada también escala de vuelo se obtiene por la relación siguiente:

fig. 23.

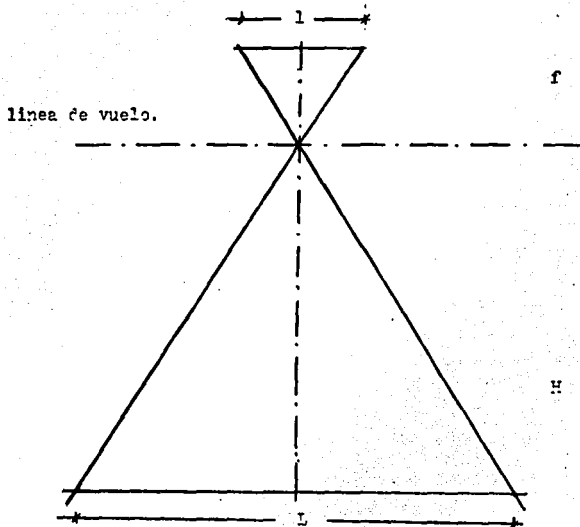


fig. 23.

$E_m$  = Escala media.

$f$  = Distancia focal.

$H$  = Altura de vuelo.

$L$  = Distancia real del terreno.

$l$  = Longitud del formato de la cámara.

$$E_m = \frac{l}{L} ; \quad \frac{l}{L} = \frac{f}{H} \quad \therefore \quad E_m = \frac{f}{H}$$

### 3.5) ESTUDIO DE ENTRONQUES Y PASOS A DESNIVEL.

Ahora con los planos y con la línea ya casi definitiva, se procede a hacer un estudio de entronques y pasos a desnivel, que conjuntamente con el estudio de drenaje, son los últimos que podrían variar la ubicación de la línea (aparte del factor económico).

Y habiendo estudiado el terreno, las necesidades socioeconómicas, industriales, agrícolas y ganaderas a lo largo de la ruta, se obtuvieron los siguientes resultados, es decir los siguientes pasos a desnivel:

| NOMBRE                    | LOCALIZACION | LONGITUD | ANCHO   | TH | MS | PROYECTO        |
|---------------------------|--------------|----------|---------|----|----|-----------------|
| 265<br>P.I. S/IU(IV)      | 42/215       | 48       | 6       | ✓  | ✓  | MAC7+26+7-0°    |
| P.S. S/IU(IV)             | 42/400       |          |         |    | ✓  |                 |
| P.S. S/IU(IV)             | 42/570       |          |         |    | ✓  |                 |
| P.S. S/IU(IV)             | 42/761       |          |         | ✓  | ✓  |                 |
| 264<br>P.I. Tizayuca I    | 44/820       |          |         | ✓  | ✓  |                 |
| 292<br>P.I. Tepojaco IV   | 46/005       | 54       | 6       | ✓  | ✓  | MAC8+30+8-20°   |
| Pte. Tepojaco             | 46/273       | 15       | 2x11.35 | ✓  | ✓  | 1La 15-10° I    |
| 176<br>P.I. Zapata 2V     | 47/297       | 60       | 8       | ✓  | ✓  | MAC9+34+9-40° D |
| 177<br>P.I. Campoaereo 2V | 50/000       | 48       | 8       | ✓  | ✓  | MAC7+26+7-5° D  |
| 295<br>P.I. S/N(IV)       | 50/810       | 54       | 6       | ✓  | ✓  | MAC8+30+8       |
| 187<br>P.I. Tizayuca II   | 51/272       |          |         | ✓  | ✓  |                 |
| Hospital                  | 53/200       |          |         |    |    |                 |
| Tezontepec                | 58/800       |          |         |    |    |                 |
| P.I. S/N(IV)              | 65/340       |          |         |    | ✓  |                 |
| 266<br>P.I. Colonia       | 75/610       |          |         | ✓  | ✓  |                 |
| P. inf. peatones          | 17/850       |          |         | ✓  | ✓  |                 |
| P. inf. peatones          | 26/230       | 70       | 2.5     | ✓  | ✓  | 2LTP 19-        |

Nomenclatura:

NOTAS:

2C (2 cajones)

2LA (2 losas aligeradas)

2LM (2 losas macizas)

MAC (marco aligerado continuo)

MCC (marco continuo cajon)

P.I. = Paso Inferior.

P.S. = Paso superior.

Pte. = Puente.

P.Inf. = Paso inferior.



| NOMBRE                             | LOCALIZACION | LONGITUD, ANCHO | TH | MS | PROYECTO          |
|------------------------------------|--------------|-----------------|----|----|-------------------|
| 2044<br>P.I. S/N (1via)            | 19/138       | 34+34 6         | ✓  | ✓  | 2 C 16'           |
| P.S. S/N (1V)                      | 21/176       |                 |    |    |                   |
| 2016<br>S/IU (1V)                  | 22/243       | 27+27 6         | ✓  | ✓  | 2 LA 16.5         |
| 2094<br>P.S. Ojo de agua           | 23/111       | 13+13 11        | ✓  | ✓  | 2 LM 13           |
| P.S. S/IU (2V)                     | 23/426       | 20+20 12.5      | ✓  | ✓  | 2 LA 20           |
| 2029<br>P.I. S/IU (1V)             | 24/236       | 27+27 6         | ✓  | ✓  | 2 LA 16.5         |
| 2039<br>P.I. S/IU (1V)             | 24/649       | 25+25 6         | ✓  | ✓  | 2 LA 16.5         |
| 2041<br>P.I. S/IU (1V)             | 25/860       | 27+27 6         | ✓  | ✓  | 2 LA 16.5         |
| 2014<br>P.I. S/IU (1V)             | 28/070       | 27+27 6         | ✓  | ✓  | 2 LA 16.5         |
| 4769 (lista gral.)<br>P.I. Tecamac | 28/962       | 70 2 de 8.4     | ✓  | ✓  | MAC8+20+26+8C     |
| P. sup. S/IU<br>5202               | 29/930       | 42 2 de 11.5    | ✓  | ✓  | MAC7+20+7-37°     |
| P. sup. S/IU (2V)<br>5231          | 30/270       | 23 2 de 11.5    | ✓  | ✓  | MAC5.5+14+5.5-10° |
| P.S. FFCC (2V)<br>5259             | 31/689       | 52 2x de 11.35  | ✓  | ✓  | MAC8+28+8-10° D   |
| P.I. Santa Lucia<br>5260           | 33/664       | 60              | ✓  | ✓  | MCC9+34+9-C       |
| Pte. barranca muer<br>5270 to      | 34/213       | 18 2x de 11.35  | ✓  | ✓  | ILA 18-10° D      |
| P.I. S/IU (IV)<br>5428             | 34/870       | 54 6            | ✓  | ✓  | MAC8+30+8-15° D   |
| P.I. Ajoicoapan (IV)<br>5261       | 37/150       | 54 6            | ✓  | ✓  | MAC8+30+8-25° I   |
| P.I. S/N (IV)<br>5263              | 37/660       | 60 6            | ✓  | ✓  | MAC9+34+9-40° I   |
| P.I. S/N<br>5293                   | 38/630       | 60 6            | ✓  | ✓  | MAC9+34+9-40° I   |
| P.I. S/N (IV)<br>5294              | 39/914       | 60 6            | ✓  | ✓  | MAC9+34+9-35° I   |
| P.I. S/N (IV)<br>5262              | 40/785       | 48 6            | ✓  | ✓  | MAC8+30+8-20°     |
| P.I. S/N (IV)                      | 41/220       | 48 6            | ✓  | ✓  | MAC7+26+7-0°      |

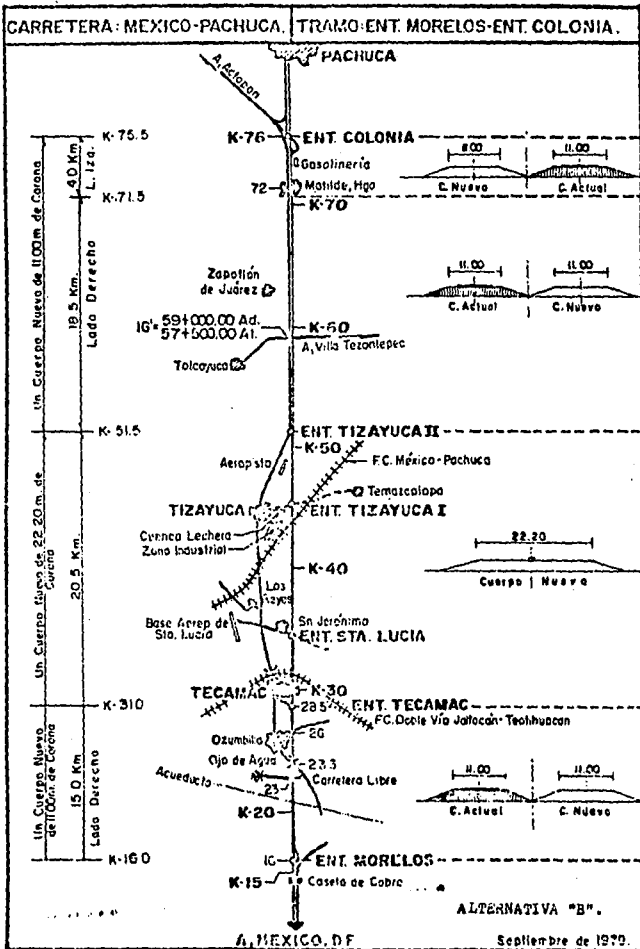
De los cuales se decidió su estructura con el antecedente que nos dió terracerías, esto es, que este sea paso a desnivel, ya sea inferior o superior, que sea entronque, que sea en la zona de cuatro cuerpos nuevos o dos y dos, que sea puente, por FFCC ó por río ó canal.

Todos estos tipos, aparte de regirse en su proyecto por la utilización que vayan a tener, se rigen por la terracería, en nuestro proyecto, este no fue muy variado, ya que se trata de una carretera más ó menos plana, y esto implica que el cuerpo principal sea por abajo, ya que el paso superior, podrá tener pendientes más pronunciadas, cosa que no podría hacerse con el cuerpo principal.

Esto es porque se trata de obtener el máximo rendimiento en el camino principal, entonces es obvio que se busque un camino plano. Por otro lado, también es más económico de esta manera, porque los pasos secundarios necesitarán menos cimentación y superestructura. Por lo tanto en nuestro proyecto serán la mayoría pasos inferiores.

3.6) 4o. RECONOCIMIENTO, COMPARACION DE ALTERNATIVAS.





**FALLA DE ORIGEN**

### 3.7) PRESUPUESTOS DE ANTEPROYECTOS. ELECCION DE ANTEPROYECTO.

Antes de ir al proyecto detallado, se realiza un estudio detallado de costos de construcción de un subtramo del camino representativo de cada alternativa, para obtener una elección de anteproyecto.

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES  
 DEPARTAMENTO DE PROYECTOS  
 OFICINA DE ESTUDIOS PRELIMINARES Y DE CAMPO

ANTEPRESUPUESTO  
 ALTERNATIVA A

CARRETERA MEXICO-PACHUCA  
 TRAMO TECAMAC-PACHUCA  
 SUBTRAMO TECAMAC-TIZAYUCA  
 DE ESTACION 71+000 A ESTACION 44+720  
 ORIGEN INDIOS VERDES, D.F.

CAMINO TIPO "A"  
 ANCHO DE CORONA 11.00m. Dos Cuerpos 6.0 Km. 1 cuerpo.  
 LONGITUD 14.720Km. 8.72Km. 2 cuerpos nuevos.

| CONCEPTO                   | UNIDAD         | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (miles\$) | COSTO     |
|----------------------------|----------------|----------|---------------------------|-----------|
| 1. DERECHO DE VIA          | Has.           | 64.00    | 150.0                     | 9,600.00  |
| 2. DESMONTE                | Has.           | 24.00    | 1.611                     | 38.66     |
| 3. AFECTACIONES            |                |          |                           |           |
| 4. TERRACERIAS             | m <sup>3</sup> | 321.60   | 0.150                     | 48,240.00 |
| 5. DRENAJE                 | Km.            | 14.72    | 190.0                     | 2,796.80  |
| 6. OBRAS AUXILIARES        | Km.            | 14.72    | 120.0                     | 1,766.40  |
| 7. PUENTES                 | n.l.           | 40.00    | 100.0                     | 4,000.00  |
| 8. ENTRONQUES A NIVEL      | Ent.           | 1.0      | 1,500.0                   | 1,500.00  |
| 9. ENTRONQUES A DESNIVEL   | Ent.           | 3.0      | 33,000.0                  | 99,000.00 |
| 10. PASOS A VEHICULOS      | Pasos          | 4.0      | 2,500.0                   | 10,000.00 |
| 11. PASOS A PEATONES       | Pasos          | 4.0      | 1,500.0                   | 6,000.00  |
| 12. OBRAS DE ORNAMENTACION | Km.            | 14.720   | 100.0                     | 1,472.00  |
| 13. PAVIMENTO              | Km.            | 14.720   | 2,500.0                   | 36,800.00 |
| 14. SEÑALAMIENTO           | Km.            | 14.720   | 100.0                     | 1,472.00  |
| 15. OTROS                  | Pasos PC       | 3.0      | 4,000.0                   | 12,000.00 |

S U M A 274,685.86  
 IMPREVISTAS: 20% 44,994.14  
 T O T A L 279,680.00  
 COSTO PROMEDIO POR KM 19,000,000.00  
 Mexico, D.F. \_\_\_\_\_ de 19\_\_

FALLA DE ORIGEN

SECRETARÍA DE ASIGNACIONES FINANCIERAS Y OBRAS PÚBLICAS  
 DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES  
 DEPARTAMENTO DE PROYECTOS  
 OFICINA DE ESTUDIOS PRELIMINARES Y DE CAMPO

ANTEPROYECTO  
 ALTERNATIVA B

CARRETERA MEXICO-PACHUCA  
 TRAMO TECAMAC-PACHUCA  
 SUBTRAMO TECAMAC-TIZAYUCA (Modificación)  
 DE ESTACION 34.00 A ESTACION 47367.03  
 ORIGEN INDIOS VERDES, D.F.

CAMINO TIPO "B"  
 ANCHO DE CORONA 11.00 m. Dos cuerpos.  
 LONGITUD 14,367.03 Km.

| CONCEPTO                   | UNIDAD         | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (miles\$) | COSTO (miles\$) |
|----------------------------|----------------|----------|---------------------------|-----------------|
| 1. DERECHO DE VIA          | Has.           | 86.00    | 150.0                     | 12,900.00       |
| 2. DESMONTES               | Has.           | 58.00    | 1.611                     | 93.43           |
| 3. AFECTACIONES            |                |          |                           |                 |
| 4. TERRACERIAS             | m <sup>3</sup> | 502,845  | 0.150                     | 75,426.75       |
| 5. DRENAJE                 | Km.            | 14,367   | 240.0                     | 3,448.08        |
| 6. OBRAS AUXILIARES        | Km.            | 14,367   | 120.0                     | 1,724.04        |
| 7. PUENTES                 | m.l.           | 40.00    | 100.0                     | 4,000.00        |
| 8. ENTROQUES A NIVEL       |                |          |                           |                 |
| 9. ENTRONQUES A DESNIVEL   | Ent.           | 2.00     | 25,000.0                  | 50,000.00       |
| 10. PASOS A VEHICULOS      | Pasos          | 2.00     | 2,500.0                   | 7,500.00        |
| 11. PASOS A PEATONES       | Pasos          | 2.00     | 1,500.0                   | 3,000.00        |
| 12. OBRAS DE ORNAMENTACION | Km.            | 14,367   | 100.0                     | 1,436.70        |
| 13. PAVIMENTO              | Km.            | 14,367   | 100.0                     | 35,917.50       |
| 14. SEÑALAMIENTO           | Km.            | 14,367   | 2,500.0                   | 1,436.70        |
| 15. OTROS                  | PasoPC         | 2.0      | 4,000.0                   | 8,000.00        |

SUMA 204,892.20  
 IMPREVISTAS: 20% 39,355.80  
 TOTAL 244,239.00  
 COSTO PROMEDIO POR KM. \$ 17,000,000.00  
 México, D.F. \_\_\_\_\_ de 19 \_\_\_\_\_



#### 4) PROYECTO DEFINITIVO (DETALLADO).

Se define como el resultado de los diversos estudios en los que se han considerado todos los casos previstos, y se han establecido normas para la realización de la obra y para resolver aquellos otros casos que puedan presentarse como imprevistos.

Esta etapa se inicia una vez situada la línea con estudios de una precisión tal que permitan definir las características geométricas del camino.

En esta etapa se obtienen los perfiles longitudinales, secciones transversales y planos de detalle del terreno, necesarios para el diseño geométrico de las secciones de construcción, la ubicación de las terracerías y el proyecto del drenaje, tanto de los ejes principales como de las intersecciones.

