



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

285

122

**LA MICROCOMPUTADORA COMO UNA  
HERRAMIENTA EN EL PROYECTO  
DE VIAS TERRESTRES**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA

**GUILLERMO MANCILLA URREA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

	<b>PAGINA</b>
<b>PROLOGO</b> .....	VII
<b>INTRODUCCION</b> .....	X
<b>CAPITULO I</b> Generalidades del Sistema de Transporte Terrestre Nacional .....	1
Sistema de transporte .....	1
Importancia del transporte .....	3
Sistema de Transporte Terrestre Nacional .....	3
Transporte Ferroviario .....	4
Bosquejo histórico .....	4
Situación actual y propósitos al futuro..	5
Importancia Nacional .....	7
Transporte Carretero .....	9
Bosquejo histórico .....	10
Situación actual o propósitos al futuro ..	10
Importancia Nacional.....	12
Comparaciones .....	13
Conclusiones .....	16
<b>CAPITULO II</b> La microcomputadora aplicada en los -- trabajos de vías terrestres .....	19
Ventajas de las computadoras aplicadas en la ingeniería .....	19
Bosquejo histórico de la computadora .....	20
Descripción general de la operación de las microcomputadoras .....	23
Sistema de programación BASIC .....	25
Microcomputadora TRS-80 Modelo I Nivel II.	29
Aplicaciones en las vías terrestres .....	32
Problemas administrativos .....	32
Problemas técnicos .....	32
Aplicaciones generales en los cálculos del proyecto geométrico .....	33
<b>CAPITULO III</b> Secuencia de trabajo en los proyectos- de vías terrestres y programas útiles. ....	37
Planeación .....	37
Reconocimiento .....	38
Estudio topográfico de la línea .....	39
Localización .....	39
Nivel de mano, estatal y cinta .....	39
Clisímetro .....	40
Configuración .....	42
Polígono de apoyo o poligonal .....	42
Poligonales cerradas .....	43

Deflexiones .....	43
Angulos interiores .....	44
Poligonales abiertas.....	44
Secciones transversales de configuración..	47
Proyecto .....	51
Proyecto en planta del eje de la línea ...	52
Perfil del eje proyectado .....	53
Proyecto de la subrasante sobre el perfil.	58
Secciones transversales de construcción ..	59
Areas de las secciones transversales y cál	
culo de volúmenes .....	62
Curva masa .....	64
Propiedades .....	64
<b>CAPITULO IV</b> Diseño geométrico y programas aplica--	
bles.....	69
Curvas horizontales .....	69
Curvas simples .....	70
Trazo con tránsito y cinta .....	74
Trazo con cinta exclusivamente .....	77
Por cuerdas prolongadas .....	77
Curvas compuestas .....	78
Curvas espirales o de transición .....	80
Curvas inversas .....	88
Curvas verticales .....	89
Curva en cima .....	95
Curva en columpio .....	99
Cálculo de rasante .....	103
Cálculo de áreas y volúmenes de las secciones-	
transversales .....	109
Cálculo de curva masa .....	114
<b>CAPITULO V</b> Trabajos complementarios y programas --	
aplicables .....	119
Orientaciones astronómicas .....	119
Cálculo de coordenadas en poligonales abier --	
tas .....	126
Igualdad de cadenamientos .....	131
Nivelaciones .....	133
<b>CAPITULO VI</b> Conclusiones y Recomendaciones .....	139
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	146

## PROLOGO

El siglo XX se ha caracterizado por los enormes progresos en el campo de la ciencia y la tecnología. En efecto, es una etapa que ha presenciado el desarrollo de importantes descubrimientos; desde la comunicación interoceánica y los inicios de la aviación, hasta la fenomenal expansión de la industria electrónica, que incluye las computadoras; y precisamente la asociación entre estas máquinas y el hombre, así como la considerable ampliación del intelecto humano que permite la computadora, puede ser el avance dominante en las décadas finales del siglo XX.

En la actualidad, es posible imaginar que a fines de siglo, las computadoras tendrán la capacidad de realizar tareas que serían imposibles de igualar para el hombre, podrán inclusive "pensar" racionalmente.

Sin embargo, hay una diferencia fundamental entre el hombre y la computadora: el hombre tiene afanes, impulsos, deseos de pensar y emociones; por otro lado, aún la máquina más desarrollada, carece casi totalmente de estas cualidades o "debilidades", de hecho no sufre de la calidad descrita por Pascal: "El corazón tiene muchas razones de las cuales no sabe nada la razón".

Dentro de las principales ventajas que tiene el hombre sobre la computadora sobresalen:

- Requiere mucho menos energía que la máquina.
- Ninguna computadora comparable con el cerebro humano, podría ser una unidad que pesara 80 kg.
- El hombre puede producir otros hombres sin la necesidad de un "trabajo especializado".
- Con la falla de muchas neuronas, el cerebro humano no interrumpe su operación normal; mientras que en las computadoras, una falla podría derivar en enormes errores. Es decir, el cerebro dañado puede "autorepararse" restableciendo nuevas conexiones entre las neuronas, que no siguen un diagrama rígido de cableado como en las computadoras.

Pero también la computadora presenta ventajas sobre el hombre:

- Es muchos miles de veces más rápida que el cerebro humano, aunque depende del tipo de dispositivos periféricos que controlan su entrada y salida.
- Pueden almacenar más de un millón de bits de información por segundo, mientras que el cerebro humano apenas almacena un bit por segundo.
- Puede borrar de su memoria información inútil, lo que para el hombre resulta imposible de hacer voluntariamente, afectando su capacidad de aprender nuevas cosas.

En lo referente al problema computadora-cerebro, una de las posibilidades de construir una máquina que opere como el propio cerebro, es decir, que realice una tarea de la misma manera que el hombre, presenta grandes dificultades:

- El cerebro es un conjunto muy complejo en que las neuronas actúan como elementos bifuncionales (que transmiten o no un impulso eléctrico); ello se complica por el hecho de que ocurren procesos semejantes en las uniones entre ellas.
- Probablemente cada neurona del cerebro está conectada a 10 mil más, y puede ser influida por cientos de otras neuronas simultáneamente en tanto que una "neurona" de computadora (interruptor de dos polos) recibe impulsos simultáneos de sólo una o dos "neuronas" distintas.
- Aunque la velocidad de transmisión de información de una neurona a otra es 100 mil veces más lenta que la correspondiente a una computadora, el cerebro puede realizar una gran cantidad de operaciones simultáneamente (proceso en paralelo), con lo que se compensa parte de su desventaja de velocidad, la computadora sólo puede efectuar unas cuantas operaciones simultáneas.

Es claro que las diferencias entre el cerebro humano y las computadoras son enormes, aún sin el hecho de mencionar que el hombre puede manipular su medio, en tanto que las máquinas más desarrolladas son de lo más ineficientes al respecto.

Es importante que los hombres dedicados a los campos de la ciencia y la tecnología, aprendan a explotar las ventajas que la computadora tiene sobre nuestros cerebros, con la tranquilidad de que las máquinas no podrán ser superiores a sus creadores y que el fin de éstas, sólo depende y está en manos del propio hombre. Pero los beneficios que ellas pueden brindar a nuestra sociedad son enormes, como en la época de la Revolución Industrial lo fue la maquinaria para el desarrollo de la humanidad.

## INTRODUCCION

Es evidente que el desarrollo económico y social de un país está ligado, íntimamente, a un adecuado Sistema de Transporte Nacional.

Un eficiente sistema de transporte, facilita la comunicación e in--tercambio entre los centros productores y consumidores del país; así como la integración de las distintas comunidades, aumentando las oportunidades para su desarrollo; así mismo, propicia el comercio exterior y determina la localización de las actividades productivas y de población.

Por lo descrito en los párrafos anteriores, salta a la vista la primordial importancia económica que tiene el transporte en el contexto nacional. De manera directa, el transporte contribuye al desarrollo de las cuatro ramas de la economía: producción, distribución, circulación y --consumo, y es consecuencia del desarrollo de éstas que se presente un desarrollo paralelo del país.

No obstante, la importancia social de los transportes no debe que --dar en segundo plano; puesto que al conectarse distintas poblaciones, se establece inmediatamente un intercambio material y espiritual de muy di--versos órdenes. De hecho, el transporte provee de un gran número de em--pelos, ocupando en México cerca de 800,000 trabajadores en la prestación de servicios y aproximadamente 350,000 en la construcción.

Con el crecimiento de la economía y la población mexicana, se ha requerido de una infraestructura sólida que permita transportar eficiente--mente la producción, recayendo esta función en el subsector transportes, del cual nos ocuparemos de dos de sus actividades; el transporte carretero y el transporte ferroviario.

En un país como México, la necesidad de un eficiente sistema de ---transporte terrestre es grande, ésto se debe a que la mayor parte de la población se encuentra irregularmente distribuida, ya sea en las tres --ciudades principales del territorio nacional (Distrito Federal, Guadala--jara y Monterrey) o en localidades menores de 2,500 habitantes. Sin em--bargo, existen tres problemas principales en México que dificultan el --crecimiento de la red de transporte terrestre nacional:

- **Extensión territorial.** La superficie territorial de México es de 1'967,183 km<sup>2</sup>; en este vasto territorio se encuentran diseminadas un gran número de comunidades, que en muchos casos su condición es de total incommunicación terrestre.
- **Topografía.** La mayor parte del territorio nacional se compone de tierras altas, montañosas o abruptas, debido a los plegamientos de la Sierra Madre Occidental, de la Sierra Madre Oriental y de otras cordilleras menos importantes que surcan el país en todas direcciones.
- **Económico.** Este tercer aspecto es consecuencia directa de los -- dos anteriores, que elevan considerablemente los costos de construcción de vías terrestres.

Como consecuencia, y a pesar de los problemas mencionados, en años subsecuentes se tendrán que construir, aunque lentamente, nuevas líneas férreas y carreteras, así como ampliar las existentes.

En los estudios de vías terrestres destacan varias etapas: planeación, reconocimiento, localización, configuración, proyecto, construcción, operación, mantenimiento y/o abandono, dentro de estas etapas el - campo de aplicación de la microcomputadora es enorme. Esta herramienta - brinda una serie de ventajas insustituibles a sus usuarios y proporciona grandes ahorros de tiempo, dinero y trabajo, que resultan muy significativos si se siguen los métodos tradicionales de trabajo.

Para los fines de esta exposición, la aplicación de la microcomputadora será enfocada al aspecto de cálculo de vías terrestres, describiendo la secuencia de trabajo de campo correspondiente y el procedimiento de cálculo tradicional; apoyándolos en simples programas para computadora - que resuelven la esencia del problema y que, si se desea, podrán ser complementados o aumentados para obtener una presentación más adecuada.

Indudablemente, el trabajo de la microcomputadora no se limita únicamente a problemas técnicos como la ejecución de cálculos matemáticos, - existen otros problemas de tipo financiero que se pueden resolver eficientemente con una microcomputadora; como ejemplos sobresalen: manejo de almacenes, control de inventarios, personal, tarifas, nóminas, pagos de -- primas, altas, ascensos, bajas, etc., inclusive, las primeras aplicacio-

nes de las computadoras se dieron en el campo financiero.

En el capítulo I se muestran a grandes rasgos algunos aspectos generales del Sistema de Transporte Terrestre Nacional, en concreto, los ferrocarriles y carreteras, su importancia nacional, situación actual y las diferencias básicas que existen entre ambos.

El capítulo II contiene una descripción general de las aplicaciones, técnicas y financieras, más importantes de la microcomputadora en las vías terrestres; se describe la máquina empleada en este documento, su operación básica y su aplicación específica en los problemas del proyecto geométrico.

Corresponde al capítulo III describir la secuencia de trabajo en los proyectos de vías terrestres; mencionando las labores de campo y gabinete que se deben realizar a lo largo del proyecto y la forma de ejecutarlas; así mismo, se presentan algunos programas útiles; tales como: -- comprobación de cierre de polígonos y dibujo de secciones de configuración.

Por otro lado, el capítulo IV se encarga del proyecto geométrico y los programas aplicables correspondientes; se abarcan casi todos los tipos de curvas, verticales y horizontales, cálculo de la rasante, cálculo de áreas y volúmenes de las secciones transversales y la curva masa. En este capítulo, se aprecia ya el enorme campo de aplicación de la microcomputadora en problemas técnicos, complementando la parte final del capítulo anterior.

En el capítulo V se presentan una serie de trabajos que generalmente se deben realizar en un proyecto de vías terrestres, tales como: orientaciones astronómicas, cálculo de coordenadas en poligonales abiertas, igualdades de cadenamientos y nivelaciones; proponiendo programas aplicables que facilitan la labor de cálculo, desde luego serán expuestos los procedimientos tradicionales y la importancia de estos trabajos en el -- proyecto.

Por último, el capítulo VI presenta las conclusiones y recomendaciones del autor, basadas en el desarrollo de los cinco capítulos anteriores, se expondrán también los principales inconvenientes que se pueden presentar al utilizar máquinas electrónicas y cuando dejan de ser una he

rramienta práctica en el contexto de la empresa.

El objetivo primordial del presente documento, es el de exponer, en forma muy general, las aplicaciones que hoy en día pueden tener las micro computadoras y computadoras personales en el campo de las vías terres--- tres, enfocándolas primordialmente al aspecto técnico de cálculo; así -- mismo, se pretende dar una idea general de lo sencillo que resulta elabo rar un programa, el escaso mantenimiento que requiere la máquina y su re ducido espacio de instalación, quedando a criterio del lector la evalua ción de los ahorros de tiempo, dinero y trabajo que éstas le puedan brin dar.

## C A P I T U L O I

### GENERALIDADES DEL SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE NACIONAL

"... El sistema de transporte es instrumento de carácter estratégico para el desarrollo social y económico del país. Posibilita la integración económica, política, y cultural, y permite ejercer la soberanía sobre el territorio nacional. Desde el punto de vista económico, el transporte interviene determinadamente en los costos de producción y distribución de los bienes y servicios y les agrega valor al disponer de estas mercancías y prestaciones en el lugar y en el momento que se necesitan. La infraestructura de transporte es un elemento esencial para, en conjunto con otras inversiones, impulsar y aprovechar el potencial de desarrollo de las distintas regiones y puede contribuir en forma importante a la reordenación territorial de la actividad económica y los asentamientos humanos.

El impacto del sector transportes en la construcción, la fabricación de equipos, el consumo de energéticos y en la generación de empleos, refuerza su carácter estratégico; por lo que desempeñará un papel sustancial tanto en la línea de estrategia de reordenación económica como en la de cambio estructural..." (1).

### SISTEMA DE TRANSPORTE

Se puede definir "Sistema de Transporte", en base a las dos palabras que lo componen:

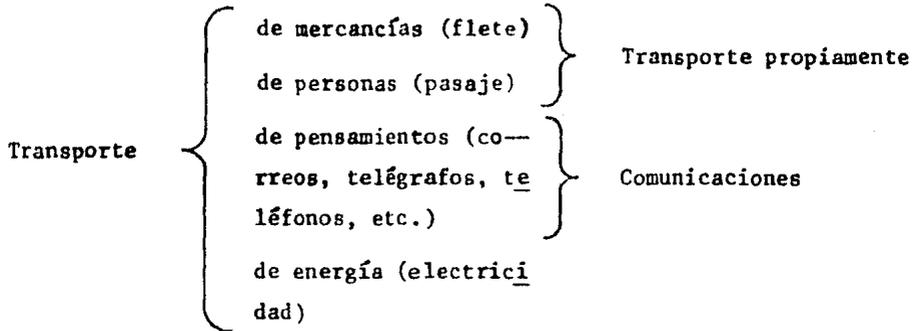
**Sistema:** Conjunto de elementos interrelacionados estrechamente, para la obtención de un fin común.

**Transporte:** Se deriva etimológicamente de dos raíces latinas: Trans (a través) y portare (llevar).

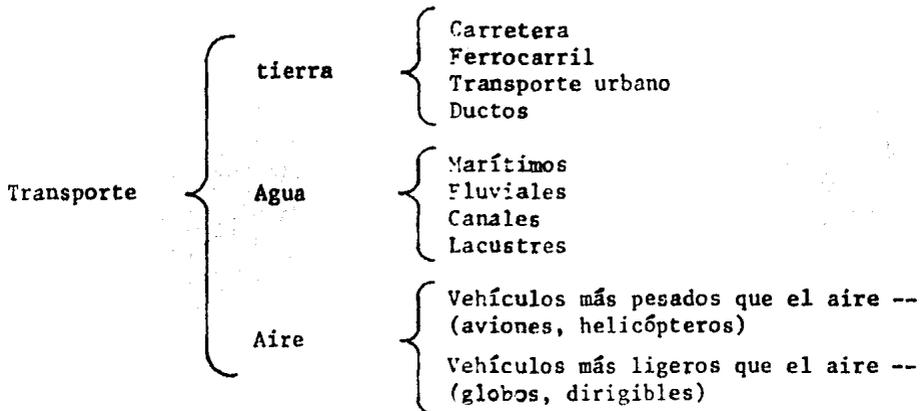
Es decir, podemos entender por Sistema de Transporte el conjunto de elementos interrelacionados estrechamente, con el objeto de llevar, a través de un medio, determinados bienes y servicios.

(1) Plan Nacional de Desarrollo 1983-1988. Nacional Financiera.

Existen varios tipos de transporte, según se aprecian a continuación:



Enfocamos el presente documento, al estudio del transporte de personas y mercancías, y por tal razón, todavía se puede obtener otra clasificación:



Dentro de los objetivos del presente trabajo, se encuentran los transportes por tierra, excluyendo ductos y transporte urbano.

Tanto la carretera como la vía del ferrocarril son las infraestructuras que brindan la posibilidad de operación de un Sistema de Transporte Terrestre Nacional, por otro lado, el ferrocarril y el autotransporte son los modos que movilizan personas y bienes mediante vehículos motorizados a través de las vías y carreteras nacionales. Su accesibilidad a los espacios geográficos, flexibilidad, facilidad operativa y menores requerimientos de inversión en relación a otros medios de transporte, los colocan en una posición sobresaliente dentro del Sistema de Transporte Terrestre Nacional.

## IMPORTANCIA DEL TRANSPORTE

El transporte tiene una gran importancia desde el punto de vista -- económico primordialmente, es posible afirmar que donde no hay transportes, la actividad económica se reduce a niveles básicos de subsistencia; es decir, a producir lo estrictamente necesario para el consumo individual. La producción de excedentes destinados a la exportación, no tendrían significado alguno si no existiera la posibilidad de trasladar los recursos y las mercancías de un lugar a otro. La demanda de servicios de transporte aumenta paralelamente al crecimiento de la economía de un país y la prestación de este servicio puede ser un factor importante en el ritmo de distribución geográfica del desarrollo nacional.

Además de su gran importancia económica, el transporte también contribuye al desarrollo social en dos aspectos principalmente: facilita la integración de las distintas comunidades del país, aumentando sus oportunidades de desarrollo, y tiene un importante efecto multiplicador en la generación de empleos, ocupando en México cerca de 800,000 trabajadores en la prestación de servicios y aproximadamente a 350,000 en construcción.

Por último, como demandante de bienes y servicios, el transporte -- juega un papel muy importante en el desarrollo interno del país, representando un 16% de la construcción del sector público en cuanto a obras de infraestructura, las compras de equipo de transporte un 11% de la formación bruta de capital y se destina al transporte el 53% del consumo final de hidrocarburos.

## SISTEMA DE TRANSPORTE TERRESTRE NACIONAL

Con los transportes terrestres modernos, se ha propiciado el crecimiento de las industrias y el desarrollo de grandes ciudades, sobre todo en regiones localizadas fuera de las zonas de ríos navegables y de las zonas portuarias marítimas.

Antes de 1830, la mayor parte de las grandes ciudades se encontraban en zonas portuarias, mientras que las pequeñas poblaciones del interior, se comunicaban entre sí por diligencias de tracción animal sobre caminos reales, apenas superiores a las elementales veredas de herradura.

Con la construcción de los ferrocarriles (1830) principia el transporte terrestre moderno y se apoyaría casi totalmente en él hasta el --

año de 1920 cuando nace el transporte automotor. La carretera ha constituido un fuerte rival para el ferrocarril, obligándolo a modernizarse para tratar de llegar a un relativo equilibrio económico del transporte terrestre, aprovechando el camión y el ferrocarril en las zonas y clase de carga donde producen mayor eficiencia, lo que representa una coordinación del transporte terrestre con un beneficio general.

Sin embargo, lo descrito en el párrafo anterior está lejos de ser una realidad en México, puesto que el autotransporte domina casi en todos los aspectos económicos al ferrocarril.

#### TRANSPORTE FERROVIARIO

Del ferrocarril sobresale como característica primordial su costo mínimo terrestre, consecuencia de: la escasa resistencia entre el riel y la rueda, el gran tonelaje de un tren y de usar 2 HP por tonelada bruta de carga y 5 HP por tonelada bruta de tren de pasajeros. Los ferrocarriles disponen de un amplio margen para mejorar sus equipos, vías, talleres, los métodos comerciales y la coordinación. En cuanto a la resistencia al rodamiento, el ferrocarril necesita vencer una fuerza 5 veces menor que el autotransporte; y también requiere de 5 veces menos personal que el necesario para igual autotransporte. Un ferrocarril puede componerse de 100 carros con diferentes tonelajes cada uno, llegando a ser de 90 ton. en los carros caja, midiendo cerca de un kilómetro y medio de longitud, alcanzando velocidades promedio de 20 km/h en cargueros y 45 km/h en los de pasajeros. Otra característica de los ferrocarriles es su mínimo consumo de energéticos, lo que resulta ventajoso si se estudian los crecientes aumentos del petróleo, además brinda la opción de electrificar sus líneas, reduciendo aún más sus costos de operación. Por todo lo expuesto, el ferrocarril tiene ante sí una factible replanificación con amplio margen de superación y permanencia, principalmente en países donde su deficiencia es grande.

#### BOSQUEJO HISTORICO

El primer proyecto de ferrocarriles data del año de 1837, que pretendía unir el puerto de Veracruz con la Ciudad de México, pero no llegó a realizarse sino hasta 1873 con 424 km. de longitud; sin embargo, esta línea no tuvo efectos económicos en el país. A partir de este año y has-

ta 1910, se representaría el auge de los ferrocarriles alcanzando la red los 19,280 km; dicho auge fue obra de Porfirio Díaz, que se convenció de que el ferrocarril le era inherente al progreso del país. Al estallar la Revolución, el ferrocarril se convirtió en un arma estratégica primordial y en la lucha por poseerlo o evitar que el enemigo lo manejara, se destruyó o averió una gran parte del sistema. La reconstrucción viene -- hasta 1937 y se considera que duró hasta 1982. En 1948, se inicia un período de rehabilitación de los ferrocarriles, pues el sistema contaba -- con más de 40 años de servicio; en 1954 se inicia la construcción de carros mexicanos de ferrocarril. Para 1964 la longitud de vías férreas llega a los 23,616 km; en esta fecha habían en México 10 empresas ferroviarias con personalidad propia y diversos regímenes legales. En 1979 la -- red creció hasta los 19,985 km. de vías principales y 5,328 km. de vías secundarias o de servicios.

Tanto el desarrollo como la localización de las vías férreas obedeció a criterios y necesidades del siglo pasado; sin tomar en cuenta ningún tipo de planeación. Sin embargo, debido a la angustiosa situación -- que vivía el país, por la falta de vías de comunicación, cualquier proyecto era bueno, simultáneamente se establecía una forma más rápida de -- penetración de los productos manufacturados que se demandaron en el país.

Cabe señalar que la red férrea no está cabalmente integrada como se aprecia en la fig. 1.1, donde se pueden detectar regiones aisladas -- sobre todo a lo largo de las costas y penínsulas. Además, la única forma posible de comunicar las costas por vía férrea es utilizando el tránsito multinodal.

#### SITUACION ACTUAL Y PROPOSITOS AL FUTURO

Paulatinamente el ferrocarril ha ido disminuyendo su participación en el transporte, consecuencia del rezago en la modernización tanto de sus instalaciones como de sus métodos de operación. En el desplazamiento de pasajeros solo atiende al 1% del movimiento interurbano, con equipo pesado y anticuado. En carga absorbe el 17% del transporte nacional -- y se ha ido concretando a movimientos masivos de insumos y productos de bajo valor específico, pero estratégicos para el abasto popular y el desarrollo industrial. Se compone de 1,800 locomotoras (fuerza tractiva) --



Adicionalmente, el desarrollo de los ferrocarriles se ha visto limitado por las inadecuadas condiciones laborales y la estructura de remuneraciones que no promueven la renovación del personal, su capacidad y su productividad.

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo (1983-1988) se fijan los siguientes lineamientos futuros para el ferrocarril: "El transporte ferroviario deberá aumentar su participación en el transporte nacional de carga al 21% en 1988 y al 30% en el año 2000 y conservar el 1% en el transporte de pasajeros en el corto y mediano plazo, para aumentarlo al 6% en el año 2000. Se requerirá que a corto plazo el ferrocarril recupere los movimientos de productos de baja densidad económica que se han derivado al autotransporte y a mediano plazo participe en mayor medida en los grandes movimientos de productos elaborados y perecederos, integrando la red a un mayor número de usuarios.

En el transporte de pasajeros la participación de los ferrocarriles a corto plazo seguirá siendo marginal, en tanto se modernizan los sistemas de operación y la infraestructura, subsistiendo solo los servicios de mayor demanda y eliminando los que puedan atenderse adecuadamente con servicios de autobuses; en el largo plazo debe aumentar considerablemente su participación".

#### IMPORTANCIA NACIONAL

Con el tendido de vías férreas, así como de sus instalaciones, la actividad contribuye a la consolidación de poblaciones e incremento en el número de pobladores en regiones poco habitadas, así mismo en la integración de actividades que anteriormente eran improductivas, apoyando de esta manera el desarrollo de la economía.

Considerando la variable macroeconómica "inversión pública", mediante la cual se desarrolla parte de la infraestructura como apoyo al desarrollo de la economía en general, en el lapso de 1939 a 1950, el 37.9% de la inversión bruta en transportes se destinó al riel; en tanto que para el lapso comprendido entre 1960 y 1980 la inversión pública en el subsector decreció en términos relativos de 36.0% a 15.2%; aunque en términos absolutos se incrementó casi 20 veces en 20 años. En lo que concierne a la actividad ferroviaria el comportamiento de la inversión dentro del sector comunicaciones y transportes, para 1960, representó el 45.6%,

en 1970 bajó a 29.6%, teniendo su menor participación en 1975 con un -- 23.7% y por último incrementarse en términos relativos a 30.1% en 1980.

En cuanto al comportamiento de la inversión en la construcción ferroviaria pasó de 2.8% en 1960 a 8.0% en 1970, alcanzando el 19.7% en --- 1980, Ésto refleja la construcción del tramo Coróndiro-Lázaro Cárdenas.

Ahora bien, es oportuno señalar la participación que tienen los ferrocarriles en cuanto a la infraestructura nacional. En 1981 México contó con una extensión de vías férreas de 25,510 km. en una superficie de 1'967,183 km<sup>2</sup>, el país tiene una densidad promedio de 77.115 km<sup>2</sup> de territorio por cada km. de vía; así mismo, del total de la población ---- 65'395,826 habitantes, corresponden 0.378 km. de vía por cada 1,000 habi tantes.

Lo descrito en los últimos párrafos, se denota en los cuadros 1.1 - y 1.2.

LA INVERSIÓN PÚBLICA TOTAL

(MILLONES DE PESOS CORRIENTES).

AÑOS.	INVERSIÓN PÚBLICA.	INVERSIÓN EN COMUNICACIONES Y TRANSPORTES .		INVERSIÓN EN FERROCARRILES.			
		TOTAL.	POR CIENTO.	ACTIVIDAD.		CONSTRUCCIÓN.	
				TOTAL.	POR CIENTO.	TOTAL.	POR CIENTO.
1960	8 376	3 014	36.0	1 375	45.6	38	2.8
1965	13 049	3 409	26.1	1 607	47.1	73	4.5
1970	30 250	6 500	21.5	1 521	29.6	153	8.0
1975	19 053	21 091	21.3	4 988	23.7	339	6.8
1980	424 109	64 409	15.2	19 362	30.1	3 814	19.7

FUENTE: S.C.T. Dirección General de Ferrocarriles en Operación.  
Departamento de Planes y Programas.  
"Estadística Ferroviaria Nacional" 1970 y 1980.

## EXTENSION Y DENSIDAD ESTADAL DE LAS VIAS FERREAS.

ENTIDAD	SUPERFICIE KM <sup>2</sup> .	KMS. DE VIA.	KM <sup>2</sup> DE TERRITORIO/KM DE VIA.	KMS. DE VIA/1000 KM <sup>2</sup> DE TERRITORIO.	NO. DE HABITANTES	KMS. DE VIA POR C/1000 HABITANTES.
ACS.	5 589	212.365	26.1	37.997	508 528	0.419
B. C.	70 113	199.632	351.2	2.847	1 226 896	0.162
B. C. S.	73 677	- 0 -	- 0 -	- 0 -	221 051	- 0 -
CAMP.	51 833	390.936	132.6	7.542	371 283	1.052
COAH.	151 571	2 120.712	71.5	13.992	1 561 804	1.358
COL.	5 455	191.547	26.5	35.114	340 552	0.567
CHIS.	73 887	546.841	135.1	7.401	2 098 944	0.261
CHIH.	247 087	2 581.246	95.7	10.446	1 936 824	1.333
D. F.	1 499	362.613	4.4	228.561	9 370 740	0.036
DGJ.	119 648	1 215.534	98.4	10.159	1 160 169	1.048
GTO.	30 569	1 053.546	29.2	34.311	3 048 157	0.344
GRO.	63 794	104.207	612.2	1.633	2 175 749	0.048
HGO.	20 987	742.910	28.3	35.390	1 516 493	0.490
JAL.	80 137	1 010.240	79.3	12.605	1 297 132	0.235
MX.	21 461	1 176.691	18.2	54.829	7 532 111	0.156
NCH.	59 864	1 127.468	53.1	18.834	3 050 028	0.370
NOR.	4 941	337.173	14.7	68.240	932 730	0.361
NUY.	27 621	384.204	71.9	13.910	728 751	0.527
N.L.	64 555	1 054.725	61.2	13.338	2 464 298	0.423
OAX.	95 364	672.194	141.9	7.048	2 515 268	0.277
P.F.	33 919	992.555	34.2	29.262	3 284 645	0.302
QRO.	11 769	297.792	39.5	25.303	731 304	0.407
Q.ROO.	50 350	- 0 -	- 0 -	- 0 -	210 084	- 0 -
S. L. P.	62 848	1 158.636	54.2	18.436	1 671 642	0.693
SIN.	58 092	1 175.367	49.4	20.233	1 882 512	0.624
SON.	184 934	1 879.400	98.4	10.162	1 497 775	1.254
TAB.	24 661	304.637	81.0	12.352	1 149 523	0.265
TAMPS.	79 829	864.282	92.4	10.826	1 922 804	0.449
TLAX.	3 914	352.631	11.1	90.095	548 981	0.642
VER.	72 815	1 765.771	41.2	24.250	5 263 638	0.335
YUC.	39 340	605.289	65.5	15.258	1 033 266	0.581
ZAC.	75 040	658.211	114.0	8.771	1 146 149	0.574
TOTAL	1 967 183	25 510.377	77.1	12.967	67 395 826	0.378

FUENTE: S. C. T. Dirección General de Ferrocarriles en Operación.  
Departamento de Planes y Programas "Estadística Ferroviaria Nacional" 1980  
Censo General de Población Datos Preliminares 1980.

Cuadro 1.2.

## TRANSPORTE CARRETERO

La actividad autotransporte o transporte carretero, tiene la peculiaridad de enlazar espacios geográficos, disminuyendo el tiempo en que la actividad ferroviaria lo ha hecho, y tener fácil acceso a los centros de producción y acopio, permitiendo con ello transportar los bienes hasta los centros de consumo. Por otro lado, el autotransporte requiere de una inversión a corto plazo muy por debajo de la correspondiente a los ferrocarriles, ésto se debe a que el autotransporte se adapta más fácilmente a los problemas topográficos y constructivos, y a que no requiere de las instalaciones inherentes al ferrocarril; todo ésto lo convierte en la opción inmediata más económica. En cuanto a los tipos de vehículos

que transitan por las carreteras existen: automóviles particulares de tipo turismo, autobuses de pasajeros y camiones de carga, principalmente. La potencia requerida por ton. neta, capacidad de carga y velocidad de operación para automóviles y camiones son de 100 HP, 1.5 ton., 80 km/h. y 8 HP, 2 a 15 ton., 50 km/h., respectivamente. Anualmente, los autobuses de pasajeros recorren 65,000 km. y por otra parte, los camiones de carga transportan 40,000 ton. por km. Por lo expuesto, es fácil detectar los altos consumos de combustibles que requieren estos transportes y la menor capacidad de carga comparada con el ferrocarril; sin embargo, debido a la carencia de un servicio directo ferroviario, que utiliza hasta tres veces el tiempo de transporte por carretera, el autotransporte se ha convertido en el principal medio de transporte terrestre.

#### BOSQUEJO HISTORICO

Su inicio parte de los caminos reales que se construyeron durante el Imperio Azteca. Posteriormente, en la época de la Colonia, se crearon 7,000 km. de estos caminos reales para transportar carga y pasajeros por medio de vehículos tirados por bestias. En 1930 ya se contaba con una extensión de 1,426 km. extendiéndose a 9,926 km. en 1940 bajo la dirección de la Comisión Nacional de Caminos. En este año, el 48% de las carreteras estaban pavimentadas. De 1940 a 1950 se le puede denominar etapa de aceleración en la construcción de caminos, debido a que se llegó a pavimentar el 63.4% y 50.8% respectivamente; en esta época la red de carreteras llegó a los 21,422 km. aumentándose 49,600 km. de 1950 a 1970. Para 1972, la extensión total llegó a los 124,391 km. de los cuales el 36.4% estaban pavimentados, 31,620 km. revestidos y 45,222 km. eran terracerías. Al inicio de los años 80, la longitud alcanzó los 213,192 km. de los cuales 31.1% estaban pavimentados, conformándose la red con 14,757 km. de carreteras troncales.

Es oportuno mencionar que la longitud de carreteras se encuentra trazada paralelamente al sistema ferroviario y a los puertos claves, todo ello por la dependencia que el país tiene del comercio exterior. En la fig. 1.2, se muestra la configuración actual de las carreteras en México.

#### SITUACION ACTUAL Y PROPOSITOS AL FUTURO

El transporte carretero constituye el núcleo del sistema de trans--

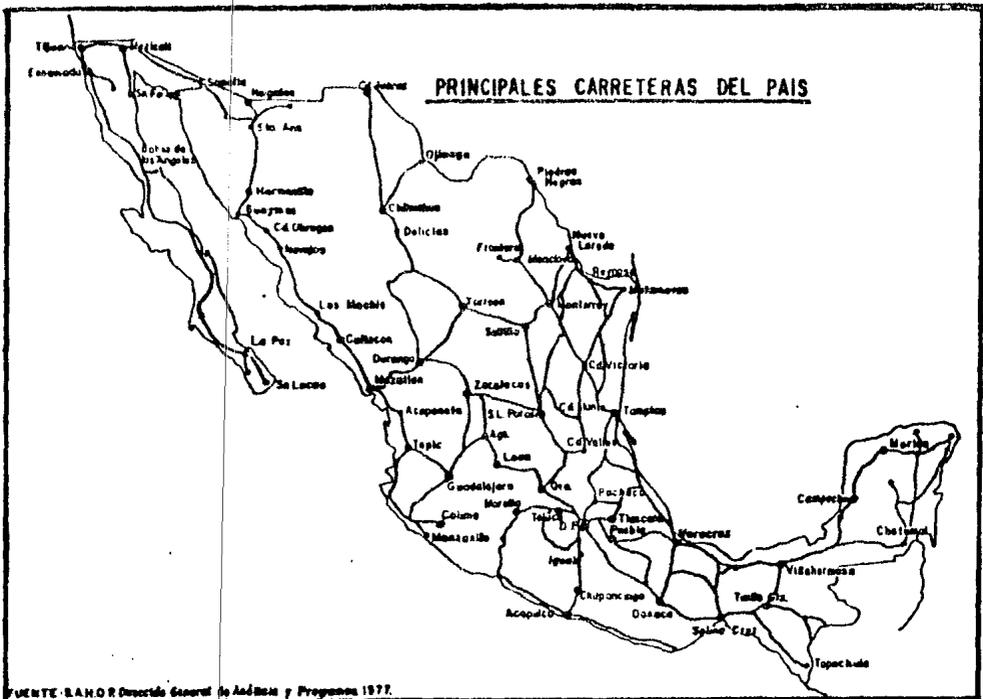


fig. 1.2.

porte, al atender el 80% del movimiento interurbano de carga y el 97% -- del servicio público de pasajeros.

Para el autotransporte público federal se cuenta con una flota de - 154,000 camiones; 26,300 autobuses y actualmente (1980) se enfrenta a -- problemas de disminución de la demanda, 40% de los vehículos están inactivos, deudas importantes en moneda extranjera, carencia de divisas para la adquisición de refacciones y problemas laborales y de tarifas bajas.- El transporte de carga muestra fallas de organización y carencia de un - financiamiento adecuado; además, el servicio combinado con los ferrocarriles y el transporte marítimo, se ha retrasado considerablemente. En - cuanto al transporte de pasajeros, es adecuado en trayectos largos, pero en zonas suburbanas es insuficiente y de baja calidad, además de no contar con políticas tarifarias consistentes.

Nuestra red de carreteras alcanza una longitud de 213,192 km. de los cuales el 31.1% están pavimentados; ello ha permitido que el 85% de la población disponga de comunicación terrestre permanente. Sin embargo, la red manifiesta deterioro y congestionamiento significativos en diversos tramos, particularmente en los 25,000 km. de la red troncal básica, debido a la insuficiencia de las inversiones destinadas a la conservación y a la ausencia de modernizaciones. Por esta razón será necesario, en el futuro, reparar estos tramos y hacerlos nuevamente operables para el autotransporte.

En el Plan Nacional de Desarrollo (1983-1988) se fijan los siguientes lineamientos futuros para el transporte carretero: "Como consecuencia del impulso al ferrocarril y al transporte marítimo, el transporte carretero deberá disminuir su participación, en términos relativos, en el movimiento interurbano nacional de carga al 75% en 1988 y al 65% en el año 2000 y en el servicio de pasajeros al 97% y 93% respectivamente. Se fortalecerá la programación concertada para lograr un desarrollo eficiente del autotransporte y una mejor coordinación y complementación de éste con los otros modos. Se impulsará el transporte colectivo, mejorando la calidad del servicio entre grandes ciudades y en zonas suburbanas, esto permitirá racionalizar el consumo de energéticos y atenuar la contaminación ambiental, el congestionamiento de las vías y el deterioro de las mismas".

#### IMPORTANCIA NACIONAL

En la actualidad la actividad que ha destacado por el volumen de carga y el número de pasajeros, es sin duda la actividad carretera, ello debido al impulso que la inversión pública ha canalizado para fomentar esta parte de la infraestructura y al número de vehículos oferentes que participan en esta actividad. El autotransporte público federal, cuenta con un activo de 650,000 millones de pesos; genera 570,000 empleos y más de un millón de indirectos.

La inversión pública canalizó al subsector el 36.0% de su inversión total en 1960, disminuyendo periódicamente hasta el 15.2% en 1980. En lo concerniente a la actividad carretera, el comportamiento de la inversión dentro del sector comunicaciones y transportes, para 1960, representó el 31.2%, logrando su mayor participación en 1965 con el 49.0% y decrecien-

do, paulatinamente, hasta llegar al 21.2% en 1980.

En cuanto a la construcción de carreteras, la inversión ha aumentado de 1960 a 1980, pasando del 69.3% al 90.5%, (cuadro 1.3).

También es conveniente señalar la participación de las carreteras - en la infraestructura nacional; si en la actualidad se cuenta con 213,192 km. de carreteras y la superficie de la República es de 1'967,183 km<sup>2</sup>, - el país tiene entonces una extensión promedio de 9.23 km<sup>2</sup> de territorio- por cada km. de carretera; así mismo, considerando una población de --- 67'395,826 habitantes, corresponden 3.16 km. de carretera por cada 1,000 habitantes.

LA INVERSIÓN PÚBLICA TOTAL

(MILLONES DE PESOS CORRIENTES).