Dependiendo de la densidad de la vegetación, la longitud del tramo y la configuración topográfica, los datos del terreno para el proyecto definitivo pueden ser obtenidos directamente en el campo o por fotogrametría.

Para la obtención de los datos en el campo, se replantean los ejes del proyecto preliminar, a partir de los vértices de la poligonal de referencia, que sirvió de control horizontal a las fotos a escala 1:5,000 ó 1:10,000. El cálculo de las medidas lineales y angulares para este replanteo se hace mediante un programa de cómputo electrónico que utiliza las coordenadas X-Y de los vértices de la poligonal y las de los puntos principales y de cada 20 mts. del alineamiento horizontal.

#### 4.1) CALCULO DE ALINEAMIENTO HORIZONTAL Y DIBUJO DE PLANTAS DEFINITIVAS.

El alineamiento horizontal es la proyección sobre un plano horizontal del eje de la subcorona del camino.

Los elementos que lo integran son: 1) las tangentes, 2) curvas circulares y 3) curvas de transición.

1) Las tangentes son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes se le representa por P.I. (punto de intersección), y al ángulo de deflexión formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se representa por  $\Delta$  (delta).

Como las tangentes van unidas entre si por curvas, la longitud de una tangente es la distancia comprendida entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. A cualquier punto preciso del alineamiento horizontal localizado en el terreno sobre una tangente se le denomina P.S.T. (punto sobre tangente).

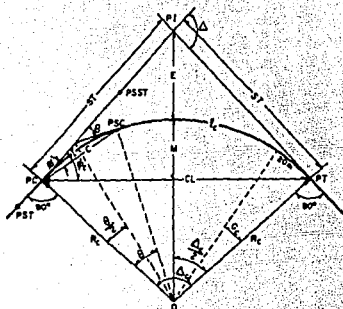
La longitud máxima de las tangentes esta condicionada a la seguridad, por la somnolencia que producen y los faciles deslumbramientos de la noche.

La longitud mínima de la tangente entre dos curvas consecutivas está definida por la longitud necesaria para dar la sobre elevación y ampliación a esas curvas.

2) Curvas circulares son los arcos del circulo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas. Estas pueden ser simples o compuestas,

es decir, un arco o más de uno sucesivos con diferentes radios.

a) Curvas circulares simples. En el sentido del cadenamien to las curvas pueden ser hacia la izquierda ó hacia la derecha. fig. 24.



- 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
- PSC Punto sobre la curva circular
- O Centro de la curva circular
- Δ Ángulo de deflexión de las tangentes
- Δ<sub>c</sub> Ángulo central de la curva circular
- β Ángulo de deflexión a un PSC
- φ Ángulo de una cuerda cualquiera
- φ<sub>l</sub> Ángulo de la cuerda larga
- G<sub>c</sub> Grado de curvatura de la curva circular
- R<sub>c</sub> Radio de la curva circular
- ST Subtangente
- E Eje
- M Ordenada media
- C Cuerda
- CL Cuerda larga
- l Longitud de un arco
- L<sub>t</sub> Longitud de la curva circular

fig. 24.

#### Elementos de la curva circular simple.

G<sub>c</sub> = Grado de curvatura. Es el ángulo subtendido por un arco de 20 mts.

$$\frac{G_c}{20} = \frac{360^\circ}{2\pi R_c} \quad G_c = \frac{1145.92}{R_c} \quad (1)$$

El grado máximo de curvatura es el que permite al vehículo recorrer con seguridad la curva con la sobre elevación máxima a la velocidad del proyecto\*. \*(El cálculo está más adelante en lo concerniente a sección transversal).

Rc = Radio de la curva.

$$Rc = \frac{1145.92}{Gc} \quad -(2)-$$

$\Delta c$  = Angulo central. Es el ángulo subtendido por la curva circular. En curvas circulares simples es igual a la deflexión de las tangentes.

$$\Delta = \Delta c$$

lc = Longitud de la curva. Longitud del arco entre P.C. y P.T.

$$\frac{lc}{2\pi Rc} = \frac{\Delta c}{360^\circ} \therefore lc = \frac{\pi \Delta c}{180^\circ} Rc$$

tomando en cuenta la expresión -(2)-, se tendra:

$$lc = 20 \frac{\Delta c}{Gc} \quad -(3)-$$

St = Subtangente. Distancia entre P.I. y P.C. ó P.T., medida sobre la prolongación de las tangentes en el triángulo rectángulo, P.I. - O - P.T., se tiene

$$St = Rc \tan. \frac{\Delta c}{2} \quad -(4)-$$

E = Externa. Distancia mínima entre el P.I. y la curva. Del triángulo rectángulo, P.I. - O - P.T., se tiene

$$E = Rc \sec. \frac{\Delta c}{2} - Rc = Rc (\sec. \frac{\Delta c}{2} - 1) \quad -(5)-$$

M = Ordenada media. Es la longitud de la flecha en el punto medio de la curva. Del triángulo rectángulo P.I. - O - P.T. se tiene

$$M = Rc - Rc \cos. \frac{\Delta c}{2} = Rc \text{ Sen. Ver. } \frac{\Delta c}{2} \quad -(6)-$$

$\theta$  = Deflexión a un punto cualquiera de la curva. Es el ángulo entre la prolongación de la tangente en P.C. y la tangente en el punto considerado. Se puede establecer:

$$\frac{\theta}{l} = \frac{Gc}{20} \quad \therefore \quad \theta = \frac{Gcl}{20} \quad -(7)-$$

C = Cuerda. Recta comprendida entre dos puntos de la curva, si estos puntos son P.C. y el P.T., a la cuerda resultante se le denomina cuerda larga (CL) en el triángulo P.C. - O - P.S.C.

$$C = 2Rc \operatorname{Sen.} \frac{\theta}{2} \quad -(8)-$$

$$CL = 2Rc \operatorname{Sen.} \frac{\Delta C}{2} \quad -(8')-$$

$\phi$  = Angulo de la cuerda. Angulo comprendido entre la prolongación de la tangente y la cuerda considerada. En el triángulo P.C. - O - P.S.C.

$$\phi = \frac{\theta}{2} \quad ; \quad \text{teniendo en cuenta } -(7)-$$

$$\phi = \frac{Gcl}{40} \quad -(9)-$$

para la cuerda larga.

$$\phi_c = \frac{GcLc}{40} \quad -(9')-$$

b) Curvas circulares compuestas. Aquellas formadas por dos ó más curvas simples, del mismo sentido y diferente radio, o diferente sentido y cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos consecutivas. Cuando son del mismo sentido se llaman compuestas directas, de otra manera se llaman compuestas inversas.

Este tipo de curva debe evitarse, porque introducen cambios de curvatura peligrosos, sin embargo, en intersecciones pueden emplearse siempre y cuando la relación entre dos radios consecutivos no sobrepase la cantidad de 2.0 y se resuelva satisfactoriamente la transición de sobreelevación.

Los principales elementos de la curva circular compuesta se ilustran con la curva de 3 centros en la figura siguiente:

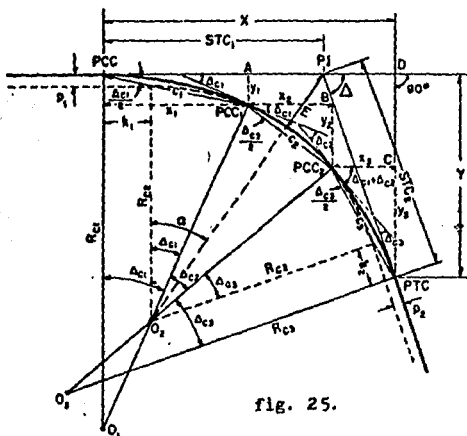


fig. 25.

- PI** Punto de intersección de las tangentes  
**PCC** Punto donde se inicia la curva circular compuesta  
**PTC** Punto donde termina la curva circular compuesta  
**PCC<sub>1</sub>, PCC<sub>2</sub>** Puntos de curvatura compuesta, o sean los puntos en donde termina una curva circular simple y empieza otra  
**O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>** Centros de las curvas circulares simples que integran la curva circular compuesta  
**Δ** Angulo de deflexión entre las tangentes  
**Δ<sub>C1</sub>, Δ<sub>C2</sub>, Δ<sub>C3</sub>** Angulos centrales de las curvas circulares simples  
**R<sub>C1</sub>, R<sub>C2</sub>, R<sub>C3</sub>** Radios de cada una de las curvas circulares simples  
**STC<sub>1</sub>, STC<sub>2</sub>** Subtangentes de la curva circular compuesta  
**P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>** Desplazamientos de la curva central para curva compuesta de tres centros

ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR COMPUESTA

Para su cálculo se utilizan los elementos de las curvas circulares simples que la integran, y los resultados obtenidos pueden extrapolarse para curvas de más de tres centros.

De la expresión  $-(8^{\circ})-$

$$C1 = 2Rc1 \text{ Sen. } \frac{\Delta c1}{2}$$

$$C2 = 2Rc2 \text{ Sen. } \frac{\Delta c2}{2}$$

$$C3 = 2Rc3 \text{ Sen. } \frac{\Delta c3}{2}$$

De la figura anterior.

$$X1 = Rc1 \text{ Sen. } \Delta c1$$

$$Y1 = Rc1 (1 - \text{Cos. } \Delta c1)$$

$$X2 = C2 \text{Cos. } (\Delta c1 + \frac{c2}{2}) = 2Rc2 \text{ Sen. } \frac{\Delta c2}{2} \text{ Cos. } (\Delta c1 + \frac{c2}{2})$$

$$Y2 = C3 \text{Cos. } (\Delta c1 + \frac{\Delta c2}{2}) = 2Rc2 \text{ Sen. } \frac{\Delta c2}{2} \text{ Sen. } (\Delta c1 + \frac{\Delta c2}{2})$$

$$X3 = C3 \text{Cos. } (\Delta c1 + \Delta c2 + \frac{c3}{2}) = 2Rc3 \text{ Sen. } \frac{\Delta c3}{2} \text{ Cos. } (\Delta c1 + \Delta c2 + \frac{\Delta c3}{2})$$

$$Y3 = C3 \text{Sen. } (\Delta c1 + \Delta c2 + \frac{\Delta c3}{2}) = 2Rc3 \text{ Sen. } \frac{\Delta c3}{2} \text{ Sen. } (\Delta c1 + \Delta c2 + \frac{\Delta c3}{2})$$

-(10)-

Si hubiera una cuarta curva.

$$X4 = 2Rc4 \text{ Sen. } \frac{\Delta c4}{2} \text{ Cos. } (\Delta c1 + \Delta c2 + \Delta c3 + \frac{\Delta c4}{2})$$

$$Y4 = 2Rc4 \text{ Sen. } \frac{\Delta c4}{2} \text{ Cos. } (\Delta c1 + \Delta c2 + \Delta c3 + \frac{\Delta c4}{2})$$

Puede verse también.

$$X = X_1 + X_2 + X_3 \dots$$

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 \dots$$

$$\Delta = \Delta c_1 + \Delta c_2 + \Delta c_3 \dots$$

-(11)-

Y las subtangentes de la curva circular compuesta seran:

$$S.T.C.1 = X - S.T.C.2 \operatorname{Cos} \Delta$$

$$S.T.C.2 = Y - \operatorname{Csc} \Delta$$

-(12)-

Si se conocen las subtangentes de cada una de las curvas circulares simples, las subtangentes de la curva circular compuesta pueden calcularse de la siguiente manera.

$$S.T.C.1 = X - Y \operatorname{Cot} \Delta$$

$$S.T.C.2 = Y \operatorname{Csc} \Delta$$

En donde.

$$X = (1 + \operatorname{Cos} \Delta c_1) S.T. + [\operatorname{Cos} \Delta c_1 + \operatorname{Cos} (\Delta c_1 + \Delta c_2)] S.T. 2 \\ + [\operatorname{Cos} (\Delta c_1 + \Delta c_2) + \operatorname{Cos} (\Delta c_1 + \Delta c_2 + \Delta c_3)] S.T. 3$$

$$Y = (\operatorname{Sen} \Delta c_1) S.T. + [\operatorname{Sen} \Delta c_1 + \operatorname{Sen} (\Delta c_1 + \Delta c_2)] S.T. 2 \\ + [\operatorname{Sen} (\Delta c_1 + \Delta c_2) + \operatorname{Sen} (\Delta c_1 + \Delta c_2 + \Delta c_3)] S.T. 3$$

-(12')-



Con las expresiones anteriores pueden calcularse y trazarse curvas circulares compuestas de cualquier número de centros.

En ocasiones es útil conocer los desplazamientos de la curva central P1 y P2, y las correspondientes distancias K1 y K2, - para una curva de tres centros. De la figura anterior tenemos:

$$P1 = Y1 - (Rc2 - Rc2 \cos \Delta c1) = Rc1 - Rc1 \cos \Delta c1 - Rc2 + Rc2 \cos \Delta c1$$

$$P1 = (Rc1 - Rc2) (1 - \cos \Delta c1) \quad -(13)-$$

$$K1 = X1 - Rc2 \operatorname{Sen} \Delta c1 = Rc1 \operatorname{Sen} \Delta c1 - Rc2 \operatorname{Sen} \Delta c1$$

$$K1 = (Rc1 - Rc2) \operatorname{Sen} \Delta c1 \quad -(13')-$$

Analogamente:

$$P2 = (Rc3 - Rc2) (1 - \cos \Delta c3) \quad -(14)-$$

$$K2 = (Rc3 - Rc2) \operatorname{Sen} \Delta c3 \quad -(14')-$$

El cálculo de la externa "E", puede hacerse de la siguiente manera:

$$\cos \alpha = \frac{Rc2 + P1}{E + Rc2} \quad \therefore \quad E = (Rc2 + P1) \operatorname{Sec} \alpha - Rc2 \quad -(15)-$$

En donde.

$$\alpha = \operatorname{Arc. Tan.} \frac{S.T.C.1 - K1}{Rc2 + P1} \quad -(16)-$$

c) Curvas de transición (espirales). Cuando un vehículo pasa de un tramo en tangente a otro en curva circular, requiere hacerlo en forma gradual, tanto por lo que se refiere al cambio de dirección, como a la sobreelevación y a la ampliación necesarias. Para lograr este cambio gradual se usan las curvas de transición.

Se define curva de transición a la que liga una tangente con una curva circular, teniendo como característica principal, que en su longitud se efectúa de manera continua el cambio en el valor del radio de curvatura, desde el infinito para la tangente hasta el que corresponde para la curva circular.

En nuestro camino, se utilizaron solo curvas circulares, ya que estas son de un grado de curvatura muy pequeño, pero cuando se trata de una autopista con una velocidad de proyecto muy alta son más adecuadas las curvas circulares con dos espirales. fig. 26.

Elementos de la curva circular con espirales.

P.I. = Punto de intersección de las tangentes.

T.E. = Punto donde termina la tangente y empieza la espiral.

E.C. = Punto donde termina la espiral y empieza la curva circular.

C.E. = Punto donde termina la curva circular y empieza la espiral.

E.T. = Punto donde termina la espiral y empieza la tangente.

P.S.C. = Punto sobre la curva circular.

P.S.E. = Punto sobre la espiral.

P.S.T. = Punto sobre la subtangente.

$\Delta$  = Angulo de deflexión de las tangentes.

$\Delta_c$  = Angulo central de la curva circular.

De = Deflexión de la espiral.

$\phi^*c$  = Angulo de la cuerda larga de la espiral.

S.T.e = Subtangente.

Xc, Yc = Coordenadas del E.C. ó del C.E.

K, P = Coordenadas del P.C. ó del P.T. (desplazamiento).

- T.C. = Tangente corta.  
 C.Le = Cuerda larga de la espiral.  
 Ec. = Externa.  
 Rc. = Radio de la curva circular.  
 Le. = Longitud de la espiral de entrada o salida.  
 Lc. = Longitud de la curva circular.

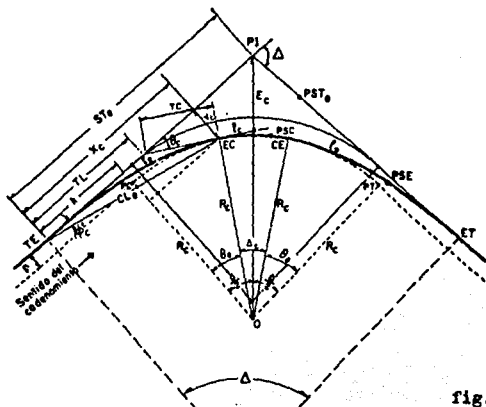


fig. 26.

- PI Punto de intersección de las tangentes  
 TE Punto donde termina la tangente y empieza la espiral  
 EC Punto donde termina la espiral y empieza la curva circular  
 CE Punto donde termina la curva circular y empieza la espiral  
 ET Punto donde termina la espiral y empieza la tangente  
 PSC Punto sobre la curva circular  
 PSE Punto sobre la espiral  
 PST, Punto sobre la subtangente

- $\Delta$  Ángulo de deflexión de las tangentes  
 $\Delta_c$  Ángulo central de la curva circular  
 $\theta_a$  Deflexión de la espiral  
 $\phi_c$  Ángulo de la cuerda larga de la espiral

- $ST_e$  Subtangente  
 $x_c, y_c$  Coordenadas del EC o del CE  
 $R, p$  Coordenadas del PC o del PT (Desplazamiento)  
 TL Tangente larga  
 TC Tangente corta  
 $CL_o$  Cuerda larga de la espiral  
 Ec Externa  
 $R_c$  Radio de la curva circular  
 $L_e$  Longitud de la espiral de entrada o salida  
 $L_c$  Longitud de la curva circular

ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES

Elementos del conjunto.

- 1).- Grado de curvatura del segmento circular.

$$G_c = \frac{1145.92}{R_c}$$

- 2).- Longitud de cada espiral (entrada o salida).

Le. = Distancia entre T.E. y E.C. o entre  
C.E. y E.T.

- 3).- Parámetro de la espiral.

$$K = R_c L_e$$

- 4).- Deflexión de la curva.

Es el ángulo medido entre las tangentes  
y se designa por

- 5).- Deflexión a un punto cualquiera de la espiral.

Es el ángulo comprendido entre la tangen  
te en E.T. ó T.E. y la tangente en un  
punto cualquiera P.S.E.

$$\theta = \frac{L^2}{2K^2}$$

si  $L = L_e$ , entonces  $D = D_e$

$$\therefore 2K^2 = \frac{L_e^2}{\theta_e^2}$$

$$\theta = \left( \frac{L}{L_e} \right)^2 \theta_e$$

6).- Deflexión de la espiral, es el ángulo comprendido entre las tangentes a la espiral en los puntos extremos.

Es decir, que  $L = L_e$  y  $\theta = \theta_e$

$$\theta_e = \frac{L_e^2}{2R_c L_e} = \frac{L_e}{2R_c}$$

Expresando a  $\theta_e$  en grados

$$\theta_e = \frac{L_e}{2 \times \frac{1145.92}{G_c}} \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$\therefore \theta_e = \frac{G_c L_e}{40}$$

7).- La longitud total de la curva compuesta por las espirales y la circular es.

$L = 2L_e + L_c$ , considerando curva simétrica. Y expresada en función de valores angulares:

$$L = 20 \frac{4\theta_e + 2\Delta c}{G_c} \quad \text{o sea:}$$

$$L = \frac{40\theta_e + 20 \Delta c}{G_c} \quad \text{y sustituyendo a la ecuación.}$$

$$\theta_e = \frac{G_c L_e}{40}$$

$$L = L_e + \frac{20}{G_c} \Delta c$$

8).- Coordenadas del E.C.

Las ecuaciones paramétricas de la espiral para el punto extremo de la curva, considerando solamente los términos significativos, son los siguientes:

$$X_c = L_e \left( 1 - \frac{\theta e^2}{10} \right)$$

$$Y_c = L_e \left( \frac{\theta e}{3} + \frac{\theta e^3}{42} \right)$$

Si expresamos a  $\theta e$  en grados toman las siguientes formas

$$X_c = \frac{L_e}{100} (100 - 0.00305 \theta e^2)$$

$$Y_c = \frac{L_e}{100} (0.582 \theta - 0.0000126 \theta e^3)$$

9).- Coordenadas del P.C. de la curva circular de la figura anterior o sea "P" y "K".

$$P = Y_c - R_c \text{ Sen. } \theta e$$

$$K = X_c - R_c \text{ Sen. } \theta e$$

10).- Subtangente. De manera análoga para la definición de circular, la subtangente ( $T_e$ ) se define como la distancia entre el P.I. y el T.E. ó el P.I. y el E.T. de la figura anterior.

Medida sobre la prolongación de la tangente.

$$S.T_e = K + (R_c + P) \text{ Tan. } \frac{\theta}{2}$$

11).- Externa. Es la distancia entre P.I. y la curva medida sobre la bisectriz.

$$E_c = P + (R_c + P) \text{ Sec. } \frac{\theta}{2} - R_c$$

12).- Cuerda larga. Es la recta que une el T.E. y E.C. ó el E.T. y el C.E. y se le llama CLe.

$$CLe = \sqrt{X_c^2 + Y_c^2}$$

13).- Angulo de la cuerda larga. Es el ángulo que existe entre la prolongación de la tangente y la propia cuerda larga, se designa por  $\beta'c$

$$\beta'c = \frac{Ge}{3} - Z$$

$$\text{siendo } Z = 3.1 \times 10^{-3} Ge^3 + 2.3 \times 10^{-8} Ge^5$$

14).- Tangente larga. Es el tramo de subtangente comprendido entre el T.E. ó E.T. y la intersección con la tangente E.C. ó C.E. se designa por T.L. y se expresa como sigue:

$$T.L. = Xc - Yc \text{ Cot. } \theta e$$

15).- Tangente corta. Se define así al tramo de la tangente a C.E. ó E.C., según el lado de simetría que se analice se designa por T.C. y se expresa como sigue:

$$T.C. = Yc \text{ Csc. } \theta e$$

Longitud mínima de la espiral.

Como se señaló con anterioridad, la espiral de transición cumple simultáneamente con dos objetos: absorber paulatinamente el continuo cambio de la aceleración centrífuga que se impone a un vehículo cuando a velocidad constante cambia continuamente de dirección, y permitir que la sobreelevación se desarrolle sin cambios bruscos su forma original en tangente hasta su máximo valor en el E.C. ó C.E. según sea espiral de entrada o de salida del segmento circular.

De acuerdo al primer objetivo, se tiene el siguiente análisis:

La aceleración centrífuga  $G_c$  en un punto de la espiral es:

$$G_c = \frac{v^2 L}{R_c L_e}$$

pero la longitud recorrida en un tiempo "t" a la velocidad "v" es:

$L = vt$ , por lo que la aceleración centrífuga se puede expresar como:

$$A_c = \frac{v^2}{R_c} \frac{vt}{L_e} \quad A_c = \frac{v^3 t}{R_c L_e}$$

El cambio continuo de dirección impone un cambio continuo de la aceleración centrífuga, dicho cambio, dado que la velocidad es uniforme, será constante.

$$\frac{dA_c}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{v^3 t}{R_c L_e} \right) = c$$

o sea que:

$$\frac{v^3}{R_c L_e} = c$$

por tanto:

$$L_e = \frac{v^3}{c R_c}$$

siendo:

$L_e$  = Longitud de la espiral, en mts.

$V$  = Velocidad del vehículo en m/seg.

$R_c$  = Radio de la curva circular en mts.

$C$  = Coeficiente de variación de la aceleración centrífuga o coeficiente de comodidad, en  $m/seg^2$ .

Que expresada en mts para  $V$  en KPH y  $R_c$  en mts se transforma en:

$$L_e = 0.0214 \frac{v^3}{C R_c}$$



siendo C un valor empírico que indica el grado de comodidad que se desea proporcionar.

Pero en 1949, M. V. Smirnof, propuso una fórmula semejante a la anterior o sea la de Short. Pero corrigiendola para tener en cuenta la sobreelevación la fórmula queda así:

$$Le = 0.035V \left( \frac{V^2}{R} + 127S \right)$$

S = Sobreelevación en la circular en valor absoluto.

El criterio de la S.O.P. lo condujo a aceptar la fórmula

$$Le \approx 8VS$$

que coincide aproximadamente con AASHO para los anchos de calzada usuales en cada velocidad de proyecto y para sobre todas estas fórmulas se consideraron en un programa que se diseñó especialmente para resolver y auxiliar al proyectista mediante las computadoras el nombre del programa designado para este fin es matematización del proyecto gráfico del trazo definitivo de caminos. fig. 27.

Como habíamos dicho anteriormente una vez teniendo el plano fotogramétrico escala 1:2,000. El ingeniero proyectista teniendo en cuenta todas las consideraciones del proyecto en cuanto a terreno se refiere, al igual que las especificaciones propias del tipo de camino que se desea proyectar, procede a trazar sobre dicho plano, el eje correspondiente, esto se hace gráficamente.

Después se codifican los datos de entrada para la computadora, tales como:

- 1). El cadenamiento de origen como un P.S.T. y sus coordenadas gráficas o tomadas de un trazo anteriormente.
- 2). El sentido de la deflexión si es izquierda o derecha.

CUADRO COMPARATIVO DE LONGITUDES MÍNIMAS DE TRANSICIÓN SEGUN DIFERENTES CRITERIOS  
(s 0.10)

| Velocidad<br>de<br>Proyecto.<br>Km/h. | SHORTT<br>$Le=0.035 \frac{V^3}{R}$ | Smirnoff<br>$Le=0.035V(\frac{V^2}{R} + 127S)$ | AASHO    |          |          |          | SOP<br>$Le \cong 8VS$ |
|---------------------------------------|------------------------------------|---|----------|----------|----------|----------|-----------------------|
|                                       |                                    |   | $Le=mas$ |          |          |          |                       |
|                                       |                                    |   | $a=2.75$ | $a=3.05$ | $a=3.35$ | $a=3.65$ |                       |
| 30                                    | 39                                 | 37  | 34       | 37       | 41       | 44       | 24                    |
| 40                                    | 47                                 | 46  | 38       | 42       | 46       | 50       | 32                    |
| 50                                    | 58                                 | 56  | 42       | 47       | 51       | 56       | 40                    |
| 60                                    | 68                                 | 65  | 46       | 51       | 57       | 62       | 48                    |
| 70                                    | 77                                 | 74  | 51       | 56       | 62       | 67       | 56                    |
| 80                                    | 86                                 | 82  | 55       | 61       | 67       | 73       | 64                    |
| 90                                    | 94                                 | 90  | 59       | 66       | 72       | 79       | 72                    |
| 100                                   | 102                                | 97  | 64       | 71       | 77       | 84       | 80                    |
| 110                                   | 109                                | 104   | 68       | 75       | 83       | 90       | 88                    |

fig. 27

- 3). Las coordenadas de los P.I.
- 4). El grado de la curva con aproximación al minuto.
- 5). La velocidad del proyecto.
- 6). El tipo de curva que se desea proyectar ( circular simple ó con espiral).
- 7). Como comentarios o identificación del camino, daremos estos datos:
  - a) nombre del camino.
  - b) Nombre del tramo.
  - c) Fecha del proyecto.
  - d) Origen.
  - e) Alternativas. (sies que se estan considerando varias).
  - f) Tipo de camino.
  - g) Ancho de carpeta.
  - h) Sobreelevación máxima en curva.
  - i) Bombeo.
  - j) Grado mínimo con espirales.

Una vez codificados estos datos se perforan en tarjetas IBM, y se anexan al programa fuente u objeto para su proceso electrónico, del cual se obtienen listados de resultados con todos los elementos de las curvas calculados. Los analiza nuevamente el ingeniero proyectista, utilizando el criterio amplio de muchos años - de experiencia, observa si los resultados cubren sus necesidades de proyecto ó si no, modifica algún P.I. ó cambia el grado de alguna curva hasta que el quede satisfecho con los resultados obtenidos.

Apoyándose en estos resultados se proyecta el trazo al plano definitivo y entintándose. Una copia de estos listados de la matematización se dibuja en una planta escala 1:1,000 con curva cada metro. Que es ya el eje del camino con ancho de secciones que el mismo proyectista designa en ambos lados del eje. En don

de él cree que pasarán los cerros y que despues de la expropiación aprobada por las autoridades (derecho de vía), normalmente es a cada 20 mts. en ambos lados.

Para obtener los datos del terreno por el método fotogramétrico se hace uso del plano escala 1:1,000 del que ya hicimos mención anteriormente.

4.2) CALCULO DE DATOS PARA EL ESTACAMIENTO DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL.

Para realizar el estacamiento el método más preciso y eficaz es por medio de un programa para computadora en donde se alimentan los datos que nos ha dado el autógrafa A-7 con registro automático de coordenadas.

Según la capacidad del computador, dependerá el tipo de programa, variará precisamente en el número de datos que necesitará para dar el estacamiento.

En este caso en particular se utilizó una calculadora programable Hewlett-Packard H.P.-41CV, que tiene una capacidad de memoria de 319 registros, que equivalen a aproximadamente 2.2 K bytes.

El programa es el siguiente:

|   |              |           |
|---|--------------|-----------|
| 01 *LBL "CULTA"   | 31 7F<>S     | 61 ARCL A |
| 02 *PI 3.14159265358979323846264338327950288419716939937510582097494459230781640628620899862803482534211706798214808651328230664709384460955052205973162803697726758753767364476736647640 | 32 RCL Z3    | 62 AVIEW  |
| 03 PROMPT   | 33 7F<>S     | 63 STOP   |
| 04 *LBL 15  | 34 STO 02    | 64 RCL 03 |
| 05 *LBL 8   | 35 7F<>S     | 65 *G=    |
| 06 STO Z2   | 36 RCL Z6    | 66 ARCL X |
| 07 *PI 3.14159265358979323846264338327950288419716939937510582097494459230781640628620899862803482534211706798214808651328230664709384460955052205973162803697726758753767364476736647640 | 37 7F<>S     | 67 AVIEW  |
| 08 PROMPT   | 38 STO 00    | 68 STOP   |
| 09 STO Z3   | 39 7F<>S     | 69 RCL 04 |
| 10 *SECTING ?   | 40 *CRD FI ? | 70 FIX 3  |
| 11 PROMPT   | 41 FFOMPT    | 71 *R=    |
| 12 STO Z6   | 42 STO 01    | 72 ARCL X |
| 13 *DELTA ?   | 43 *RADIO ?  | 73 AVIEW  |
| 14 PROMPT   | 44 PROMPT    | 74 STOP   |
| 15 STO 02   | 45 STO 04    | 75 RCL 02 |
| 16 *DIST ?-FI*  | 46 ADV       | 76 HR     |
| 17 PROMPT   | 47 ADV       | 77 2      |
| 18 STO 00   | 48 1145.32   | 78 /      |
| 19 *ANGUL ADTE. ?   | 49 X<>Y      | 79 STO 05 |
| 20 PROMPT   | 50 /         | 80 TAN    |
| 21 HR   | 51 STO 03    | 81 RCL 04 |
| 22 150  | 52 RCL 01    | 82 *      |
| 23 *  | 53 FIX 3     | 83 *ST=   |
| 24 STO Z1   | 54 *FI=      | 84 ARCL X |
| 25 7F<>S  | 55 ARCL X    | 85 AVIEW  |
| 26 STO 06   | 56 AVIEW     | 86 STOP   |
| 27 7F<>S  | 57 STOP      | 87 STO 06 |
| 28 RCL Z2   | 58 RCL 02    | 88 RCL 02 |
| 29 7F<>S  | 59 FIX 4     | 89 HR     |
| 30 STO Z1   | 60 *G=       | 90 20     |

|                    |            |                    |
|--------------------|------------|--------------------|
| 51 *               | 151 *CRF * | 211 AVIEW          |
| 92 RCL 03          | 152 ARCL X | 212 STOP           |
| 93 /               | 153 AVIEW  | 213 7PKS           |
| 94 *LC=*           | 154 STOP   | 214 RCL 08         |
| 95 ARCL X          | 155 RCL 08 | 215 CHS            |
| 96 AVIEW           | 156 -      | 216 7PKS           |
| 97 STOP            | 157 RCL 23 | 217 RCL 22         |
| 98 STO 07          | 158 *      | 218 *              |
| 99 RCL 05          | 159 00     | 219 RCL 02         |
| 100 SIN            | 160 /      | 220 HR             |
| 101 2              | 161 HNS    | 221 CHS            |
| 102 *              | 162 FIX 4  | 222 7PKS           |
| 103 RCL 04         | 163 *MCA*  | 223 RCL 00         |
| 104 *              | 164 ARCL X | 224 *              |
| 105 *C=*           | 165 AVIEW  | 225 +              |
| 106 ARCL X         | 166 STOP   | 226 RCL 00         |
| 107 AVIEW          | 167 HR     | 227 +              |
| 108 STOP           | 168 STO 20 | 228 STO 09         |
| 109 RCL 05         | 169 SIN    | 229 SIN            |
| 110 SIN            | 170 2      | 230 RCL 25         |
| 111 1/X            | 171 *      | 231 *              |
| 112 RCL 06         | 172 RCL 04 | 232 RCL 01         |
| 113 *              | 173 *      | 233 +              |
| 114 RCL 04         | 174 STO 21 | 234 *X=*           |
| 115 -              | 175 RCL 20 | 235 ARCL X         |
| 116 *E=*           | 176 COS    | 236 AVIEW          |
| 117 ARCL X         | 177 *      | 237 STOP           |
| 118 AVIEW          | 178 CHS    | 238 RCL 09         |
| 119 STOP           | 179 RCL 05 | 239 COS            |
| 120 RCL 01         | 180 +      | 240 RCL 25         |
| 121 RCL 06         | 181 1/X    | 241 *              |
| 122 -              | 182 RCL 20 | 242 RCL 02         |
| 123 *FC=*          | 183 SIN    | 243 +              |
| 124 ARCL X         | 184 *      | 244 *Y=*           |
| 125 AVIEW          | 185 RCL 21 | 245 ARCL X         |
| 126 STOP           | 186 *      | 246 AVIEW          |
| 127 STO 02         | 187 ATAN   | 247 STOP           |
| 128 RCL 07         | 188 X^0.7  | 248 7PKS           |
| 129 *              | 189 GTO 02 | 249 ADV            |
| 130 *PT=*          | 190 100    | 250 *CAD FSC EN E* |
| 131 ARCL X         | 191 +      | 251 PROMPT         |
| 132 AVIEW          | 192*LBL 02 | 252 RIN            |
| 133 STOP           | 193 HNS    | 253*LBL 14         |
| 134 STO 05         | 194 *AFI=* | 254*LBL E          |
| 135 RCL 08         | 195 ARCL X | 255 ADV            |
| 136 +              | 196 AVIEW  | 256 *ARCO=*        |
| 137 RCL 02         | 197 STOP   | 257 ARCL X         |
| 138 -              | 198 HR     | 258 AVIEW          |
| 139 STO 07         | 199 STO 22 | 259 STOP           |
| 140 RCL 03         | 200 SIN    | 260 RCL 23         |
| 141 1.5            | 201 1/X    | 261 *              |
| 142 *              | 202 RCL 20 | 262 00             |
| 143 STO 03         | 203 SIN    | 263 /              |
| 144 ADV            | 204 *      | 264 SIN            |
| 145 *CAD FSC EN E* | 205 RCL 21 | 265 RCL 04         |
| 146 PROMPT         | 206 *      | 266 *              |
| 147 RIN            | 207 STO 25 | 267 2              |
| 148*LBL 11         | 208 FIX 3  | 268 *              |
| 149*LBL 8          | 209 *BPI=* | 269 70SF3          |
| 150 ADV            | 210 ARCL X | 270 *TUSP=*        |