AÑOS	INVERSIÓN PÚBLICA - TOTAL.	INVERSIÓN EN COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.		INVERSIÓN EN CARRETERAS.			
				ACTIVIDAD		CONSTRUCCIÓN	
				TOTAL	POR CIENTO	TOTAL	POR CIENTO
1960	8 376	3 014	36.0	939	31.2	651	69.3
1965	13 049	3 409	26.1	1 161	49.0	1 248	74.7
1970	30 250	6 500	21.5	2 609	40.1	1 122	43.0
1975	99 051	21 091	21.3	7 392	35.1	4 192	56.7
1980	424 109	64 409	15.2	13 626	21.2	12 335	90.5

FUENTE: S.C.T. Dirección General de Ferrocarriles en Operación.

Departamento de Planes y Programas "Estadística Ferroviaria Nacional" 1970 y 1980.

Cuadro 1.3

COMPARACIONES

A lo largo de este capítulo, se han presentado las ventajas particulares que los transportes terrestres tienen unos sobre otros; sin embar-

go, aún existen otros parámetros que pueden influir en la decisión de -- utilizar el transporte carretero o el ferroviario:

- Se transporta la carga en tren para distancias desde 300 hasta - 3,000 km. o más; en camiones grandes entre 50 y 400 km., pudiendo llegar a 2,000 km. en casos aislados, y en pequeños camiones- y pick ups para tráficos desde 1 hasta 200 km.
- Los ferrocarriles pagan 3 veces más cargos fijos por derecho de vía que los autobuses y 4 veces más que los camiones.
- Para el tiempo empleado en caminos, éste puede ser de 1/2 ó 1/5- del total usado por el ferrocarril. Esto debido a las demoras en estaciones, patios, terminales y falta de señalización.
- Nuestros trenes tienen un recorrido medio diario demasiado bajo, lo cual arroja velocidades de tren promedio sobre 24 horas de me nos de 8 km/h. y a pesar de ello, su productividad real anual equivale a la media anual de 400 camiones medianos, los cuales -- producen 50,000 ton. netas por km/año.
- Con las locomotoras diesel-eléctricas pueden recorrerse de 100 a 150 mil km. y solamente permanecer 20 días en taller de repara-- ciones. Los carros de carga recorren 20 mil km. con 10 días en - el taller; los coches de pasajeros 50 mil km. con 15 días fuera- de servicio; los camiones de carga en promedio recorren 20 ó 25- mil km. al año con 10 días de reparación y los autobuses 60 mil- km. con 15 días.

Sin embargo, podemos mencionar otro tipo de diferencias, pero en el contexto nacional. La figura 1.3 muestra la inversión en el transporte - terrestre, es evidente que a partir de 1978 el ferrocarril ha recibido - un mayor presupuesto que la carretera; sin embargo, una ínfima parte se- dedicó a la construcción de nuevas vías (19.7% en 1980) en tanto que la- carretera utilizó la mayor parte del presupuesto en la construcción --- (97.5% en 1980).

El cuadro 1.4 muestra el comportamiento del transporte terrestre de 1970 a 1980 en cuanto al manejo de carga y pasajeros; es evidente la -- gran ventaja que en ambos aspectos tiene el autotransporte sobre el ferro-

carril. También se puede apreciar la Tasa de Crecimiento Anual en ambos modos de transporte, siendo menor en el ferrocarril de 1970 a 1980 en el tráfico de pasajeros y de 1978 a 1980 para el tráfico de carga, en términos generales.

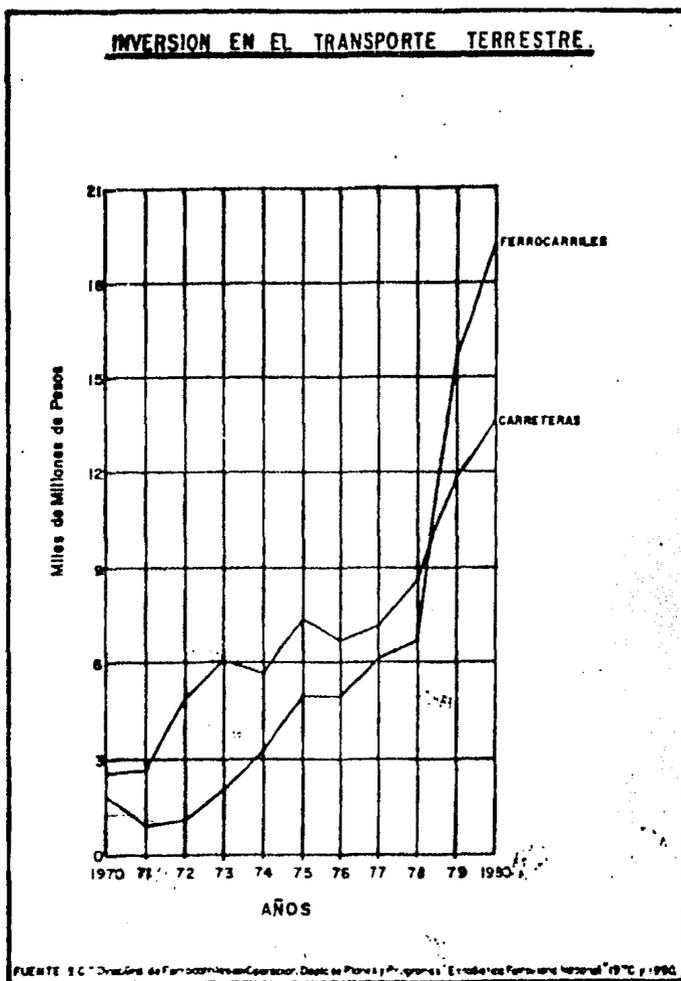


fig. 1.3

COMPORTAMIENTO DEL AUTOTRANSPORTE TERRESTRE  
1970 - 1980 .

AÑO	AUTOTRANSPORTE .				FERROCARRILES .			
	CARGA		PASAJEROS		CARGA		PASAJEROS	
	POR CIENTO	T. C. A. %	POR CIENTO	T. C. A. %	POR CIENTO	T. C. A. %	POR CIENTO	T. C. A. %
1970	74.8	-	92.1	-	25.2	-	7.9	-
1971	75.2	0.4	93.3	1.2	24.8	-0.4	6.7	-1.2
1972	74.4	-0.8	93.6	0.3	25.6	0.8	6.4	-0.3
1973	75.0	0.6	94.6	1.0	25.0	-0.6	5.4	-1.0
1974	72.9	-2.1	95.4	0.8	27.1	2.1	4.6	-0.8
1975	73.3	0.4	95.9	0.5	26.7	-0.4	4.1	-0.5
1976	74.1	0.8	96.7	0.8	25.9	-0.8	3.3	-0.8
1977	73.4	-0.7	96.4	-0.3	26.6	0.7	3.6	0.3
1978	74.3	0.9	96.6	0.2	25.7	-0.9	3.4	-0.2
1979	76.0	2.5	97.6	1.0	23.2	-2.5	2.4	-1.0
1980	78.5	1.7	97.9	0.3	21.5	-1.7	2.1	-0.3

T. C. A.: Tasa de Crecimiento Anual.

FUENTE: Dirección General de Autotransporte Federal. Ferrocarriles en Operación y Planeación.  
CAMACINTRA Estudio sobre la demanda de Remolque y Semiremolques 1979.

Cuadro 1.4

Por último, las figuras 1.4 y 1.5, muestran los pasajeros-kilómetro y toneladas-kilómetro transportados por el autotransporte público federal y por el ferrocarril, respectivamente. Evidentemente en el número de pasajeros-kilómetro, la participación del ferrocarril es prácticamente nula, siendo más significativa en el número de toneladas-kilómetro.

#### CONCLUSIONES

Frente al transporte de carga y de pasajeros el riel ha perdido presencia. Las diferentes causas que explican esta disminución no solo tienen que ver con cuestiones de orden técnico, administrativo o económico (curvas y pendientes que obligan a reducir las velocidades comerciales, deficiente mantenimiento general del sistema, malas condiciones de durmientes y balastos, baja velocidad tractiva de operación, escaséz de equi

**PASAJEROS-KILOMETRO TRANSPORTADOS POR EL  
AUTOTRANSPORTE PUBLICO FEDERAL Y POR EL FERROCARRIL**

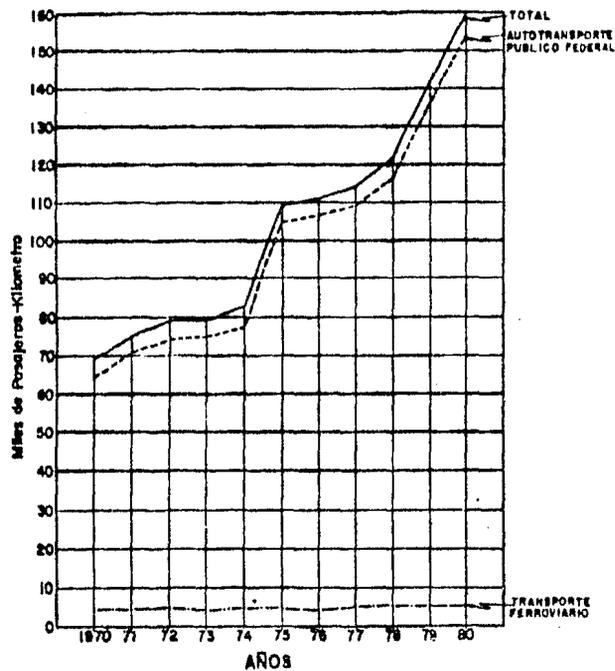


fig. 1.4

FUENTE: S.C.T. Direcciones Generales de Autotransporte Federal y de Pioneros.

**TONELADAS-KILOMETRO TRANSPORTADAS POR EL  
AUTOTRANSPORTE PUBLICO FEDERAL Y POR EL FERROCARRIL**

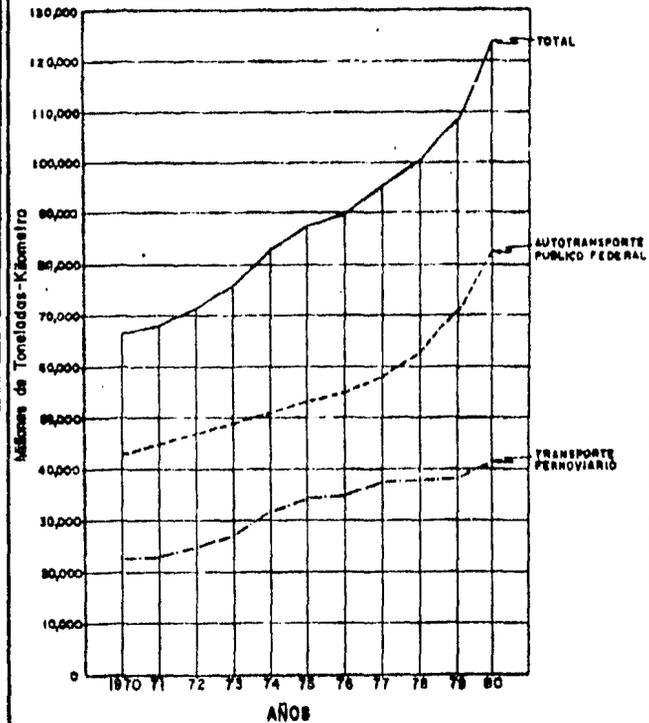


fig. 1.5

FUENTE: S.C.T. Direcciones Generales de Autotransporte Federal, Ferrocarriles en Usos y Pioneros.

po de arrastre por un ciclo de carga muy largo, sistemas operativos obsoletos, mala programación del tráfico, tarifas inadecuadas, etc.), sino también con asuntos de naturaleza socio-política.

Por otro lado, es por todos conceptos inconveniente que el autotransporte compita con el ferrocarril en el transporte de carga a grandes distancias, por lo que surge la necesidad de una reestructuración del actual sistema tarifario, estableciendo tarifas conjuntas que tengan vigencia - en todo el sistema. Las nuevas cuotas que se fijen al transporte por ferrocarril podrán eliminar la competencia del autotransporte a distancias mayores de 400 km.

Solo cuando una región ha alcanzado un desarrollo tal que el traslado de su creciente producción por autotransporte pueda resultar incosteable, debe planearse la construcción de un ferrocarril. Un ferrocarril no puede actuar por sí solo como primer factor de desarrollo económico, sino que requiere de una expansión económica previa que le asegure un fuerte volumen de carga para que su operación sea costeable.

En cuanto a la coordinación del transporte de mercancías, la forma de describirla es con el siguiente ejemplo: la carga originada en alguna localidad, es conducida por un pequeño vehículo automotor a través de caminos vecinales y brechas hasta conectarse con un gran remolque de 20 toneladas de capacidad del servicio público concesionario de una carretera de primer orden, para posteriormente transbordar en una estación de ferrocarril y así finalizar ese gran recorrido, en alguna terminal terrestre o marítima. En cuanto a la coordinación del transporte de pasajeros, un ejemplo podría ser el siguiente: las grandes estaciones de turismo, precisan del servicio que el ferrocarril puede ofrecer para el transporte de 6 a 8 automóviles por plataforma de dos niveles, ésto origina un gran descanso del automovilista y un incremento de su radio de gira vacacional.

Pero tal vez la conclusión más importante, y necesaria en estos momentos, es la pronta reincorporación del ferrocarril al Sistema de Transporte Terrestre Nacional, indudablemente los problemas a vencer son muchos y de muy distintas índoles, políticos, económicos, sociales, etc., - pero lo que es seguro, es que México está desperdiciando un gran elemento y un valioso aliado para el desarrollo nacional.

## C A P I T U L O   I I

### LA MICROCOMPUTADORA APLICADA EN LOS TRABAJOS DE VIAS TERRESTRES

"La computadora ha afectado claramente la práctica de la ingeniería. Se está convirtiendo cada vez más en un recurso indispensable para el diseño, sirviendo de auxiliar a los ingenieros en formas como: búsqueda bibliográfica, reducción de datos, operaciones matemáticas, optimización iterativa, simulación, etc..."(1).

#### VENTAJAS DE LAS COMPUTADORAS APLICADAS EN LA INGENIERIA

En la actualidad, la computadora ha influido al ingeniero en forma directa e indirecta. Directamente se presentan dos efectos principales: para muchos representa un aprendizaje de nuevas técnicas, como los métodos numéricos (una rama de la ingeniería poco aplicada antes de aparecer las computadoras) y la programación en computadora; pero para la mayoría, se ha traducido en adquirir otro tipo de conocimientos como: la naturaleza de la computadora, lo que puede hacer, sus limitaciones y sus aplicaciones. Indirectamente, la computadora ha tenido diversos efectos; para unos, se ha convertido en una necesidad de utilizar con mayor frecuencia las matemáticas. Antes de aparecer las computadoras, el uso práctico de las técnicas matemáticas era muy limitado por el tiempo que se requería para realizar los cálculos; sin embargo, con la computadora, este obstáculo ha desaparecido, debido a que las máquinas pueden desarrollar un gran número de técnicas matemáticas con rapidez y a un costo tolerable.

A pesar de que las computadoras reducen al mínimo los trabajos tediosos y repetitivos, el ingeniero no tiene que dejar de hacer sus tradicionales trabajos con lápiz, esquemas, búsqueda de información, etc.; porque se debe precisamente a ese trabajo, que las máquinas puedan ser aplicadas en los métodos de cálculo tradicionales; sin un procedimiento de cálculo, la computadora resulta totalmente inútil.

Los ingenieros de antaño se veían forzados frecuentemente a realizar simplificaciones toscas e indeseables en muchos de sus modelos mate-

(1) Fundamentos de Ingeniería. Edward Krick. México. Limusa 1979.

máticos y de simulación; el propósito, ahorrar tiempo y trabajo en la elaboración de cálculos. Pero estas simplificaciones tenían como consecuencia directa el aumento de los factores de seguridad, provocando éstos, a su vez, un aumento en el costo de las obras o subutilización de maquinaria, por ejemplo, al consumir mayor cantidad de materiales o utilizar máquinas más grandes que las necesarias. Pero en nuestros días, con la computadora, el ingeniero puede recurrir al modelo más elaborado y obtener resultados más precisos, lo que propicia una reducción importante de los factores de seguridad tradicionales.

Finalmente, cabe mencionar que muchos de los adelantos logrados hoy en día, como los viajes espaciales, la energía nuclear, el transporte aéreo, las comunicaciones, entre otros, se habrían retrasado considerablemente sin la ayuda de la computadora. Es posible afirmar que la computadora, aplicada en la ingeniería, medicina, gobierno, arquitectura, literatura, etc., ha llegado a ser considerada como una máquina que ha logrado realizar lo imposible e impráctico a partir del momento que vivía la humanidad cuando apareció en escena.

#### BOSQUEJO HISTORICO DE LA COMPUTADORA

La historia se inicia en 1642, cuando Blas Pascal construyó una sumadora mecánica llamada "máquina aritmética" que únicamente podía sumar y restar. En 1671, G.W. Leibnitz adaptó la máquina de Pascal para desarrollar operaciones matemáticas, logrando, además de sumar y restar, multiplicar, dividir e incluso extraer raíces cuadradas. Debido a la falta de tecnología, el proyecto se abandonó hasta que en 1804 J.M. Jacquard inventa la "tarjeta" perforada, que la aplicó en los telares. Treinta años después Charles Babbage inventa la "máquina de diferencias" que podía resolver polinomios hasta de 8 términos, posteriormente la "máquina analítica" que podía evaluar cualquier fórmula basándose en los principios de las tarjetas perforadas de Jacquard; sin embargo, este hombre fue vencido por las hostilidades de sus contemporáneos y la falta de técnicas de ingeniería de precisión, dejando inconclusos sus trabajos. La primera máquina de calcular que alcanzó éxito comercial fue la del financiero francés T. de Colmar quien la inventó en 1820 y la fabricó para su venta en 1831. Aunque en 1871 viene la aplicación de las máquinas eléc--

tricas por Herman Hollerith, en 1878 nace la industria de las calculadoras mecánicas en Alemania, donde A. Burkhardt es el fundador. En México se instala una máquina de Hollerith en 1929 para los Ferrocarriles Nacionales. Es en 1887 cuando L. Bolée concibe la multiplicación directa y su máquina es comercializada en Suiza por O. Steiger quien la fabrica con el nombre de "Millonaria". En 1892, W.S. Burroughs establece la verdadera transición entre las calculadoras mecánicas y las máquinas eléctricas en Estados Unidos. En 1925 Vannever Bush construyó una máquina analógica que funcionaba en base a variaciones de voltaje. En la década de los 30, L.J. Comrie en Inglaterra y W.J. Eckert en Estados Unidos, utilizaron -- equipo de procesamiento industrial para estudios astronómicos y por otro lado, G.R. Stibitz diseñó su máquina semiautomática llamada "computadora compleja", en base a una máquina de teletipo. Fue hasta 1944 cuando Aiken introduce la primera computadora totalmente automática, electromecánica-- aunque no electrónica, llamada "Mark 1".

En 1945 nacen las llamadas computadoras modernas, J. Mauchly y J.P. Eckert construyen la máquina llamada "ENIAC", cuya velocidad de ejecución era 15 mil veces mayor que la de Mark 1; sin embargo, esta máquina no era de programa almacenado; ésta se establece de 1945 a 1947 por J. Von Neuman. Las primeras máquinas prácticas se aplicaron entre 1948 y -- 1949, obteniendo los primeros listados. En 1950 llega la primera computadora comercial llamada "Ferranti Mark 1". En 1951 entra en operación la máquina llamada "LEO" que atacó grandes problemas de la industria y-- gobierno de Estados Unidos funcionando hasta 1965. Para el año 1954, Ferranti desarrolla en Inglaterra la computadora llamada "PEGASUS" y bajo la dirección de W.S. Elliot, auxiliado por Christopher Strachey, mejoran en gran escala las deficiencias del "software" de las máquinas anterio-- res. Para estas fechas, Grace M. Hopper había ya escrito el primer compilador. Para finalizar con esta etapa de la computadora, en 1954 Christopher Strachey diseña la primera codificación de instrucciones de computa-- dora. A partir de este momento, y a escasos 30 años, las computadoras -- han logrado avances sorprendentes en todos los campos, diversificandose, en gran escala, los tipos de máquinas, variedad de lenguajes, equipos -- auxiliares, etc.

En general la historia de las computadoras se divide en tres etapas o generaciones; que se muestran a continuación:

**Primera Generación:** Esta etapa se desarrolla durante las décadas de los años 40 y 50; su característica principal es el uso de tubos electrónicos (bulbos) como componente primordial. Por este motivo su tamaño era muy grande y su mantenimiento complicado; se calentaban rápidamente siendo necesario un costoso equipo de refrigeración. Otro inconveniente era su poca fiabilidad, fallando en promedio una vez cada hora; ésto hacía necesario contar con la total dedicación de un grupo de personas destinadas al mantenimiento. Los tiempos de ejecución de programas largos, implicaban esperas incluso de varios días. La computadora únicamente podía dedicarse a una tarea a la vez, permaneciendo ociosos el resto de los componentes.

**Segunda Generación:** Se desarrolla durante la década de los años 60; su característica primordial es la introducción de transistores en su diseño, que vinieron a sustituir ventajosamente a los bulbos. Esta innovación provocó una considerable reducción en el tamaño físico de las máquinas, un aumento en la confiabilidad de operación y una mayor velocidad en el trabajo de cálculo. Estas máquinas ya empiezan a utilizar las cintas magnéticas que les permitían ejecutar procesos de cálculo y de entrada o salida simultáneamente.

**Tercera Generación:** Enmarcada en la década de los 70; su característica fundamental es la introducción de la microelectrónica (circuitos integrados microminiaturizados o "chips"). Otra característica es la de poder aceptar a distancia información para su procesamiento y posteriormente enviar los resultados obtenidos (teleproceso). Esto supuso una nueva reducción del equipo y el promedio de una falla cada varios miles de horas. En esta generación las máquinas pueden ejecutar varios programas simultáneamente y se aplican ya los discos magnéticos. En consecuencia, nacieron las computadoras personales y las mini y microcomputadoras; reduciendo el costo de las máquinas, sus requerimientos de electricidad y aumentando la capacidad de memoria y la velocidad del equipo periférico.

Actualmente hay conflicto entre los expertos respecto a la generación de computadoras que se vive; sin embargo, seguramente en la década actual pasaremos a la cuarta generación e incluso la superaremos para --

inaugurar una quinta.

#### DESCRIPCION GENERAL DE LA OPERACION DE LAS MICROCOMPUTADORAS

"... Es evidente que como cualquier otra realización de la ingeniería, no se necesita diseñar o construir el equipo para poderlo utilizar; es más, para el ingeniero resulta suficiente un conocimiento general de los componentes de la computadora y de su modo de funcionar, del mismo modo que los que se requieren para manejar un automóvil o utilizar un --telar..." (1).

Una computadora es una máquina, que procesa información. Para que --funcione, se le debe proporcionar un conjunto único de instrucciones, --llamado "programa", para cada tarea que tenga que realizar. El programa--es almacenado en la memoria interna de la máquina el tiempo que sea nece--sario y una vez "memorizado" podrá ser ejecutado, llevando a cabo las --operaciones deseadas, tantas veces y en el momento que se requiera, para finalmente proporcionar los resultados correspondientes.

En cuanto al programa, se forma por un conjunto de instrucciones o--"sentencias" ordenadas, que le indican a la computadora la secuencia y --operaciones necesarias para llegar al resultado deseado; una sola instruc--ción puede:

- 1) Pedir datos del exterior (usuario) e introducirlos en el almacenam--entamiento (memoria).
- 2) Ejecutar una operación aritmética específica entre números selec--cionados.
- 3) Comparar cifras o palabras y con el resultado efectuar nuevas --operaciones.
- 4) Ejecutar una prueba lógica para determinar qué parte del programa debe ser ejecutada a continuación.
- 5) Retirar los resultados del almacenamiento y representarlos, me--diante varias opciones, a su usuario.

Por lo explicado en párrafos anteriores, podemos mencionar los si--

(1) Ferrocarriles. Francisco M. Togno. México. RSI. 1979. Pág. 740.

guientes componentes básicos de una computadora: la unidad de entrada, - la unidad de procesamiento, almacenamiento y control, y la unidad de salida; tal como se muestra en la figura 2.1.

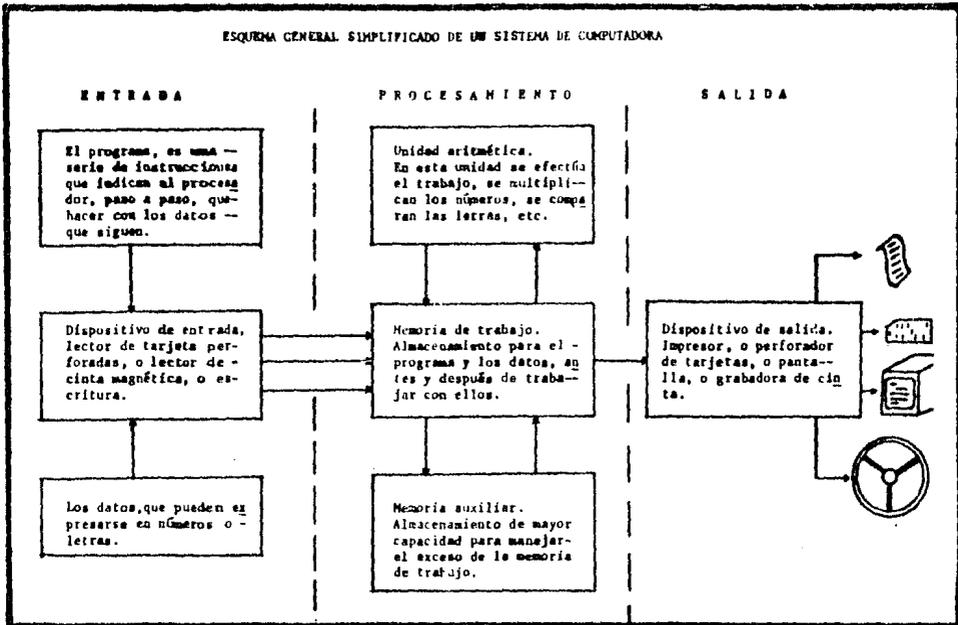


fig 2.1.

Estos componentes o "unidades", trabajan sobre los programas que se proporcionen a la máquina, siguiendo los lineamientos generales:

- 1) En un lenguaje comprensible para el usuario, la unidad de entrada recibe el programa y los datos correspondientes al problema - en cuestión, llamados "programa fuente" y "datos de entrada", -- respectivamente. Existen varias formas de realizar esta operación: por el teclado de la máquina, tarjetas perforadas, carretes de cinta magnética y por discos o tambores magnéticos. Tanto el programa fuente como los datos de entrada, son enviados a diferentes sectores de la memoria, donde permanecerán hasta ser utilizados.
- 2) En la unidad de procesamiento se traduce el programa fuente a un

lenguaje comprensible para la máquina (programa objeto) y posteriormente lo ejecuta utilizando los datos de entrada, previamente traducidos, obteniendo así los resultados o "datos de salida", los cuales serán enviados a otro sector de la memoria donde quedarán almacenados hasta que la máquina reciba la orden de retirarlos.

- 3) Como función principal de la unidad de salida tenemos la de retirar los datos de salida, y tal vez una parte de los de entrada, del almacenamiento donde se encuentran y enviarlos al exterior, en forma comprensible para el usuario, mediante varias opciones: directamente por pantallas e impresoras o indirectamente por tarjetas, cintas, discos o tambores.

Aunque hasta ahora solamente se ha hablado de computadoras, el sistema de operación es similar para las microcomputadoras; inclusive, solamente hay dos características genéricas que las distinguen entre sí:

- La microcomputadora se basa principalmente en un circuito integrado capaz de ejecutar un programa y controlar las unidades necesarias para dicha ejecución (microprocesador).
- Sus dimensiones son considerablemente más reducidas.

Los conocimientos necesarios sobre las microcomputadoras, están en función del tipo de utilización que se le desee dar, pero, incluso al nivel más sencillo, es conveniente conocer, al menos desde un punto de vista descriptivo, la estructura física de dichos sistemas, objetivo que se pretendió cubrir en este apartado.

#### SISTEMA DE PROGRAMACION BASIC

Como se estableció en el apartado anterior, para que una microcomputadora pueda llevar a cabo los procesos que desee el usuario, es necesario proporcionarle el adecuado conjunto de instrucciones agrupadas y ordenadas en lo que se denomina programa. El procesador (CPU) irá extrayendo las instrucciones de la memoria central con el fin de proceder a su ejecución. Por razones tecnológicas, la memoria solo almacena dígitos binarios (bits: unos y ceros); por tanto, las únicas instrucciones que la máquina es capaz de entender son combinaciones de ceros y unos: instrucciones elaboradas en código de máquina; sin embargo, realizar un programa en código de máquina es una tarea dura y que generalmente propicia un

gran número de errores. Para eliminar estos inconvenientes se crearon -- lenguajes de programación cada vez más alejados del lenguaje de máquina, pero más próximos al lenguaje humano; a estos lenguajes se les conoce -- como "lenguajes de alto nivel" y han proliferado considerablemente en los últimos años, en tal forma que para 1980 se tenían cerca de 200 lenguajes diferentes registrados y han seguido aumentando. Cada uno de estos -- lenguajes son aplicables en determinadas áreas de trabajo: científico, -- administrativo, algebraico, manejo de ficheros y bancos de datos, etc.; -- sin embargo, hay dos lenguajes que son aplicables tanto en problemas cien-- tíficos como administrativos: BASIC y PASCAL; el objetivo de este traba-- jo incluye únicamente el lenguaje BASIC del cual trataremos de presentar una descripción general.

BASIC son las iniciales de Beginner's All-purpose Symbolic Instruc-- tion Code (código de instrucciones simbólicas de uso general para princi-- pantes) y fue diseñado inicialmente para enseñar a programar. No obstan-- te, ha llegado a ser un lenguaje tan completo y con tantas característi-- cas, que se ha extendido su uso entre un gran número de programadores. -- Fue desarrollado inicialmente durante los años de 1963 a 1964, en el --- Dartmouth College de Hannover (New Hampshire), bajo la dirección de los-- profesores John Kemeny y Thomas Kurtz. Las ventajas más sobresalientes -- de este lenguaje son:

- 1) Es un lenguaje fácil de aprender y agradable de usar, que no re-- quiere de profundos conocimientos matemáticos.
- 2) Por su sencilléz, permite al programador modificar el programa, -- en caso de error, sin mayor esfuerzo.
- 3) Es adecuado para usarse en sistemas de tiempo compartido, permi-- tiendo al programador usar grandes máquinas a bajo costo.

BASIC es un lenguaje de programación con instrucciones que recuerdan las fórmulas del álgebra elemental, con algunas palabras en idioma inglés como: LET, GO, TO, READ, IF, PRINT, THEN, END, FOR, etc., lo que lo hace un lenguaje ameno, pues está orientado a ser accesible a todas las perso-- nas.

Un programa escrito en BASIC está formado por un conjunto de líneas de programa que contienen las instrucciones necesarias para llevar a ca--

bo una tarea; no obstante, el escribir las instrucciones que constituyen un programa es solo la última fase, la conclusión de un complejo trabajo de análisis del problema específico y de su síntesis en una estructura compatible con la máquina. El análisis del problema a resolver lleva a sintetizar incluso las operaciones más complejas en una serie de funciones elementales representables gráficamente mediante los símbolos adecuados. De esta representación gráfica, diagramas de bloque y de flujo, se pasa a la escritura de las instrucciones propiamente dicha. A continuación se definen los diagramas antes mencionados y en la figura-2.2, se muestran las formas geométricas utilizadas en la representación:

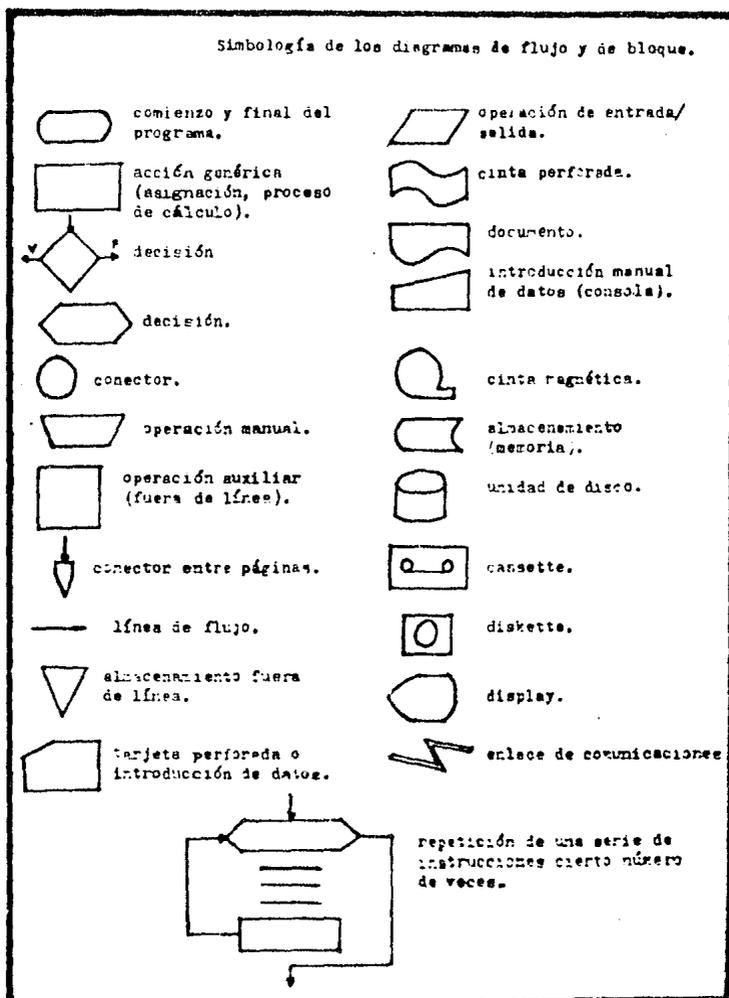


Fig. 2.2.

bo una tarea; no obstante, el escribir las instrucciones que constituyen un programa es solo la última fase, la conclusión de un complejo trabajo de análisis del problema específico y de su síntesis en una estructura compatible con la máquina. El análisis del problema a resolver lleva a sintetizar incluso las operaciones más complejas en una serie de funciones elementales representables gráficamente mediante los símbolos adecuados. De esta representación gráfica, diagramas de bloque y de flujo, se pasa a la escritura de las instrucciones propiamente dicha. A continuación se definen los diagramas antes mencionados y en la figura-2.2, se muestran las formas geométricas utilizadas en la representación:

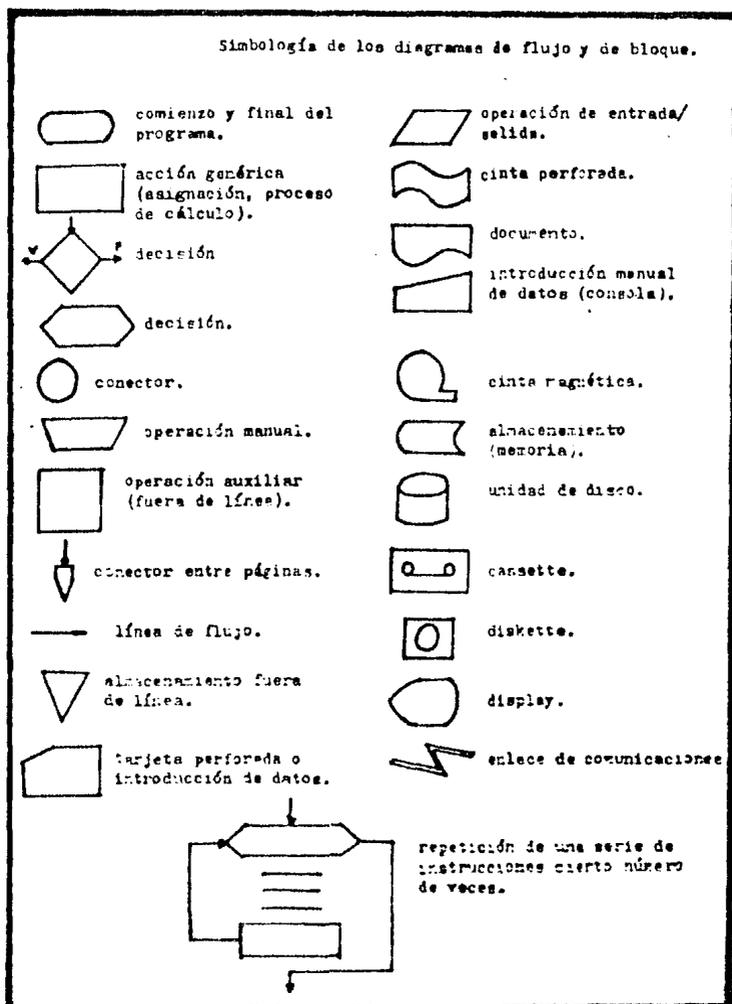


Fig. 2.2.

**Diagrama de bloque:** Representa el medio de comunicación entre el analista con la persona que requiere la solución del problema y que no conoce la terminología ni los conceptos empleados por el analista, — pero que sabe una parte fundamental representada por el problema — del cual se requiere solución.

**Diagrama de flujo:** Es la representación gráfica de la solución de un problema, de manera que directamente se pueden escribir las instrucciones en el lenguaje de programación utilizado.

Una vez concluidos los diagramas mencionados, el programador podrá estructurar el programa que dé solución al problema en cuestión, pero — contando ya con una secuencia ordenada, y completa, de las instrucciones y operaciones lógicas y matemáticas que habrán de desarrollarse, reduciendo, en gran forma, las posibilidades de error. Las instrucciones que conforman dicho programa, deben cumplir con ciertas condiciones elementales:

- 1) Cada instrucción debe aparecer en un renglón separado, un renglón equivale a 72 caracteres pudiendo llegar a los 132.
- 2) Una instrucción no puede exceder los límites del renglón continuando en el siguiente.
- 3) Cada instrucción debe principiar con un número entero de orden, — el cual no podrá repetirse en dos instrucciones consecutivas.
- 4) La numeración deberá ser creciente.
- 5) Se pueden dejar espacios en blanco donde se desee para hacer más legible la instrucción.

Por otro lado, se ha establecido que la máquina únicamente entiende, y trabaja, el programa en un código binario; en consecuencia, el programa recién elaborado (programa fuente) deberá ser traducido por la máquina a un lenguaje binario de ceros y unos (programa objeto). Dicha traducción puede ser realizada por otros dos programas: por un programa intérprete o por un programa compilador.

- **Intérpretes:** Traducen cada instrucción del programa fuente en el momento de su ejecución. Como al mismo tiempo que se desarrolla el programa se ejecuta la traducción, el tiempo de espera es ma

yor; sin embargo, los intérpretes tienen la ventaja de señalar los errores en forma inmediata permitiendo corregirlos rápidamente.

- **Compiladores:** Estos traducen todo el programa fuente de una vez.- Una vez concluida la compilación, la máquina muestra la lista de errores detectados y al corregirlos, es necesario realizar una nueva compilación. Sin embargo, el tiempo de ejecución es menor, debido a que el programa compilado está ya traducido y sin errores.

Una vez obtenidos los resultados, la máquina puede realizar con ellos dos operaciones: o los almacena en algún dispositivo periférico o los muestra a su usuario por algún mecanismo similar.

#### MICROCOMPUTADORA TRS-80 MODELO I NIVEL II

Una de las primeras microcomputadoras comerciales fue la TRS-80 de la compañía Radio Shack, que desde 1963 es propiedad de Tandy Corporation. Aunque esta máquina ha reducido considerablemente su participación en el mercado de Estados Unidos (del 50% en 1979 al 22% en 1982), su manejo y operación son sumamente sencillos, por lo que resulta apropiada para que los principiantes en programación se familiaricen con las microcomputadoras y aprendan a manejarlas en forma por demás sencilla.

La presentación de este equipo es en tres modelos, contando con dos niveles (LEVEL I y LEVEL II) en su modelo I. El equipo que será utilizado en la presentación de los programas a lo largo de este documento, es el modelo I en su nivel II y a continuación se muestra una descripción general de sus elementos integrantes:

- **Unidad central de procesamiento (CPU):** Este elemento consta de un teclado alfanumérico y establece la comunicación en forma escrita del usuario con la máquina. Constituye el autentico "cerebro" de la máquina y tiene tres funciones principales: gestionar la memoria, controlar la información y operar con los datos; en torno suyo se organizan el resto de las unidades funcionales. Su elemento principal es un microprocesador (chip).
- **Monitor de video (Video Display):** Constituido por una pantalla de

12" en blanco y negro, establece la comunicación en forma visual entre la máquina y su usuario. En él se muestra el programa fuente, se solicita información y se exponen los resultados, si así se desea. Tiene una amplitud de 64 columnas por 16 renglones, pudiendo representar caracteres alfanuméricos o gráficos en la posición que se desee.

- Interfase (Expansion Interfase): Este elemento tiene dos funciones básicas; amplía la capacidad de la memoria de 16 K a 48 K y permite la operación de los dispositivos periféricos (grabadora de cassette, impresoras, diskettes, etc.), que se deseen utilizar.
- Grabadora de cassettes (Cassette tape recorder): Elemento periférico que tiene la función de almacenar datos y programas, para proporcionarlos en el momento que se requieran, utilizando una cinta magnética de cassette común. Evita con esto que el usuario tenga que proporcionar a la máquina programas o datos, ya obtenidos, por medio del teclado, agilizando en gran escala la tarea de "capturar" información. Se pueden conectar dos grabadoras simultáneamente, operando una como sistema de entrada y la otra de salida de información.
- Impresora (Line Printer II): También es un elemento periférico encargado de registrar en forma escrita: programas, resultados o datos requeridos por el usuario. Su capacidad es de 80 caracteres por renglón y puede escribir con letras mayúsculas, minúsculas o de doble densidad (doble ancho de las normales). Su velocidad de impresión es de 21 líneas por minuto (líneas de 80 caracteres) y tiene una variedad de 96 caracteres alfanuméricos regidos por el código ASCII-2. La estructura de un caracter se forma por una matriz de 7 x 7 puntos.
- Interruptor general (Line Filter): Se encarga de distribuir la energía eléctrica necesaria a cada componente y regular las variaciones de voltaje que se presentan al encender otros aparatos eléctricos. A este interruptor se conectan las terminales de la impresora, grabadoras (o discos), monitor de video, interfase y la fuente de poder de la CPU, que funciona como regulador de ésta

también. Posteriormente el interruptor será conectado a un enchufe de energía eléctrica casero, consiguiendo así la alimentación suficiente para cada elemento.

Debemos mencionar que el elemento más pesado del descrito anteriormente es la impresora, que alcanza los 5 kg.; con ésto, es fácil imaginar el poco peso que representa todo el equipo, que difícilmente llegará a los 12 kgs., en total. Por otro lado, el equipo se puede instalar perfectamente en una superficie de 1.00 por 0.60 mts., lo que dá una clara idea a del poco espacio requerido por la máquina; sin embargo, esta microcomputadora también tiene ciertos requerimientos: necesita un enchufe de tipo casero que esté conectado a "tierra", una temperatura ambiente de 10- a 25 grados centígrados y casi nula humedad atmosférica, estas condiciones normalmente se cumplen en la mayoría de las oficinas en México, por lo que no representan un obstáculo para la correcta operación de la microcomputadora.

En la Figura 2.3, se muestran los elementos integrantes, las conexiones que deben existir entre ellos y la distribución general recomendable:

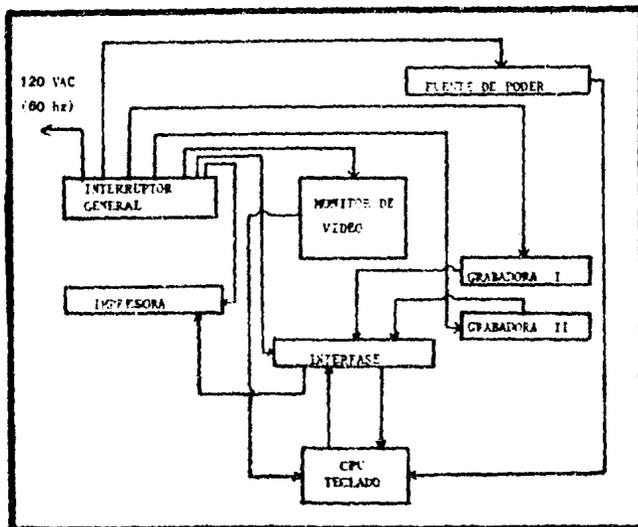


fig. 2.3.

## APLICACIONES EN LAS VIAS TERRESTRES

" No es desconocido el gran papel que ha venido a jugar las llamadas computadoras electrónicas en una diversidad de actividades humanas.- Obviamente los ferrocarriles y las carreteras no se han sustraído a este proceso, pues ofrecen un amplio campo dentro de sus actividades, susceptible de ser incorporado a los modernos sistemas de procesamiento de datos". (1).

Aunque nuestro objetivo primordial es el aspecto del cálculo de las vías terrestres por medio de microcomputadora, existen otras actividades en las vías terrestres susceptibles a ser procesadas; dichas actividades se pueden, por su sencillez, dividir en dos grupos: administrativos y -- técnicos.

### PROBLEMAS ADMINISTRATIVOS

Los casos más representativos de este grupo son: manejo de almacenes, inventarios, personal y tarifas. Inclusive, una de las primeras aplicaciones de las microcomputadoras, se dió en la solución de dichos -- problemas. Para los ferrocarriles, anualmente se desvían una considerable cantidad de recursos para mantener las existencias de sus almacenes. La microcomputadora puede ser aplicada para determinar la existencia óptima, los tiempos de pedido, etc. Un caso similar se presenta en el auto transporte público. Así mismo, estar en la posibilidad de registrar inmediatamente altas, modificaciones o bajas y poderlas tener a la mano son operaciones que pueden realizarse acertadamente utilizando la microcomputadora.

### PROBLEMAS TECNICOS

Ilustrativos de este segundo grupo, son los problemas de: proyecto de nuevas vías, conservación, control de carros, aprovechamiento de fuerza tractiva, operación de patios y terminales, estudios de origen-destino, etc.

Probablemente la aplicación más conocida de la microcomputadora, en

(1) Ferrocarriles. Francisco M. Togno. México. RSI. 1979. Pág.740.

este grupo, es en cuanto al proyecto de nuevas vías, determinación de -- puntos obligados, trazo, construcción, etc.

Es indiscutible la gran importancia que tiene la conservación en -- cualquier vía terrestre. Debido a la magnitud de recursos que se desti-- nan a estas actividades, es necesario tener un inventario al día del es-- tado que guardan los diversos elementos de la vía tales como terracerías, balasto, durmientes, rieles, carpetas, herrajes, pavimentos, obras de ar-- te (alcantarillas, puentes y túneles), patios y terminales, etc. Un pro-- grama que proporcione con veracidad estos datos para elegir una correcta política de conservación, es de indudable utilidad en cualquier empresa.

En los estudios de origen-destino, todas las poblaciones pueden co-- dificarse en cintas magnéticas para microcomputadora; dichas cintas en -- conjunto con las entrevistas (aforos), se utilizan para extrapolar y ob-- tener estimaciones del tráfico anual toscamente aproximado en lo referen-- te al tonelaje comercial, la clase y distancia media del transporte por-- tonelada neta, aún resultando más preciso en cuanto al número y clase de los vehículos.

#### APLICACIONES GENERALES EN LOS CALCULOS DEL PROYECTO GEOMETRICO

Con el objeto de mostrar la aplicación directa de la microcomputado-- ra en el cálculo de las vías terrestres, se describirá a continuación el procedimiento para la obtención de perfiles y secciones del proyecto de-- finitivo, basándose en fotografías aéreas y equipos aerofotogramétricos.

El proceso aerofotogramétrico se inicia con la obtención de un mosaico a escala 1:50,000 sobre un apoyo terrestre preliminar. Un segundo vuelo denominado "alto", nos permitirá obtener planos con altimetría a esca-- la de 1:10,000 con curvas de nivel equidistantes 10 metros; los planos -- así obtenidos son suficientes para el anteproyecto de la línea que debe-- ser trazada en el terreno como una línea preliminar, para servir de apoyo a los levantamientos topográficos y nivelaciones terrestres. El antepro-- yecto a escala 1:10,000 servirá como una simple guía para trazar de nue-- vo en el terreno un segundo polígono de apoyo, cuyos vértices deberán -- amojonarse y pintarse a manera de poderse destacar y ser fotografiados -- por un segundo vuelo "medio" para obtener planos a escala 1:2,000. Sobre

los planos del segundo mosaico, se podrá efectuar otro anteproyecto con mayor detalle que el original (1:10,000) donde se obtendrá un buen perfil y se proyectará la rasante para entregar este resultado a los geólogos, quienes resolverán los problemas de taludes, coeficientes de abundamiento, porcentajes de compactación, cimientos y datos topohidráulicos. Con todo este material, se puede recurrir a un tercer vuelo "bajo" donde los planos se reducen a escala 1:1,000 y permiten obtener secciones transversales cada 20 metros.

Con todos los datos obtenidos, se podrá alimentar de información a una microcomputadora que resolverá los problemas de: áreas de corte y terraplén, volúmenes abundados, ordenadas de curva masa y reproducir las rasantes, hasta optimizar la mejor solución para el trazo que se ordena, según datos que han sido colocados en su "memoria", sobre clasificación, precios, taludes, compactación y numerosas especificaciones tanto geométricas como de construcción.

El cálculo por microcomputadora, también resuelve desde las sencillas ecuaciones de las curvas simples, hasta las complejas ecuaciones -- donde la velocidad de diseño y la sobreelevación de la curva, define la espiral clotoide usada.

Cuando se localiza una vía terrestre en zonas de lomerío o planicie, donde la vegetación es escasa, entonces puede ser conveniente efectuar el método aéreo-electrónico, con la seguridad de obtener buenos resultados a un bajo costo de proyecto, cuando se dispone de personal y equipo. Pero cuando la inclinación de ladera es fuerte (en lomerío o montaña escarpada) y cuando la vegetación lo impida, no es conveniente utilizar el método aéreo-electrónico más allá del llamado "vuelo alto".

Hemos mencionado el significado y la importancia de los diagramas de bloque y de flujo, en cuanto a la solución de problemas por computadora; ahora es tiempo de aplicarlos a problemas muy frecuentes en el proyecto de vías terrestres. Se presenta en la figura 2.4 el diagrama de flujo que sirve para calcular el alineamiento y rasante geométricos; por otro lado, la figura 2.5 muestra el diagrama de bloque para efectuar el cálculo de curva masa y trazo.



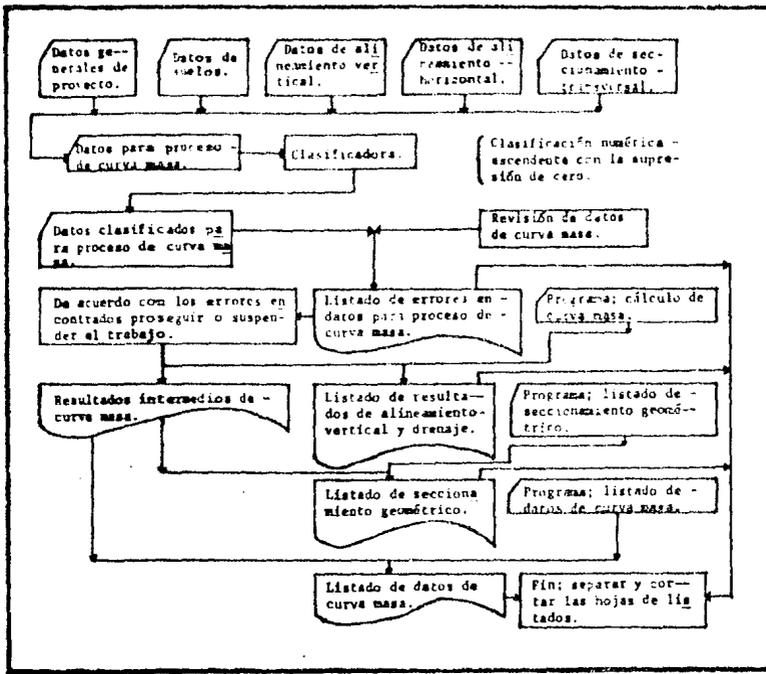


Fig. 2.5.

Los diagramas mostrados, se basan en los propuestos por el Ing. L.-E. Miranda hace 17 años (1967) para una computadora IBM de la Oficina -- Foelectrónica de la Dirección General de Vías Terrestres de la SOP; es aquí donde se denota el gran avance de las microcomputadoras en beneficio del ingeniero civil; logrando efectuar trabajos que antes eran exclusivos para grandes máquinas, y en lenguaje BASIC, que resulta mucho más sencillo que el FORTRAN utilizado en aquellos años. Hemos de mencionar también que la microcomputadora ha superado la etapa de la "tarjeta perforada", eliminando el uso de grandes máquinas perforadoras, la gran cantidad de tarjetas necesarias para elaborar un programa e introducir información (datos), los largos tiempos de resolución y los grandes rangos de error, además de permitir una comunicación más directa entre la máquina y su usuario utilizando las pantallas de video, el color, el sonido, etc; que además permiten efectuar correcciones rápidamente, sin necesidad de "reperforar" tarjetas.

## CAPITULO III

### SECUENCIA DE TRABAJO EN LOS PROYECTOS DE VIAS TERRESTRES Y PROGRAMAS UTILES

En el estudio de ferrocarriles y caminos destacan varias etapas:

1. Planeación
2. Reconocimiento
3. Localización
4. Configuración
5. Proyecto
6. Construcción
7. Administración
8. Operación y Conservación
9. Abandono

#### PLANEACION

Esta primera etapa es de primordial importancia, puesto que en ella se determinará la conveniencia o no de la construcción de una nueva vía terrestre. La palabra planeación se deriva del latín planus, hacer planes; sin embargo, la planeación no se limita a este aspecto, sino que además controla y vigila el cumplimiento de dichos planes. Dentro de la planeación de vías terrestres se distinguen varias etapas:

1. Diagnóstico.- Análisis de la situación actual.
2. Necesidad a satisfacer.
3. Integración de una comisión o grupo responsable.
4. Objetivos y metas.
5. Medidas de efectividad.- Indicadores que muestran el avance logrado.
6. Definición de recursos necesarios.
7. Generación de alternativas de solución.
8. Evaluación de alternativas, ligada a las medidas de efectividad.
9. Toma de decisiones o selección.
10. Programación. Asignación, en el tiempo, de recursos monetarios.
11. Evaluación Expost.- Análisis de todas las etapas para detectar defectos y corregirlos; regresando a la primera etapa.

Evidentemente dentro de las dos primeras etapas, se deben determinar las condiciones actuales y futuras de la zona por donde pasará la vía:

1. Inventario de recursos naturales, centros mineros, agrícolas, ganaderos, industriales, etc.
2. Estimación de la población.
3. Estimación del tráfico (Ton-km y pasajero-km).

Con toda la información recopilada, se procede a determinar la conveniencia o no de la construcción de la nueva vía de comunicación.

#### RECONOCIMIENTO

El trazo ideal del alineamiento de una vía, es el recto entre origen y destino, y a nivel; sin embargo, debido a los accidentes topográficos, ésto no es posible y se debe buscar el lugar más fácil y económico para salvarlos. Estos lugares son llamados "puntos obligados" y los hay de dos clases (fig.3.1.).

1. Topográficos o técnicos.- un puerto en una cordillera o un estrechamiento en el cauce de un río.
2. Económicos, políticos o sociales.- Un centro de producción o una población importante.

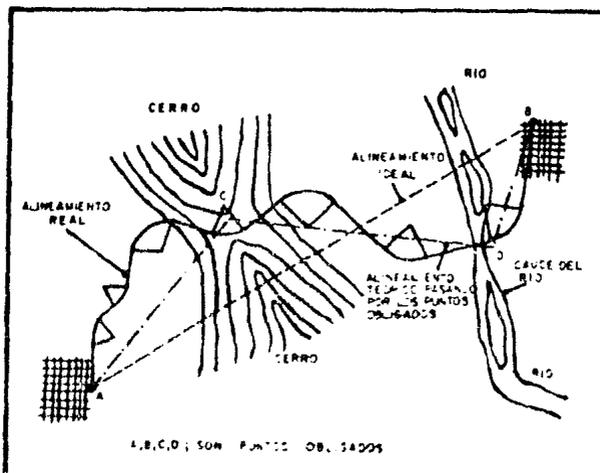


fig. 3.1.

Para determinar los puntos obligados es necesario realizar un "reconocimiento" de la zona, que se puede efectuar en avión (obteniendo fotografías aéreas por medio de las cuales se definen las rutas a seguir y - los desniveles), en helicóptero o a pie; el modo que se utilice depende del tipo de vegetación y los accidentes del terreno (barrancas, cañadas, etc.), principalmente. Una vez decidido el modo de realizar el reconocimiento, se registrarán los siguientes datos, referentes a los puntos obligados:

1. Alturas.
2. Distancias aproximadas entre puntos.
3. Pendiente aproximada del terreno entre puntos (en base a los anteriores).

Con el reconocimiento se pretende llegar a obtener un croquis que - complemente los detalles de las cartas geográficas o topográficas, para utilizarlo posteriormente en la realización de un plano aproximado de la región y los perfiles de las rutas probables.

#### ESTUDIO TOPOGRAFICO DE LA VIA

Con los datos obtenidos en el reconocimiento, el estudio topográfico de la vía se hace por tramos, entre puntos obligados consecutivos, siguiendo el siguiente procedimiento general.

#### LOCALIZACION

En realidad la localización se inicia en el momento que se definen los puntos obligados principales, posteriormente se determinan los puntos obligados intermedios, que dependen, únicamente, de los accidentes topográficos, buscando su óptima ubicación en el terreno y dependiendo de la pendiente permisible, alineamiento, economía del trazo, etc. Sobre el terreno el trabajo consiste en ir definiendo una línea, buscando que la pendiente entre puntos consecutivos, sea igual o menor a la máxima permisible; para este fin, se tomará la dirección que convenga procurando mantener dicha pendiente, lo cual puede hacerse en dos formas:

#### NIVEL DE MANO, ESTADAL Y CINTA

Tomando como base la altura del ojo del observador, se busca leer - en el estadal una lectura, para que a la distancia de una cinta (20 m),-

el terreno suba o baje la altura requerida según la pendiente que se busca. (fig.3.2).

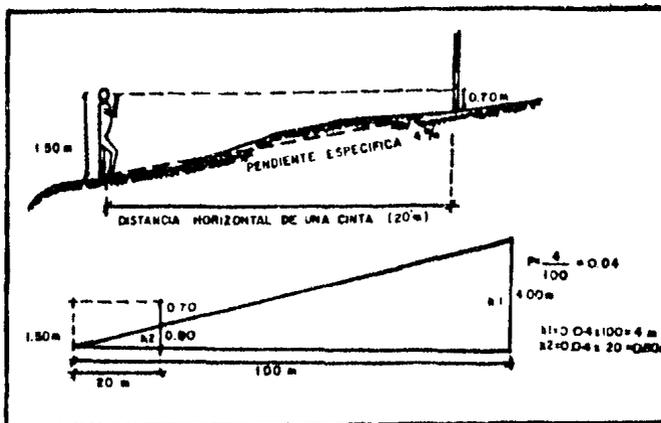


fig. 3.2.

#### CLISIMETRO

Es un aparato muy parecido al nivel de mano, pero con un nivel adaptado para poder marcar en un círculo graduado el ángulo vertical correspondiente a la pendiente buscada. Con este aparato no se necesita medir distancias, únicamente leer en el estadal la altura del ojo del observador y cuando esto suceda, se obtendrá el siguiente punto, siendo el anterior el sitio donde está parado el observador. En la fig. 3.3., se muestra gráficamente la operación de este aparato.

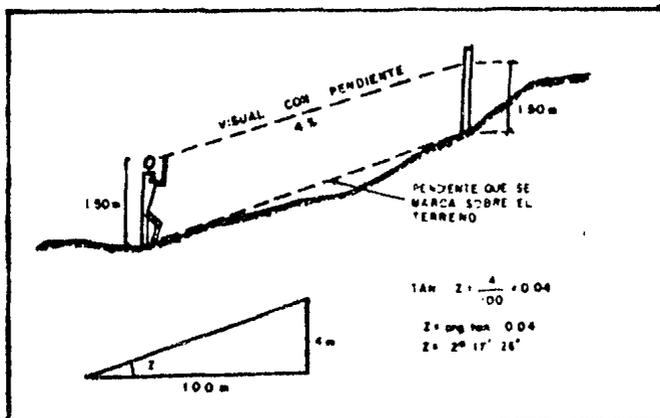


fig. 3.3.

Con cualquiera de los dos métodos, se obtiene una serie de puntos -- que definen una línea muy quebrada con la pendiente impuesta; llamada -- "línea a pelo de tierra", la cual marca el camino general a seguir. Desde luego resulta casi imposible construir la vía sobre esta línea, debido a los quiebres; aunque si se pudiera hacer, no se presentarían ni cortes ni terraplenes o resultarían muy pequeños, lo cual la haría la solución más económica. La fig.3.4., muestra el perfil de la línea a pelo de tierra, que prácticamente se confunde con el terreno natural.

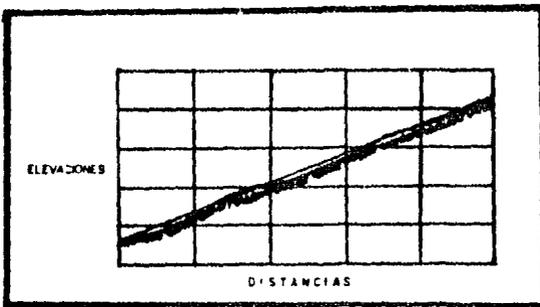


fig. 3.4.

La línea a pelo de tierra sirve como eje de una faja de terreno que posteriormente habrá de "configurarse" para estudiar, en el dibujo, el trazado definitivo más conveniente y que siga lo más cerca posible a la línea eje (pelo de tierra) de la faja configurada (fig.3.5). Se pueden obtener dos o tres soluciones alternativas, de las cuales se hará un estudio más profundo para elegir la más conveniente.

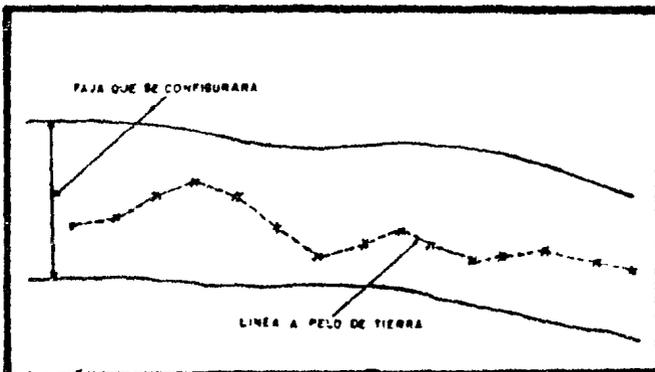


fig. 3.5.

## CONFIGURACION

La configuración de la faja descrita anteriormente, consiste, fundamentalmente, en obtener una representación lo más exacta posible, de las características topográficas del terreno. Por medio de la configuración representamos las tres dimensiones del terreno en solamente dos, distancias horizontales y elevaciones con respecto a un plano general (nivel de mar). Antes de presentar la secuencia del trabajo de campo, hemos de definir dos conceptos:

### POLIGONO DE APOYO O POLIGONAL.

Los polígonos de apoyo pueden ser de dos tipos (fig.3.6.).

1. Abiertos: cuando el punto final del polígono no es el punto de partida del mismo.
2. Cerrados: cuando el punto final del polígono es el punto de partida del mismo.

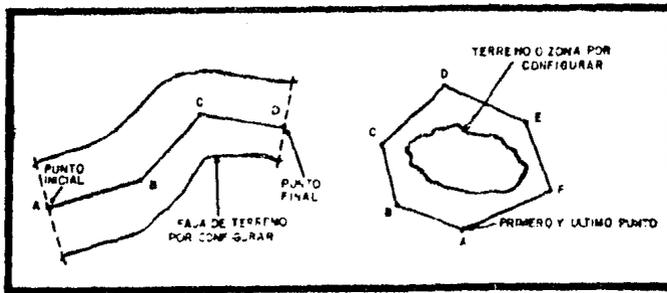


fig. 3.6.

Las poligonales abiertas se emplean cuando se desea configurar una faja de terreno, haciendo coincidir sus puntos de inicio y término con los correspondientes de la poligonal, por lo que es el empleado en vías terrestres. Por otro lado, las poligonales cerradas, se emplean cuando se desea configurar un terreno o zona determinada, quedando ésta dentro del polígono, coincidiendo el primero y último punto de la poligonal. En ambos casos se deberá comprobar que las poligonales estén bien trazadas, cumpliendo con las condiciones angulares de cierre de polígonos.

## — POLIGONALES CERRADAS

Se pueden comprobar en dos formas:

+ Mediante las deflexiones de los vértices y la condición es que:

$$\sum \text{Deflex. derechas} - \sum \text{Deflex. izquierdas} = 360^\circ$$

+ Con los ángulos internos de la poligonal y la condición es que:

$$\sum \text{Ángulos internos} = 180^\circ(n-2); n = \text{número de vértices.}$$

Desde luego existe una tolerancia angular y en este caso se adoptará la más general;  $T = l' \sqrt{n}$ ; donde "n" es el número de ángulos medidos, suponiendo una aproximación del aparato (tránsito) de 1'.

A continuación se presentan los programas BASIC que comprueban la -- condición angular en este tipo de poligonales.

## DEFLEXIONES

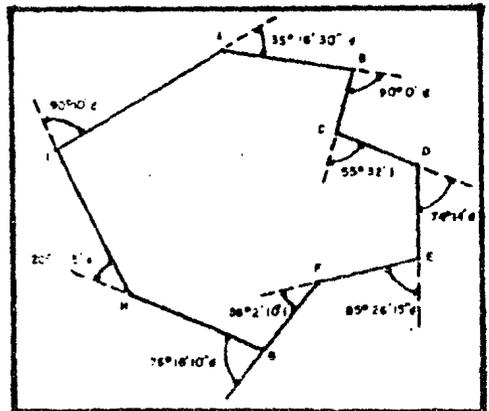
```

1 REM POLIGONALES POR DEFLEXIONES. GUILLERMO MANCILLA URREA. MEXICO 1984.
5 CLS: CLEAR 10000: DIM G(50), H(50), S(50), A*(50): INPUT "NUMERO DE VERTICES": A
10 FOR X=1 TO A: PRINT "VERTICE": X: "DEFLEXION EN GRADOS MINUTOS Y SEGUNDOS": INPUT G(X)
, H(X), S(X): INPUT "DERECHA O IZQUIERDA": A*(X): NEXT X
20 FOR Y=1 TO A: IF A*(Y) = "D" THEN GD=GD+G(Y): MD=MD+H(Y): SD=SD+S(Y): NEXT Y: ELSE GI=GI+G(Y)
): MI=MI+H(Y): SI=SI+S(Y): NEXT Y
30 K(1)=GD: K(2)=GI: L(1)=MD: L(2)=MI: N(1)=SD: N(2)=SI: FOR Z=1 TO 2: SA(Z)=N(Z)/60: SB(Z)
=INT(SA(Z)): SC(Z)=SA(Z)-SB(Z): SO(Z)=SC(Z)*60: HA(Z)=L(Z)+SB(Z): HB(Z)=HA(Z)/60: HC(Z)
=INT(HB(Z)): MD(Z)=MB(Z)-MC(Z): ME(Z)=MD(Z)*60: GA(Z)=K(Z)+MC(Z): NEXT Z
40 CLS: PRINT "METODO DE DEFLEXIONES": PRINT "VERTICE DERECHAS IZQUIERDAS"
60 FOR W=1 TO A: PRINT TAB(3); CHR$(64+W): IF A*(W) = "D" THEN PRINT TAB(7) G(W): TAB(11) H(W):
TAB(14) S(W): NEXT W: ELSE PRINT TAB(19) G(W): TAB(23) H(W): TAB(27) S(W): NEXT W
70 PRINT "SUMAS": PRINT TAB(6) GA(1): TAB(11) ME(1): TAB(14) SD(1): TAB(18) GA(2): TAB(23)
ME(2): TAB(27) SD(2)
80 IF GA(1) > GA(2) THEN GA(1)=GA(1)-1: ME(1)=ME(1)+59: SD(1)=SD(1)+60: II=GA(1)-GA(2): J
J=INT(ME(1)-ME(2)): KK=SD(1)-SD(2): ELSE GA(2)=GA(2)+1: ME(2)=ME(2)+59: SD(2)=SD(2)+6
0: II=GA(2)-GA(1): JJ=INT(ME(2)-ME(1)): KK=SD(2)-SD(1)
90 IF KK > 60 THEN KK=KK-60: JJ=JJ+1
100 IF JJ > 60 THEN II=II+1: JJ=JJ-60
110 PRINT "SUMA DE DEFLEXIONES "; II; JJ; KK: PRINT "LA SUMA DEBE SER 360 0 0": END

```

## METODO DE DEFLEXIONES

VERTICE	DERECHAS	IZQUIERDAS
A	35 16 30	
B	90 0 0	
C		55 32 0
D	74 14 0	
E	85 26 15	
F		56 2 10
G	76 16 10	
H	20 11 15	
I	90 10 0	
SUMAS	471 34 10	111 34 10
SUMA DE DEFLEXIONES	360 0 0	
LA SUMA DEBE SER	360 0 0	



## ANGULOS INTERIORES

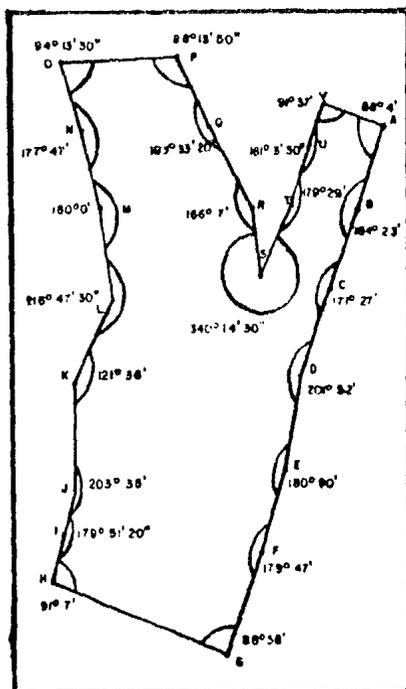
```

5 REM ANGULOS INTERIORES. GUILLERMO MANCILLA URREA, MEXICO 1984.
10 CLS: CLEAR 10000: DIM C(50), M(50), S(50): INPUT "CUANTOS VERTICES": A: FOR X=1 TO A: PRINT
"VERTICE "; X: " CRADOS, MINUTOS, SEGUNDOS": INPUT G(X), H(X), S(X): NEXT X: FOR Y=1 TO A
30 GG=GG+G(Y): MM=MM+M(Y): SS=SS+S(Y): NEXT Y: SA=SS/60: SB=INT(SA): SC=SA-SB: SD=SC*60:
MA=MM+SB: MB=MA/60: MC=INT(MB): MD=MB-MC: ME=MO*60: GA=GG+MC: CLS: PRINT "POLIGONO"
50 PRINT " LEVANTADO CON TRANSITO": PRINT " Y CINTA": ANGULOS INTERIORES. PRINT: FOR Z
=1 TO A: PRINT "VERTICE "; CHR$(64+Z): PRINT TAB(15) G(Z): PRINT TAB(20) H(Z): PRINT TAB(2
5) S(Z): NEXT Z: PRINT "SUMA": PRINT TAB(14) GA: PRINT TAB(20) ME: PRINT TAB(25) MD
60 AI=180*(A-2): PRINT "SUMA DE ANGULOS INTERNOS": PRINT TAB(14) AI
100 PRINT "TOLERANCIA PROPUESTA "; TOT=SQR(A): OU=INT(TOT): OV=OT-OU: OW=OV*60: OX=INT(
OW): OY=OW-OX: IF OY>=.50: OX=OX+1: ELSE: PRINT OU: OX: " MINUTOS" END: ELSE: PRINT OU: OX: END

```

POLIGONO LEVANTADO CON TRANSITO  
Y CINTA; ANGULOS INTERIORES.

VERTICE A	88	4	0
VERTICE B	184	23	0
VERTICE C	171	27	0
VERTICE D	201	52	0
VERTICE E	180	9	0
VERTICE F	179	47	0
VERTICE G	88	58	0
VERTICE H	91	7	0
VERTICE I	179	51	20
VERTICE J	203	35	0
VERTICE K	121	36	0
VERTICE L	216	47	30
VERTICE M	180	0	0
VERTICE N	177	47	0
VERTICE O	94	13	30
VERTICE P	88	13	50
VERTICE Q	193	33	20
VERTICE R	166	7	0
VERTICE S	340	14	30
VERTICE T	179	29	0
VERTICE U	181	3	30
VERTICE V	91	37	0
SUMA	3599	55	30
SUMA DE ANGULOS INTERNOS	3600		
TOLERANCIA PROPUESTA	4	41	MINUTOS



## — POLIGONALES ABIERTAS

Solo hay una forma de llevar el control angular:

- + Comprobación de las direcciones de los lados mediante rumbos astronómicos, cada cierto número de lados.

Por esta razón, es necesario tener especial cuidado en la medida de las deflexiones de los vértices, en la determinación del primer rumbo —

(RAC) y en el sentido de la deflexión.

El siguiente programa en BASIC comprueba los cálculos, realizados a mano, de los rumbos de los lados en base a las deflexiones y el primer rumbo (RAC).

```

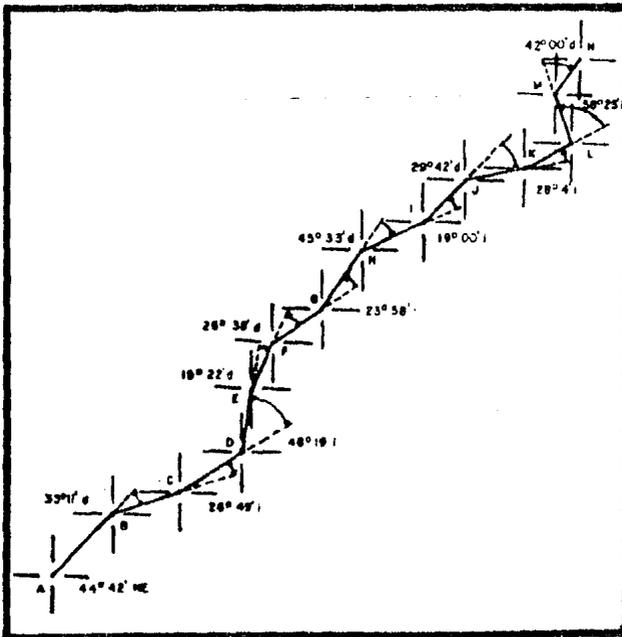
1 REM RUMBOS DE POLIGONALES ABIERTAS. G. MANCILLA URREA. MEXICO 1984.
4 CLS: CLEAR 10000: DIM G(25), M(25), C%(25), RG(25), RM(25), CC%(25)
5 INPUT "NUMERO DE VERTICES " : A: INPUT "PRIMER RUMBO (EN GRADOS Y MINUTOS) " : G: M: IN
PUT "NE, SE, NW, SW " : X: B = ASC(LEFT$(X$, 1)): C = ASC(RIGHT$(X$, 1)): D = INT((B+C)/10) - 13
10 RG(0) = G: RM(0) = M: CC%(0) = X: FOR X = 1 TO A - 2: PRINT "DEFLEXION EN EL VERTICE " : CHR$(65
+X) : INPUT " GRADOS Y MINUTOS " : G(X), M(X) : INPUT "DERECHA (D) O IZQUIERDA (I) " : IC%(
X) : IF IC%(X) = "D" THEN GD = GD + G(X) : MD = MD + M(X) : NEXT X: ELSE GI = GI + G(X) : MI = MI + M(X) : NEXT X
14 IF Y = A - 2 THEN 35: ELSE 15
15 IF D = 1 THEN GG%(1) = "NE" : GG%(2) = "SW" : GG%(3) = "NW" : GG%(4) = "SE" : Y = Y + 1: GOSUB 100: GOTO 1
4: ELSE 20
20 IF D = 2 THEN GG%(1) = "SE" : GG%(2) = "NW" : GG%(3) = "NE" : GG%(4) = "SW" : Y = Y + 1: GOSUB 200: GOTO 1
4: ELSE 25
25 IF D = 3 THEN GG%(1) = "NW" : GG%(2) = "SE" : GG%(3) = "SW" : GG%(4) = "NE" : Y = Y + 1: GOSUB 200: GOTO 1
4: ELSE 30
30 IF D = 4 THEN GG%(1) = "SW" : GG%(2) = "NE" : GG%(3) = "SE" : GG%(4) = "NW" : Y = Y + 1: GOSUB 100: GOTO 1
4
35 CLS: PRINT "EST. P.V. DEF. DER. DEF. IZQ. RUMBO"
40 FOR Z = 0 TO A - 2: PRINT TAB(1) CHR$(65+Z) : TAB(7) CHR$(66+Z) : IF IC%(Z) = "D" THEN PRINT TAB(1
2) G(Z) : TAB(15) M(Z) : ELSE PRINT TAB(22) G(Z) : TAB(25) M(Z) :
45 PRINT TAB(31) RG(Z) : TAB(34) RM(Z) : TAB(37) CC%(Z) : NEXT Z
50 RG(A) = GI: RM(A) = MI: Y = A: GOSUB 530: RG(A+1) = GD: RM(A+1) = MD: Y = A+1: GOSUB 530: IF RG(A) > R
G(A+1) THEN RG(A+2) = RG(A) - RG(A+1): RM(A+2) = RM(A) - RM(A+1): Y = A+2: GOSUB 510: GOSUB 530: GO
TO 55: ELSE RG(A+2) = RG(A+1) - RG(A): RM(A+2) = RM(A+1) - RM(A): GOSUB 510: GOSUB 530
55 PRINT TAB(0) "SUMAS" : TAB(12) RG(A+1) : TAB(16) RM(A+1) : TAB(22) RG(A) : TAB(26) RM(A) : PR
INT "DIFERENCIA DE DEFLEXIONES " : RG(A+2) : RM(A+2) : IF IC% > 0 THEN PRINT "I" : ELSE PRINT "
D"
60 PRINT "LA DIFERENCIA DEL PRIMERO Y ULTIMO RUMBO" : PRINT "DEBE SER IGUAL A LA DIF
ERENCIA DE" : PRINT "DEFLEXIONES." : END
100 IF IC%(Y) = "D" THEN GOSUB 500: GOTO 120: ELSE IF G > C(Y) THEN RG(Y) = G - C(Y) : RM(Y) = M - M(Y) : CC
%(Y) = CC%(1) : GOTO 130: ELSE GOSUB 520: GOSUB 510
110 IF RG(Y) > 90 THEN RG(Y) = 179 - RG(Y) : RM(Y) = 60 - RM(Y) : CC%(Y) = CC%(2) : GOTO 130: ELSE CC%(Y
) = CC%(3) : GOTO 130
120 IF RG(Y) > 180 THEN RG(Y) = RG(Y) - 180: CC%(Y) = CC%(2) : GOTO 130: ELSE IF RG(Y) > 90 THEN RG(Y)
= 179 - RG(Y) : RM(Y) = 60 - RM(Y) : CC%(Y) = CC%(4) : GOTO 130: ELSE CC%(Y) = CC%(1) : GOTO 130
130 GOSUB 510: GOSUB 530: GOSUB 540: RETURN
200 IF IC%(Y) = "I" THEN GOSUB 500: GOTO 210: ELSE IF G > C(Y) THEN RG(Y) = G - C(Y) : RM(Y) = M - M(Y) : CC%(Y
) = CC%(1) : GOTO 230: ELSE GOSUB 520: GOSUB 510: GOTO 220
210 IF RG(Y) > 180 THEN RG(Y) = RG(Y) - 180: CC%(Y) = CC%(2) : GOTO 230: ELSE IF RG(Y) > 90 THEN RG(Y)
= 179 - RG(Y) : RM(Y) = 60 - RM(Y) : CC%(Y) = CC%(3) : GOTO 230: ELSE CC%(Y) = CC%(1)
220 IF RG(Y) > 90 THEN RG(Y) = 179 - RG(Y) : RM(Y) = 60 - RM(Y) : CC%(Y) = CC%(2) : GOTO 230: ELSE CC%(Y
) = CC%(4)
230 GOSUB 510: GOSUB 530: GOSUB 540: RETURN
500 RG(Y) = G + C(Y) : RM(Y) = M + M(Y) : RETURN
510 IF RM(Y) > 0 THEN RG(Y) = RG(Y) - 1: RM(Y) = RM(Y) + 60: GOTO 510: ELSE RETURN
520 RG(Y) = G(Y) - C: RM(Y) = M(Y) - M: RETURN
530 IF RM(Y) >= 60 THEN RG(Y) = RG(Y) + 1: RM(Y) = RM(Y) - 60: GOTO 530: ELSE RETURN
540 G = RG(Y) : M = RM(Y) : B = ASC(LEFT$(CC%(Y), 1)) : C = ASC(RIGHT$(CC%(Y), 1)) : D = INT((B+C)/1
0) - 13: RETURN

```

**CALCULO DE RUMBOS A PARTIR DE DEFLEXIONES.**

EST.	P.V.	DEF.DER.	DEF.IZQ.	RUMBO
A	B		0 0	44 42 NE
B	C	35 11		79 53 NE
C	D		26 49	53 4 NE
D	E		48 19	4 45 NE
E	F	19 22		24 7 NE
F	G	26 38		50 45 NE
G	H		23 58	26 47 NE
H	I	45 33		72 20 NE
I	J		19 0	53 20 NE
J	K	29 42		83 2 NE
K	L		28 4	54 58 NE
L	M		58 25	3 27 NW
M	N	42 0		38 33 NE
SUMAS		198 26	204 35	

DIFERENCIA DE DEFLEXIONES 6 9 I  
 LA DIFERENCIA DEL PRIMERO Y ULTIMO RUMBO  
 DEBE SER IGUAL A LA DIFERENCIA DE  
 DEFLEXIONES.