FALLA DE ORIGEN

|            |            |            |
|------------|------------|------------|
| 271 ARCL A | 231 /      | 291 AN     |
| 272 ANVIEW | 232 TAN    | 292 RTN    |
| 273 STOP   | 233 1/X    | 293 GIO 67 |
| 274 TDSFz  | 264 STO 20 | 294 EN     |
| 275 RTN    | 235 RCL 60 |            |
| 276*LBL 17 | 266 RCL 66 |            |
| 277*LBL c  | 297 -      |            |
| 278 STO 02 | 238 RCL 20 |            |
| 279 HR     | 283 *      |            |
| 280 ?      | 239 STO 04 |            |

Este programa es para la curva circular, y la calculadora necesita los datos siguientes:

xPI - Coordenada en "x" del punto de intersección de las tangentes.

yPI - Coordenada en "y" del punto de intersección de las tangentes.

SENTIDO - Sentido del quiebre de las tangentes, izquierda o derecha, cero o uno respectivamente.

DELTA - Angulo de deflexión de las tangentes.

DIST.PI-PI - Distancia entre puntos de intersección.

AZIMUT ADTE. - Azimut de la tangente adelante.

CAD.PI - Cadenamiento del punto de intersección.

RADIO - Radio de la curva circular.

Corriendo el programa, nos arrojará las siguientes respuestas en listado:

PI - Punto de intersección.

A - Delta

G - Grado de curvatura de la curva circular.

R - Radio de la curva circular.

ST - Subtangente

LC - Longitud de la curva circular.

C - Cuerda.

E - Externa.

PC - Punto donde comienza la curva circular simple.

PT - Punto donde termina la curva circular simple.

Para datos extras, se le puede llamar a la subrutina "B", que nos daría información de cualquier punto sobre la curva (PSC), solo tenemos que poner el dato del cadenamiento de ese punto y tendremos:

- APC** - Angulo de la tangente en ese punto con respecto al PC.  
**API** - Angulo de la tangente en ese punto con respecto al PI.  
**DPI** - Distancia de ese punto al PI.  
**x** - Coordenada de ese punto en "x".  
**y** - Coordenada de ese punto en "y".

Así por ejemplo tenemos:

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p> <b>PI ?</b><br/>           79.953.000 RUN<br/> <b>PI ?</b><br/>           78.215.000 RUN<br/> <b>SENTIDO ?</b><br/>           1.000 RUN<br/> <b>ELITE ?</b><br/>           39.450 RUN<br/> <b>DIR PI-PI</b><br/>           267.100 RUN<br/> <b>DIRUT. GTE. ?</b><br/>           325.150 RUN<br/> <b>CAE PI ?</b><br/>           72.339.000 RUN<br/> <b>CAE ?</b><br/>           57.300 RUN         </p> | <p> <b>PI=72.338.000</b><br/> <b>G=39.4500</b><br/> <b>G=79.9566</b><br/> <b>R=57.3000</b><br/> <b>PI=29.714</b><br/> <b>PI=79.753</b><br/> <b>PI=79.753</b><br/> <b>G=39.450</b><br/> <b>PI=72.317.286</b><br/> <b>PI=72.757.839</b> </p> | <p> <b>72.317.286 XEO 6</b><br/> <b>INC 72.317.286</b><br/> <b>APC=7.1995E-6</b><br/> <b>API=1.3983E-11</b><br/> <b>DPI=29.714</b><br/> <b>X=79.672.526</b><br/> <b>Y=78.203.885</b><br/> <b>CRD PSC EN 6</b> </p> |
|---|--|--|

Y con estos nuevos datos se traza el camino como lo muestra el plano de la página siguiente.

**FALLA DE ORIGEN**





cerecho

Entronque Hospital

K-53

K-54

$PI = 53+587.05$   
 $\Delta = 97^{\circ}29'00''$   
 $G = 1^{\circ}00'$   
 $R = 1,445.82 \text{ m}$   
 $SI = 93.04 \text{ m}$   
 $LC = 189.67 \text{ m}$

2

Stationing on Curve  
 $PI = 52+000.00$   
 $PI - 1 = 52+000.00$   
 $PI - 2 = 52+000.00$   
 $PI = 52+000.00$

Stationing on Curve  
 $PI = 52+000.00$   
 $PI - 1 = 52+000.00$   
 $PI - 2 = 52+000.00$   
 $PI = 52+000.00$

Stationing on Curve  
 $PI = 53+587.05$   
 $PI - 1 = 53+587.05$   
 $PI - 2 = 53+587.05$   
 $PI = 53+587.05$

Stationing on Curve  
 $PI = 53+587.05$   
 $PI - 1 = 53+587.05$   
 $PI - 2 = 53+587.05$   
 $PI = 53+587.05$

Stationing on Curve  
 $PI = 54+000.00$   
 $PI - 1 = 54+000.00$   
 $PI - 2 = 54+000.00$   
 $PI = 54+000.00$

1+100,000

1+200,000

1+300,000

1+100,000

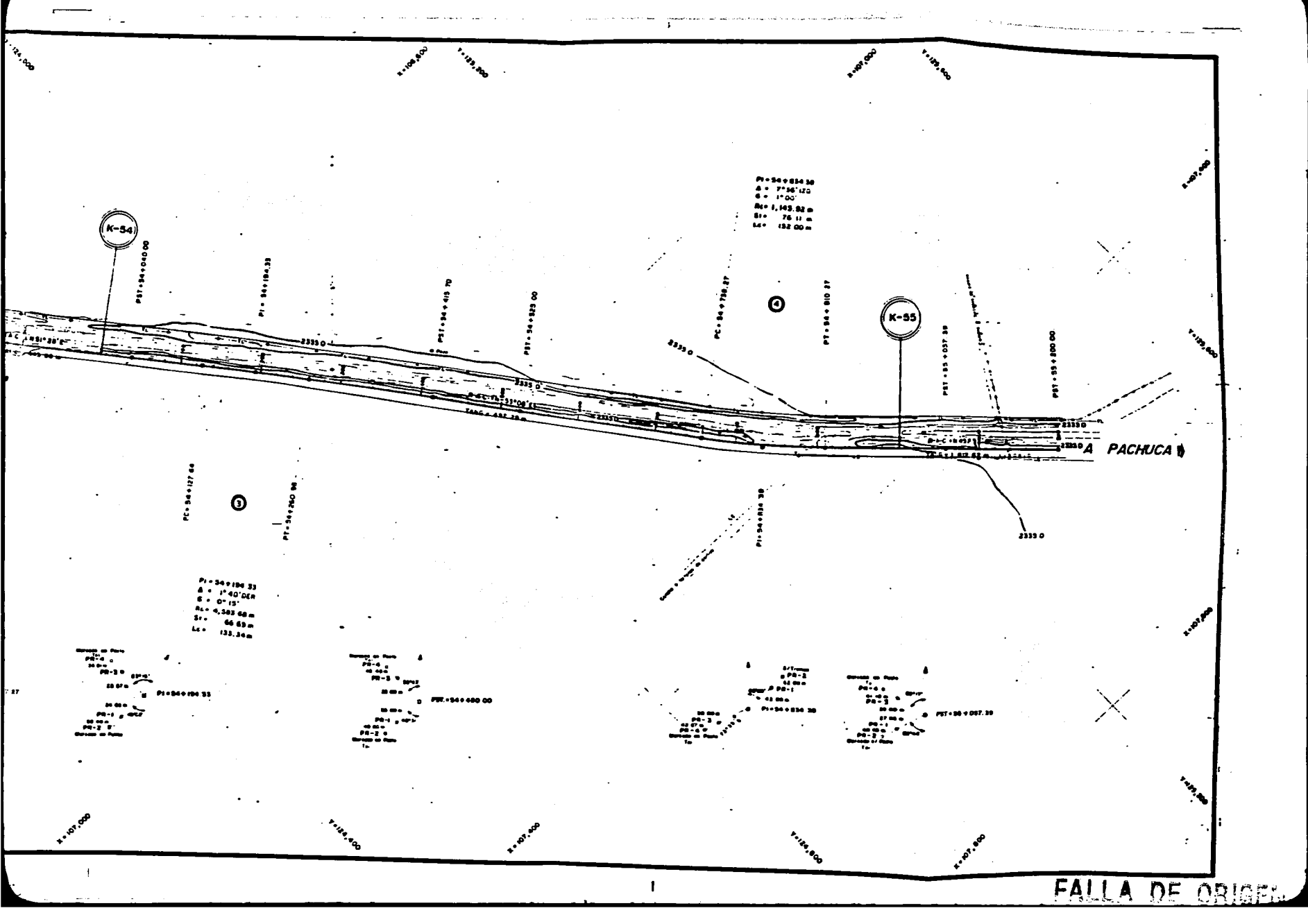
1+200,000

1+300,000

1+400,000

1+500,000

1+600,000



P1 = 54+854.38  
 Δ = 7°56'12.0  
 R = 17.00'  
 AL = 1,145.82 m  
 SL = 76.11 m  
 LC = 182.00 m

P1 = 54+194.33  
 Δ = 1°40'00.0  
 R = 0°15'  
 AL = 4,583.68 m  
 SL = 66.69 m  
 LC = 133.34 m

ESTACION DE PUNTO  
 P1 = 54+000.00  
 P2 = 54+000.00  
 P3 = 54+000.00  
 P4 = 54+000.00  
 P5 = 54+000.00  
 P6 = 54+000.00  
 P7 = 54+000.00  
 P8 = 54+000.00  
 P9 = 54+000.00  
 P10 = 54+000.00

ESTACION DE PUNTO  
 P1 = 54+000.00  
 P2 = 54+000.00  
 P3 = 54+000.00  
 P4 = 54+000.00  
 P5 = 54+000.00  
 P6 = 54+000.00  
 P7 = 54+000.00  
 P8 = 54+000.00  
 P9 = 54+000.00  
 P10 = 54+000.00

ESTACION DE PUNTO  
 P1 = 54+000.00  
 P2 = 54+000.00  
 P3 = 54+000.00  
 P4 = 54+000.00  
 P5 = 54+000.00  
 P6 = 54+000.00  
 P7 = 54+000.00  
 P8 = 54+000.00  
 P9 = 54+000.00  
 P10 = 54+000.00

ESTACION DE PUNTO  
 P1 = 54+000.00  
 P2 = 54+000.00  
 P3 = 54+000.00  
 P4 = 54+000.00  
 P5 = 54+000.00  
 P6 = 54+000.00  
 P7 = 54+000.00  
 P8 = 54+000.00  
 P9 = 54+000.00  
 P10 = 54+000.00

P1 = 54+000.00

FALLA DE ORIGEN

#### 4.3) SECCIONAMIENTO FOTOGRAMETRICO.

Para obtener los datos del terreno por fotogrametría se hace un seccionamiento fotogramétrico; para ello se orientan en un instrumento de primer orden, como el autógrafo A-7, con dispositivo de registro de coordenadas, las fotografías aéreas a escala 1:5000 y su control terrestre utilizado previamente, la planta a escala 1:1,000 que contiene los ejes principales y los de las intersecciones, con las secciones transversales a cada 20 m. y los ejes de la obra de drenaje. Las secciones intermedias correspondientes a quiebres del terreno se escogen del seccionamiento.

Una vez que se ha verificado numericamente la orientación absoluta del modelo, mediante las coordenadas instrumentales y terrestres de los puntos de control. La operación consiste en registrar ordenadamente, en listado y en las tarjetas o cinta, mediante las claves correspondientes, las coordenadas instrumentales del terreno sobre cada sección, en el eje y en los puntos de quiebre significativos. A continuación, las coordenadas instrumentales  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$ , de los puntos de quiebre registrados, son transformados, mediante computadora, al sistema de coordenadas terrestres, en seguida, en el mismo proceso, se transforman las coordenadas terrestres de los puntos de quiebre, al sistema convencional distancia-nivel de cada sección, referido al terreno en cada eje seccionado.

Como resultados de este proceso, se obtiene, para cada eje, el perfil longitudinal del terreno, por cadenamiento y elevación a cada 20 m. y en quiebres intermedios, mediante distancia y desnivel de cada punto de quiebre respecto al terreno en el eje, y para cada eje de obra de drenaje, su cadenamiento y esviaje, así como su perfil longitudinal, por distancia y elevación de cada punto de quiebre.

La precisión altimétrica teórica, de las mediciones fotogra

métricas del seccionamiento, es representada por un error estándar del orden de 0.15m. sin incluir el efecto de la vegetación.

Al comparar los perfiles y las secciones transversales del terreno obtenidos por fotogrametría, con los resultados de mediciones directas en el campo, se han hallado en general, discrepancias de ambos signos, con valores inferiores a 20 cm. en un 85% de los puntos, discrepancias de 20 a 30 cm. en un 10%, así como puntos aislados (5%) con diferencias aún mayores.

#### 4.4) ESTUDIO GEOTECNICO.

El estudio geotécnico se lleva a cabo después del alineamiento horizontal y antes del alineamiento vertical y del cálculo de terracerías.

El estudio tiene como tarea principal, informar de las condiciones de campo para el desplante del camino, así como todo lo que comprendería, bancos de material, obras de drenaje menor, etc.

Para realizar el estudio de algun tramo, se necesitan:

Las plantas definitivas, el perfil y en algunos casos las secciones transversales. Sin embargo no es necesaria la subrasante, porque de cualquier manera la información de este estudio podrá variar la subrasante preliminar.

El estudio geotécnico completo consta de:

- 1) Información general de la zona.
- 2) Tabla de datos de suelos con observaciones para su uso.
- 3) Datos de bancos de materiales.
- 4) Recomendaciones específicas para situaciones problema.
- 5) Perfil del terreno indicando mediante simbología el tipo del suelo en el terreno natural.
- 6) Capacidades de carga para obras menores de drenaje.
- 7) Obras complementarias de drenaje.

- 1) Información general de la zona.

Estos son los datos de topografía, geología, hidrología, climatología y datos complementarios que serían sociales, políticos y económicos. (\*)

- 2) Tabla de datos de suelos con observaciones para su uso.

Esta tabla se lleva a cabo con los datos obtenidos del trabajo que realiza un grupo que consta de aproximadamente consta de diez a doce personas y que usualmente se trata de un ingeniero supervisor, un geólogo, brecheros y los peones que hacen los sondeos, que pueden ser hasta seis paradas. ( cada parada es de dos peones, con pico y pala).