### SECCIONES TRANSVERSALES DE CONFIGURACION

El método de las secciones transversales permite conocer, por medio de las curvas de nivel, las características topográficas del terreno o zona en estudio. Consiste, fundamentalmente, en trazar uno o varios polígonos por los puntos convenientes de la zona por levantar, para posteriormente, y transversalmente al polígono, determinar las secciones transversales del terreno de la zona en cuestión. Otro tipo de secciones transversales son las llamadas "especiales" y consisten en:

- a) Trazar prolongaciones de los lados de la poligonal (en los vértices) cuando es necesario cubrir una zona en blanco, seccionando de un lado de la prolongación o de ambos, para lograr intersecciones entre secciones y que sirvan como comprobación.
- b) Trazar secciones transversales, u oblicuas, de un lado de la poligonal o de ambos, cuando se requiera obtener una sección de terreno en un punto determinado (cadenamiento cerrado, lindero de un predio, etc.).

En cualquier caso, la superposición de secciones proporciona una forma de comprobación. Los elementos descritos, se muestran en la figura 3.7.

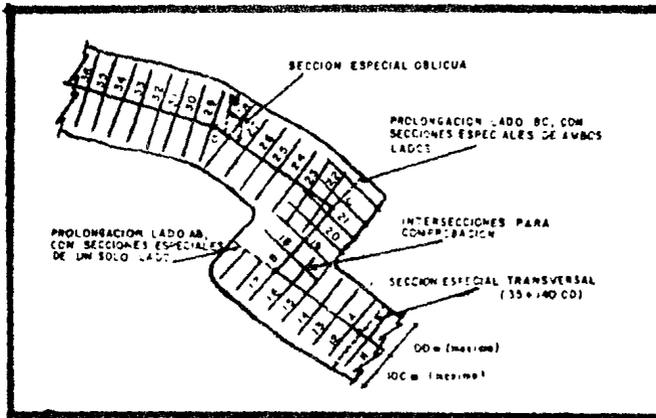


fig. 3.7.

Para obtener las secciones transversales, se pueden seguir dos procedimientos:

- a) Nivel fijo; cuando el ancho de la zona por configurar es muy grande y el terreno tiene pendiente suave. Con ésto se evita la pérdida de tiempo al trasladar el aparato de un punto a otro.
- b) Nivel de mano; cuando el terreno es accidentado. Este método es el más usado, debido a que el observador puede trasladarse rápidamente de un punto a otro. Aunque por este procedimiento se pierda de aproximación, es aceptable; debido a que la configuración no requiere de gran precisión.

Con el uso de cualquiera de los dos niveles y una cinta, se obtienen las distancias normales a la poligonal a las cuales se localizan los puntos de cota cerrada por donde pasarán las curvas de nivel (fig.3.8.).

Si se presentan secciones que no sean normales al polígono (especiales), el procedimiento es el mismo, solo que también se mide el ángulo formado entre la sección y el polígono.

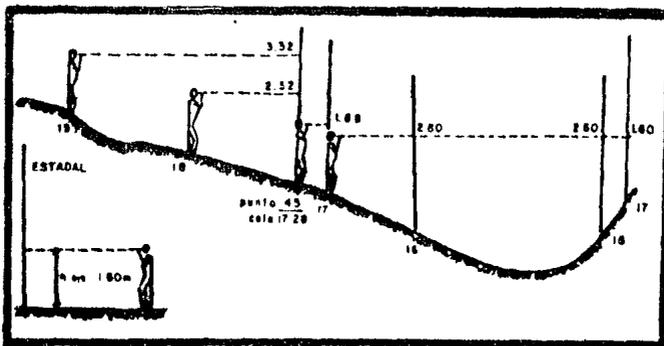


fig.3.8.

La configuración realizada por este procedimiento, es aplicable tanto en levantamientos de terrenos como en el estudio de vías terrestres y, según sea el caso, se requerirá de poligonales abiertas o cerradas (fig. 3.9).

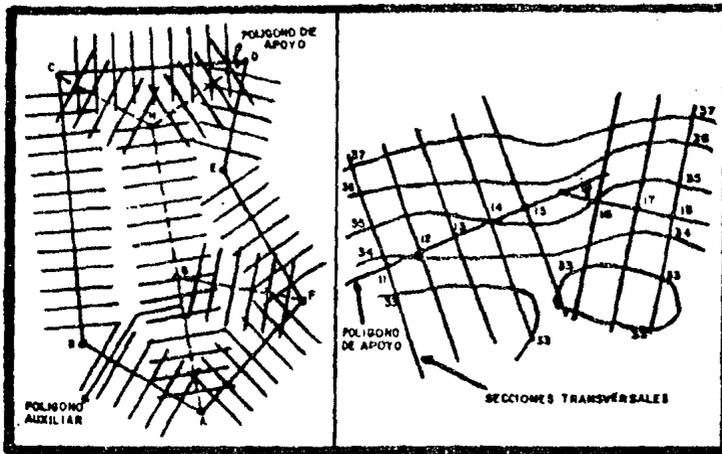


fig. 3.9.

A continuación se presenta un programa BASIC que determina, en el papel, la posición de los puntos de las curvas de nivel (en 30 mts.) a ambos lados de la poligonal. Este programa se ejecuta introduciendo, previamente, los valores de las distancias de los puntos y números de curvas de nivel. Desde luego este sencillo programa puede ser modificado para que se tome en cuenta las secciones especiales y para que sea aplicable en una impresora de mayor capacidad (132 caracteres), con el objeto de obtener secciones más largas.

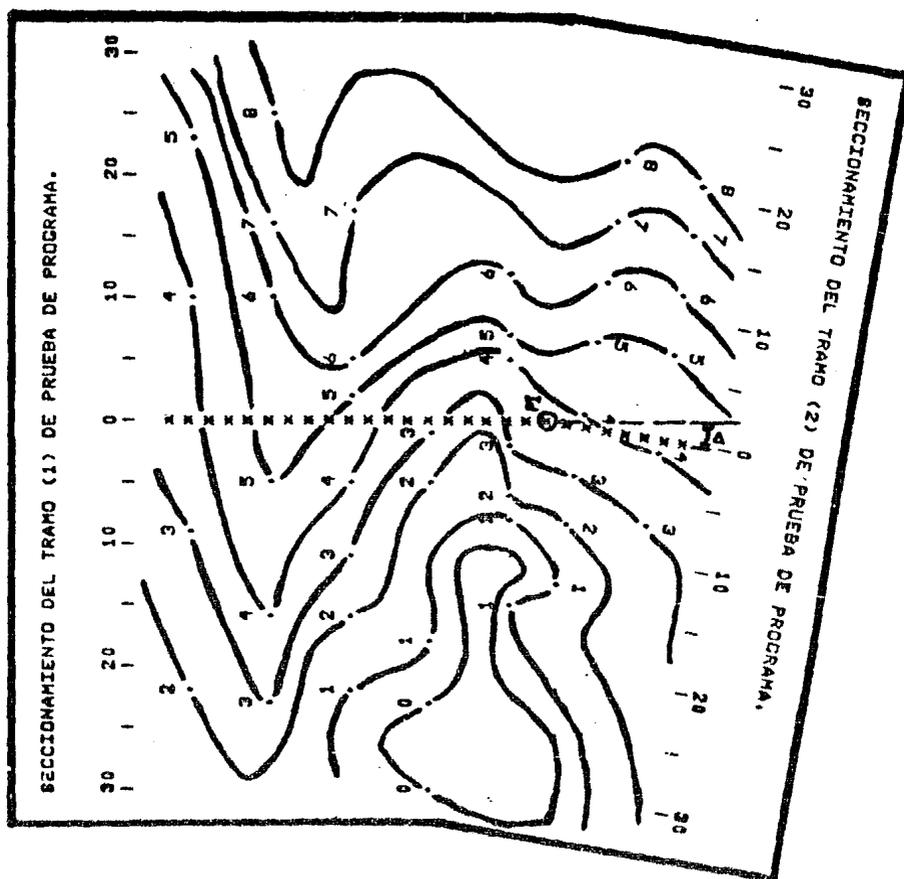
```

1 REM SECCIONES TRANSVERSALES. GUILLERMO MANCILLA URREA. MEXICO 1984.
5 CLS:DIMDI(1000),CI(1000),DJ(1000),ID(1000),DD(1000),EJ(1000),JD(1000)
:CLEAR:1000:INPUT"NOMBRE DEL TRAMO":A#:GOTO110
100 INPUT"ES LA ULTIMA SECCION":B#:IFB#="S"THENCLS:END
110 B=S+1:INPUT"CUANTAS SECCIONES DEL LADO IZQUIERDO":I:IFI=0THEN125
120 FORX=1TOI:PRINT"SECCION 'X':"DISTANCIA Y CURVA":INPUTDI(X),CI(X):DJ(X)=DI(X)-INT(DI(X)):IFDJ(X)>=.5THENDJ(X)=INT(DI(X))+1:ID(X)=30-DJ(X):NEXTX:ELSEID(X)=30-INT(DI(X)):NEXTX
125 INPUT"CUANTAS SECCIONES DEL LADO DERECHO":D
130 IFD=0ANDI=0THENPRINTTAB(30)"X":PRINTTAB(30)"X":GOTO175
131 IFD=0THENIFS=1THEN138ELSE140
135 FORY=1TOD:PRINT"SECCION 'Y':"DISTANCIA Y CURVA":INPUTDD(Y),CD*(Y):EJ(Y)=DD(Y)-INT(DD(Y)):IFEJ(Y)>=.5THENEJ(Y)=INT(DD(Y))+1:JD(Y)=30+EJ(Y):NEXTY:ELSEJD(Y)=30+INT(DD(Y)):NEXTY:IFS=1THEN138ELSE140
138 CLS:PRINT"SECCIONAMIENTO DEL TRAMO":I#A#:PRINTCHR$(32):PRINT:PRINT"30
20      10      0      10      20      30":FORZ=0TO60STEP5:PRINTTAB(Z)
)"):NEXTZ:PRINT:PRINT
140 IFI=0THEN145ELSEFORI=1TOISTEP-1:PRINTTAB(ID(I))RIGHT$(CI(I),1):NEXTI
145 PRINTTAB(30)"X":
153 IFD=0THEN156ELSEFORU=1TOD:PRINTTAB(JD(U))RIGHT$(CD*(U),1):NEXTU
156 PRINT
160 IFI=0THEN165ELSEFORU=1TOISTEP-1:PRINTTAB(ID(U))".":NEXTU
165 PRINTTAB(30)"X":
170 IFD=0THEN172ELSEFORW=1TOD:PRINTTAB(JD(W))".":NEXTW
172 PRINT
175 PRINTTAB(30)"X":PRINTTAB(59)S:PRINTTAB(30)"X":GOTO100

```

Se recomienda utilizar la impresora para que fije los puntos de un solo lado de la poligonal; posteriormente se hará lo propio con el otro lado y con ésto, al unir las dos hojas, se obtendrán secciones de 150 mts., con la impresora utilizada en este trabajo (80 caracteres), o de 260 mts., si se utiliza una impresora más grande (132 caracteres).

Por último, se mostrará la configuración de una poligonal abierta - realizada por la microcomputadora. En este ejemplo, se trata de una zona adyacente a un PI de una vía terrestre, cuya topografía se desea conocer. Obviamente, el programa podrá ser aplicado en problemas de configuración de poligonales cerradas también.



Una vez definidos estos dos conceptos (poligonales y secciones transversales); prosigamos a describir el trabajo de campo realizado en la configuración. En la faja de terreno, ya definida en la localización, se fijará una poligonal abierta trazada por donde más convenga, dentro o a veces fuera de la misma; en este último caso, el seccionamiento se realizará de un solo lado de la poligonal, cubriendo el ancho total de la faja (fig.3.10). Una vez trazada la poligonal, y estando debidamente estacada (marcada en distancias de 20 m), deberá ser nivelada para obtener las cotas de todos los puntos sobre ella; en los vértices y a cada 20 metros.

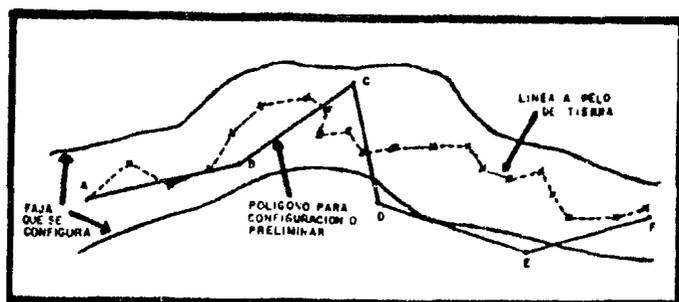


fig. 3.10.

Posteriormente se procederá a obtener la topografía del terreno (curvas de nivel) por el método de las secciones transversales, en todos y cada uno de los puntos del polígono. A este polígono se le conoce como "línea preliminar" y debe quedar perfectamente referenciada para poder después localizarla cuando se regrese al terreno a trazar la línea definitiva; de hecho, esta línea definitiva se traza mediante "ligas" (distancias y ángulos medidos en el dibujo) entre la preliminar y la línea definitiva.

La configuración llega a su fin al dibujar la faja estudiada, con sus correspondientes curvas de nivel y con ésto presentar, aceptablemente, un panorama general de la topografía de la zona por la que ha de pasar el eje de la nueva vía terrestre.

#### PROYECTO

Esta parte del estudio se realiza totalmente sobre el dibujo (faja-

configurada), en gabinete y comprende varias etapas:

1. Proyecto en planta del eje de la vía.
2. Perfil del eje proyectado.
3. Proyecto de la subrasante sobre el perfil.
4. Secciones transversales de construcción.
5. Area de las secciones y cálculo de volúmenes.
6. Curva masa de proyecto.

#### PROYECTO EN PLANTA DEL EJE DE LA VIA

Así como en el terreno se emplea el clisímetro para trazar una línea con pendiente dada, en el plano se realiza esta misma operación con un compás de puntas. Conocida la equidistancia entre curvas de nivel y teniendo como restricción una cierta pendiente, se determina la abertura del compás que al tocar dos curvas consecutivas origina dos puntos y la línea que los une tiene la pendiente buscada (fig.3.11).

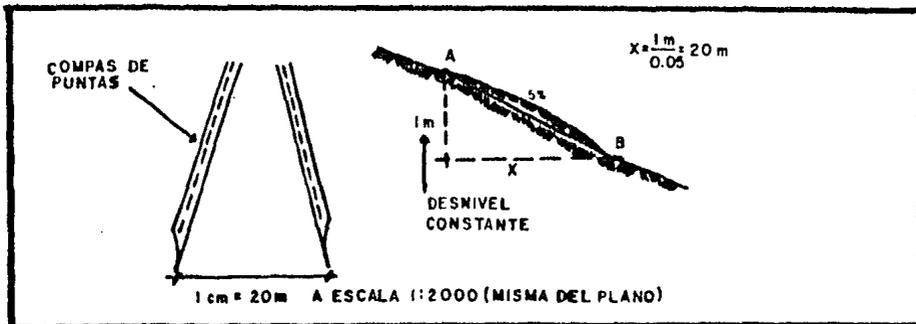


fig. 3.11.

Con la misma escala con que está dibujado el plano configurado, se separan las puntas del compás y partiendo del punto inicial, se asciende o desciende brincando de curva en curva; la unión de todos estos puntos proporcionará una línea muy quebrada que hemos denominado "línea a pelo de tierra", que será la base para proyectar el eje definitivo de la vía terrestre. La línea definitiva se trazará lo más cerca posible de la línea a pelo de tierra, utilizando tangentes que se cortan en un punto de inflexión, llamado PI. Posteriormente se unirán dichas tangentes mediante curvas horizontales que igualmente deberán apegarse a la línea a pelo de tierra (fig.3.12.).

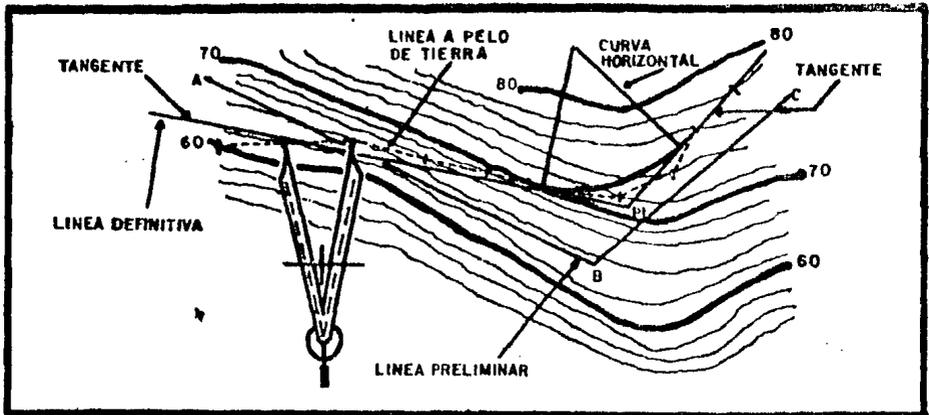


fig. 3.12.

Con el procedimiento descrito, se obtendrá una nueva línea, aparte de la preliminar y la de pelo de tierra, llamada "línea definitiva", la cual define claramente el eje de la vía terrestre en planta y se dibujará un plano exclusivamente para ella que deberá contener: curvas horizontales y tangentes proyectadas, y su descripción geométrica, cadenamiento de la línea, topografía de la zona, rumbos astronómicos calculados de las tangentes y las coordenadas por medio de las cuales se dibujó la línea definitiva (fig. 3.13).

#### PERFIL DEL EJE PROYECTADO

Esta etapa tiene como objetivo el lograr una vista perpendicular al plano vertical de la línea definitiva trazada en planta; es decir, un perfil de la línea definitiva, siguiendo por las tangentes (tramos rectos) y curvas horizontales. Para conseguir este propósito, se dibujará un plano que represente dos ejes, en el horizontal se sitúa el cadenamiento de la línea definitiva y en el vertical las elevaciones, valores de las curvas de nivel, del terreno; es decir, del plano en planta se obtendrán los kilometrajes de los puntos donde se cruzan la línea definitiva, incluyendo las curvas horizontales, y una curva de nivel, se localiza el cadenamiento en el eje horizontal y el valor de la curva de nivel en el vertical; y donde se crucen, resulta un punto del perfil. En la fig.3.14. se muestra una línea en planta y su correspondiente perfil.



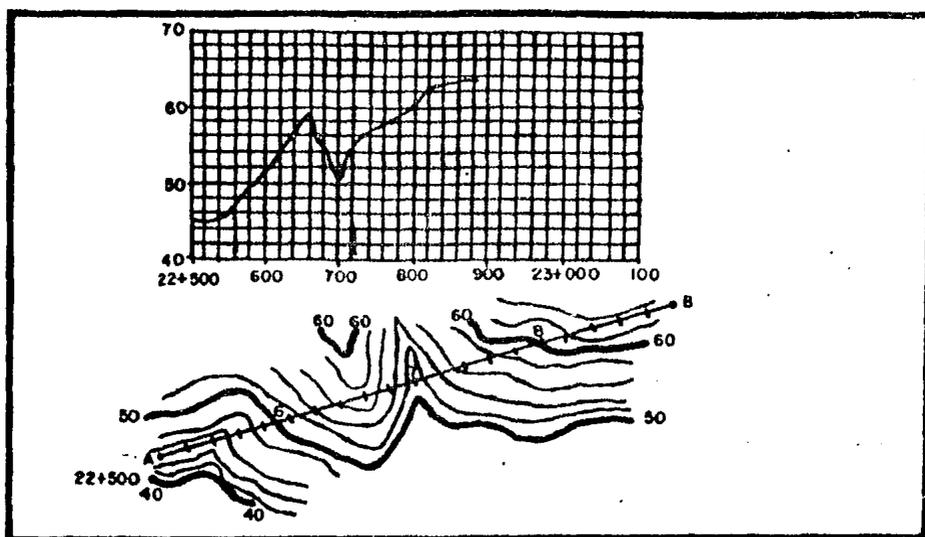


fig. 3.14.

Como se puede apreciar en la figura anterior, se utilizan diferentes escalas en los ejes horizontal y vertical; ésto se hace con el objeto de tener una mayor aproximación al determinar los valores de los espesores (diferencia de cotas, en un punto, entre el terreno y la subrasante) para posteriormente calcular los volúmenes de material por mover. Es recomendable que la escala vertical sea cinco o diez veces mayor que la horizontal:

horizontal = 1:2,000

horizontal = 1:500

vertical = 1: 200

vertical = 1:100

El plano de perfil reviste una importancia primordial, pues en él se muestran todas las características del proyecto. Debe contener: elevaciones del terreno y subrasante, espesores y volúmenes de material en corte y terraplén, ordenadas de curva masa, perfil del terreno, subrasante, curva masa, desarrollo de la línea en planta y sus características geométricas, curvas verticales y sus datos geométricos, cantidades de obra, igualdades de cadenamientos, especificaciones de drenaje, bancos de nivel, pendientes de proyecto, etc. La fig. 3.15. ilustra un plano de perfil.

En el caso del perfil, es factible aplicar un programa que dibuje -





Evidentemente la longitud del eje "y" (elevaciones del terreno) puede ser aumentada si se emplea una impresora más grande (132 caracteres), tal como sucedió en el caso de las secciones transversales, para la longitud de la sección. Los resultados presentados por la impresora son aproximados si se utiliza la escala vertical 1:400 y la horizontal 1:5000, esto se debe, como ya se mencionó, a las características técnicas de la impresora que está diseñada para imprimir espacios en pulgadas y no en centímetros. A pesar de que los resultados gráficos proporcionados por la impresora no son muy precisos, veremos, en el siguiente capítulo, como en el aspecto de cálculo resulta todo lo contrario, pues los resultados proporcionados por la máquina son sumamente precisos y sencillos de representarse por medio de tablas.

#### PROYECTO DE LA SUBRASANTE SOBRE EL PERFIL

Para estas alturas del proyecto se tendrán definidos: el perfil del terreno y el desarrollo en un plano horizontal o planta del eje de la vía terrestre; sin embargo, aún hay que determinar el desarrollo en el plano vertical o perfil de dicho eje. Para lograr este objetivo se recurre al término "subrasante", que es el perfil del eje de las terracerías terminadas y sobre el cual pasará, paralelamente, la "rasante" o perfil de la superficie de rodamiento o riel, según la vía terrestre de que se trate. Para trazar la subrasante se llevan a cabo una serie de líneas rectas con sus respectivas pendientes, según se requieran, tocándose, dos de ellas, en un punto o vértice llamado PIV. Posteriormente, dichas líneas con pendiente deberán unirse por medio de las llamadas "curvas verticales", que resultan tangentes a los diferentes tramos de subrasante por unir y que se estudiarán en el siguiente capítulo. Siguiendo el sentido del cadenamiento, las pendientes pueden ser positivas (+) cuando ascienden o negativas (-) cuando descienden. El objeto de trazar la subrasante, es el de compensar, lo más posible, las cantidades de material por mover; es decir, que el volumen de material por excavar (corte) sea, en lo más posible, igual al volumen de material utilizado para el relleno (terraplén). Para lograr dicha compensación, es necesario pegar la subrasante al terreno lo más posible, pero sin sobrepasar las pendientes de proyecto especificadas para el tipo de vía terrestre de que se trate. Las pendientes se proyectan hasta décimos y se expresan, siempre, en por ciento 5.4%, 2.0%, etc. Cuando el terreno es muy accidentado, los volúme

nes de material por excavar, o para rellenar, resultan muy grandes, por otro lado, si el terreno es sumamente uniforme, la subrasante se puede pegar tanto al terreno, que ésta estará representada por el perfil del propio terreno. En la fig. 3.16. se muestra un ejemplo de trazo de la --

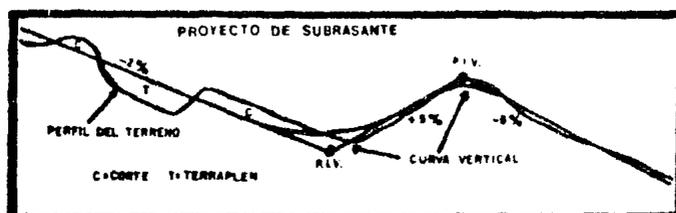


fig. 3.16.

subrasante, donde se especifica una pendiente máxima del 5%. Es importante resaltar que la subrasante debe compensar, aproximadamente, los volúmenes de material en corte y terraplén (fig. 3.17):

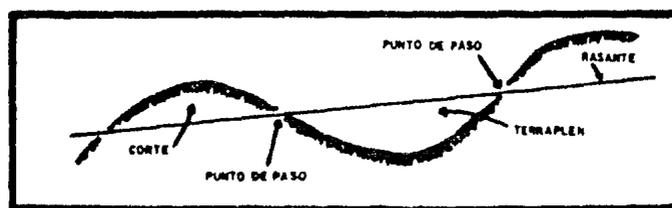


fig. 3.17.

Pueden existir dos casos generales; que la rasante quede abajo del terreno, en cuyo caso tenemos un corte, o que la rasante quede sobre el terreno, en cuyo caso tendremos un terraplén. Al punto donde se cortan la subrasante y el terreno, se le conoce como punto de paso o "cero".

#### SECCIONES TRANSVERSALES DE CONSTRUCCION

Estas secciones se obtendrán en el terreno después de haber trazado la línea definitiva. Al igual que las secciones de configuración, se determinan a cada 20 metros, normalmente a la línea, siguiendo el cadenamiento y pudiendo existir secciones especiales de construcción en los puntos más importantes de la línea. Su objeto es el de mostrar la sección de la vía que habrá de construirse posteriormente. Se dibujan en papel --

milimétrico a escala 1:100, horizontal y vertical, y el procedimiento es el siguiente: a partir de la línea definitiva (previamente nivelada y es tacada) se recorren una a una las distintas estaciones y puntos importan tes del eje; en cada una de ellas, se tomarán secciones transversales — (30 mts. a cada lado) anotando en una libreta los puntos donde sea más — notable el cambio en la forma del terreno. Estos puntos deberán referirse en cuanto a su distancia al eje y su nivel con respecto al punto donde se encuentra parado el observador (fig. 3.18).

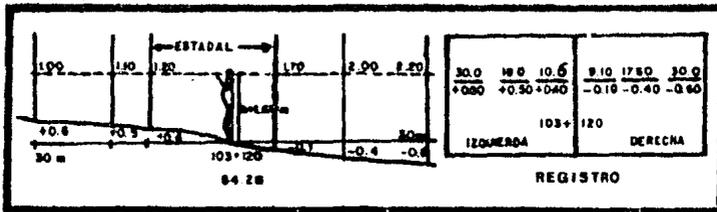


fig. 3. 18.

Todas las libretas se envían al gabinete donde serán dibujadas las secciones; el dibujante pone un punto en el papel milimétrico (estación) y a partir de él mide a la derecha y a la izquierda las distancias contenidas en la libreta y determina los niveles de cada punto; uniendo los puntos así obtenidos, aparece la forma del terreno en esa sección. A continuación, se hace referencia al perfil de la línea, donde se determina si la subrasante pasa arriba del terreno, abajo de él, o al mismo nivel que el mismo, en la estación en cuestión (fig.3.19).

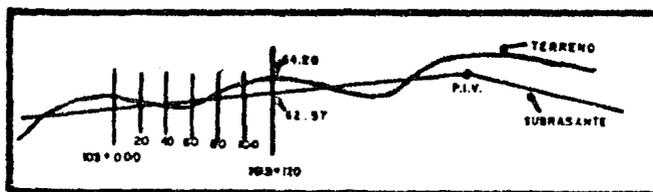


fig. 3.19

Este punto se localiza en el papel milimétrico, en la estación correspondiente, con respecto a su nivel referido al terreno. En este mo--

mento se debe contar con la especificación en cuanto al ancho de la corona de la vía, que depende del número de carriles o vías por construir y de su clase (con acotamiento, con camellón, etc.). Este ancho especificado, se representa por una línea cuyo punto medio es el punto de la subrasante localizado en el papel. La pendiente o "talud" de las excavaciones y terraplenes que deberá considerarse, depende de la clase de terreno en el que se esté trabajando, pues en cada caso, debe dársele la inclinación de reposo natural para evitar derrumbes. Así pues, los cortes pueden tener desde taludes a plomo (roca) hasta  $1\frac{1}{2} \times 1$  en materiales sueltos y los terraplenes desde  $1\frac{1}{2} \times 1$  hasta  $2 \times 1$ ; estos reportes los proporcionan los Geólogos al finalizar sus trabajos de Mecánica de Suelos. Los taludes así determinados, se trazan en la sección en cuestión, a partir de los extremos de la corona y hasta que se crucen con el terreno. Aunque solamente hemos descrito las secciones en corte y en terraplén, aún existe otro caso y son las llamadas secciones en "balcón", que son una combinación de corte y terraplén; estas secciones se presentan cerca, y en los puntos de paso, que son los lugares por donde la subrasante cruza el perfil del terreno al pasar de corte a terraplén o viceversa. (fig. 3.20).

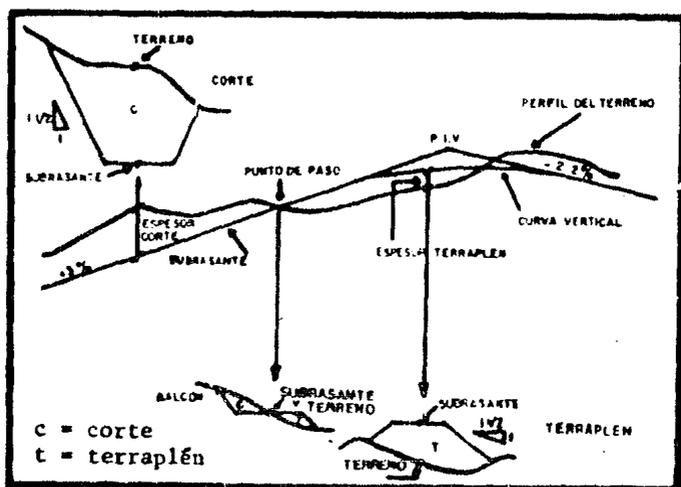


fig. 3.20.

En la figura siguiente (fig. 3.21) se presenta una sección de construcción, dibujada en el papel milimétrico, en base a las explicaciones desarrolladas y a las figuras 3.18 y 3.19.

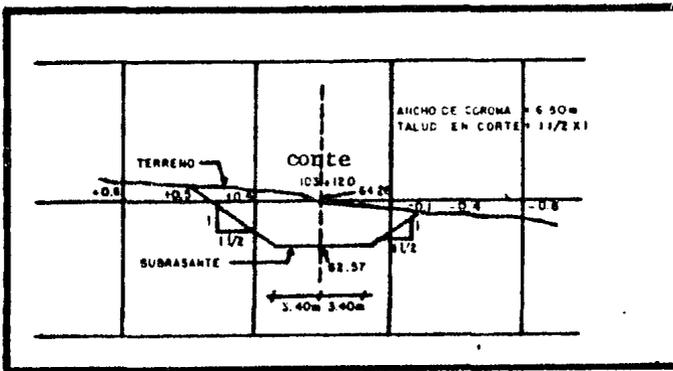


fig. 3.21.

En este apartado la actividad predominante es la del dibujo y por las características descritas de la microcomputadora utilizada, su aplicación resulta ser casi nula; por otro lado, el aspecto de cálculo no interviene, en ningún caso, en el desarrollo de este apartado, lo que hace aún más difícil la aplicación de la máquina.

#### AREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES Y CALCULO DE VOLUMENES

Las secciones transversales, obtenidas en el apartado anterior, se aprovecharán para obtener los volúmenes de material por excavar y rellenar. El principio de cálculo de dichos volúmenes, se basa en la obtención de las áreas de las secciones transversales y relacionar dos consecutivas con su distancia constante (20 mts). Aunque existen varios métodos y artificios para calcular las áreas de las secciones, el más sencillo, y el más preciso, es el planímetro (1). Como las secciones fueron dibujadas a la misma escala horizontal y vertical, la aplicación de este aparato es aún mejor; sin embargo, se presentarán dos métodos de cálculo de áreas que pueden aplicarse con una aproximación suficiente:

- a) Contar materialmente los cuadros enteros, del papel milimétrico,

(1) Miguel Montes de Oca. Topografía. RSI. Pág. 68.

que quedaron dentro de la sección; posteriormente se repite esta operación para los medios y cuartos de cuadro. Sumándolos se encuentra el área aproximada en m<sup>2</sup>.

A = 25 cuadros enteros + 10 medios cuadros + 6 cuartos

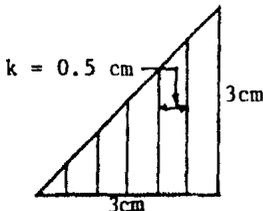
$$A = 25 + 10/2 + 6/4; \quad A = 31.5 \text{ m}^2$$

- b) Dividir la sección en fajas del mismo ancho, por medio de líneas verticales separadas entre sí una cantidad constante ( $k = 0.5 \text{ cm}$ ). El área de la sección se calcula:

A = k ( $\Sigma$  L) K = separación constante entre líneas verticales

L = suma de las longitudes de las líneas verticales

De la misma manera que el caso anterior, por la igualdad de escalas, los resultados serán metros.



$$A = 0.5 \text{ cm} \times 10.5 \text{ cm} = 5.25 \text{ cm}^2.$$

comprobación:

$$A = \frac{3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}}{2} = 4.5 \text{ cm}^2.$$

Diferencia = 16%

Independientemente del método aplicado, una vez obtenidas las áreas de todas y cada una de las secciones transversales, se procede a calcular los volúmenes de material entre las mismas. En los estudios de vías terrestres, la fórmula comúnmente aplicada es:

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

fórmula que se deriva de la del prismoide. Como la distancia (d) entre secciones es constante y vale 20 mts.; la ecuación (a) se simplifica:

$$V = (A_1 + A_2)10 \dots (b); \quad A_1 \text{ y } A_2 = \text{Áreas consecutivas separadas 20 m.}$$

La ecuación (b) es aproximada, pero facilita en gran forma los cálculos. Naturalmente que cuando se trate de secciones especiales que no disten 20 mts., la fórmula por aplicar es la general (a).

En el siguiente capítulo se presentará la forma de ordenar una tabla y realizar estos cálculos por medio de la microcomputadora. También se -

tratará el aspecto del "abundamiento", que es el fenómeno que aparece en el material excavado, y extraído, y consiste en que éste aumenta de volumen. Este material excavado, es el que se acarrea al lugar donde se ha de formar un terraplén.

#### CURVA MASA

La curva masa es una gráfica que se traza referida a dos ejes cartesianos, las abscisas contienen el cadenamiento de la línea y las ordenadas los volúmenes de material en corte o terraplén, obtenidos en el apartado anterior, según la curva sea ascendente o descendente. También permite determinar la distribución económica de los volúmenes excavados y calcular el costo para dicha distribución. Se dibuja en el mismo plano que el perfil, pues los cadenamientos deben ser coincidentes. Entre estaciones consecutivas, la curva masa ascenderá si hay cortes de material (+) y descenderá si se presentan terraplenes (-). La forma de calcularla es mediante una tabla que consta de 19 columnas, la última de las cuales contendrá el valor de las ordenadas de la curva masa que habrán de dibujarse. La escala horizontal es la misma del perfil, mientras que la vertical se recomienda que sea de  $1 \text{ cm} = 200 \text{ m}^3$ , pero podrá escogerse una diferente si los volúmenes acumulativos son fuertes. La fig.3.22., muestra una descripción gráfica de la curva masa.

#### PROPIEDADES DE LA CURVA MASA

Una vez trazada la curva, resultarán evidentes las siguientes propiedades:

1. Entre dos estaciones, la curva crece de izquierda a derecha, cuando -- hay cortes; y en el mismo sentido, decrecerá si lo que se presentan -- son terraplenes.
2. La curva tendrá puntos máximos cuando hay cambios de corte a terraplén y mínimos en caso contrario.
3. Si se traza una línea horizontal que corte a la curva en dos puntos, -- se estará determinando una "compensadora", pues entre dichos puntos -- los volúmenes en corte y en terraplén resultarán iguales.
4. La diferencia de ordenadas entre dos puntos de la curva masa, indica -- el volumen de material que existe entre dichos puntos.



es el producto de un volúmen por una distancia (estación de 20 mts.); por ejemplo, si se mide el área comprendida entre la curva masa y la compensadora, y suponemos que ésta última corta a la curva en las estaciones 100 + 100 y 100 + 200, tendremos los m<sup>3</sup> de material que hay en los 100 mts. (5 estaciones) limitados por la compensadora; o sea, tantos metros cúbicos en 5 estaciones.

Al estudiarse un tramo de curva masa, se pueden trazar varias compensadoras; de hecho, entre más de éstas se tracen es mejor, pues el material se distribuirá más adecuadamente. Pero entre dos líneas compensadoras, quedará siempre un tramo sin compensación; en estos tramos, si la curva asciende, habrá material de corte sobrante que no se puede usar para rellenar y por éso se le conoce como "desperdicio"; por otro lado, si en dicho tramo la curva desciende, nos indica que hace falta material de relleno que no puede ser proporcionado por la excavación, entonces se tendrá que obtener de otro lado llamado "banco" y al material de ahí extraído se le denomina "préstamo". Los volúmenes de material de desperdicio o préstamo se miden en el dibujo y la figura 3.23. muestra cómo:

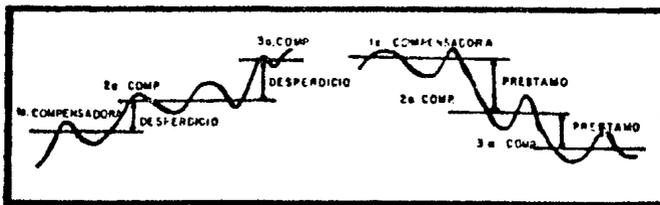


fig. 3.23.

Al volúmen de material obtenido en la propiedad número 6, se le conoce como "acarreo total" entre los puntos de cruce de la curva masa con la compensadora. Para comprender el significado del "acarreo" y "distancia de acarreo", nos referiremos a la figura 3.24.

La forma de medir el área entre la curva masa y la compensadora, es similar a la descrita para la "cubicación de terracerías" del apartado anterior.

Se llama "distancia libre de acarreo" a la distancia que el contratista acepta que no se le pague por concepto de acarreo. Esta distancia-

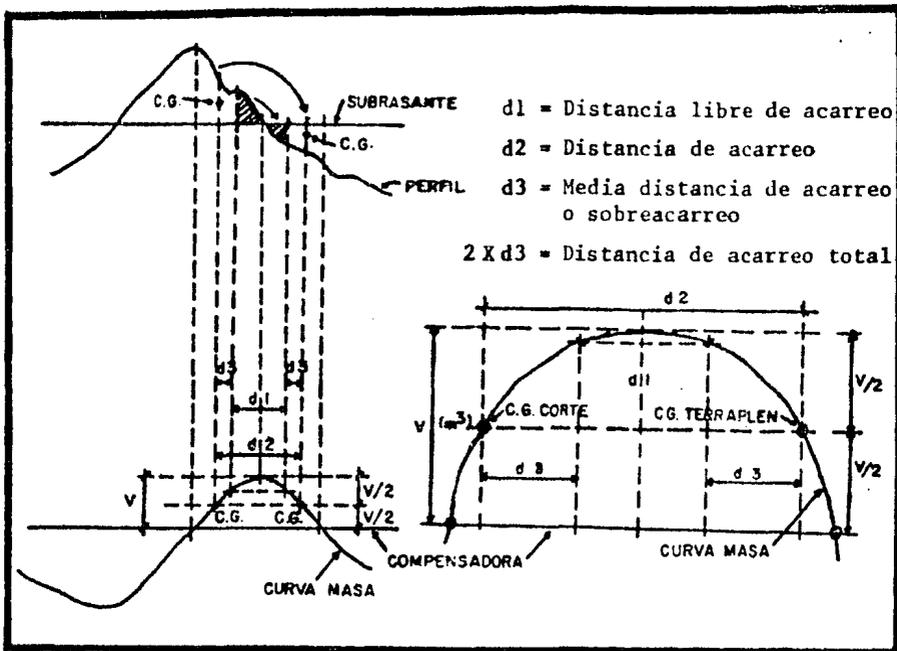


fig. 3.24.

depende de dos aspectos principales: el procedimiento de construcción y del acuerdo entre el contratista y el administrador; pero generalmente oscila entre 3 y 5 estaciones. El hecho de tener una distancia libre de acarreo, se debe a que en pequeñas longitudes es conveniente incluir el costo de acarreo en los precios unitarios, pues el trabajo es sencillo.