(\*) Ya mencionados en el inciso 2.3) FOTOINTERPRETACION.

Los sondeos a cielo abierto, se hacen excavando un pozo cuadrado, con dimensiones que dependen de las necesidades. En él se estudia el material existente en el terreno. (fig. 28.).

Los sondeos se van programando de acuerdo a las observaciones del terreno que indican cambios de tipos de suelo.

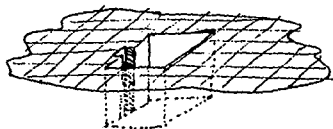


fig. 28.

El avance en la excavación indica también que profundidad será necesario estudiar. Se encontrará uno, dos y hasta tres estratos diferentes, el primero de un espesor de 20 a 30 cm., este estrato es casi siempre materia vegetal, de despalle (desperdicio), el segundo y tercero puede ser material para usarse en el camino dependiendo de su clasificación la que debe constar de:

- Granulometría.
- Plasticidad. Límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad. Expansión y contracción.
- Valor relativo de soporte estándar.
- Peso volumétrico seco (suelto y máximo). Compactación y control de calidad.
- Valor relativo de soporte modificado: 90%, 95%, y 100%.
- Densidad del material.

El valor relativo de soporte (v.r.s.) estándar, es un indicador de la calidad del material en su estado natural. ( Compactado 100% ).

En la Secretaría de Obras Públicas (S.O.P.), califican el v.r.s. según la calidad del material de 1 a 140%, así por ejemplo tenemos:

- Gravas, arenas producto de trituración total de mantos de roca (basaltos, riolitas, granitos, etc.) v.r.s.- 100-140%
- Tezontle. v.r.s.- 80-120%
- Gravas, arenas de río trituradas parcialmente. v.r.s.- 70-110%.
- Arenas. v.r.s.- 30-60%.

- Arenas. v.r.s.- 30-60%.
- Arcillas de buena calidad. v.r.s.- 15-20%.
- Arcillas de mala calidad. v.r.s.- 1-10%.

### 3) Datos de bancos de materiales.

Se buscarán y se determinará toda la información para su uso en el camino, estos datos son iguales a los de la tabla de datos de suelos, con unas diferencias:

El valor relativo de soporte será el modificado, teniendo que especificar el uso que se le dará en el terraplén.

fig. 29.

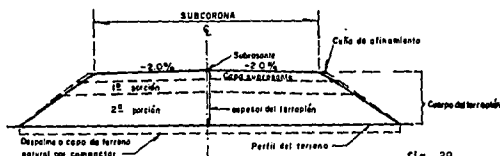


fig. 29.

Se dará su ubicación con respecto a la línea del camino. Se especificará el volumen utilizable de material del banco, y en general se tomarán en cuenta estas características que debe reunir:

- Calidad
- Cercanía al camino. (acceso).
- Volumen.
- Que no tenga complicaciones legales. (inestados, ejidatarios, etc).

Se recomienda que para asegurar la uniformidad del estudio de los bancos de material se hagan sondeos por cada 5,000 m<sup>3</sup> de material.

### 4) Recomendaciones específicas para situaciones problema.

El grupo de geotecnia, propondrá y recomendará soluciones a características problemáticas especiales del camino.

Por ejemplo:

- Pantanos o zonas inundables.

Se recomienda:

- 1.- Elevar la rasante 1 m arriba del Nivel de aguas máximo ex traordinario. (n.a.m.e.).
- 2.- Construir bermas o taludes tendidos.



### 3.- Incrustación bajo el terraplén.

- O el caso de programar un estudio de mecánica de suelos o geosísmico, etc.

5) Perfil del terreno indicando mediante simbología el tipo de suelo del terreno natural. (fig.)

6) Capacidades de carga para obras menores de drenaje.

- Relación de los posibles puntos en donde debía construirse una obra menor de drenaje.

- Se complementa con la capacidad de carga del terreno.

Obras con claro menor de 3 m. se desplantan a: -0.50m a -0.75m.

Obras con claro mayor de 3 m y menor de 6 m. a: -0.75 a

-1.00m.

7) Obras complementarias de drenaje.

Se recomiendan:

Bermas, cunetas, contracunetas, subdrenes, bordillos, lavaderos, etc.

Estos incisos se complementan en la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (S.A.H.O.P.) con unas formas que contienen los datos específicos y técnicos del material encontrado, en los bancos de material, datos de recomendaciones de cimentación para obras de drenaje menor y datos para el cálculo de la curva masa en el subtramo determinado por la forma.

AUTOPISTA : MEXICO-PACHUCA  
TRAMO : MEXICO-PACHUCA  
SUBTRAMO : TECAMAC-PACHUCA  
ORIGEN : MEXICO, D.F.

- A.- Material cuya calidad no le permite ser usado en la construcción de las terracerías.
- B.- Material cuya calidad le permite ser usado en la construcción del cuerpo del terraplén, capa de transición y capa subrasante.
- C.- En cortes practicados en este material proyéctese capa subrasante de 0.30 m de espesor, con material adecuado proveniente del banco de préstamo más cercano y compactado al 100% de su peso volumétrico seco máximo.
- D.- En cortes practicados en este material proyéctese capa subrasante de 0.30 m de espesor, escarificando y recompactando el material del lugar al 100% de su peso volumétrico seco máximo.

OBSERVACIONES GENERALES PARA TODO EL TRAMO.

- E.- Primeramente se deberá proceder a la limpieza desmonte y desearce del área de cortes terraplenes y zonas de banco.
- F.- De acuerdo con el tipo de camino, las terracerías deberán estar formadas de la siguiente manera: cuerpo de terraplén compactado a 90%, capa de transición de 0.50 m de espesor compactada a 95% y la capa subrasante de 0.50 m compactada a 100% de su peso volumétrico seco máximo.
- G.- Dadas las características del camino, no se podrán ubicar préstamos paralelos dentro del derecho de vía sino que el material necesario para la construcción de las terracerías deberá provenir de banco.

S. A. H. O. P.  
 DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES  
 DEPARTAMENTO DE PROYECTOS  
 OFICINA DE GEOTECNIA

CARRETERA \_\_\_\_\_ MEXICO - PACHUCA  
 TRAMO \_\_\_\_\_ TECALAC - PACHUCA  
 SUB TRAMO \_\_\_\_\_ TECALAC - ENTRONQUE TIZAYUCA  
 ORIGEN \_\_\_\_\_ MEXICO, D.F.

RECOMENDACIONES PARA CIMENTACION DE OBRAS MENORES DE DRENAJE

| UBICACION<br>K.m. | TIPO DE OBRA Y<br>DIMENSIONES (m) | MATERIAL SOBRE EL QUE SE EFECTUARA EL DESPLANTE | ALTURA DEL<br>TERRAPLEN<br>(m) | PROFUNDIDAD<br>DE<br>DESPLANTE | CAPACIDAD<br>DE CARGA<br>Ton/m <sup>2</sup> | TIPO DE<br>ARRASTRE | OBSERVA<br>CIONE! |
|-------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|---|---------------------|-------------------|
| 30*455.32         | L 2.00 x 1.00                     | Toba andesitica intemperizada ( Rio )           |                                | 0.50                           | 20  | arena               | a                 |
| 31*220.00         | L 1.00 x 0.75                     | " " " "   |                                | 0.50                           | 20  | "                   | a                 |
| 32*010.00         | L 6.00 x 4.50                     | " " " "   |                                | 0.50<br>1.00                   | 20<br>25                                    | "                   | a                 |
| 32*671.27         | L 1.00 x 1.00                     | " " " "   |                                | 0.50                           | 20  | "                   | a                 |
| 32*851.00         | L 1.00 x 1.00                     | " " " "   |                                | 0.50                           | 20  | "                   | a                 |
| 33*341.00         | L 1.00 x 1.00                     | " " " "   |                                | 0.50                           | 20  | "                   | a                 |
| 33*169.40         | L 1.00 x 1.00                     | " " " "   |                                | 0.50                           | 20  | "                   | a                 |
| 34*255.50         | L 4.00 x 2.50                     | " " " "   |                                | 0.50<br>1.00                   | 20<br>25                                    | "                   | a                 |
| 34*573.18         | L 2.00 x 1.00                     | " " " "   |                                | 0.50                           | 20  | "                   | a                 |
| 35*034.10         | L 4.00 x 1.50                     | " " " "   |                                | 0.50                           | 20  | "                   | a                 |
| 35*418.43         | L 1.00 x 1.00                     | " " " "   |                                | 0.50                           | 20  | "                   | a                 |
| 35*747.03         | L 3.00 x 2.00                     | " " " "   |                                | 0.50                           | 20  | "                   | a                 |
| 37*280.00         | L 1.00 x 1.00                     | " " " "   |                                | 0.50                           | 20  | "                   | a                 |
| 38*086.00         | L 1.00 x 1.00                     | " " " "   |                                | 0.50                           | 20  | "                   | a                 |

OBSERVACIONES : a) Proyectese dentellón de 0.75 m de profundidad tanto a la entrada como a la salida de la obra, así como el zampando entré ellos.

L- LOSA      B- BOVEDA      C- CAJON      T- TUBO

FALLA DE ORIGEN





#### 4.5. ) PROYECTO DE OBRAS DE DRENAJE.

El drenaje de caminos, es de importancia capital para su conservación

Existen dos tipos de drenaje: superficial y subterráneo. El primero desaloja el agua pluvial, que escurre por ríos y arroyos así como la que proviene de inundaciones. El drenaje subterráneo evita que la capa freática alcance por capilaridad la estructura del camino o bien evite la humedad del suelo.

El drenaje se considera como transversal, se compone de obras menores como las alcantarillas de tubo, de losa apoyada en estribos, bovedas de medio punto, etc., y otros tipos de obra como: puentes, sifones, etc.,. El drenaje superficial longitudinal se compone de cunetas, contracunetas, bombeo de corona del camino, cajas de entrada, desarenadores, lavaderos, etc.

Las estructuras con claros menores de 6 m. se denominan alcantarillas u obra de arte. El estudio de cada obra de arte, comprende: su localización, análisis de área hidráulica, secciones transversales, elevaciones de fondo, pendiente y proyecto de construcciones.

Las alcantarillas generalmente en la parte más baja de los ríos, arroyos, etc., conservan el ángulo de esviaje de la corriente con respecto a la línea, del eje del camino se trazan sin buscar el cruce a  $90^\circ$  o como se conoce, normal al eje del camino, por una economía equivocada o facilidad, excepto en esviajes menores de  $10^\circ$  se proyectarán obras normales. El esviaje es el ángulo que forma la normal al eje del camino y al eje de la obra, el sentido será el que recorra la normal para llegar al eje de la obra. fig. 30.

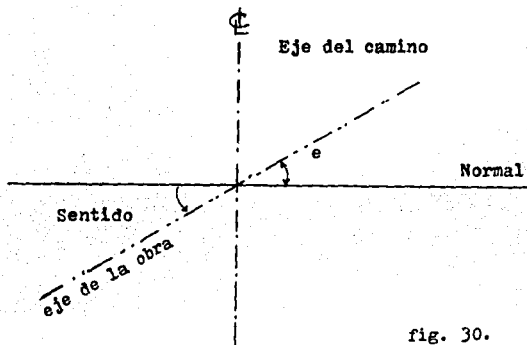


fig. 30.

Las alcantarillas de alivio, son obras que sirven para desalojar el agua de las cunetas cuando son muy largas y por lo general su espaciamiento es de 300 a 500 mts. aprovechandose los puntos más bajos. Cuando se trate de cruzar la línea con un canal, no es raro que sea más económico proyectar un sifón que elevar la rasante un poco en un pequeño tramo.

El análisis hidráulico de las alcantarillas se lleva acabo, generalmente por el método empírico, método de sección y pendiente o el método racional, teniendo como dato la precipitación pluvial. Algunas veces se aprovechan otros datos en forma comparativa, adaptando una alcantarilla construida que haya dado buen servicio.

El método empírico, utiliza una fórmula que sirve para alcanzar el área por drenar tomando en cuenta las características de la cuenca.

El procedimiento de sección y pendiente, se utiliza cuando el cauce del arroyo está bien definido y se encuentran huellas de avenidas máximas, y como su nombre lo indicá, se reduce a obtener la sección transversal y la pendiente para calcular el gasto en -

función de la rugosidad del cauce. Encontrando el gasto se proporcionarán las dimensiones de la obra de arte.

El procedimiento racional, mediante la precipitación pluvial se emplea cuando se tienen datos de precipitación, calculándose el escurrimiento máximo probable en función de la máxima intensidad de precipitación pluvial y de las características de la cuenca.

#### Procedimiento empírico.

La fórmula que se emplea y la que mejores resultados dá, es la fórmula de Talbot.

$$a = 0.183 C^4 \sqrt{A^3}$$

En la que:

- a = Area hidráulica que debiera tener la alcantarilla.
- A = Superficie por drenaje en Has.
- C = Coeficiente que depende de las condiciones topográficas del cauce.

Una vez que se ha proyectado el camino, su alineamiento horizontal y vertical; se procede a estudiar la solución del drenaje.

#### Método de sección y pendiente.

Se desarrolla este método, por considerarlo un procedimiento muy sencillo y que nos proporciona datos cerca de la realidad.

El cauce debe llenar las siguientes condiciones: que la pendiente sea lo más uniforme posible, que el tramo en donde se va a hacer la medición, sea lo más recto, que el fondo sea impermeable para impedir filtraciones, etc.

Se efectúa en seguida un levantamiento topográfico a orillas del río o arroyo, éste será una poligonal abierta por el método de deflexiones. Se nivela el tramo de aforo, una vez nivelado, -



se obtienen las secciones transversales del cauce.

La separación entre sección y sección será de 1.5 veces el ancho de la corriente como mínimo. La pendiente del fondo se supondrá la del agua en el perfil por el eje del cauce. fig. 31.

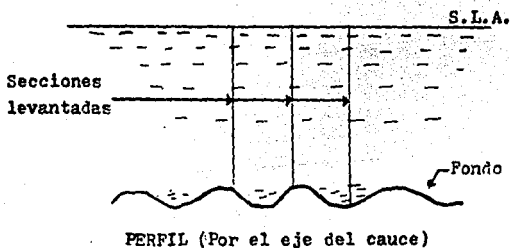
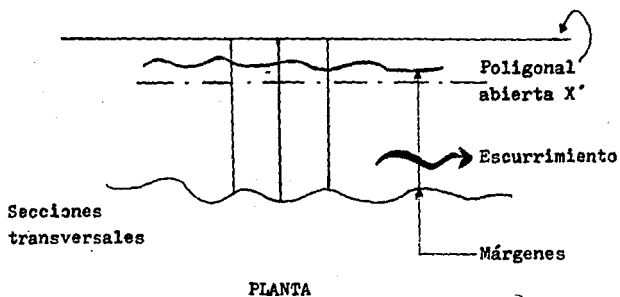


fig. 31.

**Cálculo.-** Se escoge una de las márgenes como origen, para sobreponer todas las demás secciones, haciendo coincidir la superficie del agua (S.L.A.), quedando un haz de secciones para determinar una "sección transversal media", y con la ayuda de un planímetro, se calcula el área de la sección media y se procede a calcular el gasto en la siguiente forma:

$Q = Av$  fórmula de la continuidad

$V = c\sqrt{Rs}$  fórmula de Chezy (aplicable a regimen laminar)

En donde:

$C =$  coeficiente de velocidad

$R =$  radio hidráulico

$R = \frac{A}{P} = \frac{\text{Área hidráulica}}{\text{Perímetro mojado}}$

$S =$  pendiente hidráulica ( la de agua en el perfil de agua)

Si sustituimos en la formula de Chezy el coeficiente propuesto por MANNING, obtenemos una de las formulas más usuales en hidráulica.

$$C = \frac{R^{1/6}}{N} \sqrt{RS} = \frac{R^{1/6} R^{1/2} S^{1/2}}{N} = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{N}$$

$N =$  Coeficiente de rugosidad

En seguida escribiremos de los coeficientes propuestos por algunos de los experimentadores.