Si consideramos al material de corte y terraplén, concentrados en los centros de gravedad, obtendremos la "distancia de acarreo". El referirse a los centros de gravedad, tiene por objeto compensar distancias; es decir, para evitar tomar el volumen de material en cada punto y la distancia a la que será llevado, se considera el punto medio del volumen contenido en la curva masa, y se refiere al perfil para encontrar la distancia.

A la diferencia entre la distancia de acarreo y la distancia libre de acarreo, se le conoce como "distancia de acarreo total" y en base a ella se obtendrán los costos por concepto de acarreo.

Por último, se puede presentar un problema; que resulte antieconómico acarrear el material de un corte, para ser empleado en un terraplén, siendo mejor obtener el material de un banco. Para determinar la "distancia máxima de acarreo total", se aplica la expresión:

$$\frac{\text{Costo por concepto de excavación}}{\text{Costo por sobrecarreo por m}^3/\text{est}} + \text{Distancia de acarreo libre (en estaciones)}.$$

El resultado serán estaciones y es el límite económico del acarreo más allá del cual, nos conviene obtener el material de un banco.

Aunque en este apartado no se ha hecho alusión al aspecto de cálculo, veremos en el capítulo siguiente cómo se realiza y la enorme aplicación de la microcomputadora en este sentido. También se describirá el llenado de la tabla y el significado de cada columna que la integra.

## C A P I T U L O   I V

### DISEÑO GEOMETRICO Y PROGRAMAS APLICABLES

La planta de las vías terrestres emplea tangentes, curvas circulares simples, compuestas y espirales, en tanto que el perfil del eje de la vía, está constituido por varias líneas rectas (con diversas pendientes) unidas por curvas parabólicas o verticales.

Primeramente nos ocuparemos de las curvas que se trazan en planta, para después desarrollar las que se requieren en el perfil.

#### CURVAS HORIZONTALES

Cuando se vió, en el capítulo anterior, el aspecto del proyecto de la línea definitiva, se determinaron una serie de tramos rectos, llamados "tangentes", que se cortaban en un punto conocido como "PI" (punto de intersección o inflexión). Evidentemente una vía terrestre no puede desarrollarse siguiendo esas tangentes entre PI consecutivos, por lo que se han propuesto las llamadas "curvas horizontales". Estas curvas son -- las que se emplean para cambiar, suavemente, de una dirección a otra, -- uniendo las distintas tangentes trazadas. Aunque generalmente son arcos-circulares, también pueden ser tramos de curvas similares a las espirales (clotoides) o utilizarse combinadas unas con otras o consigo mismas.

Estas curvas se determinan en el plano de la planta, escogiendo el radio que mejor se adapte a las tangentes y a la topografía, de tal manera que se provoque el mínimo movimiento de material (terracerías) sin -- descuidar la velocidad de proyecto. Como el cadenamiento debe ser continuo, se marcarán, igual que las tangentes, cada 20 mts., lo cual se hace mediante cuerdas de 20 mts. Una vez trazadas o dibujadas en el plano, -- las curvas horizontales serán calculadas en el gabinete para, posteriormente, enviar los resultados a la brigada en el campo y que se encarguen de determinarla en el terreno.

Por sus características, las curvas horizontales se clasifican en: curvas simples, curvas compuestas, curvas espirales (clotoides) o de transición y curvas inversas.

## CURVAS SIMPLES

Las curvas simples se constituyen por un tramo de una sola circunferencia y son el ejemplo típico para mostrar los elementos que generalmente integran una curva horizontal. La fig.4.1. muestra los elementos que deben determinarse para finalmente llegar a trazarla en el terreno.

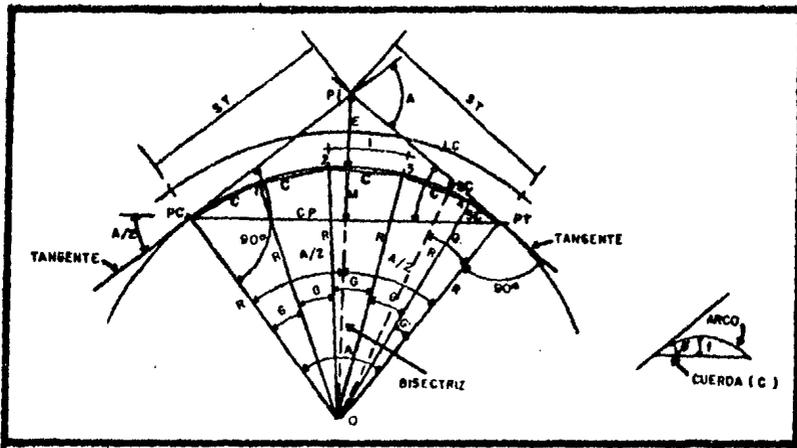


fig. 4.1.

$\Delta$ = Deflexión	CP = Cuerda principal
PI = Punto de intersección o de inflexión	LC = Longitud de curva
PC = Punto de comienzo	M = Ordenada media
PT = Punto de tangencia	E = Externa
R = Radio	O = Centro de la curva
ST = Subtangentes	f = Flecha
c = Cuerda (20 mts.)	$\theta$ = Ángulo de una cuerda
G = Grado de la curva	l = Longitud de un arco
SC = Subcuerda	$\odot$ = Ángulo de deflexión a un PSC
G' = Subgrado	PSC = Punto sobre curva

De estos elementos, los que se toman como base para calcular los demás datos de la curva son:

- Deflexión ( $\Delta$ ): se mide en el plano de planta mediante un transportador, aunque su valor será aproximado. Para que resulte lo más preciso posible, habrá de medirse en campo, con tránsito, y con él recal-

cular los datos de la curva. También se puede calcular con la diferencia de rumbos de las subtangentes.

- Cuerda (c): depende de la curva por trazar, generalmente vale 20 m. si el grado (G) no pasa de 10°, ya que para ese valor, el radio es mayor de 100 mts. y el arco es casi igual a la cuerda. Para curvas con (G) entre 10° y 20° se usan cuerdas de 10 mts. y para (G) entre 20° y 40° de 5 m.
- Radio (R): Determinado por el proyectista, buscando que sea grande para no tener curvas forzadas (mientras mayor sea el radio, el grado será menor y la curva más suave) pero adaptándose a las características del terreno para no producir movimientos de material costosos.

En los caminos el radio mínimo aconsejable es de 35 m. (G = 35°) -- aunque es preferible que sean mayores de 100 m. Por otro lado, los ferrocarriles requieren un radio mínimo de 200 m. (G = 6°) debido a la fricción de las ruedas con el riel al aumentar la curvatura.

Una vez determinado el radio, se calcula a qué grado de curvatura corresponde, adoptando como definitivo el grado cerrado más próximo y de preferencia que sea par, para facilitar los cálculos si se realizan tradicionalmente. El radio únicamente se utiliza para cálculos, pues en el campo, al trazar la curva, no interviene en lo absoluto. Teniendo los tres datos antes mencionados, los elementos restantes de la curva se calculan con las siguientes expresiones, referidas a la fig.4.1.:

$$\frac{c}{2} = R \operatorname{Sen} \frac{G}{2} ; c = 2 R \operatorname{Sen} \frac{G}{2} ; E = \frac{c}{2 \operatorname{Sen} \frac{G}{2}}$$

$$\text{para } c = 20 \text{ m: } R = \frac{10}{\operatorname{Sen} \frac{G}{2}} \dots (1)$$

En general  $R = \frac{1145.92 \text{ m}}{n}$  para cuerdas de 20 m. y G = 1°; "n" es el valor del grado de curvatura del cual se desea conocer su radio.

$$\frac{ST}{R} = \tan \frac{\Delta}{2} ; ST = R \tan \frac{\Delta}{2} \dots (2); \text{ de las expresiones (1) y (2):}$$

$$R = ST \operatorname{Cotg} \frac{\Delta}{2}$$

Número de cuerdas enteras =  $\frac{\Delta}{G}$ ; al obtener esta división, queda un residuo que es el valor del subgrado ( $G'$ ):

$$\text{Número de cuerdas enteras} = \frac{\Delta}{G} + \text{residuo}; G' = \text{Residuo.}$$

$$SC = 2 R \operatorname{Sen} \frac{G'}{2} ; LC = \frac{\Delta}{G} \times 20 \text{ m. (para } R > 100 \text{ mts.)};$$

$$\text{o también: } LC = (\text{número de cuerdas enteras} \times 20) + SC$$

Cuando  $R < 100$  m. se puede multiplicar el número de cuerdas enteras por el valor del arco de la cuerda de 20 m. para obtener un valor más aproximado:

$$LC = \frac{\Delta}{G} \times \text{arco}$$

Finalmente, para la externa y la ordenada media tenemos:

$$\frac{R + E}{R} = \operatorname{Sec} \frac{\Delta}{2} ; E = R \left[ \operatorname{Sec} \frac{\Delta}{2} - 1 \right]$$

$$M = R - R \operatorname{Cos} \frac{\Delta}{2} ; M = R \operatorname{Sen} \operatorname{ver} \frac{\Delta}{2}$$

$$\text{y la cuerda principal: } CP = 2 R \operatorname{Sen} \frac{\Delta}{2}$$

Una vez conocida la longitud de la curva, se procede al cálculo de los cadenamientos del PC y del PT. El cadenamiento del PI se conoce gráficamente al ser medido en el proyecto, pero más aproximadamente cuando se tiene trazada, en el terreno, la línea definitiva. Conocido el cadenamiento del PI, se calculan:

$$\text{Cadenamiento (PC)} = \text{Cadenamiento PI} - ST$$

$$\text{Cadenamiento (PT)} = \text{Cadenamiento PC} + LC$$

A continuación se presenta un programa BASIC, que calcula los elementos de una curva simple partiendo de los tres datos básicos ( $\Delta, c, R$ ) y los resultados producidos por el mismo.

```

1 REM CURVAS SIMPLAS. GUILLERMO MANCILLA URREA. MEXICO 1984.
15 CLS:IP=3.1415927
50 INPUT "NOMBRE DE LA CURVA";A$:INPUT "RADIO, CUERDA Y DEFLEXION (G/M)";R(1),C,DC
  DM:INPUT "CADENAMIENTO DEL PI (KM) Y (METROS)";KI,ME:DE=((DM/60)+DC)*IP/180
60 RR=((C/2)/R(1)):GG=2*(ATN(RR/SQR(-RR*RR+1))):GG(1)=(GG*180)/IP
70 GG(2)=INT(GG(1)):GG(3)=GG(1)-GG(2):GG(4)=INT(GG(3)/60):PRINT "CON EL RADIO PRO
  PUESTO SE OBTIENE UN VALOR DE G DE "GG(2):GG(4):INPUT "CUAL ES EL VALOR QUE DEBE
  A PARA G? (G/M)";G,MI:G(1)=((MI/60)+G)*IP/180
90 R=(C/2)/(SIN(G(1)/2)):IST=(R*TAN(DE/2)):NC=((DE*180/IP)/(G(1)*180/IP)):CE=INT(
  NC):RE=(NC-CE)*(G(1)*180/IP):TU=RE*IP/180:ER=INT(RE):GZ=INT((RE-ER)*60):SC=(2*R*
  SIN(TU/2))
110 EE=1/(COS(DE/2)):IE=R*(EE-1):IM=(R-R*COS(DE/2)):CP=(2*R*SIN(DE/2))
120 LC=(DE/G(1))*C:PC=ME-ST:IFPC<0THENL=KI-1:PC=PC+1000:ELSEL=KI
130 PT=PC+LC:IFPT>1000THENJ=KI+1:PT=PT-1000:ELSEJ=KI:CLS:PRINT "CURVA ";A$
150 PRINT:PRINT "DATOS:";PRINT "CUERDA=";C,"DEFLEXION=";DC;DM
160 PRINT "RADIO PROPUESTO ORIGINAL=";R(1)
170 PRINT "CADENAMIENTO DEL PI=";KI;"+";ME:PRINT:PRINT "RESULTADOS:"
180 PRINT "GRADO=";G;MI,"RADIO=";R:PRINT "SUBTANGENTE=";IST,
200 PRINT "NUMERO DE CUERDAS ENTERAS=";CE:PRINT "SUBGRADO=";ER;GZ,"SUBCUERDA=";
  SC:PRINT "LONGITUD DE CURVA=";LC,"EXTERNA=";IE:PRINT "ORDENADA MEDIA=";IM,"CUERDA
  PRINCIPAL=";CP
210 PRINT "CADENAMIENTO PC";L;"+";PC:PRINT "CADENAMIENTO PT";J;"+";PT:END

```

#### CURVA DE PRUEBA DE PROGRAMA.

##### DATOS:

CUERDA= 20            DEFLEXION= 40    42  
 RADIO PROPUESTO ORIGINAL= 300  
 CADENAMIENTO DEL PI= 101 + 300.5

##### RESULTADOS:

GRADO= 4    0	RADIO= 286.537
SUBTANGENTE= 106.278	NUMERO DE CUERDAS ENTERAS= 10
SUBGRADO= 0    42	SUBCUERDA= 3.5007
LONGITUD DE CURVA= 203.5	EXTERNA= 19.0745
ORDENADA MEDIA= 17.884	CUERDA PRINCIPAL= 199.289
CADENAMIENTO PC 101 + 194.222	CADENAMIENTO PT 101 + 397.722

Con los resultados proporcionados, se procederá a solicitar a la --  
 brigada de campo que determine la curva en el terreno. Para lograr este-  
 cectivo, se deben cubrir dos etapas: la primera consiste en determinar-  
 los puntos principales, o de tangencia, de la curva (PI, PC, PT); por lo  
 que será necesario contar con una libreta de campo similar a la que se -  
 muestra a continuación:

101 + 397.72	PT
PI	= 101 + 300.50
$\Delta$	= 40° 42' der.
G	= 4° 00'
R	= 286.54 m.
ST	= 106.28 m.
LC	= 203.50 m.
100 + 194.22	PC

La segunda etapa consiste en trazar, físicamente, la curva en el terreno, para tal fin existen dos metodos:

- Tránsito y cinta
- Cinta exclusivamente

#### TRAZO DE CURVAS SIMPLES CON TRANSITO Y CINTA

Consiste en determinar los puntos de la curva en el terreno mediante deflexiones, medidas con tránsito, y distancias, medidas con cinta, a partir del PC o del PT, según se requiera. El esquema general se presenta en la fig. 4.2.

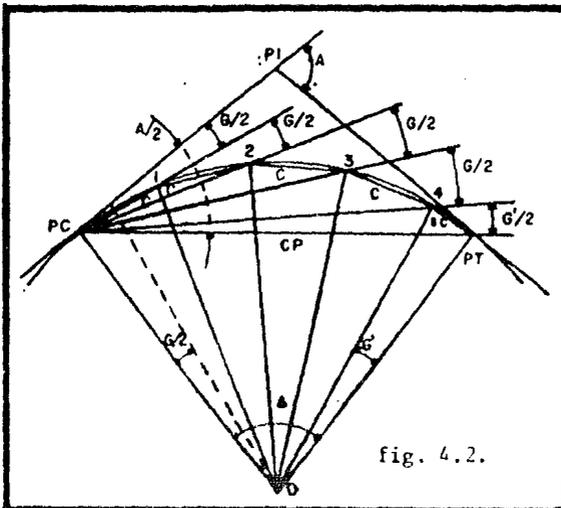


fig. 4.2.

Las deflexiones empezarán a tomarse con la visual del PC al PI, variándolas de  $1/2 G$  en  $1/2 G$ , hasta llegar al PT; es decir, poniendo el tránsito en el PC y visando el PI, las deflexiones que se marcarán son:-

G/2, G,  $1\frac{1}{2}$  G, 2G, etc..., hasta llegar a ver el PT, que previamente de bió ser marcado mediante la ST a partir del PI. Para cada deflexión se mide la cuerda (20 m. si es el caso) desde el punto anterior y donde se crucen la visual del tránsito y la cinta, se tendrá un nuevo punto de la curva. Este trabajo se puede comprobar angular y linealmente en el campo:

Angularmente: Una vez realizadas todas las deflexiones, el tránsito debe rá marcar el valor de  $(\Delta/2)$ . Tolerancia =  $\pm 01'$ .

Linealmente: La distancia entre el último punto trazado (con cuerda ente ra) y el PT, será la SC previamente calculada. Tolerancia =  $\pm 0.10$  m.

Para el procedimiento explicado, se supone que el PC coincide con el cadenamiento cerrado de la primera cuerda; sin embargo, ésto no sucede siempre en la práctica. Como el cadenamiento debe continuar a lo largo de la curva, la primera cuerda que se marca es lo que le falte al cadenamiento del PC para llegar a la siguiente estación cerrada.

La deflexión correspondiente se calcula conociendo la deflexión por metro de la curva, la cual se obtiene:

$$d = \frac{G}{20} ; o ; d = \frac{\Delta}{LC} ; d = \text{deflexión por metro de la curva.}$$

A continuación se presenta el programa BASIC que calcula las deflexiones necesarias para el trazo de una curva en el campo, partiendo de los datos de curva ya obtenidos y considerando cuerdas de 20 m. En este caso, se supone que el grado (G) ya se determinó en base a una primera proposi ción del radio, como se vió anteriormente.

```

1 REM TRAZO DE CURVAS SIMPLES. GUILLERMO MANCILLA URREA. MEXICO 1984.
10 CLG:INPUT NOMBRE DE LA CURVA:IA:PRINT GRADO EN (G) Y (M):INPUT G,M:PRINT CA
DENAMIENTO DEL PC (KM) Y (M):INPUT CK,CM:PRINT CADENAMIENTO DEL PT (KM) Y (M):
INPUT TK,TH
20 PRINT DEFLEXION EN (G) Y (M):INPUT DG,DM:PRINT LONGITUD DE CURVA:INPUT LC
30 GR=G+(M/60):DE=DG+(DM/60):D=DE/LC/2:DN=D*60:DO=INT(DM):DP=INT((DN-DO)*60)
40 PRINT CADENAMIENTO DEL PRIMER PUNTO EN (KM) Y (M):INPUT PK,PH:DK(1)=PK-CK
50 DM(1)=PH-CHLO=(DK(1)*1000)+DM(1)
60 EN=LO*60:EO=INT(EN):EP=EN-EO:EQ=INT(EP*60):CU=((GR/2)*60)
65 IFEO>60 THEN EV=EV+1:EO=EO-60:GOTO 67
67 IFCU>60 THEN CV=CV+1:CU=CU-60:GOTO 67:ELSECLS
70 PRINT CURVA :IA:PRINT:PRINT PC:CKI:CM:PRINT TAB(20)"GRA. MIN. SEC."
80 PRINT TAB(4)PKI:PH:TAB(21)EVITAB(27)EOITAB(33)EO
90 PH=PH+20:IFPH>1000 THEN PK=PK+1:PH=PH-1000
100 EO=EO+CU:EV=EV+CV:IFEO>60 THEN EV=EV+1:EO=EO-60
110 PRINT TAB(4)PKI:PH:TAB(21)EVITAB(27)EOITAB(33)EO
120 IF((PK*1000)+20+PH)>((TK*1000)+TH) THEN 130:ELSE 90
130 TH=TH-PH:TD=TH*60:TE=INT(TD):TF=TD-TE:TC=TF*60:TH=INT(TC):TI=TC-TH:TJ=INT(TI*
60):PRINT "PT":TKI:PH:TH:GZ=EV+TE:HZ=EO+TH:SZ=EO+TJ:IFSZ>40 THEN MZ=MZ+1:SZ=SZ-60
150 IFSZ>40 THEN GZ=GZ+1:MZ=MZ-60:PRINT TAB(21)GZ:TAB(27)MZ:TAB(33)SZ:END

```

**DATOS:**

CUERDA= 20 DEFLEXION= 76 3  
 RADIO PROPUESTO ORIGINAL= 800  
 CADENAMIENTO DEL PI= 99 + 752.448

**RESULTADOS:**

GRADO= 1 30 RADIO= 763.966  
 SUBTANGENTE= 597.413 NUMERO DE CUERDAS ENTERAS= 50  
 SUBGRADO= 1 3 SUBCUERDA= 14.0002  
 LONGITUD DE CURVA= 1014 EXTERNA= 205.852  
 ORDENADA MEDIA= 162.158 CUERDA PRINCIPAL= 941.214  
 CADENAMIENTO PC 99 + 155.035 CADENAMIENTO PT 100 + 169.035

**CURVA DE PRUEBA DE PROGRAMA.**

PC 99 + 155.035	GRA.	MIN.	SEG.				
99 + 160	0	11	10	99 + 660	16	56	10
99 + 180	0	56	10	99 + 680	19	41	10
99 + 200	1	41	10	99 + 700	20	26	10
99 + 220	2	26	10	99 + 720	21	11	10
99 + 240	3	11	10	99 + 740	21	56	10
99 + 260	3	56	10	99 + 760	22	41	10
99 + 280	4	41	10	99 + 780	23	26	10
99 + 300	5	26	10	99 + 800	24	11	10
99 + 320	6	11	10	99 + 820	24	56	10
99 + 340	6	56	10	99 + 840	25	41	10
99 + 360	7	41	10	99 + 860	26	26	10
99 + 380	8	26	10	99 + 880	27	11	10
99 + 400	9	11	10	99 + 900	27	56	10
99 + 420	9	56	10	99 + 920	28	41	10
99 + 440	10	41	10	99 + 940	29	26	10
99 + 460	11	26	10	99 + 960	30	11	10
99 + 480	12	11	10	99 + 980	30	56	10
99 + 500	12	56	10	100 + 0	31	41	10
99 + 520	13	41	10	100 + 20	32	26	10
99 + 540	14	26	10	100 + 40	33	11	10
99 + 560	15	11	10	100 + 60	33	56	10
99 + 580	15	56	10	100 + 80	34	41	10
99 + 600	16	41	10	100 + 100	35	26	10
99 + 620	17	26	10	100 + 120	36	11	10
99 + 640	18	11	10	100 + 140	36	56	10
				100 + 160	37	41	10
				PT 100 + 169.035	38	1	29

En el campo se fijará primero el PI y con la ST se determina el PC-  
 (99+752.448 - 597.413= 99+155.035 m.) de la curva. Para calcular la prime  
 ra deflexión, y así alcanzar la primera estación cerrada (99+160 - --  
 99+155.035 = 4.565 m.) tenemos que:

$$d = \frac{\Delta}{LC} ; d = \frac{38^\circ 1.5'}{1014.00} ; d = 2' 15'' ; o ; d = \frac{45'}{20} = 2' 15''$$

entonces  $4.956 \times 2' 15'' = 11' 10''$ ; que es la primera deflexión. Con esta deflexión se miden 4.956 m. y donde se crucen la visual del aparato y la cinta, se tendrá el segundo punto de la curva 99+160 (el primer punto es el propio PC). A partir de él, se mide una deflexión de  $45'$  (el aparato marcará  $56' 10''$  que es la deflexión acumulada) y con la cinta a 20 mts.- se localiza el tercer punto (99+180), el procedimiento se repite hasta - llegar al último punto de estación cerrada (100+160). De la misma forma que se siguió al principio, se calcula el PT:

$$PT = PC + LC; \quad PT = 99+155.035 + 1014.00; \quad PT = 100+169.035$$

distancia de 100+160 a 100+169.035 = 9.035 m.

$$9.035 \times 2' 15'' = 20' 20''$$

Esta es la última deflexión que orientará a la visual hacia el PT-- y que con la distancia de 9.035 m. medida de la última cuerda, localizará el PT de la curva. En este momento la deflexión acumulada en el tránsito deberá ser  $(\Delta/2)$ , que sirve como comprobación también. Con esto solo se determina el cadenamamiento de la curva, pero el PT debió localizarse en el terreno anteriormente, con la ayuda de la ST.

#### TRAZO DE CURVAS SIMPLES CON CINTA EXCLUSIVAMENTE

En este caso se pueden utilizar tres procedimientos:

- a) Cuerdas prolongadas
- b) Normales a las tangentes
- c) Normales a la cuerda principal

En la práctica los dos últimos son poco utilizados, pues el trabajo es más laborioso. Por esta razón solo describiremos el primero.

#### METODO DE LAS CUERDAS PROLONGADAS PARA CURVAS SIMPLES

Este procedimiento es el más utilizado por la facilidad de cálculo- y porque va siguiendo la curva, independientemente de las tangentes y -- cuerda principal, asemejándose al método de las deflexiones. El desarrollo gráfico se muestra en la Fig. 4.3.

El procedimiento es el siguiente: el primer punto (1) se fija por - una normal a la tangente (a-1) y su localización está dada por:

$$\overline{PC-a} = c \cos G/2$$

y

$$\overline{a-1} = c \sin G/2$$

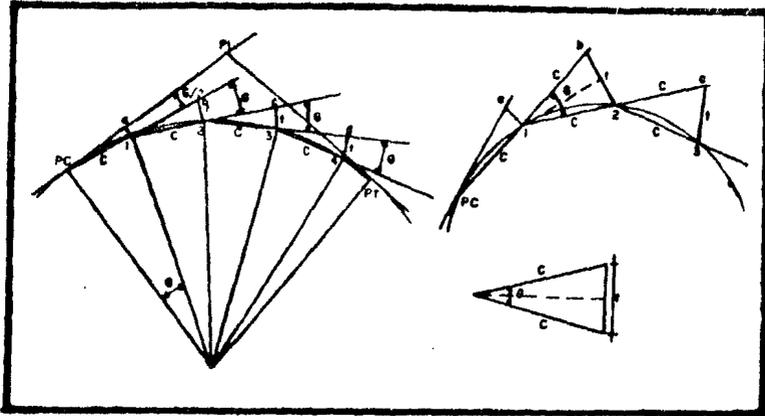


fig. 4.3.

para fijar los demás puntos (2, 3, 4, etc.) se prolonga la cuerda anterior y se mide sobre ella una distancia igual a la cuerda (20 m. si es el caso) obteniendo:  $1-b=2-c=3-d$  y de esos puntos se mide la distancia de deflexión ( $t$ ), hasta unirse con las cuerdas  $PC-1-1-2=2-3=3-4$ , y esas uniones serán los puntos de la curva. Hay que aclarar que ( $t$ ) no son normales a  $\overline{1-b}$ ,  $\overline{c-2}$ ,  $\overline{3-d}$ , etc. Para calcular los valores de ( $t$ ) aplicamos:

$$t = 2 c \operatorname{Sen} \frac{G}{2} ; t = c \ 2 \operatorname{Sen} \frac{G}{2} \dots (A)$$

$$\text{como } R = \frac{c}{2 \operatorname{Sen} \frac{G}{2}} ; \text{ entonces: } 2 \operatorname{Sen} \frac{G}{2} = \frac{c}{R} \dots (B)$$

$$\text{finalmente, sustituyendo (B) en (A): } t = \frac{c^2}{R}$$

En este caso solo se trata del trabajo de campo, por lo que no es necesario realizar cálculos complicados o tediosos; sin embargo, hemos propuesto dos programas BASIC que facilitan enormemente el cálculo de las curvas simples y su localización en el terreno. Si se operan dichos programas, se podrá constatar la velocidad a la que trabaja la máquina comparada con la respectiva para un calculista. Además por su alta capacidad de resolución, permite ensayar varios radios hasta obtener el más adecuado y de esta manera lograr proponer el grado ( $G$ ) más conveniente y con un considerable ahorro de tiempo.

#### CURVAS COMPUESTAS

Están integradas por varios tramos de curvas simples, con diferentes radios, según las necesidades del terreno o de las estructuras (pasos

a desnivel). Cada tramo es calculado como una curva simple independiente, y por geometría y trigonometría, se pueden conocer todos los elementos de las tangentes (distancias) y los datos básicos para trazarlas. La fig. 4.4. muestra dos casos típicos de curvas compuestas y en uno de ellos, su posible aplicación en los pasos a desnivel.

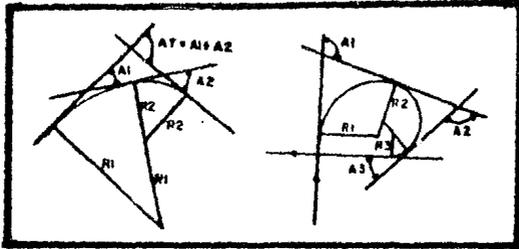


fig. 4.4.

En ocasiones estas curvas pueden demandar el uso de una curva de transición entre ambas, así como aplicar otras espirales en la entrada y salida de la curva compuesta. El caso más simple lo representa la fig. 4.5. mostrando dos curvas simples de radios  $R_1$  y  $R_2$ , así como las ecuaciones base:

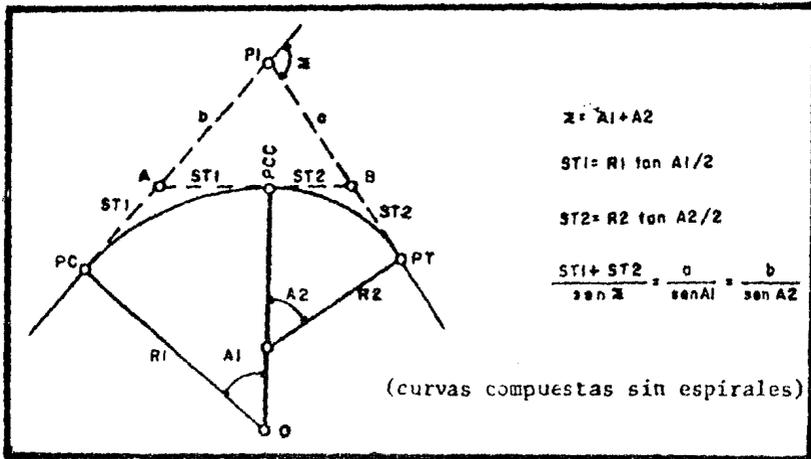


fig. 4.5.

Con los datos obtenidos, se mide  $(b + ST_1)$  para poder marcar el PC, así como  $(a + ST_2)$  para marcar el PT.

Aunque las curvas compuestas se pueden diseñar en muy diversas formas, presentaremos, únicamente, el programa BASIC que resuelve el caso -

más general (fig. 4.5.).

```

1 REM CURVAS COMPUESTAS. GUILLERMO MANCILLA URREA, MEXICO 1984.
10 CLBIINPUT'NOMBRE DE LA CURVA';A$:PRINT'CADENAMIENTO DEL PI (KM) Y (M)';:INPUT
KK(1),ME(1):PRINT'GRADO DE LA PRIMERA CURVA (G) Y (M)';:INPUTG(1),M(1)
15 IP=3.141592654:PRINT'DEFLEXION EN (G) Y (M)';:INPUTDG(1),DM(1):PRINT'GRADO DE
LA SEGUNDA CURVA (G) Y (M)';:INPUTG(2),M(2):PRINT'DEFLEXION EN (G) Y (M)';:INPU
TDG(2),DM(2):INPUT'CUERDA':CU:GG(1)=G(1)+(M(1)/60):GG(2)=G(2)+(M(2)/60)
20 SE(1)=SIN((GG(1)/2)*IP/180):SE(2)=SIN((GG(2)/2)*IP/180)
30 R(1)=(CU/2)/SE(1):R(2)=(CU/2)/SE(2):DE(1)=DG(1)+(DM(1)/60)
50 DE(2)=DG(2)+(DM(2)/60):TA(1)=TAN((DE(1)/2)*IP/180):TA(2)=TAN((DE(2)/2)*IP/180)
:BT(1)=R(1)*TA(1):ST(2)=R(2)*TA(2):SI=DE(1)+DE(2):SJ=INT(SI):SK=SI-SJ
80 SL=INT(SK*60):GM(1)=SIN(DE(1)*IP/180):GM(2)=SIN(DE(2)*IP/180):ST=ST(1)+ST(2)
90 A=(ST*GM(1))/SIN((SI)*IP/180):B=(ST*GM(2))/(SIN((SI)*IP/180))
100 CLS:PRINT'CURVA *':A$:PRINT'RESULTADOS':PRINT'CURVA 1','CURVA 2'
130 PRINTG(1);M(1),G(2);M(2),'GRADO':PRINTDG(1);DM(1),DG(2);DM(2),'DEFLEXION'
150 PRINTR(1),R(2),'RADIO':PRINTST(1),ST(2),'SUBTANGENTE'
170 PRINT'DISTANCIA PC A PI :':B+BT(1):PRINT'DISTANCIA PI A PT :':A+ST(2)
180 PRINT'SIGMA :':SJ;SL:PRINT'DISTANCIA A - B :':ST
:90 PRINT'DISTANCIA a :':A:PRINT'DISTANCIA b :':B
200 L(1)=(DE(1)/GG(1))*CU:L(2)=(DE(2)/GG(2))*CU:LC=L(1)+L(2)
210 PRINT'LONGITUD DE CURVA :':LC
230 PRINT'PI = ':KM(1):'+ME(1):PRINT'CUERDA :':CU:DI=ME(1)-B-ST(1):DR=DI+LC
240 IFDI<0THENDI=DI+1000:KM(1)=KM(1)-1:GOTO240
260 IFDR>1000THENDR=DR-1000:KM(2)=KM(1)+1:GOTO260
270 PRINT'CADENAMIENTO PC :':IKM(1):'+:DI
280 PRINT'CADENAMIENTO PT :':IKM(2):'+:DR:END

```

#### CURVA DE PRUEBA DE PROGRAMA.

CURVA 1	CURVA 2	
6 0	3 30	GRADO
30 15	45 0	DEFLEXION
191.073	327.455	RADIO
51.6449	135.636	SUBTANGENTE
DISTANCIA PC A PI : 188.585		
DISTANCIA PI A PT : 233.199		
SIGMA : 75 15	DISTANCIA A - B : 187.281	
DISTANCIA a : 97.5625		DISTANCIA b : 136.941
LONGITUD DE CURVA : 357.976		
PI = 104 + 857.14 CUERDA : 20		
CADENAMIENTO PC : 104 + 668.555		
CADENAMIENTO PT : 105 + 26.5308		

Evidentemente estos resultados pueden ser comprobados si se calculan las dos curvas circulares independientemente, cuidando de que la curva - compuesta no tenga espirales en ningún tramo de su desarrollo.

#### CURVAS ESPIRALES O DE TRANSICION

Las curvas espirales, de transición o clotoideas, se diseñan para to dos los proyectos de ferrocarriles, y carreteras de primer orden. Normall mente se ubican a la entrada y salida de las curvas simples y compuestas, pero pueden utilizarse, también, entre dos de ellas. Se constituyen por-

una serie de cuerdas iguales de 10 ó 5 mts., pero con radios que varían disminuyendo hasta el radio de la curva central, sea ésta simple o compuesta. Se les llama "espirales" por su gran parecido con el trazo aproximado de dicha curva.

Su objeto fundamental, es el de pasar, suavemente, de una tangente a la curva circular y viceversa, evitando el cambio brusco de dirección en el PC y en el PT (de  $0^\circ$  en la tangente a  $10^\circ$  en la curva y viceversa, por ejemplo). La fuerza centrífuga que experimenta un vehículo al entrar en una curva, se contrarresta con una sobreelevación en la curva que no puede darse bruscamente a partir del PC, para resolver este problema de pasar instantáneamente de un plano horizontal a uno inclinado, se gradúan simultánea y gradualmente el radio y la sobreelevación de la curva logrando una "transición" más suave. En consecuencia, la curva espiral es una curva cuyo radio varía de punto a punto y origina un aumento paulatino de la sobreelevación en la curva, hasta llegar a los valores propuestos. Al ir variando los radios y la cuerda permanecer constante, los grados ( $G$ ) también varían, por lo que se establece una ley de variación que puede ser  $15'$ ,  $30'$  ó  $1^\circ$ , según el terreno y las especificaciones de la línea que se proyecta. Así, por ejemplo, si se desea determinar la espiral para una curva circular de  $G = 5^\circ$ , con una ley de variación de  $1^\circ$ , la primera cuerda tendrá  $G = 1^\circ$  y  $R = 1,145.09$  m, la siguiente cuerda  $G = 2^\circ$  y  $R = 572.99$  m; la siguiente  $G = 3^\circ$  y  $R = 382.02$  m; la siguiente  $G = 4^\circ$  y  $R = 286.54$  m. y con esto, se habrá llegado a la curva central de  $G = 5^\circ$  y  $R = 229.26$  m; como lo muestra la Fig. 4.6.

Estas curvas pueden ser simétricas, o no, a la entrada y a la salida de la curva central (sea ésta simple o compuesta), pueden existir solo a la entrada o a la salida, pueden ser intermedias y en los extremos, etc. Por tal razón, se han estudiado todas las variantes y se han establecido fórmulas para calcular cada caso. En este trabajo se hará referencia, únicamente, al caso más general: curva simple con espirales simétricas, que es utilizado cuando se presentan problemas de tránsito con velocidad uniforme, la fig. 4.7. muestra gráficamente este caso. Las espirales asimétricas se emplean cuando hay que acomodar la línea a un problema topográfico local o para adaptarse a una velocidad variable.

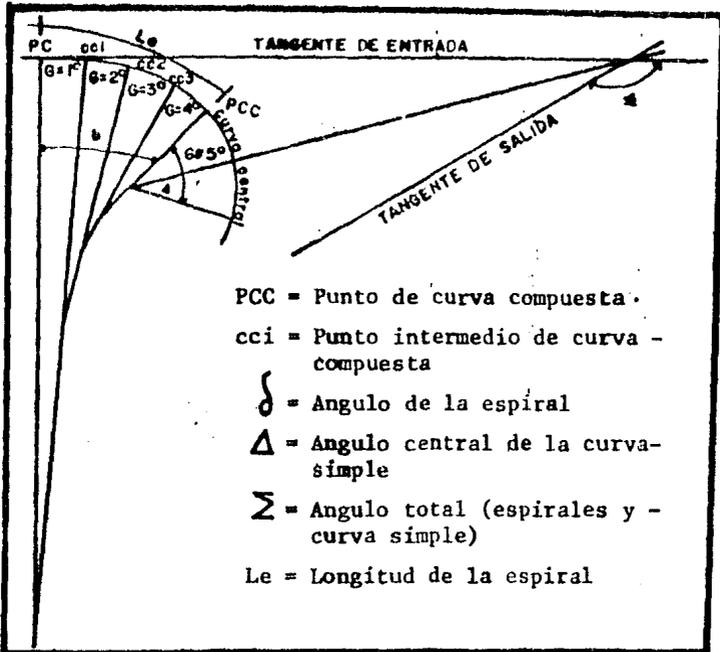


fig. 4.6.

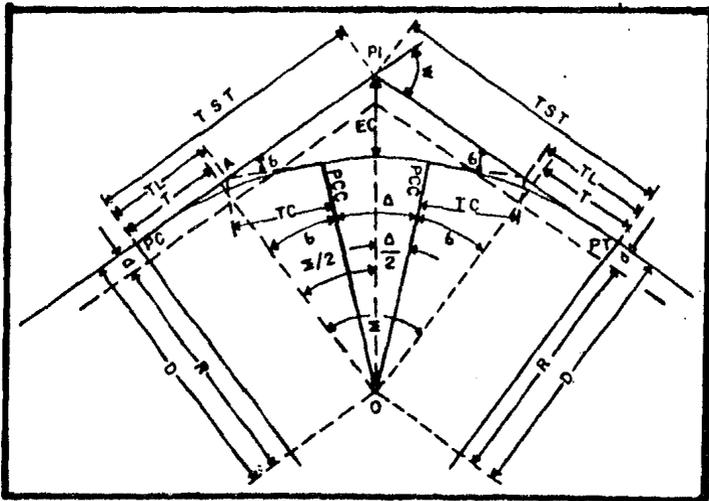


fig. 4.7.

PC = Punto de curvatura

PT = Punto de tangente

$\Delta$  = Angulo central de la curva simple

T = Tangente de la espiral

PCC = Punto de curva compuesta

$\delta$  = Angulo central de la espiral en cada extremo

$\Sigma$  = Angulo total de las dos espirales y la curva simple

TST = Tangente y subtangente	D = Distancia perpendicular del -
PI = Punto de intersección	centro de la curva simple a -
d = Diferencia entre D y el	la tangente original
radio de la curva simple	R = Radio de la curva simple
EC = Externa compuesta	O = Centro de la curva

El procedimiento de cálculo es el siguiente: se escoge, según convenga, el grado de la curva central e inmediatamente se conocerá el número de tramos que forman la transición al establecer la variación que procede (si  $G = 3^\circ$  y variación =  $30'$ ; se tendrán 6 tramos). Cada tramo es una pequeña curva simple de la que se conocen sus ángulos, longitudes y deflexiones con respecto a la tangente.