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} \frac{0.00155}{S}}{1 + \frac{n}{R} \frac{0.00155}{S}}$$

La fórmula anterior para determinar el coeficiente fue propuesta por Nguiet y Kutter, esta fórmula es poco ó casi nunca usada, pues dá valores fuera de la realidad.

$$C = \frac{100 \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \quad \text{Coeficiente simplificado de Kutter}$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{d}{\sqrt{R}}} \quad \begin{array}{l} \text{Coeficiente de Bazin} \\ d \text{ coeficiente de rugosidad} \end{array}$$

$$C = \sqrt{\frac{1000}{0.12 + \frac{f}{\sqrt{R}}}} \quad \begin{array}{l} \text{Coeficiente de BIEL} \\ f \text{ coeficiente de rugosidad} \end{array}$$

Los coeficientes de rugosidad son constantes para las diferentes adiciones, precisamente de rugosidad del cauce, en cualquier tratado de hidráulica se especifican y se obtienen estos valores. Ahora si el área de las secciones transversales varía una con respecto a las otras más del 10%, entonces se considera que el régimen no es permanente sino turbulento y se aplicará la siguiente fórmula debida al ilustre ingeniero mexicano, Ricardo Toscano.

$$Q = \sqrt{\frac{1}{A_n^2} - \frac{1}{A_1^2} + \frac{2ge}{C^2} \left( \frac{P_1}{A_1^3} + \frac{P_2}{A_2^3} + \frac{P_3}{A_3^3} + \dots + \frac{P_n}{A_n^3} \right)}$$

En donde:

$A_n$  = Última área

$A_1$  = Primera área

$H$  = Desnivel entre la primera y la última sección

$e$  = Equidistancia entre secciones

$P$  = Perímetro mojado

$C$  = Coeficiente de rugosidad

$G$  = Aceleración de la gravedad

$$C = 34 \left( 1 + \frac{R}{4} \frac{0.03}{R} \right) \quad \begin{array}{l} \text{Coeficiente de rugosidad propuesto} \\ \text{por Manning.} \end{array}$$

Conocido el volumen de escurrimiento  $Q$ , se suponen las dimensiones de la alcantarilla, generalmente de claro más chico que el ancho del cauce. Y la altura mayor que el tirante fijado por el - N.A.M.E.

#### Alcantarilla de tubo.

Es evidente que el proyecto geométrico de las alcantarillas - no requiere de conocimientos avanzados, pero si es muy recomendable tener claro su procedimiento de cálculo, pues esto puede significar un factor de economía en el proyecto general del camino.

En la práctica no se siguen procedimientos matemáticos para - calcular las dimensiones de la alcantarilla sino que proyectada la rección del eje de la obra, se proyecta la cama del camino y por - medio de proyecciones ortogonales se sigue su diseño, procurando - dar vista del perfil de la obra (corte longitudinal), vista de - planta y transversal para proporcionar todos los datos de construcción de la obra, cabe también hacer resaltar, que las alcantarillas de tubo generalmente se proyectan para areas hidráulicas por drenar pequeñas.

La pendiente máxima según el perfil de la obra es de 30%, de donde se deduce que es muy conveniente para zonas abruptas. Los - colchones sobre los tubos son variables con un mínimo de 45 cm. para casos extraordinarios, siendo más convenientes de 60 cm. y evitar de esta manera los efectos devastadores de impacto, el colchón máximo no tiene límites pues llega un momento en que no todo el terraplén encima del tubo se considera como carga, además las casas constructoras dan datos acerca del calibre de los tubos para diferentes espesores del colchón.

En nuestros días es muy aceptado el tubo de fierro, fabricado en tramos de 1m. o menos aproximadamente y unido por medio de grapas, hay que tener cuidado en el proyecto de estos tubos, la longitud, sobre todo debido al esviaje para calcular un número de tra

mos cerrados, ya que no se pueden cortar. La S.O.P. proporciona a las compañías constructoras estos proyectos, en ellos, se indican algunas de las especificaciones más importantes para su construcción y así como los niveles que fijados en trompos con tachuelas se encuentran en el terreno para su trazo y construcción.

#### Losas.

La elección de las alcantarillas de losa, queda supeditada a la forma del cauce en donde naturalmente se tienen áreas por drenar mayores que en las alcantarillas de tubo, además, la capacidad de carga del terreno es mediana y la variación de los colchones sobre la obra varía hasta un colchón máximo de 6 mts., pues para colchones mayores estas obras no resultan económicas. En la práctica para colchones hasta de dos mts. se acostumbra este tipo de alcantarillas y para colchones mayores se acostumbra más bien la bóveda.

Las pendientes máximas recomendadas son del 10% (cuando la pendiente del fondo del cauce es grande se recomienda enladrillar las obras, o bien, se busca un esviaje que disminuya la pendiente y que no cambie bruscamente la dirección del escurrimiento.

En la práctica, el diseño de losas es muy sencillo, por medio de la proyección ortogonal. El cálculo estructural ya viene tabulado en tablas de la Secretaría de Obras Públicas (S.O.P.), una vez conocida la luz de la obra por proyectar.

#### Bóvedas.

La elección de las alcantarillas de bóvedas, queda supeditada a las siguientes recomendaciones: generalmente se proyectan por áreas hidráulicas por drenar de medianas dimensiones y algo encajonadas, de pendiente máxima que se propone según un perfil por el eje de la obra es de 10%. Este tipo de obra de arte resulta muy eficiente para soportar grandes colchones, se ha podido ob

servar que varían desde un mínimo de 2,00mts. hasta 20.00mts. no se tienen colchones menores de 2.00mts. para no tener problemas de tipo estructural, pues tendría que ser considerado el impacto. Para un colchón mayor de tres veces la luz de una obra se puede aceptar la teoría del efecto de arco, considerando que la obra carga únicamente 3L, por esta razón se tienen tan grandes terraplenes sobre este tipo de obras. Como para soportar fácilmente grandes cargas, es requisito tener terrenos de buena capacidad de carga en los desplantes.

#### 4.6) PROYECTO ALINEAMIENTO VERTICAL.

La subrasante es la línea de referencia que define el alineamiento vertical. La posición de la subrasante depende principalmente de las características que muestra la foto de la zona atravesada, pero existen otros factores que deben considerarse también.

Hay ciertas normas que considerar en el alineamiento vertical.

- 1).- La condición topográfica del terreno influye en diversas formas al definir la subrasante.
- 2).- Una subrasante suave con cambios graduales es consistente con el tipo de camino y el carácter del terreno, a este tipo de proyecto debe dársele preferencia, en lugar de uno con numerosos quiebres y pendientes en longitudes cortas.
- 3).- Deben evitarse vados formados por curvas verticales muy cortas, pues el perfil resultante se presta a que condiciones de seguridad y estética sean pobres.
- 4).- Debe evitarse que entre dos curvas verticales sucesivas y con la misma dirección exista una tangente vertical muy corta, - particularmente en columpios.
- 5).- Un perfil escalonado es preferible a una sola pendiente sostenida, porque permite aprovechar el aumento de velocidad previo al ascenso y el correspondiente impulso.
- 6).- Cuando la magnitud del desnivel a vencer o la limitación del desarrollo motiva largas pendientes uniformes, de acuerdo a las características previsibles del tránsito, puede convenir adoptar un carril adicional en la sección transversal.

7).- Los carriles auxiliares de ascenso también deben ser considerados donde la longitud crítica de la pendiente está excedida y donde el volumen horario de proyecto excede del 20% de la capacidad de diseño.

8).- Si se trata de salvar desniveles apreciables, bien con pendientes escalonadas o largas pendientes uniformes, deberá procurarse disponer las pendientes más fuertes al comenzar el ascenso.

9).- Donde las intersecciones a nivel ocurren en tramos de caminos con pendientes de moderadas a fuertes, es deseable reducir la pendiente a través de la intersección, este cambio en el perfil es benéfico para todos los vehículos que den vuelta.

Los alineamientos horizontal y vertical no deben ser considerados independientes en el proyecto, pues se complementan el uno al otro. También hay ciertas normas que hay que considerar, podemos citar una de ellas por ejemplo:

No deben proyectarse curvas horizontales forzadas en o cerca de una cima, o de una curva vertical en cresta pronunciada, ya que esta condición es peligrosa, pues el conductor no puede percibir el cambio en el alineamiento horizontal, especialmente en la noche, y así podemos citar otra que dice:

La curva y la pendiente deben estar balanceadas. Las tangentes o las curvas horizontales suaves en combinación con pendientes fuertes o largas, o bien una curvatura horizontal excesiva con pendientes suaves, corresponden a diseños pobres.

El alineamiento vertical se compone de tangentes y de curvas al igual que el alineamiento horizontal.

Las tangentes se caracterizan por su longitud y su pendiente



y están limitadas por dos curvas sucesivas y su longitud se mide horizontalmente. Siendo la pendiente de la tangente a la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma.

Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le llama P.I.V.

**Pendiente máxima:** Es la mayor pendiente que se permite en el proyecto y queda determinada por el volumen y la composición del tránsito previsto y la configuración del terreno.

Esta se empleará cuando convenga desde el punto de vista económico para salvar ciertos obstáculos locales como: cantiles, fallas y zonas inestables siempre y cuando no rebase la longitud crítica.

RELACION ENTRE PENDIENTE MAXIMA Y VEL: DE PROYECTO. (Km/hr).

| Tipo de terreno | % en pendiente máxima para diversas velocidades de proyecto, (Km/hr). |    |    |    |    |     |     |
|-----------------|---|----|----|----|----|-----|-----|
|                 | 50  | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
| plano.          | 6   | 5  | 4  | 4  | 3  | 3   | 3   |
| lomerio.        | 7   | 6  | 5  | 5  | 4  | 4   | 4   |
| montañoso.      | 9   | 8  | 7  | 7  | 6  | 5   | 5   |

**Pendiente mínima:** Esta se fija para permitir el drenaje. En los terraplenes puede ser nula, en los cortes se recomienda 0.5 % mínimo para que las cunetas funcionen bien.

**Longitud crítica de una tangente del alineamiento vertical** es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá de un límite previamente establecido.

### CURVAS VERTICALES.

Son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. El punto común de una tangente y una curva vertical en el inicio de ésta, se representa como PCV y como PTV el punto común de la tangente y la curva al final de ésta. fig. 32.

La condición que se considera óptima para la conducción de un vehículo, corresponde a un movimiento cuyo componente horizontal de la velocidad sea constante.

$$V_x = \frac{dx}{dt} = C_1$$

por lo que la componente horizontal de la aceleración:

$$a_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

Si llamamos  $U$  a la velocidad del vehículo al entrar a la curva, se tendrá que para  $t=0$ ,  $V_x = U_x$ , por lo que:

$$U_x = \frac{dx}{dt}$$

integrando:

$$x = U_x t + C_2$$

si  $t=0$ ,  $x=0$  y  $C_2=0$ , por lo que  $t = \frac{x}{U_x}$

por otra parte:  $a_y = \frac{dV_y}{dt} = -g$

despejando  $dV_y$  e integrando:  $V_y = -gt + C_3$

si  $t=0$ ,  $V_y = U_y$  y  $C_3 = U_y$ , por lo que:

$$V_y = \frac{dV_y}{dt} = -gt + U_y$$

integrando:

$$y = -\frac{gt^2}{2} + U_y t,$$

como:

$$t = \frac{x}{U_x}$$

$$y = -\frac{Kx^2}{2U_x^2} + \frac{U_y x}{U_x}$$

pero:

$$\frac{U_y}{U_x} = P$$

en donde P es la pendiente de la tangente de entrada y:

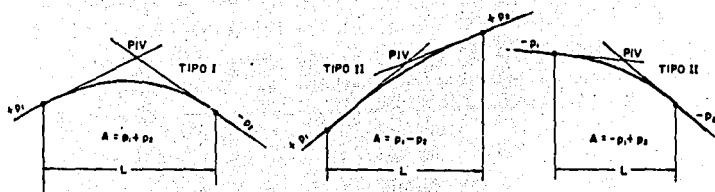
$$-\frac{K}{2U_x^2} = K \quad \text{en donde K es una constante.}$$

por lo que:

$$y = Kx^2 + Px$$

Que precisamente es la ecuación de una parábola que es la recomendada para emplearse en las curvas verticales. Estas curvas pueden tener concavidad hacia arriba o hacia abajo, llamándose curvas en columpio o en cresta respectivamente. fig. 33 y fig. 34.

CURVAS VERTICALES EN CRESTA.



$$A = p_1 + p_2$$

$$A = p_1 - p_2$$

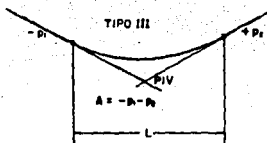
$$A = -p_1 + p_2$$

TIPO I

TIPO II

TIPO III

fig. 33.



$$A = -P_1 - P_2$$

TIPO IV

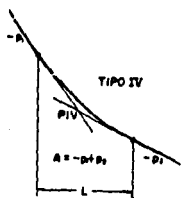
P1 Pendiente de entrada.

P2 Pendiente de salida.

A Diferencia de pendiente.

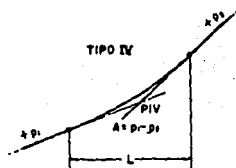
L Longitud de la curva.

K Variación de longitud por unidad de pendiente:  $K \frac{L}{A}$



$$A = -P_1 + P_2$$

TIPO V



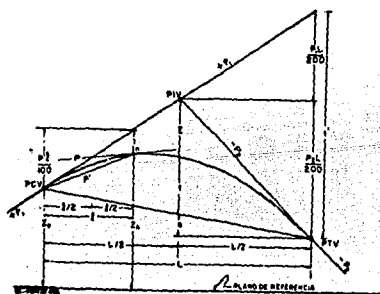
$$A = P_1 - P_2$$

TIPO VI

fig. 34. CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO.

SIENDO ESTOS LOS ELEMENTOS DE LAS CURVAS VERTICALES.

- PIV Punto de intersección de las tangentes.  
 PGV Punto en donde empieza la curva vertical.  
 PTV Punto donde termina la curva vertical.  
 n Punto de cualquiera sobre la curva.  
 P1 Pendiente de la tangente de entrada en %.  
 P2 Pendiente de la tangente de salida en %.  
 P Pendiente en un punto cualquiera de la curva en %.  
 P' Pendiente de una cuerda a un punto cualquiera en %.  
 A Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y la de salida.  
 L Longitud de la curva.  
 E Externa.  
 f Flecha.  
 l Longitud de curva a un punto cualquiera.  
 t Desviación respecto a la tangente de un punto cualquiera.  
 K Variación de longitud por unidad de pendiente.  $K = l/A$   
 Zo Elevación del PCV.  
 Zn Elevación de un punto cualquiera.



LAS CURVAS VERTICALES

fig. 32.

#### 4.7) SECCION TRANSVERSAL o GEOMETRIA DE SECCIONES:

Se define como un corte vertical normal al alineamiento horizontal en punto cualquiera del camino.

Los elementos que integran y definen la sección transversal son:

La corona, la subcorona, las cunetas y contracunetas, los taludes y las partes complementarias fig. 35.

**La Corona.** Los elementos que definen la corona son la rasante, la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos. Y la podemos definir como la superficie del camino terminado que queda comprendido entre los hombros del camino, o sean las aristas superiores de los taludes del terraplén y/o las interiores de las cunetas.

**Rasante.** Es la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino.

**Pendiente Transversal.** Se define como la pendiente que se da a la corona normal con el eje según su relación en los elementos del alineamiento horizontal se presentan tres casos:

- 1) Bombeo.
- 2) Sobreelevación.
- 3) Transición del bombeo o la sobreelevación.

**Bombeo.** Es la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno y otro lado de la rasante del agua sobre el camino.

**Sobreelevación.** Es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en la curva del alineamiento horizontal.

Para ilustrar esto se toma por cierta la siguiente expresión para calcular la sobreelevación necesaria en una curva circular:

$$S_e = 0.00785 \frac{V^2}{R} - \lambda$$

en donde:

$S_{\text{m}}$  = Sobreelevación, en valor absoluto.

$V$  = Velocidad del vehículo, en km/h.

$R$  = Radio de la curva, en m.

$\mu$  = Coeficiente de fricción lateral.

Con la expresión anterior puede calcularse la sobreelevación necesaria para que no deslice un vehículo que circula por la curva a una velocidad dada; sin embargo, algunas problemas relacionados con la construcción, operación y conservación de la carretera, han mostrado la necesidad de fijar una sobreelevación máxima, admitiéndose cuatro valores. Se usa una sobreelevación máxima de 12% en aquellos lugares en donde no existen heladas ni nevadas y el porcentaje de vehículos pesados en la corriente de tránsito es mínimo; se usa 10% en los lugares en donde sin haber nieve o hielo se tiene un gran porcentaje de vehículos pesados; se usa 8% en las zonas en donde las heladas o nevadas son frecuentes y finalmente, se usa 6% en las zonas urbanas.

Una vez fijada la sobreelevación máxima, el grado máximo de curvatura queda definido para cada velocidad mediante la aplicación de la expresión anterior; de ella expresando el radio en función del grado, se tendrá:

$$G_{\text{max}} = \frac{146,000(\mu + S_{\text{max}})}{V^2}$$

Substituyendo en esta expresión los valores del coeficiente de fricción lateral ( $\mu$ ) dados en la fig. de coeficientes para diferentes velocidades, y con la sobreelevación máxima que se considere pueden encontrarse los grados máximos de curvatura para la velocidad de cada proyecto. Ver la fig que indica los grados máximos de curvatura. fig. 36.