El Ing. G. Quiroga S., se auxilió de una computadora IBM-1620 para calcular 70 tablas que cubren todos los casos imaginables de clotoides. En la primera tabla propuesta por el Ing. Quiroga, se obtienen: la longitud ( $Le$ ) de la clotoide en metros, el ángulo central ( $\delta$ ) en grados, minutos y segundos y la sobreelevación ( $e$ ) de la curva en cm; en base a la ley de variación elegida ( $v$ ) el grado de la curva central ( $G$ ) y la velocidad de proyecto ( $V$ ), tomando las siguientes expresiones:

$$Le = \frac{10 G}{V} ; Le \geq 0.0001 V^3 G ; \delta = \frac{Le G}{40} ; \text{ para cuerdas de 10 m.}$$

$e = 0.001 V^2 G$ ; con las siguientes restricciones:

$$v \leq \frac{100000}{V^3} ; y ; \delta \text{ entrada} + \delta \text{ salida} = \Sigma$$

Conocidos estos datos, se hace referencia al resto de las tablas -- propuestas por el Ing. Quiroga y de esta manera se determinan todos los elementos de la espiral. Los primeros datos por determinar son ( $x$ ) y ( $y$ ) que son la suma de las proyecciones de las cuerdas y que fijan el punto (PCC) donde termina la espiral y comienza la curva central. Con estas -- proyecciones se calculan los elementos restantes en base a la fig. 4.8. -- y a las siguientes ecuaciones:

$$x = Le - Le \left[ \frac{\delta^2}{10} - \frac{\delta^4}{216} + \frac{\delta^6}{9,360} - \dots \right] ; \delta \text{ en radianes}$$

$$y = Le \left[ \frac{\delta}{3} - \frac{\delta^3}{42} + \frac{\delta^5}{1,320} - \frac{\delta^7}{75,600} + \dots \right] ; \delta \text{ en radianes}$$

$$R = \frac{Le}{2\delta} ; \delta \text{ en radianes ; } d = y - R(1 - \text{Cos } \delta) ; T = x - R \text{ Sen } \delta ;$$

$$\alpha = \text{Ang. Tan } \frac{Y}{X} ; c = \frac{Y}{\text{Sen } \alpha} ; TC = \frac{c}{\text{Sen } \delta} \text{ Sen } \alpha ;$$

$$TL = x - (TC \text{ Cos } \delta) ; D = y + R \text{ Cos } \delta ; \text{TST} = T + D \text{ Tan } \frac{\Sigma}{2} ;$$

$$\text{ST} = D \text{ Tan } \frac{\Sigma}{2} ; \text{EC} = D \text{ Sec } \frac{\Sigma}{2} - R ; \Delta = \Sigma - 2\delta ;$$

para comprobar:  $d = D - R ; \text{TST} = \text{ST} + T$

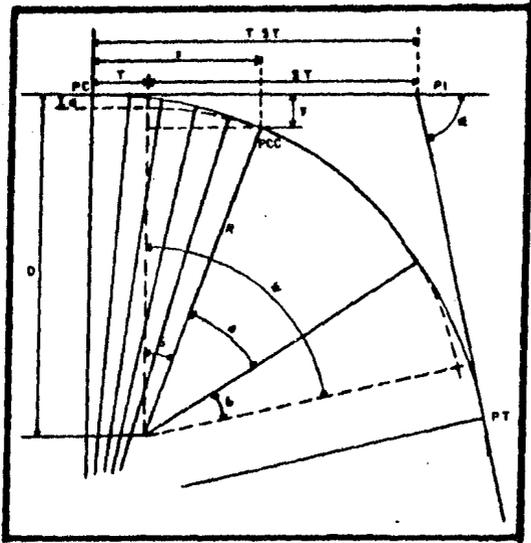


fig. 4.8.

A continuación se presenta el programa BASIC que calcula todos los elementos de una curva simple con espirales simétricas. En este caso solo se obtienen los datos de las clotoides puesto que la curva simple central se calcula como se describió en el apartado correspondiente. Se muestran también los resultados obtenidos para una curva espiral práctica, de la cual se requieren como datos: el grado (C) de la curva central, el ángulo total ( $\Sigma$ ) de las dos espirales y la curva simple, la velocidad (V) de proyecto en km/hr., la variación (v) elegida y el cadenamiento del punto de inflexión (PI).

```

1 REM CURVAS ESPIRALES. GUILLERMO HANCILLA URREA. MEXICO,1984.
5 CLS:IP=3.141592654:INPUT'NOMBRE DE LA CURVA':B0
20 INPUT'GRADO DE CURVATURA (G) Y (M)':GG;GM:GR=GG+(GM/60):INPUT'VARIACION (G) Y
(M)':VG;VM:VA=VG+(VM/60):INPUT'SIGMA (G) Y (M)':SG;SM:SI=SG+(SM/60):INPUT'VELOC
IDAD DE PROYECTO (KM/HR)':VE:INPUT'CADENAMIENTO DEL PI (KM) Y (M)':PK;PM
30 LE=(10*GR)/VA:ZZ=.0001*GR*(VE/3):IFLE>=ZZTHENPRINT'CORRECTO':LEI'>=:ZZ:ELSEP
RINT'LA LONGITUD DE LA ESPIRAL ES MUY CORTA, REVISAR DATOS':LEI'<':ZZ:GOTO20
40 DE=(LE*GR)/40:ZX=(DE*IP)/180:SE=.001*GR*(VE/2):W=100000/(VE/3):IFVA<=WTHENP
RINT'CORRECTO':VAI'<':W:ELSEPRINT'VARIACION MUY GRANDE':VAI'>':W:REVISAR DAT
OS':GOTO20
50 IF(2*DE)<=6THENPRINT'CORRECTO':(2*DE):'<':6:ELSEPRINT'delta MUY GRANDE':(2
*DE):'>':6:REVISAR DATOS':GOTO20
60 DX=((ZXC2)/10)-((ZXC4)/216)+((ZXC6)/9360):XD=LE-(LE*DX):DY=(ZX/3)-((ZXC3)/42)
+((ZXC5)/1320)-((ZXC7)/75600):YD=LE*DY:RA=(90*LE)/(DE*IP):DI=YD-(RA*(1-COS(ZX)))
IT=XD-(RA*(SIN(ZX))):LA=(YD/XD):AL=(ATN(LA))*180/IP
70 CU=YD/(SIN(AL*IP/180)):TC=(CU/SIN(ZX))*SIN((AL*IP)/180):TL=XD-(TC*COS(ZX)):ID
=YD+(RA*COS(ZX)):TS=T+:ID*TAN((SI*IP)/360):IST=ID*TAN((SI*IP)/360)
100 EC=(ID*(1/COS((SI*IP)/360)))-RA:DM=SI-(2*DE):CD=ID-RA:CT=ST+T:IFCD=DIANDCT=T
STHENPRINT'CALCULOS CHECADOS':GOTO120:ELSEPRINT'MAY DIFERENCIA':CD,DI:PRINTCT,TS
INPUT'DESEA CONTINUAR (S/N)':A$:IFA$='S'THEN130ELSEEND
130 LC=(DM/GR)*20:AB=TS/1000:AC=INT(AB):AD=(AB-AC)*1000:CK=PK-AC:CM=PM-AD:IFCM<0
THENCK=CK-1:CM=CM+1000
140 BA=LE/1000:BB=INT(BA):BC=(BA-BB)*1000:CK(1)=CK+BB:CM(1)=CM+BC:IFCM(1)>1000TH
ENCK(1)=CK(1)+1:CM(1)=CM(1)-1000
150 CA=LC/1000:CB=INT(CA):CC=(CA-CB)*1000:CK(2)=CK(1)+CB:CM(2)=CM(1)+CC:IFCM(2)>
1000THENCK(2)=CK(2)+1:CM(2)=CM(2)-1000
160 TK=CK(2)+BB:TM=CM(2)+BC:IFTM>1000THENTK=TK+1:TM=TM-1000
170 CLS:PRINT'CURVA: ':B$:PRINT
180 PRINT'DATOS':PRINT'GRADO :':GG;GM,'VARIACION: ':VG;VM:PRINT'SIGMA: ':SG;SM
,'VELOCIDAD: ':VE:PRINT'CADENAMIENTO DEL PI: ':PK;PM:PRINT'RESULTADOS: '
190 PRINT'L= ':LE,'delta= ':DZ=INT(DE):DH=DE-DZ:DV=INT(DH*60):PRINTDZ;DV:FRINT
'e= ':SE,'x= ':XD:PRINT'Y= ':YD,'r= ':RA:PRINT'd= ':DI,'t= ':T:PRINT'ALFA= ':
:AZ=INT(AL):AY=AL-AZ:AV=INT(AY*60):PRINTAZ;AV,'c= ':CU
200 PRINT'tc= ':TC,'tl= ':TL:PRINT'D= ':ID,'st= ':TS:PRINT'ST= ':ST,'ec= ':E
C:PRINT'DELTA= ':CZ=INT(DM):CW=DH-CZ:CV=INT(CW*60):PRINTCZ;CV,'lc= ':LC
210 PRINT'PC= ':CK;PM:PRINT'PCC(1)= ':CK(1):'+':CM(1):PRINT'PCC(2)= ':CK(2):'+':C
M(2),'PT= ':TK;PM:TH:END

```

### CURVA: DE PRUEBA DE PROGRAMA.

#### DATOS:

GRADO : 3 0

SIGMA: 35 11

CADENAMIENTO DEL PI: 1 + 152.8

#### RESULTADOS:

L= 120

e= 14.7

Y= 6.27212

d= 1.56938

ALFA= 2 59

TC= 40.0942

D= 383.541

BT= 121.605

DELTA= 17 11

PC= 0 + 971.244

PCC(2)= 1 + 205.8

VARIACION: 0 15

VELOCIDAD: 70

delta= 9 0

X= 119.704

R= 381.972

T= 59.9507

C= 119.868

TL= 80.1036

TST= 181.556

EC= 20.3858

LC= 114.556

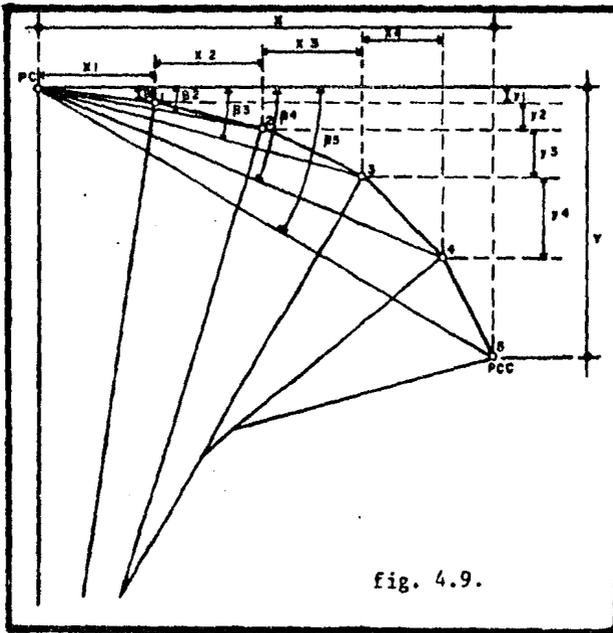
PCC(1)= 1 + 91.2443

PT= 1 + 325.8

El último punto por tratar es el referente a el trazo de las espirales en el terreno. La forma de hacerlo es mediante deflexiones que también vienen contenidas en las tablas del Ing. Quiroga. En ellas se definen los valores que se deberán leer en el aparato al tener como estación un punto de la espiral y visando cualquiera de los puntos restantes de la clotoide; sin embargo, estas deflexiones pueden ser calculadas en base a las proyecciones (x) y (y) de las cuerdas de la espiral y tomando como estación el PC de la curva:

$$\beta_1 = \text{Ang Tan } \frac{y_1}{x_1} ; \beta_2 = \text{Ang Tan } \frac{y_1 + y_2}{x_1 + x_2} ; \beta_3 = \text{Ang Tan } \frac{y_1 + y_2 + y_3}{x_1 + x_2 + x_3} ; \text{ etc}$$

Todo el procedimiento gráfico de las deflexiones se muestra en la -  
fig. 4.9.



Tomando como base la curva espiral resuelta por el último programa-mostrado, el procedimiento de cálculo de las deflexiones consiste en lo-siguiente: primero se calculan todos los elementos de la curva con espi-  
rales, como las deflexiones serán medidas a partir del PC (0+971.244) es  
necesario calcular las deflexiones que se darán al aparato para ir deter

minando cada punto de la espiral y que estarán equidistantes 10 mts; es decir, con las deflexiones obtenidas y midiendo 10 m. con la cinta de -- punto a punto, se irá determinando la espiral.

Las deflexiones ( $\theta$ ) pueden calcularse, simplificadamente, de la siguiente manera:

$$\theta = \left(\frac{c}{LE}\right)^2 \frac{\int}{3}$$

El valor ( $\int$ ) se conoce y vale  $9^\circ$ ; asimismo, el valor (Le) equivale a 120 m. y en lo que respecta a (c), variará de 10 en 10 m. (longitud de una cuerda) hasta llegar a los 120 m., obteniendo en consecuencia 12 deflexiones ( $\theta$ ).

En el caso de las espirales, no se consideran las estaciones completas (cerradas) puesto que se trata de puntos obligados, sino que se va -- llevando la fracción a lo largo de la espiral hasta llegar al PCC ----- (1+091.244) donde se inicia la curva central y entonces se procederá a -- trazarla con el método descrito para el trazo de las curvas simples contránsito y cinta. A partir del PCC (1+205.800) donde termina la curva -- central, se trazará una espiral similar a la primera hasta llegar al PT- (1+325.800).

A continuación se presenta el programa BASIC que calcula las deflexio- nes requeridas para trazar una espiral en el terreno, particularmente apli- cado a la última curva resuelta. En este caso, únicamente será necesario calcular una espiral (del PC al PCC (1)), puesto que la otra (PCC (2) a- PT) es simétrica a la calculada y las deflexiones serán las mismas. La -- curva central (simple o compuesta) se calcula como se describió en el a- partado correspondiente, considerando: PC = PCC (1) y PT = PCC (2).

```

1 REM TRAZO DE ESPIRALES. GUILLERMO MANCILLA URPEA. MEXICO, 1984.
2 CLS:INPUT"NOMBRE DE LA CURVA":A$:INPUT"LONGITUD DE LA ESPIRAL":LE:INPUT"DELTA
MINUSCULA (G,M Y S)":DG,DM,DS:DT=(DS/3600)+(DM/40):DC:INPUT"CADENAMIENTO PC (KM
) Y (M)":CK,CM:INPUT"CADENAMIENTO PCC(1) (KM) Y (M)":PK,PM:CLS
3 PRINT"CURVA":A$:PRINT"LONGITUD DE LA ESPIRAL":LE:"M.","delta":DG:DM:DS:PRIN
T"ESTACION          P.V.          DEFLEXION ACUMULADO"PRINT"PC=":CK:"+"
CM:CU=10
4 X=X+1:CM=CM+CU:IFCM>=1000THENCK=CK+1:CM=CM-1000:PRINTTAB(10)CK:"+"CM:ELSEPR
INTTAB(24)CM:
5 FL=((CU*X)/LE)E2)=(DT/3):FG=INT(FI):FH=FI-FG:FJ=FH-60:FH=INT(FJ):FL=FJ-FH:FK
=FL-60:FS=INT(FK):FQ=FK-FS:IFQ>=.45THENFS=FS+1
6 PRINTTAB(35)FG:FH:FS:SG=SG+FG:SM=SM+FM:SD=SD+FS
7 IFSS>=60THENS=SM+1:SS=SS-60:GOTO30
8 IFSM>=60THENS=SG+1:SM=SM-60:GOTO60
9 PRINTTAB(40)SG:SM:SS:IF(X*CU=LE)THENGOELSE30
10 PRINT"PCC(1)=":PK:"+"PM:END

```

## CURVA DE PRUEBA DE PROGRAMA.

LONGITUD DE LA ESPIRAL= 120 M.  $\delta = 9 \ 0 \ 0$ 

ESTACION	P.V.	DEFLEXION	ACUMULADO
PC= 0 + 971.244			
	981.244	0 1 15	0 1 15
	991.244	0 5 0	0 6 15
1 + 1.24396		0 11 15	0 17 30
	11.244	0 20 0	0 37 30
	21.244	0 31 15	1 8 45
	31.244	0 45 0	1 53 45
	41.244	1 1 15	2 55 0
	51.244	1 20 0	4 15 0
	61.244	1 41 15	5 56 15
	71.244	2 4 60	8 1 15
	81.244	2 31 15	10 32 30
	91.244	3 0 0	13 32 30

PCC(1)= 1 + 91.244

Evidentemente los resultados obtenidos son los mismos que presenta en Ing. Quiroga en sus tablas para una variación de 15', cuerdas de 10 m. y una longitud de espiral de 160 m, de los cuales tomamos únicamente los 120 m. iniciales. A lo largo de este apartado se han descrito los casos más comunes de curvas espirales, pero debe quedar asentado que los casos de aplicación de estas curvas son muy variados, correspondiendo a cada uno un cierto número de fórmulas que también son susceptibles de procesarse en microcomputadora.

## CURVAS INVERSAS

Se forman al trazar dos curvas, una a continuación de la otra, pero con deflexiones contrarias. No es recomendable que el PT de la primera coincida con el PC de la segunda, puesto que la sobreelevación es inversa y se daría un cambio brusco de una a otra, implicando un esfuerzo de torsión en los carros y locomotoras del ferrocarril y en los camiones grandes de carga; por esta razón, se suele dejar una pequeña tangente (5 a 10 m. en caminos y 20 a 30 m. en ferrocarriles) para poder cambiar paulatinamente de una sobreelevación a otra. Solamente en casos que no se requiera sobreelevación (algunos entronques, desvíos, patios de baja velocidad, etc.) se podrá omitir el uso de la tangente intermedia. Ambos tipos de curvas se muestran en la Fig. 4.10.

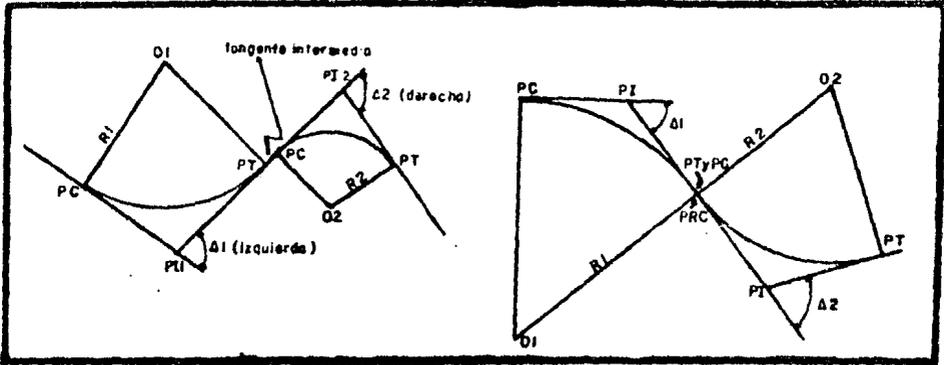


fig. 4.10.

En las curvas inversas los radios pueden ser iguales o no, dependiendo de la topografía del terreno y de la clase de vía que se esté proyectando. Pueden ser simples, compuestas, espirales o combinadas unas con otras y la forma de calcularlas, es similar a la descrita con anterioridad, realizando el cálculo para cada curva por separado. Cuando no exista tangente intermedia, se considerará al PT de la primera curva como el PC de la segunda y en caso contrario, el PC de la segunda quedará definido por el cadenamiento que se lleve a través de la tangente.

Con el desarrollo efectuado hasta este momento, se han definido todas las curvas que intervienen en la planta de una vía terrestre; sin embargo, han quedado pendientes las que se requieren en el perfil.

#### CURVAS VERTICALES

Dentro del capítulo III se vió el aspecto del proyecto de la subrasante sobre el perfil, se definieron una serie de tramos rectos con diferentes pendientes, según el terreno y las especificaciones del proyecto, que se cortaban en puntos comunes llamados PIV. Evidentemente resulta imposible transitar por estas pendientes o líneas entre PIV consecutivos, siendo necesario recurrir a un artificio que permita pasar gradualmente de una pendiente a otra. Este artificio son las llamadas "curvas parabólicas" o verticales. Se les llama parabólicas porque precisamente se componen de un tramo de parábola de eje vertical y que propor-

cionan tres ventajas primordiales: una adecuada transición de una pendiente a otra debido a que en la entrada y salida de la curva la variación de pendiente es la mitad que para el resto de la misma, una variación uniforme de pendiente entre las cuerdas de la parábola y una gran facilidad para calcularlas debido a sus propiedades geométricas. Como es conocido, las parábolas pueden ser cóncavas o convexas; en las vías terrestres, a las curvas parabólicas cóncavas se les llama "columpios" y a las convexas "cimas". Los casos más comunes de curvas verticales en cima y en columpio se muestran en la fig. 4.11.

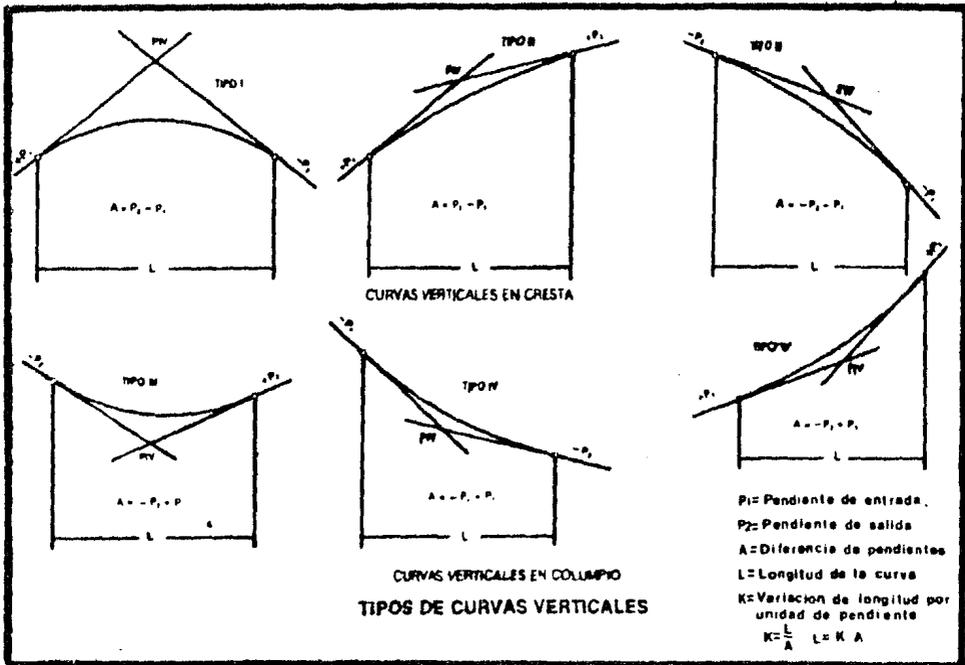


fig. 4.11.

Como se aprecia en la figura anterior, las curvas verticales inician en el punto "PCV" y terminan en el "PTV", dependiendo la longitud entre ambos de:

- Especificaciones que están en función de la pendiente de las tangentes, visibilidad y distancia de frenaje.
- Variación de pendiente permisible por tramo (cuerda) de 20 m. (varia

ción de pendiente por estación de 20 m.)

Se entiende por variación de pendiente a la magnitud constante según la cual varían las pendientes de las cuerdas (20 m. generalmente) contiguas en una parábola. Esta variación constante únicamente no se presenta en la primera y última cuerdas de la parábola, donde la variación vale la mitad de ella. En consecuencia, la diferencia algebraica de las pendientes de las tangentes (D), dividida entre el número de cuerdas de la parábola (N) nos da la variación resultante:

$$v = \frac{D}{N} \dots (1)$$

Usualmente la cuerda es la de 20 m. y resulta fácil calcular con "pendiente por 20" (p/v), en lugar de pendiente por ciento (%):

$$2\% = \frac{2}{100} \times 20 \text{ m.} = \frac{2}{5} = 0.4 \text{ p/v}$$

Ésto nos permite obtener el desnivel por cada cuerda, al calcular las pendientes de las mismas, expresadas en (p/v).

Para cada proyecto se especifica la variación correspondiente según la clase de vía terrestre y el tipo de curva (cima o columpio) de que se trate. Con esta variación y conocida la diferencia entre las pendientes de las tangentes (D), se puede conocer, en base a la ecuación (1), la longitud de la curva, multiplicando (N x 20). La longitud así obtenida debe satisfacer las necesidades de distancia de frenaje y visibilidad que se especifiquen.

En cima o en columpio las curvas verticales tendrán longitudes diferentes según sea el caso, pero, indistintamente, el parámetro utilizado para determinar dicha longitud será la velocidad de proyecto. La longitud mínima de una curva en cima, por ejemplo, es función de la distancia de parada para una velocidad determinada, dependiendo de que la distancia de visibilidad sea mayor o menor que la longitud de la curva. Para determinar la longitud mínima, existen gráficas y fórmulas, que dependen de la velocidad de proyecto principalmente.

En el caso de las carreteras, el planteamiento general para la situación en que la longitud de curva vertical en cima sea menor que la distancia de visibilidad de encuentro es:

$$L = \frac{D \text{ de}^2}{C1} ; \text{ donde } K = \frac{\text{de}^2}{C1} ; \text{ entonces } L = D K$$

L = Longitud mínima de curva vertical en m.

D = Diferencia algebraica de pendientes en (%).

de = Distancia de visibilidad de encuentro en m.

C1 = Constante que depende de la altura de ojo del conductor (1.14 m.)-  
y de la altura del vehículo observado (1.37 m.) se define (C1 = 1000).

Con esta fórmula se determina la longitud mínima necesaria por seguridad de las curvas verticales en cima. Para las curvas verticales en columpio, la fórmula general que proporciona la longitud mínima por seguridad, considerando que la longitud de la curva es mayor que la distancia de visibilidad de parada, es:

$$L = \frac{D \text{ de}^2}{C2 + 3.5 \text{ de}} ; \text{ donde } K = \frac{\text{de}^2}{C2 + 3.5 \text{ de}} ; \text{ entonces } L = D K$$

las variables mostradas son las mismas que en el caso anterior y además:

C2 = Constante que depende de la altura de faros del vehículo (0.6 m.)-  
y el ángulo de desviación del haz de luz (1"); se define (C2 = 120).

A continuación se muestran las gráficas que proporcionan los valores de (L) directamente y de (K) para las fórmulas, en función de la velocidad (V) y de la diferencia algebraica de pendientes en (%). Según se puede apreciar en las gráficas, la longitud mínima de la curva, no podrá ser menor de 20 y 40 m. (dependiendo de la velocidad de proyecto y de las especificaciones de la carretera) si ésta resulta menor que los valores mencionados, se deberán tomar dichos valores.

Para los ferrocarriles se especifica un cierto valor de la variación, según la clase de vía que se proyecte:

Vías clase A en columpio :  $v = 0.01 (p/v)$

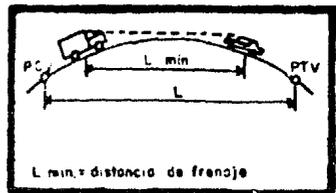
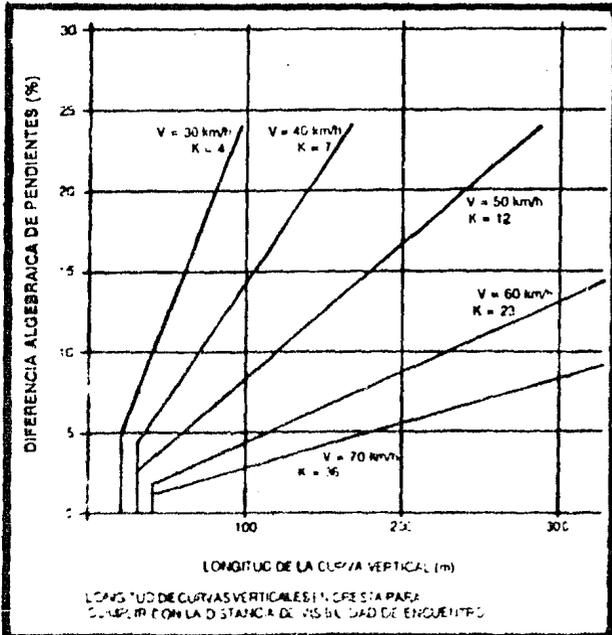
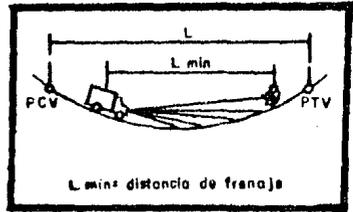
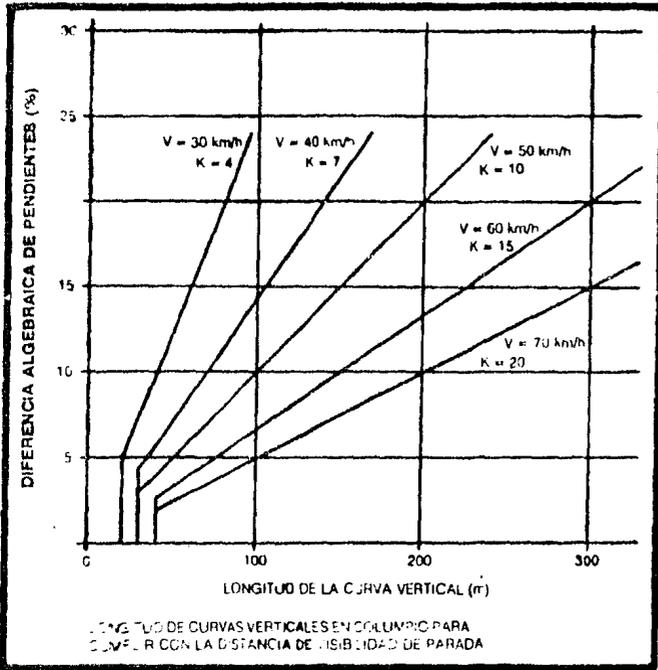
Vías clase A en cima :  $v = 0.02 (p/v)$

Vías clase B en columpio :  $v = 0.02 (p/v)$

Vías clase B en cima :  $v = 0.04 (p/v)$

Vías clase C cualquier caso :  $v = 0.04 (p/v)$

En las vías clase C se considera una variación de 0.04 (p/v) en -



cualquier caso, debido a la baja velocidad que se desarrolla. La clasificación de vías mostrada, es la propuesta por el AREA en su manual de 1921:

- CLASE A** Incluye aquellos distritos de ferrocarril que tengan más de - una vía troncal o aquellos con una sola vía troncal cuyo tráfico sea igual o mayor de: kilometraje de carros de carga, -- que pasen en el distrito por año y por km, 150,000; o kilometraje de coches de pasajeros, por año y por km, 10,000 con una velocidad máxima de trenes de pasajeros de 80 km/h.
- CLASE B** Comprende todos aquellos distritos de un ferrocarril con una sola vía troncal cuyo tráfico sea menor que el mínimo de la - clase A y que iguale o exceda del siguiente: kilometraje de - carros de carga que pasen por el distrito por año y por km, - 50,000; con una velocidad máxima de trenes de pasajeros de -- 64 km/h.
- CLASE C** Comprende todos los distritos de un ferrocarril que no alcancen los requisitos de las categorías A y B.

En las carreteras se propone un valor de la variación ( $v$ ) y con - la diferencia de pendientes ( $D$ ) se calcula la longitud de curva ( $L$ ); - posteriormente, con la ayuda de las gráficas y/o fórmulas se calcula - la longitud mínima ( $L$  min.) que, comparada con la primera longitud calculada, deberá ser menor; si ésto no sucede, se cambia el valor propuesto de la variación y se repetirá el procedimiento hasta que la longitud calculada sea mayor que la mínima.

El Ing. Aurelio Chávez, de los ferrocarriles Nacionales de México, propuso en 1962 un procedimiento de cálculo para curvas verticales ba--sándose en las propiedades de la parábola. El procedimiento consiste en: "Divídase la diferencia algebraica ( $D$ ) de las pendientes de las tangentes por enlazar (ya transformadas a pendiente por 20) entre la varia---ción ( $v$ ) que se elija; si el cociente es entero y par y el PI se loca---liza en estación completa, ese cociente representará el número de cuerdas de 20 m. (número de cuerdas  $\times$  20 =  $L$ ) que debe tener la parábola y- ( $v$ ) la variación definitiva; y si es impar o fraccionario, tómese el nú

mero par inmediato superior a (L) y vuélvase a dividir (D) entre (L);- el cociente representará la variación definitiva (v) que se debe adoptar. A la pendiente de una de las tangentes se le resta o se le suma, - según sea el caso (cima o columpio), la semivariación (v/2) y se sigue sumando o restando la variación completa (v) para ir obteniendo las -- pendientes de las cuerdas; a la pendiente de la última cuerda se le su ma o se le resta la semivariación (v/2) y se debe encontrar, como comprobación numérica, la pendiente de la segunda tangente. Si el PI se - localiza en una media estación, el número de cuerdas debe ser impar, - procediéndose de la misma manera para determinar las pendientes de las cuerdas".

Unicamente se proyectarán curvas verticales cuando la diferencia- de pendientes (D) sea mayor que 0.2% en ferrocarriles y 0.5% en caminos, ya que en los casos de diferencia igual o menor que la indicada, el -- cambio es tan pequeño en el terreno, que se pierde durante la construc- ción.

Generalmente las curvas verticales son parábolas simétricas, aun que podrán ser obligadas (asimétricas) cuando se tenga un punto obliga do, entradas a puentes, cruces con ferrocarriles o carreteras etc. Al proyectar las curvas verticales, es posible hacer que el PIV coincida- con una estación cerrada; en este caso, el PCV y el PTV quedarán tam- bién en estaciones cerradas que previamente debieron ser niveladas; -- con ésto, se conoce de antemano las cotas y cadenamamientos de los tres- puntos, y al calcular la curva, se deberán comprobar.

A continuación se presentarán los dos tipos de curvas verticales- que existen, se mostrarán las características de cada una de ellas y - los ejemplos de cálculo correspondientes, auxiliándose de la microcom- putadora. Estos cálculos se realizarán en base al procedimiento pro- puesto por el Ing. A. Chávez, que es el más utilizado en los proyectos de vías terrestres gracias a su sencillez y rápida resolución.

#### CURVA EN CIMA

Supongamos que en un proyecto de ferrocarril con vía clase B, nos encontramos con una curva vertical que tiene las siguientes caracterís- ticas: el PIV tiene un cadenamamiento de 37+430, con una elevación de --

874.67 m; la tangente de entrada tiene una pendiente de 2.8% y la de salida de -1.65% y se requiere el proyecto de dicha curva. Debido a los signos de las pendientes, es obvio que se trata de una curva en cima. - Para una línea clase B con curvas en cima, se especifica una variación de 0.04 (p/v). El primer paso es convertir las pendientes de entrada y salida, dadas en (%), a decimal (p/v):

$$\text{tangente de entrada} = \frac{+ 2.8}{5} = + 0.56$$

$$\text{tangente de salida} = \frac{- 1.65}{5} = - 0.33$$

Diferencia algebraica (D) de las pendientes:

$$D = + 0.56 - (-0.33) ; D = + 0.89$$

Número de cuerdas (N) de la parábola:

$$N = \frac{D}{v} \dots (1); N = \frac{0.89}{0.04} ; N = 22.25$$

Como (N) es fraccionario, se toma el entero inmediato superior (N=23) - y se recalcula la variación despejándola de la ecuación (1):

$$v = \frac{D}{N} ; v = \frac{0.89}{23} ; v = 0.0387$$

Establecido el número de cuerdas, la longitud de la curva se determina:

$$L = N \times 20 ; L = 23 \times 20 ; L = 460 \text{ m.}$$

En seguida, se calculan los cadenamientos y elevaciones del PCV y del PTV:

$$\text{PCV} = \text{PIV} - \frac{L}{2} ; \text{PCV} = (37+430) - \frac{460}{2} ; \text{PCV} = 37+200$$

$$\text{elev. PCV} = \text{elev. PIV} - \frac{L}{2} \text{ (pendiente de entrada)}$$

$$\text{elev. PCV} = 874.67 - \frac{460}{2} (0.028) ; \text{elev. PCV} = 858.23 \text{ m.}$$

De la misma forma para el PTV tenemos:

$$\text{PTV} = (37+430) + \frac{460}{2} ; \text{PTV} = 37+660$$

$$\text{elev. PTV} = 874.67 + \frac{460}{2} (0.0165) ; \text{elev. PTV} = 870.875 \text{ m.}$$

A continuación, se procede a calcular las elevaciones de cada punto que, en conjunto, conforman la curva vertical; a la primera pendiente - (cada en p/v) se le resta la semivariación (v/2); el resultado así obte

nido será sumado a la cota del PCV para obtener la elevación del primer punto de la curva:

$$\text{PCV} + 0.56 - \frac{0.0387}{2} = + 0.5407 \quad (1) \quad 868.23 + 0.5407 = 868.7707$$

A partir de este punto, se considera la variación completa, repitiendo el procedimiento descrito:

+ 0.5407 - 0.0387 = + 0.502	(2) 868.7707 + 0.502 = 869.2727
+ 0.502 - 0.0387 = + 0.4633	(3) 869.2727 + 0.4633 = 869.736
:	:
:	:
:	:
+ 0.0763 - 0.0387 = + 0.0376	(14) 872.2405 + 0.0376 = 872.2781
+ 0.0376 - 0.0387 = - 0.0011	(15) 872.2781 - 0.0011 = 872.2770
- 0.0011 - 0.0387 = - 0.0398	(16) 872.2770 - 0.0398 = 872.2372
:	:
:	:
:	:
- 0.2333 - 0.0387 = - 0.2720	(23) 871.4577 - 0.2720 = 871.1857
- 0.2720 - 0.0387 = - 0.3107	(23) 871.1857 - 0.3107 = 870.8750 PTV

En el último punto, la elevación obtenida debe ser la misma que la calculada para el PTV. Para comprobar la segunda pendiente, se considera nuevamente la semivariación ( $v/2$ ):

$$- 0.3107 - \frac{0.0387}{2} = - 0.3305 \approx - 0.33$$

Las cotas del PCV y del PTV, deben además coincidir con las obtenidas durante la nivelación de la línea. Los cálculos se pueden efectuar con una aproximación de décimas de milímetros, obteniendo una aproximación suficiente.

Tomando como base este procedimiento se puede diseñar un programa-BASIC para microcomputadora, que cubra todos los casos posibles de curvas verticales. En este trabajo, se omite el listado de dicho programa, por sus dimensiones, requeriría de un gran espacio para su presentación; sin embargo, los resultados proporcionados por dicho programa, para el caso particular descrito anteriormente, se muestran a continuación:

## CURVA : DE PRUEBA DE PROGRAMA.

VARIACION CALCULADA= .0386957

MEDIA VARIACION= .0193478

CALCULO DE CURVA VERTICAL

DEL KM. 37 + 200 AL KM. 37 + 660

PENDIENTE 1= 2.8 % EN 230 METROS

PENDIENTE 2=-1.65 % EN 230 METROS

VARIACION= .04

P.C.V., CADENAMIENTO Y COTA =

37 + 200

868.23

P.I.V., CADENAMIENTO Y COTA =

37 + 430

874.67

P.T.V., CADENAMIENTO Y COTA =

37 + 660

870.875

NUMERO DE CUERDAS= 23

PENDIENTE NUMERO 1= .56

COTA P.C.V.= 868.23

CADENAMIENTO P.C.V.= 37 + 200

868.771 37 + 220

869.273 240

869.736 260

870.161 280

870.546 300

870.893 320

871.202 340

871.472 360

871.703 380

871.895 400

872.049 420

872.164 440

872.24 460

872.278 480

872.277 500

872.237 520

872.158 540

872.041 560

871.885 580

871.691 600

871.457 620

871.186 640

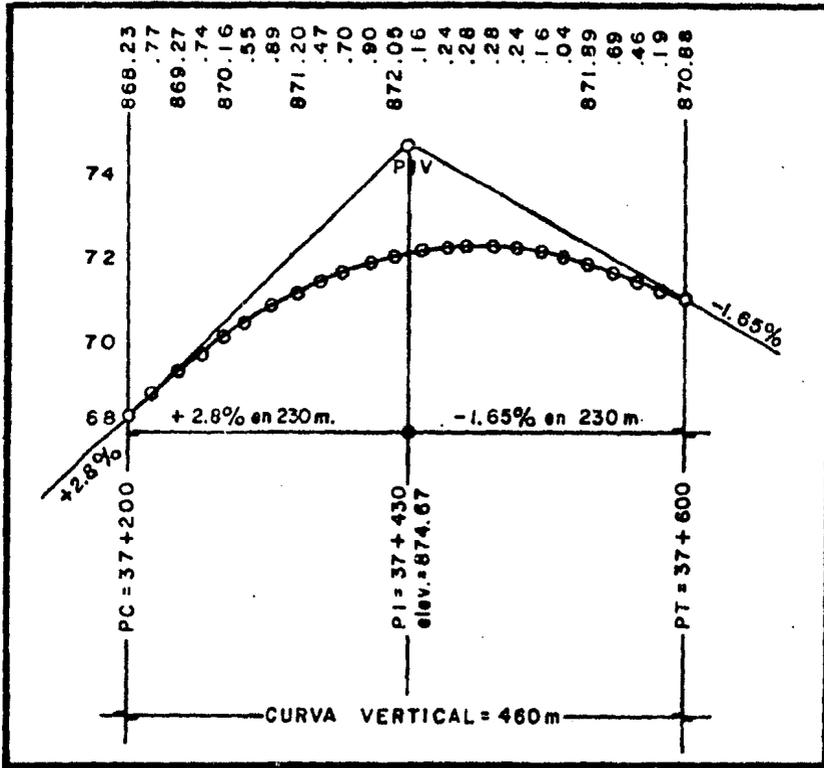
870.875 660

COTA P.T.V.= 870.875

CADENAMIENTO P.T.V.= 37 + 660

PENDIENTE NUMERO 2=-.33

Con todas las cotas obtenidas, se traza la curva en el plano del perfil, marcando los cadenamientos, distancias, elevaciones, longitud de curva, pendientes, etc.