FALLA DE ORIGEN

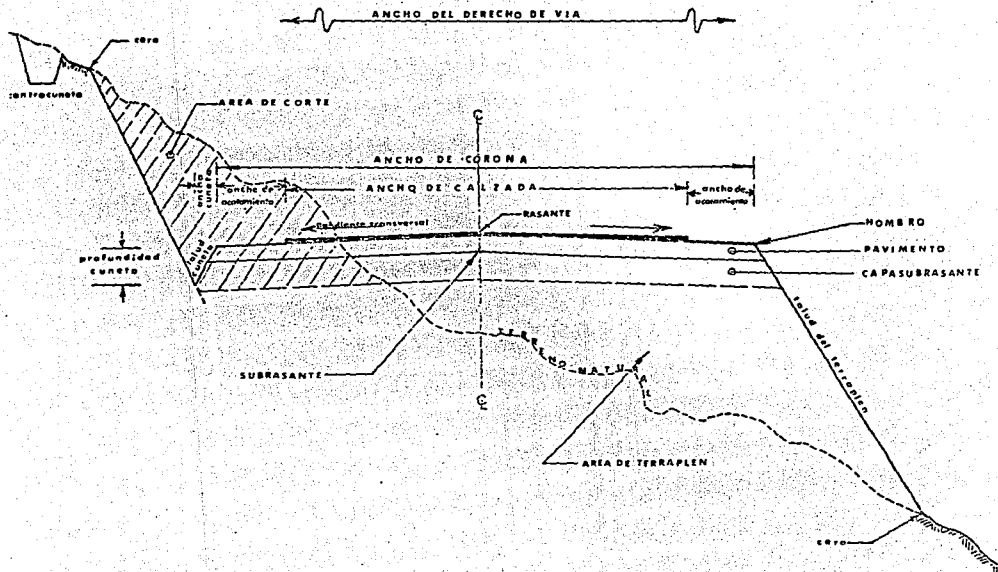


fig. 35. SECCION TRANSVERSAL TIPICA EN UNA TANGENTE DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL

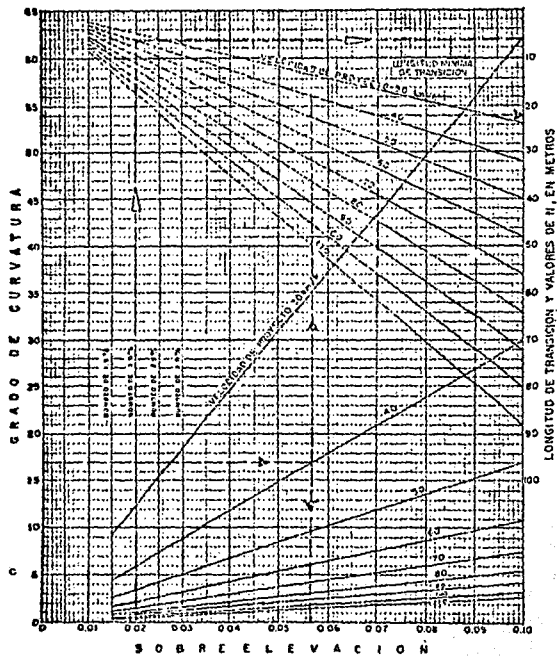


fig. 36. SOBREELEVACIONES Y LONGITUDES DE TRANSICION PARA SOBREELEVACION MAXIMA DE 10%

FALLA DE ORIGEN

Esta última figura que es una tabla que indica los grados máximos de curvatura para unas sobreelevaciones y longitudes de transición para sobreelevación máxima de 10 %, y esto para cada velocidad de proyecto.

Cuando la curva circular no tiene espirales de transición, la transición de la sobreelevación puede efectuarse sobre las tangentes contiguas a la curva; sin embargo, esta solución tiene el defecto de que al dar la sobreelevación en las tangentes se obliga al conductor a mover el volante de su vehículo en sentido contrario al de la curva para no salirse del camino. Se ha determinado empíricamente que las transiciones pueden introducirse dentro de la curva circular hasta en un 50 % siempre que por lo menos la tercera parte de la longitud de la curva quede con sobreelevación completa.

FALTA PAGINA No.

115

#### 4.8) PROYECTO DE LA SUBRASANTE Y CALCULO DE LOS MOVIMIENTOS DE TERRACERIAS.

Generalidades. El costo de construcción parte integrante de los costos en que se basa la evaluación, está gobernado por los movimientos de terracerías. Esto implica una serie de estudios que permitan tener la certeza de que los movimientos a realizar sean los más económicos, dentro de los requerimientos que el tipo de camino fija.

La subrasante a la que corresponden los movimientos de terracerías más económicos se le conoce como subrasante económica, siendo esta la que ocasiona el menor costo de la obra, desde su construcción, operación, y conservación del camino una vez abierto al tránsito.

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

- 1) La subrasante debe cumplir con las especificaciones de proyecto geométrico dadas.
- 2) En general, el alineamiento horizontal es definitivo pues todos los problemas inherentes a él han sido previstos en la fase de anteproyecto, sin embargo habrá casos en que se requiera modificarlo localmente.
- 3) La subrasante a proyectar debe permitir alojar las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel y su elevación debe ser necesaria para evitar humedades perjudiciales a las terracerías o al pavimento, causados por zonas de inundación o humedad excesiva en el terreno natural.

#### ELEMENTOS QUE DEFINEN EL PROYECTO DE LA SUBRASANTE.

Los elementos que definen el proyecto de la subrasante económica son los siguientes:

- A) Condiciones topográficas.
- B) Condiciones geotécnicas.
- C) Subrasante mínima.
- D) Costo de las terracerías.

A) Condiciones topográficas. De acuerdo con su configuración tenemos los siguientes tipos de terreno: plano, lomerío, y montañoso. Estos tres conceptos están ligados entre sí, cada una de sus características que imprimen al proyecto tanto en el alineamiento horizontal y vertical como en el diseño de la sección de construcción.

Se entiende como terreno plano, aquel cuyo perfil acusa pendientes longitudinales uniformes, con pendientes escasas o nulas, y cuya subrasante será generalmente en terraplén, sensiblemente paralelo al terreno natural.

Como lomerío, se considera al terreno cuyo perfil longitudinal presenta en sucesión, cimas y depresiones de cierta magnitud con pendiente transversal no mayor de  $25^{\circ}$ .

Y montañoso, el que ofrece pendientes transversales mayores de  $25^{\circ}$ , y cuyo perfil obliga a fuertes movimientos de tierra.

En terreno montañoso, como consecuencia de la configuración topográfica, la formación de las terracerías se obtiene mediante la excavación de grandes volúmenes, el proyecto de la subrasante queda condicionado a la pendiente transversal del terreno y el análisis de las secciones transversales en zonas críticas o en balcón. Cuando a causa de la excesiva pendiente transversal del terreno haya necesidad de alojar en firme la corona del camino, la elevación de la subrasante debe estudiarse considerando la construcción de muros de contención o de viaductos, con el objeto de obtener el menor costo del tramo. En ocasiones, el proyecto de un túnel puede ser la solución conveniente.

B) Condiciones geotécnicas. La calidad de los materiales que se encuentran en la zona donde se localiza el camino, es factor impor-

tante para lograr el proyecto de la subrasante económica, ya que además el empleo que tendrán en la formación de las terracerías, servirán de apoyo al camino.

La elevación de la subrasante está limitada en ocasiones por la capacidad de carga del suelo que servirá de base al camino.

Por la dificultad que ofrecen en su ataque se clasifican a los materiales de terracerías como: A, B, C, por el tratamiento que van a tener en la formación de los terraplenes, los clasifican en materiales compactables y no compactables.

**Material A.** Es aquel que puede ser atacado con facilidad mediante pico, pala de mano, escropea o pala mecánica de cualquier capacidad, son suelos poco o nada cementados, con partículas hasta de 7.5 centímetros.

**Material B.** Es aquel que requiere ser atacado mediante arado o explosivos, considerándose como material B, la piedras sueltas mayores de 7.5 y menores de 75 centímetros.

**Material C.** Es aquel que solamente puede ser atacado mediante explosivos, requiriendo para su remoción el uso de pala mecánica de gran capacidad.

Un material se considera COMPACTABLE, cuando es posible controlar su compactación por alguna de las pruebas de laboratorio usuales y en caso contrario se considera NO COMPACTABLE aun cuando se reconozca que estos materiales pueden ser sujetos a un proceso de compactación en el campo.

Al material no compactable generalmente producto de los cortes y excepcionalmente obtenido de los préstamos, se le aplica el tratamiento de bancado al emplearse en la formación de los terraplenes, tratamiento que tiene por objeto lograr un mejor acomodo de los fragmentos, reduciendo los vacíos u oquedades mediante el equipo de construcción adecuado, dentro de este grupo queda clasificado el Material C.

C) Subrasante mínima. Es la elevación mínima correspondientes a puntos determinados del camino, a los que el estudio de la subrasante económica debe sujetarse, y los elementos que fijan estas elevaciones mínimas son:

- 1) Obras menores.
- 2) Puentes.
- 3) Zona de inundaciones.
- 4) Intersecciones.

1) Obras menores. 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 lomerío y montañoso, solamente en casos aislados habrá que tomar en cuenta la elevación mínima, ya que el proyecto de la subrasante estará obligado por las condiciones que este tipo de configuración topográfica impone y generalmente habrá espacio vertical suficiente para dar cabida a las obras menores.

2) Puentes. Aún cuando en los cruces de corrientes que hacen necesaria la construcción de puentes, la elevación definitiva de la subrasante no será conocida hasta que se proyecte la estructura, es necesario tomar en consideración los elementos que intervienen para definir la elevación mínima.

Y para lograr lo anterior se debe contar con los siguientes datos:

- a) Elevación del nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME).
- b) Sobreelevación de las aguas ocasionada por el estrechamiento que origina el puente en el cauce.
- c) Espacio libre vertical necesario para dar paso a cuerpos flotantes.
- d) Peralte de la estructura.

La suma de los valores de estos elementos determina la eleva-



ción mínima de rasante para alojar el puente. Hay que tomar en cuenta en el proyecto, para los caminos de poco tránsito localizados en zonas en donde las avenidas máximas extraordinarias se presentan con poca frecuencia y duración, el proyecto de vados suele sustituir al de puentes.

?) Zonas de inundación. El paso de un camino por zonas de inundación obliga a guardar cierta elevación de la subrasante que se fija de acuerdo con el NAME, con la sobreelevación de las aguas producidas por el obstáculo que a su paso presentará y con la necesidad de asegurar la estabilidad de las terracerías y el pavimento.

En estos casos se recomienda que la elevación de la subrasante sea como mínimo un metro arriba del nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME).

4) Intersecciones. Los cauces que un camino tiene con otras vías de comunicación terrestre, ya sean en proyecto o existentes, dan lugar a intersecciones que pueden ser a nivel o a desnivel en este caso el proyecto de la subrasante deberá tomar muy en cuenta los cruces.

D) Costo de las Terracerías. La posición que debe guardar la subrasante para obtener la economía máxima en la construcción de las terracerías depende de los siguientes conceptos.

#### 1) Costos Unitarios.

Excavación en corte.

Excavación en préstamo.

Compactación en el terraplén del material de corte.

Compactación en el terraplén del material de préstamo.

Sobreacarreo del material de corte a terraplén.

Sobreacarreo del material de corte a desperdicio.

Sobreacarreo del material de préstamo a terraplén.

Costo del terreno afectado para préstamo, desmonte y despalme, dividido entre el volumen de terracerías extraído del mismo.

2) Coeficientes de Variabilidad Volumétrica.

Del material de corte.

Del material de préstamo.

3) Relaciones.

Entre la variación de los volúmenes de corte y terraplén, el mover la subrasante a su posición original.

Entre los costos unitarios de terraplén formado con material producto de corte y con material obtenido de préstamo.

Entre los costos que significa el acarreo del material de corte para formar el terraplén y su compactación en éste y el que significa la extracción del material de corte y el acarreo para desmenuarlo.

4) Distancia Económica de Sobreacarreo.

El empleo del material producto de corte en la formación de terraplenes, está condicionado tanto a la calidad del material como a la distancia hasta la que es económicamente posible su transporte. Esta distancia está dada por la ecuación.

$$DME = \frac{(Pp + ad) - Pc}{Psa} + AL$$

DME = Distancia máxima de sobreacarreo económico.

ad = Costo unitario de sobreacarreo del material de corte de desperdicio.

Pc = Precio unitario de la compactación en el terraplén del material producto de corte.

AL = Acarreo libre del material, cuyo costo está incluido en el precio de excavación.

Pp = Costo unitario de terraplén formado con material producto de préstamo.

Psa = Precio unitario del sobreacarreo del material de corte.

En estos elementos se basa fundamentalmente el estudio del día

grama de masas.

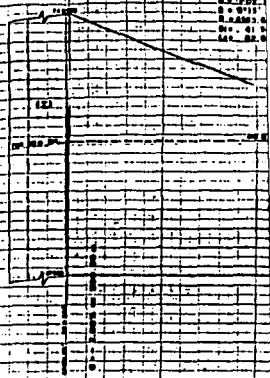
#### CALCULO DE VOLUMENES Y MOVIMIENTO DE TERRACERIAS.

Para lograr la aproximación debida en el cálculo de los volúmenes de tierra, es necesario obtener la elevación de la subrasante tanto en las estaciones cerradas como en las intermedias en que se escusan cambios en la pendiente del terreno. Asimismo, es conveniente calcular la elevación de los puntos principales de las curvas horizontales, en los que la visión transversal sufre un cambio motivado por la sobreelevación y la ampliación.

Obtenida la elevación de la subrasante para cada una de las estaciones consideradas en el proyecto, se determina el espesor correspondiente dado por la diferencia que existe entre las elevaciones del terreno y de la subrasante. Este espesor se considera en la sección transversal del terreno previamente dibujada, procediéndose al proyecto de la sección de construcción.

La siguiente gráfica es el dibujo de la subrasante definida en un tramo del camino, donde se puede apreciar el proyecto con respecto al perfil del terreno, y donde se anotan los posibles bancos de material a utilizar.

H. C. C. 4031 P  
TAMA • 93,31 R.



PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

**NOTA:**  
EL PRESTAMO PARA EL CUERPO DE TERRAPLEN,  
CAPA DE TRANSICION Y CAPA SUBSISTANTE  
ENTRE EST. 51+52.12 Y 51+53.00 A  
EST. 52+300.00 SE HARA CON MATERIAL  
PROCELENTE DEL BANCO LOS ANGELES DE  
ACUERDO CON EL DIAGRAMA CORRESPON  
DIENTE MOSTRADO EN EL AREA DEL TAMA  
MO ANTERIOR.

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PIV. 2250

PUNTO DE APoyo DE  
CANTON. 21.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

PIV. 2250 - 5/40000 EN TRONCO DE ARRA. A. 2  
DE 50 M. NIV. DE EST. 51+700.00  
ELEV. PIV. 2250. 2250.00

FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN





#### 4.9) PERFIL O SECCION LONGITUDINAL Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.

Se llama así a la representación gráfica de las secciones transversales; los elementos y conceptos que determinan el proyecto de una sección de construcción, pueden separarse en dos grupos claramente definidos:

- A) Los propios del diseño geométrico.
- B) Los impuestos por el procedimiento a que debe sujetarse la construcción de las terracerías.

##### Grupo A.

- 1) Espesor de corte o de terraplén.
- 2) Ancho de corona.
- 3) Ancho de calzada.
- 4) Ancho de acotamiento.
- 5) Pendiente transversal.
- 6) Ampliación de curvas.
- 7) Longitud de transición.
- 8) Espesor de Pavimento.
- 9) Ancho de subcorona.
- 10) Talud de corte o de terraplén.
- 11) Dimensiones de las cunetas.

##### Grupo B.

- 12) Despalme.
- 13) Compactación del terreno natural.
- 14) Escalón de liga.
- 15) Cuerpo del terraplén.
- 16) Capa subrasante.
- 17) Cuña de afinamiento.
- 18) Muro de retención.
- 19) Berma.
- 20) Estratos en corte.
- 21) Caja en cortes.

#### DETERMINACION DE AREAS:

Para fines de presupuesto y pago de la obra, es preciso determinar los volúmenes tanto de corte como de terraplén. Para lograr lo anterior, es necesario calcular el área de las distintas porciones consideradas en el proyecto de la sección de construcción.

Entre muchos procedimientos empleados para este fin, los tres siguientes son los más comunes:

- A) Método analítico.
- B) Método gráfico.
- C) Método del planímetro.