Evidentemente el programa podría ser ampliado para trazar en el papel la curva que se esté proyectando en base a las elevaciones de los puntos ya obtenidos, pero existe el inconveniente de que el dibujo que resulte no tendrá una escala decimal puesto que, como se ha mencionado, las impresoras se diseñan para dar espacios en fracciones de pulgada. Por otro lado, en el caso de las parábolas, en los puntos cercanos al punto de inflexión, la diferencia de elevaciones es muy pequeña (4 mm en el ejemplo) y la mayoría de las impresoras comunes, no tienen el poder de trazar con tanta precisión; en estos casos, es más conveniente utilizar un plotter o digitalizador que determinan cada uno de los puntos de la curva, con una mayor precisión y a la escala que se desee.

#### CURVA EN COLUMPIO

Ahora supongamos que el proyecto en cuestión es una carretera que-

tiene una velocidad de proyecto de 70 km/h y que en el desarrollo del perfil, nos encontramos con un cambio de pendientes en dos tangentes -- consecutivas, ésto trae como consecuencia una curva vertical que habrá de diseñarse a partir de la siguiente información: pendiente de entrada - 1.00%; pendiente de salida + 0.20%; cadenamiento PIV 37+440 con una elevación de 1874.45 m. El cambio de signos de las pendientes nos indica que se trata de un columpio. El primer paso es encontrar la longitud de curva mínima para la velocidad de proyecto y compararla con la longitud calculada a partir de una variación propuesta, que en este caso - se considerará de 0.01 p/v.

La diferencia algebraica de pendientes (D) en por ciento es:

$$D = - 1.00 - (+ 0.20) ; D = - 1.2\%$$

para curvas en columpio, la longitud mínima de curva se calcula con la siguiente fórmula, donde (D) se da en valor absoluto:

$$L \text{ min} = \frac{D \text{ de}^2}{C2 + 3.5 \text{ de}} ; \text{ donde } \frac{\text{de}^2}{C2 + 3.5 \text{ de}} = K ; \text{ entonces}$$

$$L \text{ min} = D \ K$$

para una velocidad de 70 km/h, de las gráficas se obtiene un valor (K = 20); entonces:

$$L \text{ min} = 1.2 \times 20 ; L \text{ min} = 24 \text{ m.}$$

Sin embargo, y según las gráficas, la longitud mínima de curva para una velocidad de 70 km/h, no puede ser menor de 40 m, como el resultado es- 24 m, consideramos:

$$L \text{ min} = 40 \text{ m.}$$

para determinar la longitud de la curva calculada con una variación propuesta, se requieren transformar las pendientes en (%) a pendientes -- (p/v):

$$\text{primera tangente: } \frac{- 1.00}{5} = - 0.2$$

$$\text{segunda tangente: } \frac{+ 0.20}{5} = + 0.04$$

entonces, la diferencia algebraica de pendientes equivale a:

$$D = - 0.2 - (+0.04) ; D = -0.24$$

aplicando la siguiente ecuación ( D ) en valor absoluto ):

$$N = \frac{D}{v} ; N = \frac{0.24}{0.01} ; N = 24 ; L = N \times 20 ; L = 24 \times 20 ; L = 480 \text{ m.}$$

como  $L > L_{\min}$  ( $480 \text{ m} > 40 \text{ m}$ ), podemos considerar aceptable la variación de  $0.01 \text{ p/v}$ ; entonces procedemos a calcular la curva vertical. En este caso, como (N) es una cifra cerrada, no es necesario recalcular -- (v). Calculando los cadenamientos y elevaciones del PCV y del PTV; obtenemos: (considerar pendientes en valor absoluto)

$$\text{PCV} = \text{PIV} - \frac{L}{2} ; \text{PCV} = (37+440) - \frac{480}{2} ; \text{PCV} = 37+200$$

$$\text{elev. PCV} = \text{elev. PIV} + \frac{L}{2} \text{ (pendiente de entrada);}$$

$$\text{elev. PCV} = 1874.45 + \frac{480}{2} (0.01) ; \text{elev. PCV} = 1876.85 \text{ m.}$$

$$\text{PTV} = \text{PIV} + \frac{L}{2} ; \text{PTV} = (37+400) + \frac{480}{2} ; \text{PTV} = 37+680$$

$$\text{elev. PTV} = \text{elev. PIV} + \frac{L}{2} \text{ (pendiente de salida);}$$

$$\text{elev. PTV} = 1874.45 + \frac{480}{2} (0.002) ; \text{elev. PTV} = 1874.93$$

siguiendo el procedimiento propuesto para las curvas en cima:

$\text{PC} - 0.2 + \frac{0.01}{2} = -0.195$	(1) $1876.85 - 0.195 = 1876.655$
$-0.195 + 0.01 = -0.185$	(2) $1876.55 - 0.185 = 1876.47$
$-0.185 + 0.01 = -0.175$	(3) $1876.47 - 0.175 = 1876.295$
:	:
:	:
$-0.015 + 0.01 = -0.005$	(20) $1874.855 - 0.005 = 1874.850$
$-0.005 + 0.01 = +0.005$	(21) $1874.850 + 0.005 = 1874.855$
$+0.005 + 0.01 = +0.015$	(22) $1874.855 + 0.015 = 1874.870$
:	:
:	:
$+0.025 + 0.01 = +0.035$	(24) $1874.895 + 0.035 = 1874.93 \text{ PT}$

y comprobando la segunda pendiente con la media variación (v/2):

$$+0.035 + \frac{0.01}{2} = +0.04$$

En este caso, como en las curvas en cima, las cotas obtenidas para el PCV y PTV se deben comprobar con las obtenidas, previamente, en la nivelación de la línea.

A continuación se presentan los resultados proporcionados por un programa BASIC, cuyo listado se omite por las razones explicadas en las curvas en cima, al darle a la microcomputadora los datos de la curva:

**CURVA: DE PRUEBA DE PROGRAMA.**

VARIACION CALCULADA= .01  
 MEDIA VARIACION= 5E-03  
 CALCULO DE CURVA VERTICAL  
 DEL KM. 37 + 200 AL KM. 37 + 680  
 PENDIENTE 1=-1 % EN 240 METROS  
 PENDIENTE 2= .2 % EN 240 METROS  
 VARIACION= .01  
 P.C.V.,CADENAMIENTO Y COTA = 37 + 200      1876.85  
 P.I.V.,CADENAMIENTO Y COTA = 37 + 440      1874.45  
 P.T.V.,CADENAMIENTO Y COTA = 37 + 680      1874.93  
 NUMERO DE CUERDAS= 24

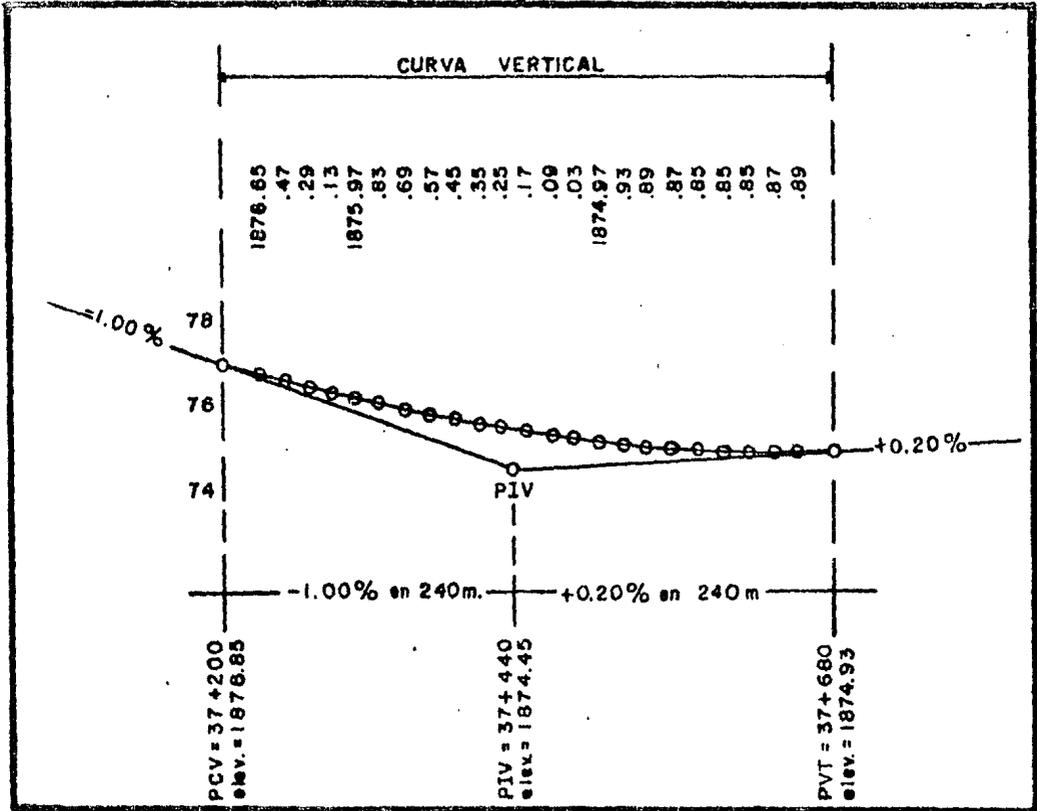
**PENDIENTE NUMERO 1=-.2**

COTA P.C.V.= 1876.85      CADENAMIENTO P.C.V.= 37 + 200

1876.66	37 + 220
1876.47	240
1876.30	260
1876.13	280
1875.97	300
1875.83	320
1875.70	340
1875.57	360
1875.45	380
1875.35	400
1875.25	420
1875.17	440
1875.10	460
1875.03	480
1874.98	500
1874.93	520
1874.89	540
1874.87	560
1874.85	580
1874.85	600
1874.85	620
1874.87	640
1874.90	660
1874.93	680

COTA P.T.V.= 1874.93      CADENAMIENTO P.T.V.= 37 + 680  
 PENDIENTE NUMERO 2= .04

Con las elevaciones proporcionadas, se prosigue a dibujar la curva en el plano del perfil:



Las razones por las que no resulta aplicable la impresora para fines del dibujo de la curva, son las que se explicaron para el caso de las curvas en cima.

#### CALCULO DE RASANTE

Una vez concluidos los planos de planta y perfil de la vía terrestre, se procede a estudiar los efectos que se pueden presentar en el desarrollo de las tangentes verticales del proyecto. Hemos visto que entre dos curvas verticales existe siempre una tangente que las une; dicha tangente tiene como características su longitud y su pendiente. La longitud de una tangente es la distancia, medida horizontalmente, entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. La pendiente -

de la tangente es la relación entre el desnivel y la distancia entre -- dos puntos de la misma.

En ocasiones puede resultar necesario disminuir la pendiente de una tangente vertical al presentarse, por sí solos o combinados, cualquiera de los siguientes efectos: resistencia a la pendiente, curvatura horizontal, frío, ondulaciones de vía, variación en el escantillón de la -- vía, etc.; cualquiera de estas circunstancias provocan que el vehículo que transita ascendentemente por la vía terrestre tenga que reducir su velocidad en un cierto tramo. Para evitar esa reducción de velocidad, -- que dependiendo del vehículo puede ser más fácil o más difícil recuperar la de proyecto, se abate en un cierto porcentaje la pendiente de la línea en ese tramo. Cuando el vehículo desciende por una tangente, acumula energía cinética que provoca un aumento de velocidad al entrar a -- las curvas, ésto trae como consecuencia un aumento proporcional de la -- fuerza centrífuga que tiende a desplazar al vehículo fuera de la curva y a acrecentar el esfuerzo entre el conjunto rueda-superficie de rodamiento.

Aunque cada uno de los efectos mencionados contribuyen con un cierto porcentaje en la reducción de la pendiente, el más frecuente, tanto en ferrocarriles como en caminos, es el efecto que tiene la curvatura horizontal en el desarrollo del perfil de la línea. Al entrar un vehículo en ascenso a una curva horizontal, la velocidad disminuye por la mayor resistencia que se presenta en el conjunto rueda-superficie de rodamiento, lo que provoca que la velocidad sea menor a la salida que a la entrada de la curva; este efecto se compensa disminuyendo la pendiente, a lo largo de la curva, en un cierto porcentaje que se ha determinado experimentalmente. Esta misma solución es aplicable en el caso de vehículos que descienden, aliviando un poco el efecto de la fuerza centrífuga y del esfuerzo rueda-superficie de rodamiento. A la pendiente disminuida en esta forma, se le conoce como "pendiente compensada" y el factor de reducción es de 0.03 a 0.05 por cada grado de curvatura horizontal, tal que:

$$P \text{ compensada} = P \text{ entrada} - (0.05 G)$$

En curvas relativamente cortas con relación a la longitud del vehí

culo, así como líneas de alta velocidad, se aplica el coeficiente 0.03 - y 0.05 para curvas de corto radio y vehículos lentos con menor longitud que la de las curvas. Cuando se presentan curvas espirales, la pendiente compensada se aplica en el tramo circular y el promedio de las pendientes de proyecto y compensada en el tramo de la transición.

Con esta variación de pendientes a lo largo de la tangente vertical, resulta necesario calcular las elevaciones de cada uno de los puntos que en conjunto conforman dicha tangente, según se muestra en la -- fig. 4.12.

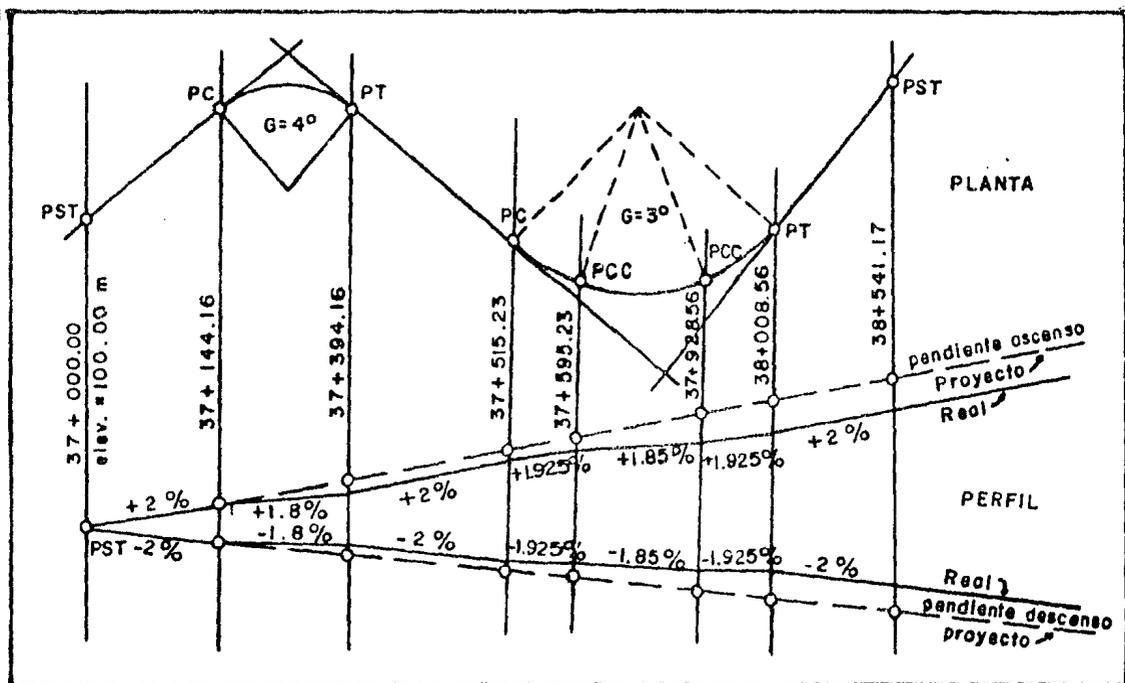


Fig. 4.12.

Tomando una pendiente de proyecto de +2%, si entramos a una curva horizontal de  $G = 4^\circ$ , la pendiente del perfil de dicha curva disminuirá a:

$$P = +2\% - (4^\circ \times 0.05) ; P = +1.8\%$$

al salir de la curva, se volverá a la pendiente original de +2%; si - continuamos el desarrollo de la línea en planta y entramos en una curva

de  $G = 3^\circ$  con espirales, las pendientes se reducirán a:

$$P \text{ curva circular} = + 2\% - (3^\circ \times 0.05) ; P_{cc} = + 1.85\%$$

$$P \text{ espirales} = \frac{+ 2\% + 1.85\%}{2} ; P_e = + 1.925\%$$

para volver a salir de la curva con una pendiente de  $+2\%$  (ver Fig. 4.12).

Generalmente los cambios de pendientes de las tangentes, no provocan un cálculo de curvas verticales, pues la diferencia algebraica entre ellas es muy pequeña y no alcanza el valor especificado (apartado de -- curvas verticales) para producir una curva vertical; sin embargo, se deben determinar las elevaciones de las estaciones (cada 20 m.) que serán utilizadas durante la construcción de la línea.

En caso que la pendiente de la rasante tenga que ser compensada, - primero se hará esta operación y posteriormente se diseñarán las curvas verticales.

Tomando como base la fig.4.12. (vía en ascenso), la secuencia de - cálculo es la siguiente: a partir de los cadenamientos, se pueden conocer las distancias entre todos los puntos del perfil y con la primera - elevación y las pendientes compensadas, se calcularán las elevaciones - correspondientes.

PST 37+000.00	elev. 100.00
(PC 37+144.16) - 37+000.00 = 144.16; con + 2%	
$\frac{2}{100} \times 144.16 = 2.88 ; 100.00 + 2.88$	102.88
(PT 37+394.16) - 37+144.16 = 250.00; con + 1.8%	
$\frac{1.8}{100} \times 250.00 = 4.5 ; 102.88 + 4.5$	107.38
· : · : · : · : · : ·	· : · : · : · : · : ·
· : · : · : · : · : ·	· : · : · : · : · : ·
(PT 38+008.56) - 37+928.56 = 80.00 ; con +1.925%	
$\frac{1.925}{100} \times 80.00 = 1.54 ; 117.51 + 1.54$	119.05
(PST 38+541.17) - 38+008.56 = 532.61; con +2%	
$\frac{2}{100} \times 532.61 = 10.65 ; 119.05 + 10.65$	129.70

Si la vía es descendente, el procedimiento es el mismo, con la dife

rencia que las elevaciones se van restando. En la misma forma que se -- calcularon las elevaciones para los puntos principales, se calculan las correspondientes a los puntos intermedios entre dos de ellos, considerando las distancias constantes de 20 m. (estaciones); por ejemplo:

.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
37+144.16	.	.	.	102.88
37+160.00	15.84 m. en +1.8% = 0.29 m.	.	.	103.17
37+180.00	20.00 m. en +1.8% = 0.36 m.	.	.	103.53
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
37+380.00	20.00 m. en +1.8% = 0.36 m.	.	.	107.13
37+394.16	14.16 m. en +1.8% = 0.25 m.	.	.	107.88
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

En base al desarrollo descrito, se presenta el programa BASIC que calcula las elevaciones de los puntos principales y estaciones intermedias, así como los resultados correspondientes al ejemplo de la fig. -- 4.12, para el caso ascendente y considerando el tramo del PC al PT de -- la curva compuesta. Asumimos que para el caso descendente, el procedi-- miento es el mismo, con la diferencia que los desniveles se irán restan-- do, esta diferencia se detecta en el programa en su instrucción 110; el signo de la operación  $ZP = EI + ZD$  tendría que ser negativo para el caso-- descendente.

```

1 REM RASANTE. GUILLERMO MANCILLA URREA. MEXICO, 1984.
4 CLS:INPUT "NOMBRE DE LA LINEA";C$:PRINT "LINEA ";C$:PRINT "PUNTO
PENDIENTE          ELEVACION"
10 INPUT "NOMBRE DEL PUNTO DE PARTIDA";A$:INPUT "ELEVACION";PE:INPUT "CADENAMIENTO
(K) Y (M)";KP,MP:PRINTTAB(0)A$:ITAB(4)KP:+" ";MP:ITAB(40)PE
20 INPUT "NOMBRE DEL SIGUIENTE PUNTO";B$:INPUT "CADENAMIENTO (K) Y (M)";KS,MS:INPU
T "PENDIENTE (Z)";PS:TP=((KS*1000)+MS)-((KP*1000)+MP):DE=(PS/100)*TP:PF=PE+DE
40 PRINTTAB(0)B$:ITAB(4)KS:+" ";MS:ITAB(17)PS:ITAB(23)"% EN";TF:" ";ITAB(40)PF:INPUT
E0 "EL ULTIMO (S/N)";D$:IFD$="S" THEN 60:ELSE KP=KS:MP=MS:PE=PF:GOTO 20
57 INPUT "ES EL ULTIMO (S/N)";G$:IFG$="S" THEN 60:ELSE 70
60 PRINT:PRINT "ELEVACIONES POR ESTACION"
70 INPUT "NOMBRE DEL PUNTO DE INICIO";E$:INPUT "CADENAMIENTO (K) Y (M)";KI,MI:INPU
T "ELEVACION";EI:INPUT "NOMBRE DEL ULTIMO PUNTO";F$:
90 INPUT "CADENAMIENTO (K) Y (M)";KU,MU:INPUT "PUNTO DE ARRANQUE (K) Y (M)";KA,MA:
INPUT "PENDIENTE (Z) ENTRE LOS PUNTOS";P:ZZ=((KA*1000)+MA)-((KI*1000)+MI)
100 PRINT:PRINT "PUNTO          PENDIENTE          ELEVACION":PRINTTAB(0)E0
ITAB(4)KI:+" ";MI:ITAB(40)EI
110 ZD=(PP/100)*ZZ:ZF=EI+ZD
120 IF ((KA*1000)+MA)>((KU*1000)+MU) THEN 140:ELSE PRINTTAB(9)MA:ITAB(17)PP:ITAB(23)"Z
EN";ZZ:" ";ITAB(40)ZF:ZZ=20:EI=ZF:MA=MA+20:GOTO 110
140 XX=((KU*1000)+MU)-((KI*1000)+MA-20):PRINTTAB(0)F$:ITAB(4)KU:+" ";MU:ITAB(17)PP:
ITAB(23)"Z EN";XX:" ";FR=(PP/100)*XX:SS=EI+RR:PRINTTAB(40)SS:PRINT:GOTO 57

```

LINEA DE PRUEBA DE PROGRAMA.		
PUNTO	PENDIENTE	ELEVACION
PC 37 + 515.23		109.804
PCC 37 + 595.23	1.925 % EN 80 m	111.344
PCC 37 + 928.56	1.85 % EN 333.328 m	117.511
PT 38 + 8.56	1.925 % EN 80 m	119.051

## ELEVACIONES POR ESTACION

PUNTO	PENDIENTE	ELEVACION
PC 37 + 515.23		109.804
520	1.925 % EN 4.76953 m	109.894
540	1.925 % EN 20 m	110.281
560	1.925 % EN 20 m	110.666
580	1.925 % EN 20 m	111.051
PCC 37 + 595.23	1.925 % EN 15.2305 m	111.344

PUNTO	PENDIENTE	ELEVACION
PCC 37 + 595.23		111.344
600	1.85 % EN 4.76953 m	111.432
620	1.85 % EN 20 m	111.802
640	1.85 % EN 20 m	112.172
660	1.85 % EN 20 m	112.542
680	1.85 % EN 20 m	112.912
700	1.85 % EN 20 m	113.282
720	1.85 % EN 20 m	113.652
740	1.85 % EN 20 m	114.022
760	1.85 % EN 20 m	114.392
780	1.85 % EN 20 m	114.762
800	1.85 % EN 20 m	115.132
820	1.85 % EN 20 m	115.502
840	1.85 % EN 20 m	115.872
860	1.85 % EN 20 m	116.242
880	1.85 % EN 20 m	116.612
900	1.85 % EN 20 m	116.982
920	1.85 % EN 20 m	117.352
PCC 37 + 928.56	1.85 % EN 8.55859 m	117.511

PUNTO	PENDIENTE	ELEVACION
PCC 37 + 928.56		117.511
940	1.925 % EN 11.4414 m	117.731
960	1.925 % EN 20 m	118.116
980	1.925 % EN 20 m	118.501
1000	1.925 % EN 20 m	118.886
PT 38 + 8.56	1.925 % EN 8.55859 m	119.051

Con estos resultados se procederá a calcular las curvas verticales, considerando que si una curva horizontal queda dentro de una vertical, el cálculo de la rasante del PCV en adelante quedará anulado, tomando las elevaciones que produzca el cálculo de la curva vertical, según se vió en el apartado correspondiente. Es decir, únicamente se consideran los resultados correspondientes a la rasante en los tramos en tangente (entre PTV y PCV consecutivos).

CALCULO DE AREAS Y VOLUMENES DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

En el capítulo III, se expusieron algunos métodos para calcular — las áreas de las secciones transversales y posteriormente los volúmenes de material por mover. En la práctica el método más empleado es el del planímetro, puesto que proporciona un ahorro considerable de tiempo (de cálculo y de trabajo en campo) con una adecuada aproximación en las — mediciones. A la cuantificación del material por mover se le denomina "cubicación de terracerías" y existen métodos "exactos" que si bien proporcionan exactitud, también inducen pérdidas de tiempo en el cálculo y en el trabajo de campo. El método analítico para la cubicación de terracerías, se basa en el registro de las secciones transversales del terreno, donde se anota, en forma de quebrado, numerador (espesor vertical con respecto al plano de la plantilla) y denominador (distancia horizontal al eje de la sección o "centro de línea" o "CL"), dichas secciones deberán ser tomadas a los puntos de quiebre de terreno más notables, según la fig. 4.13.

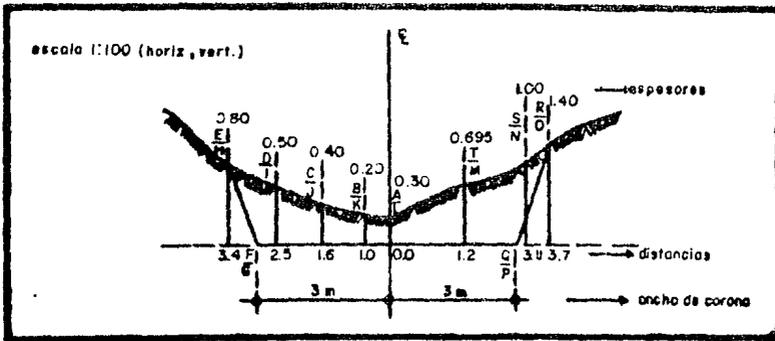


fig. 4.13.

En el terreno la forma de obtener las secciones es similar a la — descrita, en el capítulo anterior, para las secciones de configuración. Las áreas se obtienen fácilmente al tratar como a los determinantes dos puntos de quiebre consecutivos, empezando siempre del centro y terminando en los extremos, considerando positivos a los productos descendentes (columna "doble área") y negativos a los ascendentes (columna de "corrección"). El procedimiento resulta más comprensible, si nos referimos a — la fig. 4.13 considerando los datos que ahí se muestran:

Doble área (+)	Corrección (-)
AK = 0.3 x 1.0 = 0.30	LB = 0.0 x 0.2 = 0.00
BJ = 0.2 x 1.6 = 0.32	KC = 1.0 x 0.4 = 0.40
CI = 0.4 x 2.5 = 1.00	JD = 1.6 x 0.5 = 0.80
DH = 0.6 x 3.4 = 1.70	IE = 2.5 x 0.8 = 2.00
EG = 0.8 x 3.0 = 2.40	HF = 3.4 x 0.0 = 0.00
AM = 0.3 x 1.2 = 0.36	LT = 0.0 x 0.695 = 0.00
TN = 0.695 x 3.11 = 2.16145	MS = 1.2 x 1.0 = 1.20
SO = 1.0 x 3.7 = 3.70	NR = 3.11 x 1.4 = 4.354
RP = 1.4 x 3.0 = <u>4.20</u>	DQ = 3.7 x 0.0 = <u>0.00</u>
16.14145	8.754

Una vez determinados todos los productos (positivos y negativos), se suman obteniendo el total de doble área y el total de la corrección, — que a su vez se suman algebráicamente:

$$\text{Doble área} = 16.14145$$

$$\text{Corrección} = - \underline{8.754}$$

$$\text{Doble área correcta} = 7.38745$$

Por último se obtiene la mitad de la doble área correcta y así se tendrá el área total correcta:

$$\frac{7.38745}{2} = 3.693725 \text{ m}^2 ; \text{área total correcta}$$

$$\text{entonces; área de la sección} = 3.70 \text{ m}^2$$

El procedimiento descrito es aplicable, de la misma manera, para las secciones en terraplén y en balcón; en éstas últimas, se calculará por separado el área de corte y la correspondiente del terraplén, empezando, siempre, del centro de la línea hacia los extremos.

Este método (por demás tedioso) es digno de una microcomputadora — que a través de la matematización electrónica de datos, presenta la bondad de dicho método realizado con cuidadosas observaciones y sabiendo — que los errores accidentales para calcular volúmenes en tramos de gran longitud, se compensan y se obtienen resultados estadísticamente satisfactorios. El programa aplicable se muestra a continuación y los resultados que éste proporciona son los correspondientes a la fig. 4.13.

```

1 REM AREAS DE SECCIONES. GUILLERMO MANCILA URREA. MEXICO, 1984.
30 CLS:INPUT'NOMBRE DE LA SECCION':A$
40 INPUT'ANCHO DE CORONA':A:INPUT'DESNIVEL EN EL CENTRO DE LA LINEA':DI(1)
50 INPUT'CUANTAS SECCIONES DEL LADO IZQUIERDO':X:INPUT'CUANTAS SECCIONES DEL LAD
O DERECHO':Y:FORI=2TOX+1:INPUT'LONGITUD Y DESNIVEL A LA IZQUIERDA':LI(I),DI(I)
70 NEXTI:LD(Y+2)=A/2:LI(X+2)=LD(Y+2):FORJ=2TOY+1:INPUT'LONGITUD Y DESNIVEL A LA
DERECHA':LD(J),DO(J):NEXTJ:DO(1)=DI(1)
80 PRINT'SECCION':A$:PRINT'PRINT'LADO IZQUIERDO':PRINT'DOUBLE AREA',,'CORRECCION'
90 FORK=1TOX+1:PA(K)=DI(K)*LI(K+1):SA=SA+PA(K):NEXTK:FORL=1TOY+2:PD(L)=LI(L)*DI(
L+1):SD=SD+PD(L):NEXTL:FORM=1TOX+1:PRINTPA(M),,PD(M):NEXTM
95 PRINT'LADO DERECHO':FORN=1TOX:AP(N)=DO(N)*LD(N+1):AS=AS+AP(N):NEXTN:FORO=1TOY
+1:DP(O)=LD(O)*DO(O+1):DS=DS+DP(O):NEXTO:FORP=1TOX:PRINTAF(P),,DP(P):NEXTP
110 PRINT'PRINT(SA+AS),,(SD+DS)!' SUMA'RE=ABS((SA+AS-SD-DS)/2):PRINT'PRINT'AR
EA DE LA SECCION "A$"' = "RE!"*2':END

```

### SECCION DE PRUEBA DE PROGRAMA.

#### LADO IZQUIERDO

#### DOBLE AREA

.3

.32

1

1.7

2.4

#### LADO DERECHO

.36

2.16145

3.7

4.2

16.1415

#### CORRECCION

0

.4

.8

2

0

0

1.2

4.354

0

8.754

SUMA

AREA DE LA SECCION DE PRUEBA DE PROGRAMA. = 3.69373 m<sup>2</sup>

Una vez obtenidas las áreas de las secciones transversales del proyecto, será necesario determinar los volúmenes de material existentes -- entre dos secciones (estaciones) consecutivas, a lo largo de toda la -- línea. Este cálculo se puede desarrollar mediante la fórmula del pris-- moide:

$$V = \frac{d}{6} (A_1 + 4 A_m + A_2) \dots (1)$$

donde d = distancia entre las dos secciones extremas

$A_1$  y  $A_2$  = Areas extremas

$A_m$  = Area de una sección intermedia entre las dos secciones extre-- mas, que se tiene que medir directamente en el terreno

Si se aplica la fórmula (1) el trabajo de campo será mayor, pues se -- tendrán que obtener secciones cada 10 m para determinar el valor de -- ( $A_n$ ); por esta razón, en los trabajos de vías terrestres se prefiere -- aplicar una fórmula más sencilla, aunque menos aproximada, que en gene -- ral da valores más grandes para los volúmenes; a esta fórmula se le co -- noce como "áreas medias":

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

como en la mayoría de los casos (d) es 20 m; la fórmula (2) se simpli -- fica a:

$$V = (A_1 + A_2) 10 \dots (3)$$

fórmula que facilita enormemente los cálculos. Evidentemente, cuando -- se trate de volúmenes entre secciones especiales (no distantes 20 m), -- se deberá aplicar la fórmula (1). Cuando se desee calcular el volúmen -- de material entre más de dos estaciones, existe la siguiente fórmula:

$$V = \frac{d}{2} A_0 + 2 (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1}) + A_n$$

d = equidistancia entre secciones (20 m)

$A_0$  y  $A_n$  = Areas extremas

$A_i$  = Areas intermedias

Cuando el área de una sección de extremo tiene forma de trapecio -- regular, y por otro lado, la otra sección extrema tiene un área casi -- nula, la fórmula de las áreas medias produce grandes errores, que pue -- den evitarse con la fórmula del prismoide (1) o corrigiendo la fórmula -- (2):

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} d + \frac{d}{12} (b_1 - b_2) \times (h_2 - h_1)$$

$h_1$  y  $h_2$  = son los espesores de las secciones extremas al centro de la -- línea.

$b_1$  y  $b_2$  = distancia total entre los extremos del talud de corte o terra -- plén (no se refiere a la plantilla, sino al cruce terreno-ta -- lud).

En general, la mayor aproximación en la cubicación de terracerías -- se obtiene cuando (d) es mínima, requiriéndose seccionar cada 5 m en --

Los grandes cortes y terraplenes con terreno irregular.

Finalmente, puede usarse la fórmula de Simpson:

$$V = \frac{d}{3} (A_0 + 4 \text{ suma áreas impar} + 2 \text{ suma áreas par} + A_n)$$

$d$  = equidistancia entre secciones

$A_0$  y  $A_n$  = Areas extremas

$A_1, A_3, A_5, \dots$  = Areas impares

$A_2, A_4, A_6, \dots$  = Areas pares

En las tangentes la distancia entre los centros de trazo (centro de línea) y los centroides de masa del corte o terraplén, son iguales; pero en las curvas de radio corto, la distancia curva entre centroides ( $a' - b'$ ), es mayor o menor que el arco del eje de la curva comprendido entre dos secciones ( $a-b$ ) (fig. 4.14), ésto trae como consecuencia una excentricidad ( $e$ ) que se deberá tomar en cuenta para corregir el volúmen teórico calculado.

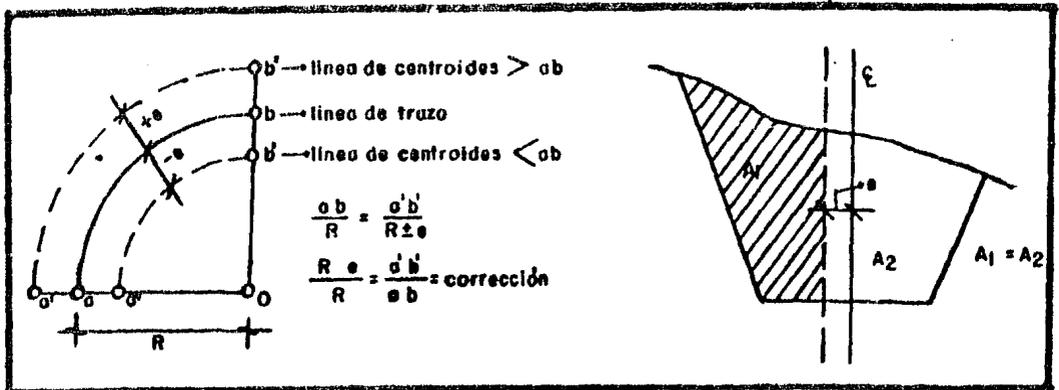


fig. 4.14.

fig. 4.15

Para encontrar el valor de ( $e$ ) basta dividir la sección en cuestión en dos partes de igual área, utilizando el planímetro por ejemplo, donde la distancia de dicha divisoria al centro de línea es la distancia ( $e$ ) buscada (fig. 4.15). Entonces, el volúmen en curva buscado es:

$$V_{\text{curva}} = V_{\text{teórico}} \times \frac{(R \pm e)}{R}$$

El volúmen teórico se calcula con cualquiera de las fórmulas vistas: áreas medias, prismoide, Simpson, etc.; lo mismo sucede para el cálculo de áreas: planímetro, etc.

En este apartado, debido a la diversidad de fórmulas para calcular volúmenes, con su consiguiente sencillez, no se presentará un programa para microcomputadora que los determine; sin embargo, en el apartado siguiente, se calcularán en base a la fórmula del área media, quedando contenidos en la tabla que ahí se describirá.

#### CALCULO DE CURVA MASA

En el capítulo anterior, se describió el concepto de curva masa, se definieron sus propiedades y sus características generales; sin embargo, no se tocó en lo absoluto el aspecto del cálculo de la misma. En este apartado se presentará la forma de calcular dicha curva, a partir de una tabla de valores que consta de 19 columnas como se muestra a continuación:

Estaciones	Elevaciones		Espesores		Áreas		A1 + A2		Semidistancia	Volumen	
	Terre	Subra	Cort	Terr	Co	Te				Cor	Ter
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
64+940	198.8	196.6	0.19	--	2.9	-					
+960	200.5	200.1	0.41	--	4.5	-	7.4	-	10	74	-

Factor		Volumen abundado y reducido		Suma algebraica de volúmenes		Ordenada de curva masa
Abund.	Compac.	Corte	Terraplén	(+) corte	(-) terraplén	
13	14	15	16	17	18	19
1.3	0.9	96.2	----	96.2	----	1 000.0 1 096.2

A esta tabla se le conoce como "registro de curva masa" y debe ser llenada una vez que, por cualquier método, se han realizado los cálculos de las áreas de las secciones.