#### CALCULO DE VOLUMENES.

Una vez que se han determinado las áreas de las secciones de construcción se procede al cálculo de los volúmenes de tierras. Para ello es necesario suponer que el camino está formado por una serie de prismoides que están limitados en sus extremos por dos superficies paralelas verticales, representadas por las secciones de construcción y lateralmente por los planos de los taludes de la subcorona y el terreno natural.

Para estos cálculos tan complejos y laboriosos, hubo necesidad de echar mano de la computadora mediante programas elaborados para este fin. Obteniéndose los volúmenes correspondientes entre las secciones cerradas o intermedias.

A continuación se explican los siguientes conceptos para poder hacer uso de las computadoras:

1) Coeficiente 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.

Se llama coeficiente de variabilidad volumétrica a la relación que existe entre el peso volumétrico del material en su estado natu



ral y el peso volumétrico que tiene ese mismo material al formar parte del terraplén. Este coeficiente se aplica al volumen del material en su estado natural para obtener su volumen en el terraplén.

Si el material a mover proviene de un solo estrato, se divide el volumen de ese material a su coeficiente de variabilidad volumétrica. Si el material a mover proviene de dos o más estratos, deberá entonces determinarse el coeficiente medio de variabilidad para cada acarreo.

2) Ordenada de curva masa. En una estación determinada es la suma algebraica de los volúmenes de terraplén y de corte, estos últimos afectados por su coeficiente de variabilidad volumétrica, considerados los volúmenes desde un origen hasta esa estación. Se establece que los volúmenes de corte son positivos y los de terraplén negativos.

#### CALCULO DE LOS VOLUMENES DE TERRACERIAS Y OBTENCION DE LA ORDENADA DEL DIAGRAMA DE MASAS POR MEDIO DE LAS COMPUTADORAS.

Este es un cálculo electrónico con el cual es posible optimizar en un tiempo sumamente reducido y a bajo costo, tanto los volúmenes de terracerías como el movimiento de las mismas, mediante el análisis sucesivo de diferentes variantes de la rasante del proyecto, sin que ello resulte un esfuerzo adicional excesivo para el proyectista, considerando que el programa elimina el trabajo rutinario que representa el cálculo de alineamiento vertical, el dibujo y proyecto de cada sección de construcción, la medida del área correspondiente, el cálculo de los volúmenes geométricos de terraplén y corte en los distintos estratos y su variación volumétrica, así como la obtención de la ordenada del diagrama de masas.

En la siguiente figura están representadas esquemáticamente las diferentes fases que constituyen el proceso, las cuales se describen a continuación; fig. 37.

Para proporcionar la información que el programa requiere, el proyectista reunirá los siguientes datos; en cada caso los co-



respondiente al tipo de datos por reportar, dicha información está constituida por:

Datos de identificación del camino.

Datos generales de proyecto.

Datos para compensación de la curva masa.

Datos para proyecto de terraplenes.

Datos para proyecto de cortes.

Datos de suelos.

Datos del alineamiento vertical.

Datos de Ampliaciones y sobreelevaciones.

Datos del perfil longitudinal y secciones transversales del terreno.

Una vez que toda la información ha sido anotada en las formas respectivas, se perfora en tarjetas, las que se agrupan en un paquete para ser clasificadas, siendo a continuación procesadas en una computadora electrónica, generándose cuatro tipos de resultados, editados por la impresora del sistema en la forma siguiente:

a) Listado de los errores detectados en los datos de entrada o durante el proceso de los mismos; la importancia de dichos errores puede provocar que el proceso sea suspendido.

b) Listado de resultados del cálculo del alineamiento vertical.

c) Listado de resultados del cálculo de las secciones de construcción.

d) Listado de resultados del cálculo de volúmenes y ordenadas del diagrama de masas.

Al ser nuestro camino proyectado en su totalidad por el método FOTOGRAFOMETRICO ELECTRONICO, los datos de ampliaciones y sobreelevaciones de la sección tipo, así como los datos del perfil longitudinal y secciones transversales del terreno, son obtenidos como resultado de otro tipo de proceso, directamente de tarjetas o cintas.

Lo anterior es posible debido a que los diferentes programas de cálculo electrónico han sido concebidos como parte integrante de un sistema, pudiendo generar cada uno de ellos resultados en un soporte de información, que permita su posterior utilización por otros programas.

En la Secretaría de Obras Publicas, (S.O.P.) el sistema básico de programas para el cálculo de movimientos de terracerías cuando el proyecto se efectúa para el método fotogramétrico electrónico, esta constituido como sigue:

- \*) Cálculo de alineamiento horizontal.
- \*) Transformación de las coordenadas del seccionamiento transversal (de coordenadas instrumentales a coordenadas terrestres).
- \*) Cálculo de curva masa y seccionamiento de construcción.

#### MOVIMIENTO DE TERRACERIAS.

Los volúmenes ya sean de corte o de préstamo, deben ser transportados para formar los terraplenes; sin embargo, en algunos casos parte de los volúmenes de corte deben desperdiciarse, para lo cual se transportan a lugares convenientes fuera del camino.

Para determinar todos estos movimientos de terracerías y obtener su costo mínimo, el diagrama de masas es el instrumento con que se cuenta. El diagrama de masas es la curva resultante de unir todos los puntos dados por las ordenadas de la curva masa, obtenidas de acuerdo a lo antes explicado, correspondiendo las abscisa al cadenamiento del camino. fig. 38.

A) Propiedades del diagrama de masas. En la figura, se representa el diagrama de masas ABCDEFG correspondiente a los volúmenes de terracería a mover, al ubicar la surasante aceg en el perfil abcdefg del terreno.

Las principales propiedades del diagrama de masas, son las siguientes:

1. El diagrama es ascendente cuando predominan los volúmenes de corte sobre los de terraplén y descendente en caso contrario. En la figura se tiene que las líneas ABC y EFG son ascendentes por referirse de los volúmenes de los cortes abc y efg, tanto que la línea CDE es descendente por referirse al terraplén cde.

2. Cuando después de un tramo ascendente en que predominan los volúmenes de corte, se llega a un punto en el diagrama en el cual empiezan a preponderar los volúmenes de terraplén, se dice que se forma un máximo; inversamente, cuando después de un tramo descendente en el cual han sido mayores los volúmenes de terraplén se llega a un punto en que comienzan a prevalecer los volúmenes de corte, se dice que se forma un mínimo.

En la figura, los puntos A y E del diagrama son mínimos y corresponden a los puntos a y e del terreno que son los extremos de tramos en terraplén, en tanto que los puntos C y G del diagrama son máximos y corresponden a los extremos de los cortes abc y efg.

3. La diferencia entre las ordenadas de la curva masa, en dos puntos cualesquiera P y T, expresa un volumen U que es igual a la suma algebraica de todos los volúmenes de corte, positivos, con todos los volúmenes de terraplén, negativos, comprendidos en el tramo limitado por esos dos puntos. En el diagrama citado, la diferencia de ordenadas entre P y T es U; por quedar T arriba de P, expresa en el tramo hay un excedente U del volumen de corte sobre el de terraplén; si los dos puntos son como el J y el K y éste queda abajo de aquél, la diferencia de ordenadas Q indica el volumen de terraplén en exceso del de corte en ese tramo.

4. Si en un diagrama de masas se dibuja una línea horizontal en tal forma que lo corte en dos puntos consecutivos, éstos tendrán ordenada y por consecuencia, en el tramo comprendido entre ellos serán iguales los volúmenes de corte y de terraplén, o sea que estos dos puntos son los extremos de un tramo compensado.

Esta línea horizontal se llama compensadora. La distancia entre los dos puntos se llama abertura del diagrama y es la distancia máxima de acarreo al llevar el material de corte al terraplén.

En la figura, la horizontal BD es una compensadora, pues la línea BC representa los volúmenes del corte  $bc'b'$  que son iguales a los volúmenes del terraplén  $cd'd'$  representados por la línea CD del diagrama. La abertura BD es la distancia máxima de acarreo al transportar el volumen del corte  $b'bc$  al terraplén  $cd'd'$ .

5. Cuando en un tramo compensado el contorno cerrado que origina el diagrama de masas y la compensadora  $WW'$  queda arriba de ésta, el sentido del acarreo es hacia adelante; contrariamente, cuando el contorno cerrado queda abajo de la compensadora, el sentido del movimiento es hacia atrás.

Así, en el diagrama, el contorno cerrado BCDB indica un movimiento hacia adelante por estar arriba de la compensadora  $WW'$ , pues el volumen BC del corte  $bc'b'$  será llevado al terraplén  $cd'd'$  que está adelante. En cambio, el contorno cerrado DEFD que está abajo de la compensadora  $WW'$  indica que el volumen EF del corte  $eff'$  será llevado al terraplén  $cd'd'$  mediante un acarreo cuyo sentido es hacia atrás.

6. Las áreas de los contornos cerrados comprendidos entre el diagrama y la compensadora, representan los acarreos. Si en el corte  $bc'b'$  se toma un volumen elemental  $dV$ , que está representado en el diagrama de masas por el segmento MN, que será transportado a una distancia  $L$ , para ser colocado RS del terraplén, el acarreo elemental será  $dV \times L$  que es precisamente el área del trapecio elemental MNSR; por lo tanto, la suma de todas las áreas de los trapecios elementales, será el área del contorno cerrado BCDB, que representará el monto del acarreo total. Así pues, si se tiene un contorno cerrado formado por el diagrama de masas y por una compensadora, bastará con determinar el área de él, para que, considerando las escalas respectivas, se encuentre el valor del acarreo total.

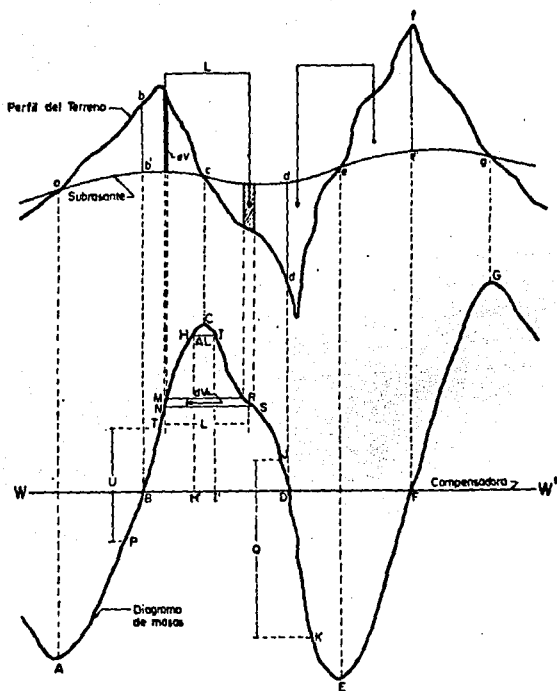


fig. 38. PROPIEDADES DEL DIAGRAMA DE MASAS

## 5.) COMPILACION FINAL. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

La aplicación de la fotogrametría en el proyecto de carreteras no es nueva, por el contrario, ya tiene varias décadas en uso ayudando a los ingenieros a facilitar su trabajo.

Sin embargo, se han incorporado nuevos sistemas para mejorarla y agilizarla. Dentro de la interpretación, como pude notar, existen aparatos de gran precisión como el autógrafo A-8 y A-10, que pueden restituir en planos a diferentes escalas lo que tenemos en las fotografías, y noté también que por medio de la computadora y del control terrestre, que se pueden transformar las coordenadas instrumentales a coordenadas terrestres, lo que nos proporciona planos del terreno exactos y precisos, determinando la realidad del campo.

Con la alimentación de datos a las computadoras del informe geotécnico se obtienen no solo los datos del campo, sino que nos da la información para la elaboración del camino, con la subrasante perfectamente definida, así, con toda la documentación y planos, se pueden convocar las compañías constructoras a concurso.

Actualmente casi toda la red de carreteras en México se construye de esta manera. Con esta información se podrían satisfacer las necesidades de nuestro país para comunicarse terrestremente.

La política centralista de México ha obligado a que esta tarea la resuelva un solo organismo, este es: La Secretaría de Obras Públicas (S.O.P.).

En ella parecen seguir una política de desarrollo constante, en la rama de carreteras se denota una tendencia a la superación tanto técnica como científica.

Es necesario añadir entonces, que probablemente lo único que haría falta para obtener un éxito completo en la construcción de carreteras, sería tener un presupuesto adecuado para llevar a cabo todas las inquietudes y proyectos que a buen juicio deberían realizarse.



También quiero hacer notar aunque ya lo mencioné, que el único impedimento que tiene la fotogrametría es la imposibilidad de fotografiar el terreno, y esto se debe por lo general a la vegetación que cuando es muy espesa nos da un relieve falso del terreno. ( La fotografía infraroja podría mejorar esto ).

En este caso la solución que puede indicarse es el levantamiento topográfico directamente en el campo, a pesar de la dificultad que acarrearía también la vegetación en el terreno.

Lo que refuerza esta desventaja de la fotogrametría, aunque existen algunos recursos que deberían ser incorporados a este sistema y que reducirían esta desventaja, estos son:

La fotografía de color, los microscopios estereoscópicos, las imágenes de satélites, los equipos de registro automático de coordenadas en los instrumentos de restitución y fotointerpretación, los equipos de registro continuo de coordenadas, la ortofotografía y equipos ligeros de medición electrónica de distancias.

La fotografía a color es muy superior a la convencional en blanco y negro para la obtención de información geológica y de uso del suelo, principalmente si se trabaja en forma de diapositivas de 70 mm de formato, observadas con microscopios estereoscópicos y proyectadas por pares que se observan estereoscópicamente con lentes polarizados. En esta forma el uso de la fotografía a color resulta muy efectiva y económica.

Las imágenes del Satélite ERTS o LANDSAT resultan útiles en los trabajos de fotointerpretación, en la fase de estudio de rutas, principalmente en el aspecto de geología regional.

Los equipos de registro automático de coordenadas en los restituidores hacen posible obtener directamente, en tarjetas o en cinta los datos de los perfiles longitudinales del terreno para cada alternativa de anteproyecto, pudiendo en seguida mediante la graficadora dibujarlos y mediante la computadora procesar rápidamente dichos datos con el programa de evaluación de anteproyectos.

Los equipos de registro continuo de coordenadas permiten obtener las coordenadas x-y-z de los puntos del terreno, al mismo tiempo que se efectúa la restitución.

Con este registro de datos y la computadora, con un programa de modelo digital del terreno, es posible obtener rápidamente perfiles y secciones para cualquier eje de proyecto dentro del modelo registrado.

Desde hace varios años se ha estado aplicando con éxito en varios países la ortofotografía para el proyecto de vías terrestres. La ortofotografía se presenta como una imagen fotográfica continua del terreno, a la misma escala, producto de una rectificación diferencial de las fotos originales, mediante control terrestre y una versión modificada de los equipos de restitución. Si a las ortofotos se les sobreponen curvas de nivel, el resultado es muy informativo, pues la riqueza planimétrica de la fotografía se ve incrementada con la valiosa información altimétrica de las curvas de nivel. Este material es particularmente ventajoso en los proyectos de vialidades urbanas y suburbanas.

Con este trabajo espero poder dar una visión aproximada de lo que es la fotogrametría aplicada al proyecto de carreteras, con la solución a este camino en particular.

Es aconsejable en el futuro de la Universidad Anahuac y en la escuela de ingeniería en especial, mostrar y enseñar a los alumnos estos sistemas que definitivamente regirán la construcción de grandes proyectos ingenieriles en mucho tiempo.

6.) BIBLIOGRAFIA.

- 1) Ternryd, C., y Lundin, E., Topografía y Fotogrametría en la práctica moderna, Compañía Editorial Continental, S.A., México, 1974.
- 2) Secretaría de Asegtamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, México, D. F. 1981.
- 3) Montes de Oca, M., Topografía, Representaciones y servicios de ingeniería, S. A., México, D. F. 1969.
- 4) López-Cuervo, S., Fotogrametría, Egraf, S. A., Madrid 1980.
- 5) Lehmann, G., Fotogrametría, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1975.
- 6) Cabrera, B., La Fotogrametría en el Proyecto de Vías Terrestres, Apuntes personales (SAHOP), México, D. F. 1977.
- 7) Monograma Edo. de Hidalgo, de la Madrid, M. 1980 México, D. F.
- 8) Juárez, E., y Rico, A., Mecánica de Suelos tomo I, Editorial Limusa, México, D. F. 1978.
- 9) Leet, D., y Judson, S., Fundamentos de Geología Física, Editorial Limusa, México, D. F., 1977.
- 10) Toledo, F. . Aportación personal, (SAHOP), México 1983.
- 11) Altamirano, . . Aportación personal (SAHOP), México 1983..
- 12) Pacheco, L., Aportación personal (SAHOP), México 1983.
- 13) Hewlett-Packard, Owner's Handbook and Frograming Guide, Corvallis, OR, U.S.A. 1980.