Columna (1): Contiene el nombre (cadenamiento) de las estaciones donde se han tomado las secciones de construcción. Generalmente equidistan -- 20 m, aunque en algunos casos podrán ser más frecuentes cuando se tomen secciones especiales al presentarse un terreno muy accidentado. Por otro lado, si el terreno es uniforme, las secciones pueden tomarse a mayor -- distancia (40 ó 60 m, por ejemplo). Columna (2): En ella aparecen las -- elevaciones del terreno obtenidas directamente del plano del perfil, -- con respecto a un plano general de referencia (nivel del mar). Columna -- (3): Contiene las elevaciones correspondientes a la rasante de proyecto, obtenidas del plano de perfil de la línea y, de igual manera que las -- elevaciones del terreno, referidas a un plano general de referencia (ni-- vel del mar). En el perfil de la línea ya se tienen proyectadas las pen-- dientes de las tangentes y coincidiendo la distancia entre estaciones -- (20 m), se puede conocer la elevación de cada una de ellas, como se vió en el apartado de cálculo de rasante. Las curvas verticales entre tan-- gentes, también deberán estar calculadas, por lo que se conocen las ele-- vaciones de cada estación dentro de la curva. Columna (4): En ella se -- anotan los espesores de corte. Un corte se presenta cuando la elevación de la rasante (col.(3)) es menor que la correspondiente al terreno (col. (2)); es decir, cuando la diferencia de valores de (2) - (3) es positiva, se tendrá un corte. Columna (5): Son los espesores de terraplén. Es-- ta situación se presenta cuando la elevación de la rasante (col.(3)) es mayor que la del terreno (col.(2)); es decir, cuando la diferencia de -- valores de las columnas (2) - (3) es negativa, se tendrá un terraplén.-- Columna (6): Aparece el resultado de calcular, por cualquier método, el área de las secciones en corte, según se vió en el apartado anterior. -- Columna (7): Contiene el cálculo del área para el terraplén. Se obtiene como se describió para la columna (6). Columna (8): Son los resultados-- de sumar dos áreas de secciones consecutivas; en el ejemplo: el área de la sección (64+940) más el área de la sección (64+960); correspondien-- tes a los cortes. Columna (9): Es el mismo caso que la columna (8), pero para los terraplenes. Columna (10): Es la semidistancia entre las dos -- secciones en cuestión; si se toman a cada 20 m, el valor de esta colum-- na será  $20/2 = 10$  m. Columnas (11) y (12): Contienen los volúmenes de -- material calculados por la fórmula de las áreas medias; simplemente se

multiplican los valores de la columna (8) ó (9) por el valor de la columna (10). Columnas (13) y (14): El coeficiente de abundamiento se aplica por la razón de que al excavar en los cortes o en bancos un cierto volumen de material, los espacios intermoleculares aumentan y el volumen original aumenta, en consecuencia, un poco más, ésto provoca que los volúmenes de material excavados calculados, aumenten un cierto valor que tendrá que considerarse para los acarreos. Para el caso de la compactación, dependiendo del tipo de material producto de bancos o cortes, será más fácil o más difícil "comprimirlo" hasta su estado original, llegando hasta un cierto porcentaje que se representa por el coeficiente de compactación, que también considera el aumento de la compactación o asentamiento con el tiempo y el uso. El coeficiente de abundamiento afecta directamente a los cortes, mientras que el de compactación se aplica a los terraplenes. Experimentalmente se han calculado los siguientes:

Material	Abundamiento	Compactación	Observaciones
Tierra negra	1.0 a 1.25	0.98 a 1.0	Tierra vegetal y arcillas
Material arenoso	1.1 a 1.3	0.75 a 0.9	
Roca suelta	1.3 a 1.4	0.7 a 0.75	Transportado en camión
Roca fija	1.4 a 1.65	0.6 a 0.7	En banco

En la columna (13) se anotará el coeficiente de abundamiento de los cortes y en la (14) el de compactación de terraplenes. Estos valores pueden no ser constantes a lo largo de toda la línea, porque dependen del tipo de material del que se constituye el suelo por el que se desarrolle la línea; es decir, pueden tener un cierto valor entre algunas estaciones y cambiar a otro, en otro tramo, al cambiar el tipo de suelo por el que pasa la línea. Para el ejemplo suponemos que el material es arenoso, con un cierto porcentaje de grava. Columnas (15) y (16): Son los volúmenes de material en corte y terraplén, respectivamente, afectados por los coeficientes correspondientes. La columna (15) es la multiplicación de la (11) por la (13) y la columna (16) es el producto de la (12) por --

la (14). Columnas(17) y (18): Al efectuar la resta de la columna (15)-- menos la (16), si el resultado es positivo se anotará en la columna (17) y si resulta negativo en la (18). Esto nos proporciona el material sobrante o faltante entre las dos estaciones en cuestión. Se tendrán valores en las columnas (15) y (16) cuando se presente una sección en balcón, si solamente es corte tendrá valor la columna (15) y si es terraplén la (16). Columna (19): El primer valor se supone para efectos del dibujo; es recomendable empezar con un volumen positivo, para evitar -- que se presenten ordenadas negativas al desarrollar los cálculos (1000-- por ejemplo). A esta primera ordenada se le sumará el volumen de corte o se le restará el de terraplén que se presente entre las dos primeras-- estaciones, la nueva ordenada así obtenida se anota en la columna (19)-- y a ella se le sumará o restará el siguiente valor dependiendo de que -- sea corte o terraplén el volumen de material entre la segunda y tercera estación. El procedimiento se repite, obteniendo las ordenadas para las distintas estaciones. La ordenada de curva masa representa el volumen -- de material acumulado hasta cierto punto. Con todas las ordenadas calcu-- ladas se dibuja dicha curva en el plano del perfil de la línea. Cada -- punto de la curva se define por coordenadas (x, y); donde "x" es el cade-- namiento de una estación y "y" su ordenada. Posteriormente se estudiarán los movimientos de tierras, según se explicó en el capítulo anterior en el apartado de curva masa. Por último, se presenta el programa BASIC que calcula las ordenadas para la curva masa y un ejemplo de aplicación prác-- tico.

En este caso, se puede comprobar el gran poder que tiene la micro-- computadora para desarrollar cálculos matemáticos. Con la aplicación de-- este programa, el tiempo de cálculo se reduce a unos cuantos minutos y-- se obtiene un considerable ahorro de trabajo manual en gabinete.

Por las razones expuestas a lo largo de los dos últimos capítulos, no es conveniente utilizar la impresora del equipo con el que se ha tra-- bajado en este documento, para obtener el dibujo de la curva masa; sin-- embargo, al realizarlo se obtendría una idea general del volumen de mate-- rial con el que se está trabajando. Se podría proponer un programa simi-- lar al presentado en el capítulo anterior, que se empleó para el dibujo del perfil del terreno, pero para el caso de la curva masa, definiendo:

```

1 REM CURVA MASA. GUILLERMO MANCILLA URREA. MEXICO,1984.
40 CLS:GM$="###.##":UG$="###.##":INPUT'CADENAMIENTO ULTIMA ESTACION (K) Y (M)';U
K:UM
50 INPUT'CADENAMIENTO PRIMERA ESTACION';PK,PN:PO=PH:PP=PK:INPUT'FACTOR DE ABUNDA
NIENTO';FA:INPUT'FACTOR DE COMPACTACION';FC:INPUT'COORDENADA DE INICIO';OI(0)
55 CLS:GOSUB600:PRINT'ESTACION ';PP;'+';PO:GOSUB500:GOTO90
60 PO=PO+20:IFPO=1000THENPP=PP+1:PO=0
61 IF((PP*1000)+PO)>((UK*1000)+UM)THENZ=0:PO=PH:PP=PK:GOSUB700:GOTO100:ELSEZ=Z+1
:RK=Z:GOSUB500
90 IFZ=0THENLPRINTTAB(0)PK;'+';PM:ELSELPRINTTAB(0)PP;'+';PO;
95 LPRINTTAB(10)USINGCH$;ET(Z);:LPRINTTAB(17)USINGCH$;ES(Z);:IFFA$(Z)='C'THENLPR
INTTAB(22)USINGCH$;TS(Z);:ELSELPRINTTAB(27)USINGCH$;ABS(TS(Z));
96 LPRINTTAB(33)USINGCH$;AC(Z);:LPRINTTAB(38)USINGCH$;AT(Z);:LPRINTTAB(44)USING
H$;BC(Z);:LPRINTTAB(52)USINGCH$;ST(Z);:LPRINTTAB(59)'10.0'GOTO60
100 IFZ>RRTHENENDELSELPRINTTAB(0)USINGCH$;VC(Z);:LPRINTTAB(7)USINGCH$;VT(Z);:LPR
INTTAB(14)FA;:LPRINTTAB(19)FC;:LPRINTTAB(24)USINGCH$;CV(Z);:LPRINTTAB(31)USINGCH
$;TV(Z);:IFFA$(Z)='C'THENLPRINTTAB(38)USINGCH$;ZZ(Z);:ELSELPRINTTAB(45)USINGCH$;A
BS(ZZ(Z));
101 LPRINTTAB(53)USINGCH$;OI(Z);Z=Z+1:GOTO100
500 INPUT'ELEVACION TERRENO';ET(Z);INPUT'ELEVACION SUBRASANTE';ES(Z);TS(Z)=ET(Z)
-ES(Z):IFTS(Z)>0THENA$(Z)='C':ELSEA$(Z)='T'
510 INPUT'AREA EN CORTE';AC(Z);INPUT'AREA EN TERRAPLEN';AT(Z);IFZ=0THENRETURN
520 SC(Z)=AC(Z-1)+AC(Z);ST(Z)=AT(Z-1)+AT(Z);VC(Z)=SC(Z)*19:VT(Z)=ST(Z)*10:CV(Z)=
VC(Z)*FA;TV(Z)=VT(Z)*FC:ZZ(Z)=CV(Z)-TV(Z);OI(Z)=OI(Z-1)+ZZ(Z);RETURN
600 LPRINT'ESTACION ELEVACIONES ESPESORES AREAS A1+A2 SEMID'ILPRI
NT'
TERREN SUBRAS CORT TERR CORTE TERRA CORTE TERRA'IRETURN
700 LPRINT' VOLUMEN FACTOR VOL.AB. Y RE. SUMA ALG. VOL. ORDENADA'ILPRINT
'CORTE TERRAP ABUN COMP CORTE TEERRAP +CORTE -TERRA CURVA MASA'IRETURN
    
```

ESTACION	ELEVACIONES		ESPESORES		AREAS		A1+A2		SEMID
	TERREN	SUBRAS	CORT	TERR	CORTE	TERRA	CORTE	TERRA	
64 + 940	199.83	199.64	0.19		2.90	0.00	0.00	0.00	10.0
64 + 960	200.59	200.12	0.41		4.50	0.00	7.40	0.00	10.0
64 + 980	201.26	200.60	0.66		9.80	0.00	14.30	0.00	10.0
65 + 0	202.43	201.08	1.35		12.70	0.00	22.50	0.00	10.0
65 + 20	199.90	201.96		2.06	4.10	49.50	16.80	49.50	10.0
65 + 40	199.10	202.04		2.94	0.00	39.50	4.10	89.00	10.0
65 + 60	202.27	202.52		0.25	0.00	3.90	0.00	43.40	10.0
65 + 80	203.69	203.00	0.69		9.40	0.00	9.40	3.90	10.0
65 + 100	204.28	203.48	0.80		11.00	0.00	20.40	0.00	10.0
VOLUMEN	FACTOR			VOL.AB. Y RE. SUMA ALG. VOL. ORDENADA					
CORTE	TERRAP	ABUN	COMP	CORTE	TEERRAP	+CORTE	-TERRA	CURVA MASA	
0.00	0.00	1.11	.9	0.00	0.00	0.00		1000.0	
74.00	0.00	1.11	.9	82.14	0.00	82.14		1082.1	
143.00	0.00	1.11	.9	158.73	0.00	158.73		1240.9	
225.00	0.00	1.11	.9	249.75	0.00	249.75		1490.6	
168.00	495.00	1.11	.9	186.48	445.50		259.02	1231.6	
41.00	890.00	1.11	.9	45.51	801.00		755.49	476.1	
0.00	434.00	1.11	.9	0.00	390.60		390.60	85.5	
94.00	39.00	1.11	.9	104.34	35.10	69.24		154.7	
204.00	0.00	1.11	.9	226.44	0.00	226.44		381.2	

el cadenamamiento y la ordenada correspondiente a cada punto, cuidando que la escala vertical sea la adecuada para la magnitud de las ordenadas -- con las que se esté trabajando.

## CAPITULO V

### TRABAJOS COMPLEMENTARIOS Y PROGRAMAS APLICABLES

Generalmente en los proyectos de vías terrestres existen un cierto número de trabajos que si bien no forman parte del proyecto en sí, su realización es, en ocasiones, necesaria para el correcto desarrollo del mismo. A estos trabajos los denominaremos con el nombre de "complementarios", aunque debe quedar establecido que no por esto tienen una menor importancia. Dentro de los principales trabajos complementarios tenemos:

- Orientaciones Astronómicas
- Cálculo de coordenadas de poligonales abiertas
- Igualdad de cadenamientos
- Nivelaciones

El término "complementario" lo aplicaremos por la razón de que no necesariamente se deberán realizar todos los trabajos mencionados en un solo proyecto, pero, generalmente, al menos tres de ellos si se tendrán que desarrollar para fines de las vías terrestres.

En el presente capítulo se describirá la utilidad y la forma de calcular cada uno de dichos trabajos, apoyándolos en simples programas BASIC para microcomputadora que los ejecutarán en base a ejemplos -- prácticos.

#### ORIENTACIONES ASTONOMICAS

"...Para poder obtener con precisión las direcciones de las líneas de los levantamientos, y las posiciones geográficas de los diversos puntos donde se trabaja, es necesario recurrir a las observaciones y cálculos astronómicos, tanto por su precisión, como por el hecho de que producen datos invariables dentro de los fines prácticos..."

(1).

En el presente apartado nos dedicaremos, únicamente, a describir el procedimiento para obtener el RAC (Rumbo Astronómico Calculado) de

(1) Topografía. Miguel Montes de Oca. RSI. México Pág. 225 a 298.

una línea, en base al método de "distancias zenitales absolutas del-sol"; que es el método más utilizado en las vías terrestres. Debemos mencionar que el tema de Orientaciones Astronómicas es muy extenso - y cuenta con varios métodos para determinar el RAC de una línea (1).

A grandes rasgos, el método de las distancias zenitales absolutas, consiste en obtener el azimut astronómico de una línea y posteriormente, en base a él, obtener el RAC. La ecuación que proporciona el azimut es:

$$\text{Sen } \frac{1}{2} A_z = \sqrt{\frac{\text{Sen } \frac{1}{2} (z + \phi - \delta) \text{ Cos } \frac{1}{2} (z + \phi + \delta)}{\text{Cos } \phi \text{ Sen } z}}$$

donde:

$A_z$  = Azimut buscado. Es el ángulo horizontal medido sobre el plano - del horizonte del lugar, entre la dirección norte - sur y la visual a una estrella (sol).

$z$  = Angulo complementario de (A); ( $z = 90^\circ - A$ )

$A$  = Altura zenital. Angulo vertical medido del plano del horizonte- del lugar a una estrella (sol).

$\phi$  = Latitud. Es el ángulo que forma la vertical de un lugar (referida al centro de la tierra) con el plano del ecuador; se mide so bre un plano normal al ecuador de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  hacia el norte o hacia el sur.

$\delta$  = Declinación. Es el ángulo de elevación de una visual a una estrella, referida al plano del ecuador de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  al norte o al sur, o positiva y negativa respectivamente.

En la fórmula mostrada ( $\delta$ ) deberá considerarse con el signo que tenga (+al norte y - al sur). Los elementos de la ecuación se muestran en la fig.5.1.

El trabajo de campo consiste en obtener los siguientes datos:

- Lugar, fecha y hora de la observación
- Angulo horizontal línea-sol
- Angulo vertical del sol

(1) Topografía. Miguel Montes de Oca. RSI. México. Pág. 225 a 298.



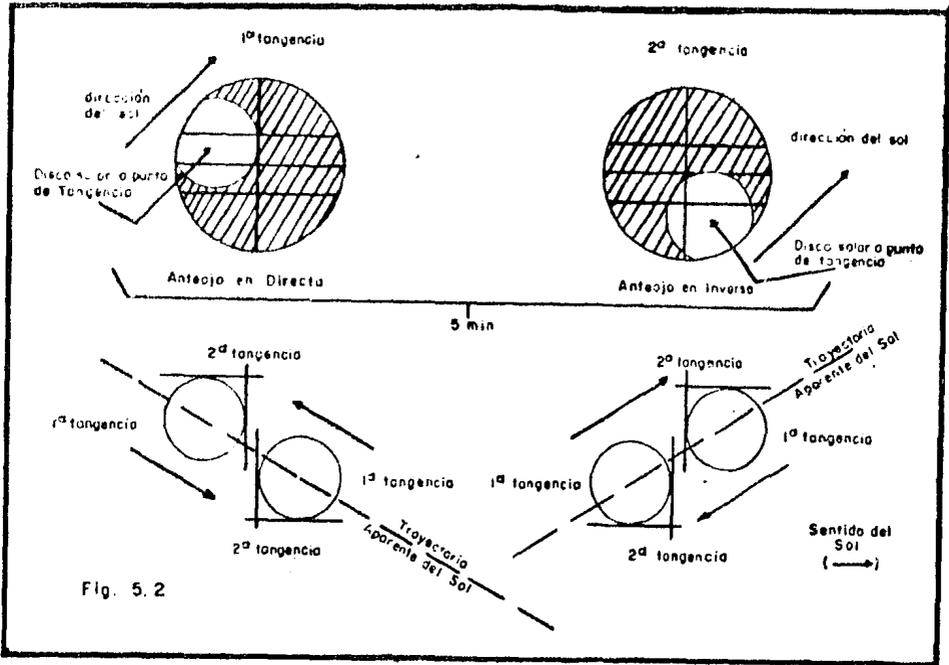


Fig. 5.2

fig. 5.2.

el registro de campo que se debe llevar en las observaciones:

Serie	Posición	P.V.	Tiempo-centro	Circulo horizontal		circulo - vertical
				A	B	
1	Directa	Señal	---	0° 00'	180° 00'	-----
		Sol	8.03.18	38° 33'	218° 34'	32° 22'
	Inversa	Sol	8.05.07	217° 55'	37° 57'	33° 10'
		Señal	----	180° 00'	0° 00'	-----
S U M A S			16.08.25	76° 30'	436° 29'	65° 32'
P R O M E D I O			8.04.12.5	38° 15'	218° 14'	32° 46'

Adicionalmente, se deben conocer el lugar y la fecha de la observación, que para el caso anterior son: "Entronque Reforma, Tabasco"; 21 de junio de 1953. Con esta información es necesario recurrir al Anuario del Observatorio Astronómico Nacional, de la UNAM, que contiene los datos para el meridiano 90° de Greenwich en hora del centro, y donde se encontrará la latitud ( $\delta$ ) del lugar y otros datos necesarios para desarrollar los cálculos astronómicos, como se verá en el ejemplo de determinación del RAC para el caso mostrado arriba.

Del Anuario, los datos que se deben obtener para realizar los --  
cálculos astronómicos del ejemplo son:

- Hora del centro (Hc) del paso del sol por el meridiano  $90^\circ$  de ---  
Greenwich el día 21 de junio de 1982 (11h 01m 41.53s).
- Variación horaria (Vh) considerando los días 21 y 22 de junio de-  
1982. (+0.50").
- Declinación del sol ( $\delta$ s) al paso por el meridiano  $90^\circ$  de Green--  
wich, para la fecha en cuestión (+ $23^\circ 26' 27.8''$ ).
- Corrección por refracción ( $\rho$ ), tabulados en función de (z), en -  
la tabla de Newcomb del Anuario (1' 30").
- Latitud del lugar ( $\phi$ ), en base al sitio de la observación ( $17^\circ 19'$ ).

A continuación se muestra el cálculo:

Hc (Anuario)	(a) 12h 01m 41.53s
Promedio hora del centro de la observa	
ción (tabla).	(b) 8h 04m 12.50s
Intervalo (a-b)	(c) 3h 57m 29.03s
Intervalo en decimal ((c) en decimal)	(d) 3.958063888
Vh (Anuario)	(e) +0.50"
Corrección por intervalo (dxe)/3600	(f) $0^\circ 0' 1.98''$
$\delta$ s (Anuario)	(g) $+23^\circ 26' 27.8''$
Declinación del sol a la hora de la -	
observación ( $\delta$ ) (f+g)	(h) $23^\circ 26' 29.78''$
Altura aparente observada (Tabla)	(i) $32^\circ 46'$
Distancia zenital aparente ( $90^\circ - i$ )	(j) $57^\circ 14'$
$\rho$ (Anuario)	(k) $0^\circ 01' 30''$
Distancia zenital (z) (j+k)	(l) $57^\circ 15' 30''$
$\phi$ (Anuario)	(m) $17^\circ 59'$
$A_z$ (aplicar ecuación del azimut)	(n) $73^\circ 13' 48.15''$
Angulo sol-senial (Tabla)	(o) $38^\circ 15'$
RAC (n-o)	(p) $34^\circ 58' 48.15''$

Aunque el ejemplo se desarrolló para una sola observación, a --  
continuación se presenta el programa BASIC para microcomputadora --

que puede encontrar todos los RAC que se deseen. El programa será -  
 aplicado a un ejemplo con 4 observaciones, la primera de las cuales  
 es la desarrollada anteriormente.

```

1 REM ORIENTACIONES ASTRONOMICAS. GUILLERMO MANCILLA URREA, MEXICO, 1984.
5 CLS: CLEAR: DIM A$(100): DIM GD(100), MD(100), SD(100): IP=3.1415927
40 INPUT NUMERO DE SERIE: A$: GOSUB 900: GOSUB 800
50 INPUT GD(X), MD(X), SD(X): GOSUB 800: IF X>12 THEN 60 ELSE 50
60 Y=Y+1: S(Y)=SD(1)+SD(2): M(Y)=MD(1)+MD(2): G(Y)=GD(1)+GD(2): GOSUB 1000: Y=Y+1: S(Y)
=SD(4)+SD(9): M(Y)=MD(4)+MD(9): G(Y)=GD(4)+GD(9): GOSUB 1000: Y=Y+1: S(Y)=SD(8)+SD(5)
M(Y)=MD(8)+MD(5): G(Y)=GD(8)+GD(5): GOSUB 1000: Y=Y+1: S(Y)=SD(11)+SD(12)
61 M(Y)=MD(11)+MD(12): G(Y)=GD(11)+GD(12): GOSUB 1000
70 FOR KZ=1 TO 4: PG(Z)=G(Z)/2: PH(Z)=M(Z)/2: PS(Z)=S(Z)/2: GOSUB 1050: NEXT Z
80 CLG: PRINT "SER POS P.V. TIEMPO DE CIRCULO HORIZONTAL CIRCULO PRINT"
      CENTRO A B VERTI: PRINT TAB(1) A$: TAB(5) "D": TAB
(8) "SEN": TAB(13) " "
90 PRINT TAB(24) GD(3+P): MD(3+P): TAB(37) GD(7+P): MD(7+P): TAB(51) " " : IF P=3 THEN 130 ELSE
EPRINT TAB(1) A$: TAB(5) "D": TAB(8) "SOL"
100 PRINT TAB(13) GD(1+0): MD(1+0): SD(1+0): TAB(24) GD(4+0): MD(4+0): SD(4+0): TAB(37) GD
(8+0): MD(8+0): SD(8+0): TAB(51) GD(11+0): MD(11+0): IF D=1 THEN 120 ELSE 110
110 PRINT TAB(1) A$: TAB(5) "I": TAB(8) "SOL": D=D+1: GOTO 100
120 PRINT TAB(1) A$: TAB(5) "I": TAB(8) "SEN": IP=P+3: GOTO 90
130 PRINT TAB(0) "S U M A S": TAB(13) G(1): M(1): S(1): TAB(24) G(2): M(2): S(2): TAB(37) G
(3): M(3): S(3): TAB(51) G(4): M(4): S(4): PRINT TAB(0) "PROMEDIO": TAB(13) QZ(1): RM(1): QS
(1): TAB(24) QZ(2): RM(2): QS(2): TAB(37) QZ(3): RM(3): QS(3): TAB(51) QZ(4): RM(4): QS(4)
139 IFA="1" THEN 140 ELSE 150
140 PRINT "H": PRINT "PROMEDIO HORA CENTRO": PRINT "INTERVALO": PRINT "INTERVALO DECIM
AL": PRINT "VH": PRINT "CORRECCION POR INTERVALO": PRINT "delta s": PRINT "delta": PRINT "
ALTURA APARENTE": PRINT "DISTANCIA ZENITAL": PRINT "rho": PRINT "z": PRINT "fi": PRINT "az"
141 PRINT "ANGULO SOL-SENAL": PRINT "RAC": STOP
150 INPUT "H (H, M, S)": HH, MM, SS: CH=HH-QZ(1): MH=MM-RM(1): SH=SS-QS(1): IF SH<0 THEN SH
=SH+60: MH=MH-1
151 IF MH<0 THEN MM=MM+60: CH=CH-1
152 MU=CH+(MH/60)+(SH/3600): INPUT "VH": VH: CI=(VH*MU): INPUT "DS (G, M, S)": GR, MI, SE: S
B=SE+CI: ZA=89-QZ(4): AZ=60-RM(4): INPUT "RO (M, S)": RM, RS: AW=AZ+RM: INPUT "FI (C, M)": F
C, FM
153 WE=GR+(MI/60)+(SB/3600): IWR=ZA+(AW/60)+(RS/3600): IWT=FG+FM/60: S1=WR+WT-WE: S2=W
R+WT+WE: S3=(S1/2)*IP/180: S4=(S2/2)*IF/180: S5=SIN(S3): S6=COS(S4): S7=S5*S6: S8=SIN(
WR*IP/180)*COS(WT*IP/180): S9=SQR(S7/S8): X1=ATN(S9/SQR(-S9*S9+1)): X2=X1+Z1: X3=X2+1
80/IP
154 X4=INT(X3): X5=X3-X4: X6=X5*60: X7=INT(X6): X8=X6-X7: X9=INT(X8*60): Z1=X4-QZ(2): Z
2=X7-RM(2): IF Z2<0 THEN Z2=Z2+60: Z1=Z1-1
155 PRINT HH: MM: SS: PRINT QZ(1): RM(1): QS(1): PRINT CH: MH: SH: PRINT MU: PRINT VH: PRINT CI: P
RINT GR: MI: SE: PRINT CR: MI: SB: PRINT QZ(4): RM(4): PRINT ZA: AZ: PRINT RM: RS: PRINT ZA: AW: RS:
PRINT FG: FM: PRINT X4: X7: X9: PRINT QZ(2): RM(2): PRINT Z1: Z2: X9
800 X=X+1: PRINT A$(X): RETURN
900 A$(1)="DIRECTA SOL HORA (H, M, S)": A$(2)="INVERSA": A$(3)="DIRECTA SENAL A (G, M, S)": A$(4)="SOL": A$(5)="INVERSA SOL": A$(6)="SENAL": A$(7)="DIRECTA SENAL B (G, M, S)": A$(8)="SOL": A$(9)="INVERSA SOL": A$(10)="SENAL"
901 A$(11)="DIRECTA SOL VERTICAL (G, M, S)": A$(12)="INVERSA": RETURN
1000 IFS(Y)>=60 THEN M(Y)=M(Y)-60: G(Y)=G(Y)+1: RETURN: ELSE RETURN
1010 IF M(Y)>=60 THEN M(Y)=M(Y)-60: G(Y)=G(Y)+1: RETURN: ELSE RETURN
1050 QZ(Z)=INT(PG(Z)): RZ(Z)=PG(Z)-QZ(Z): SE(Z)=RZ(Z)*60: OM(Z)=PH(Z)+SZ(Z): RM(Z)=I
NT(OM(Z)): S4(Z)=GM(Z)-RM(Z): QS(Z)=INT(PS(Z)+(6M(Z)+60)): IF QS(Z)>=60 THEN QS(Z)=QS
(Z)-60: RM(Z)=R4(Z)+1
1060 IF RM(Z)>=60 THEN RM(Z)=RM(Z)-60: RZ(Z)=RZ(Z)+1: RETURN: ELSE RETURN

```

SER POS P.V.	TIEMPO DE CENTRO	CIRCULO HORIZONTAL		CIRCU VERTI
		A	B	
1 D SEN		0 0	180 0	
1 D SOL	8 3 18	38 33 0	218 34 0	32 22
1 I SOL	8 5 7	217 55 0	37 57 0	33 10
1 I SEN		180 0	0 0	
B U H A S	16 8 25	76 30 0	436 29 0	65 32 0
PROMEDIO	8 4 12	38 15 0	218 14 30	32 46 0
SER POS P.V.	TIEMPO DE CENTRO	CIRCULO HORIZONTAL		CIRCU VERTI
		A	B	
2 D SEN		0 0	180 0	
2 D SOL	8 7 57	38 42 0	218 43 0	33 26
2 I SOL	8 9 32	218 3 0	38 2 0	34 11
2 I SEN		180 0	0 0	
B U H A S	16 17 29	76 44 0	436 46 0	67 37 0
PROMEDIO	8 8 44	38 22 0	218 23 0	33 48 30
SER POS P.V.	TIEMPO DE CENTRO	CIRCULO HORIZONTAL		CIRCU VERTI
		A	B	
3 D SEN		0 0	180 0	
3 D SOL	8 11 55	38 47 0	218 47 0	34 20
3 I SOL	8 14 38	213 15 0	38 15 0	35 20
3 I SEN		180 0	0 0	
B U H A S	16 26 33	77 2 0	432 2 0	69 40 0
PROMEDIO	8 13 16	38 31 0	216 1 0	34 50 0
SER POS P.V.	TIEMPO DE CENTRO	CIRCULO HORIZONTAL		CIRCU VERTI
		A	B	
4 D SEN		0 0	180 0	
4 D SOL	8 17 0	39 1 0	219 2 0	35 30
4 I SOL	8 18 32	218 19 0	38 19 0	36 14
4 I SEN		180 0	0 0	
B U H A S	16 35 32	77 20 0	437 21 0	71 44 0
PROMEDIO	8 17 46	38 40 0	218 40 30	35 52 0

Hc	12 1 41.53	12 1 41.53	12 1 41.53	12 1 41.53
PROMEDIO HORA CENTRO	8 4 12	8 8 44	8 13 16	8 17 46
INTERVALO	3 57 29.53	3 52 57.53	3 48 25.53	3 53 55.53
INTERVALO DECIMAL	3.9582	3.88265	3.80709	3.73209
Vh	.5	.5	.5	.5
CORRECCION POR INTERVALO	1.9791	1.94132	1.90355	1.86605
delta s	23 26 27.8	23 26 27.8	23 26 27.8	23 26 27.8
delta	23 26 29.77	23 26 29.74	23 26 29.70	23 26 29.666
ALTURA APARENTE	32 46	33 48	34 50	35 52
ALTURA ZENITAL	57 14	56 12	55 10	54 8
ro	1 30	1 26	1 24	1 21
z	57 15 30	56 13 26	55 11 24	54 9 21
fi	17 59	17 59	17 59	17 59
Az	73 13 48	73 22 37	73 31 3	73 39 6
ANGULO SOL-SENAL	38 15	38 22	38 31	38 40
RAC	34 58 48	35 0 37	35 0 3	34 59 6

Con los cuatro RAC obtenidos, se desechan los que difieran más de 03' con los demás y con los restantes se calcula un promedio aritmético que será el RAC definitivo considerando para el proyecto de la vía terrestre. Para el ejemplo anterior tenemos:

1a. Serie RAC	34° 58' 48"	
2a. Serie RAC	35° 00' 37"	
3a. Serie RAC	35° 00' 03"	
4a. Serie RAC	<u>34° 59' 06"</u>	
	139° 58' 34"	----- entre 4

Promedio RAC definitivo = 34° 59' 39"  
y para fines del proyecto = 35° 00' 00"

Para calcular el promedio directamente sin necesidad de realizar cálculos manuales, el programa mostrado podrá ser modificado, -- aunque aquí no se ha hecho por razones ilustrativas. Si el RAC se -- calcula por los métodos tradicionales y posteriormente se aplica el programa correspondiente, se podrán constatar los ahorros de tiempo y trabajo que brinda esta poderosa herramienta.

#### CALCULO DE COORDENADAS DE POLIGONALES ABIERTAS

Cuando se dibuja la planta de la vía terrestre en el papel, se debe seguir un método que localice con exactitud los puntos más importantes (PI) de la línea; ésto debido a que si se trazaran con escalímetro y transportador, los errores cometidos (acumulados), podrían deformar, dependiendo de la escala del dibujo, el trayecto real de la vía terrestre. El método más utilizado y que con gran exactitud proporciona la ubicación de los puntos (PI) en el plano, es el de las coordenadas. Este método se basa en tres datos principales: distancia entre PI consecutivos, deflexión que se presenta en cada uno de ellos (derecha o izquierda) y el rumbo astronómico calculado (RAC) entre el primer punto de la línea y el primer PI. El desarrollo del cálculo se realiza con la ayuda de una tabla que contendrá todos los datos parciales necesarios para llegar finalmente a las coordenadas-

buscadas. Es necesario que el proyecto en planta de la línea esté — totalmente concluido, en cuanto a las curvas horizontales, para poder determinar las coordenadas. A continuación se muestra la tabla — que se requiere durante el cálculo.

Est.	Punto- visado	Subt. atra.	Tang.	Subt. adel.	Deflexión		Rumbo (RAC)
					I	D	
1	2	3	4	5	6	7	8

Seno	+ X	- X	Coseno	+ Y	- Y	Coordenadas	
						X	Y
10	11	12	13	14	15	16	17

Columna (1): Cadenamientos de los puntos (PI o PST) donde se colocaría el tránsito para medir un determinado rumbo que lo orientaría -- hacia otro PI o PST, se le conoce como "estación". Columna (2): Es precisamente el cadenamiento del punto (PI o PST) observado desde el PI o PST anterior. Se le denomina "punto visado" (P.V.). Columnas (3-4, 5 y 6): Distancia que existe entre la estación (columna 1) y el punto visado (columna 2). Como en los dos PI en cuestión se tiene un tramo de curva, simple o espiral, la distancia se determina:

Curvas simples  $ST$  (del PI estación) +  $T$  +  $ST$  (del PI visado) = Dist.

Curvas espirales  $TST$  (del PI estación) +  $T$  +  $TST$  (del PI visado) = Dist.

las (TST) se miden de los PI a los PC o PT, según sea el caso; es --

decir, la TST o ST del PI estación, se medirá de dicho PI al PT de la curva; por su parte la TST o ST del PI visado, se medirá de dicho PI al PT de la curva. Finalmente, T es la distancia entre PC y PT de las curvas en cuestión (fig.5.3).

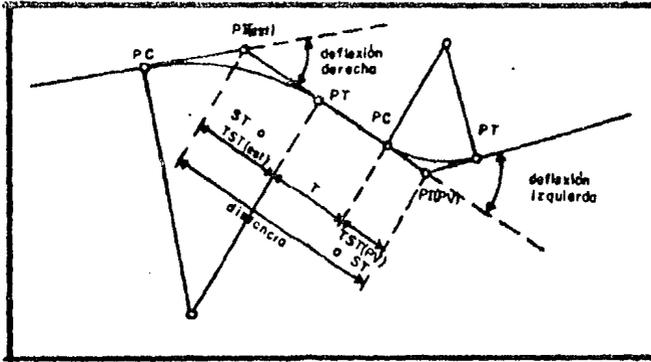


fig. 5.3.

Columnas (7 y 8): Contienen el valor de la deflexión del PI estación, según sea derecha o izquierda respectivamente. Columna (9): Valor -- del rumbo (RAC) entre los PI en cuestión. Se obtiene en base al (RAC) definido para el primer tramo de la línea y el valor de la deflexión. La forma de calcular los rumbos, en base a las deflexiones, se presentó en el capítulo II en el apartado de configuración, cuando se estudiaron las poligonales abiertas; inclusive, ahí se presentó el programa BASIC para microcomputadora que calcula todos los rumbos entre los diferentes PI de la vía terrestre. Columnas (10 y 13): Seno y Coseno, respectivamente, del rumbo mostrado en la columna (9). Columnas (11 y 12): Producto del seno del rumbo, entre los PI en cuestión, por la distancia entre dichos PI ; es decir, es el producto de las columnas (10) por (6), considerando el producto positivo (11) si el rumbo es Este y negativo (12) si es Oeste. Columnas (14 y 15): Es el mismo caso que las columnas (11) y (12), pero multiplicando la distancia por el coseno del rumbo. El resultado obtenido será positivo (14) si el rumbo es Norte y negativo (15) si es Sur. Columnas (16 y 17): Contienen los valores de las coordenadas definitivas de los PI. El primer par es arbitrario, pero se sugiere que tenga un valor tal que al restar las proyecciones negativas (Oeste y Sur), no se obten-

gan valores negativos para las coordenadas resultantes (10,000 y --- 10,000 por ejemplo). A las coordenadas "X" (columna 16), se le sumarán o restarán, según sea el caso, los valores de las columnas (11)- y (12); y por su parte, a las coordenadas "Y" (columna 17), se les - sumarán o restarán los valores de las columnas (14) y (15) respecti- vamente.

En el plano de la planta se trazarán dos ejes coordenados (per- pendiculares o no a la orilla del papel) y se marcan las interseccio- nes entre coordenadas cerradas (fig. 5.4.)

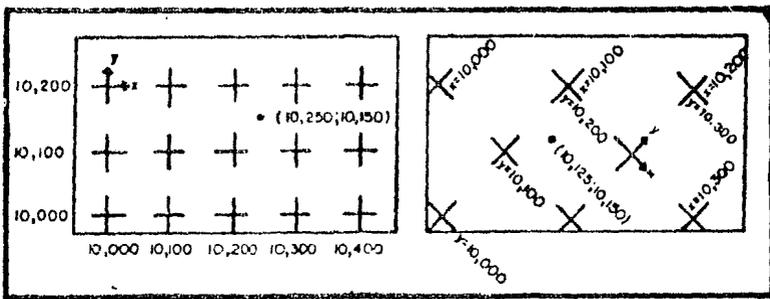


fig. 5.4.

Midiendo con escalímetro, entre los puntos de intersección co- rrespondientes, los valores de las coordenadas calculadas, se obten- drá la situación de cada uno de los PI que determinan la línea.

Siguiendo los objetivos planteados para este trabajo, a continua- ción se propone en programa BASIC que calcula las coordenadas de una línea, siguiendo el procedimiento descrito y aplicado a un problema común.

Los rumbos entre PI fueron calculados en base al programa pre- sentado en el capítulo II, para las poligonales abiertas, partiendo- de un RAC de NE 72° 20'.

EST.	P.V.	DEF.DER.	DEF.IZO.	RUMBO
A	B			72 20 NE
B	C		19 0	53 20 NE
C	D	29 42		83 2 NE
D	E		28 4	54 58 NE
E	F		50 25	3 27 NW
F	G	42 0		30 33 NE
SINAS		71 42	105 29	
DIFERENCIA DE DEFLEXIONES			33 47 I	

```

1  REM COORDENADAS. GUILLERMO MANCILLA URREA. MEXICO.1984.
10  CL@:CLEAR10000;DIMEK(50),EM(50),FK(50),PH(50),T1(50),TA(50),T2(50),GR(50),MI(
50),A@(50),RG(50),RM(50),RS(50),B@(50),C@(50),D(50),GD(50),DG(50),SE(50),CO(50),
SD(50),CD(50),Y@(50),X@(50)
20  IP=3.141592712;***.***.***;INPUT"NOMBRE DE LA POLIGONAL";D@;INPUT"NUMERO D
E RUMBOS";Y;FORX=1TOY
50  INPUT"ESTACION (K) Y (M)";EK(X),EM(X);INPUT"P.V. (K) Y (M)";PK(X),PH(X);INPUT
"BT1 1";T1(X);INPUT"TANGENTE";TA(X);INPUT"BT2 2";T2(X);INPUT"DEFLEXION (G) Y (M)
";GR(X),MI(X);INPUT"DERECHA O IZQUIERDA";A@(X)
60  INPUT"RUMBO (G,M)";RG(X),RM(X);INPUT"NORTE O SUR";B@(X);INPUT"ESTE U OESTE";C
@(X);NEXTX
65  INPUT"COORDENADAS DE ARRANQUE (Y) Y (X)";Y@(0),X@(0);Y@=Y@(0);X@=X@(0);FORZ=1
TOY;D(Z)=T1(Z)+TA(Z)+T2(Z);G(Z)=RG(Z)+(RM(Z)/60);OG(Z)=(GD(Z)+IP)/180;BE(Z)=8IN
(DG(Z));CO(Z)=COS(DG(Z));SD(Z)=D(Z)*SE(Z);CD(Z)=D(Z)*CO(Z)
70  IFB@(Z)="N" THENY@(Z)=Y@+CD(Z) ELSEY@(Z)=Y@-CD(Z)
80  IFC@(Z)="E" THENX@(Z)=X@+SD(Z) ELSEX@(Z)=X@-SD(Z)
90  Y@=Y@(Z);X@=X@(Z);NEXTZ
100 CL@;PRINT"POLIGONAL ";D@;PRINT:PRINT" ESTACION PUNTO VISADO BT1 TANGE
NTE BT2 DISTANC.";FORV=1TOY;PRINTTAB(0)EK(V);"+";EM(V);TAB(13)PK(V);"+";PH(
V);TAB(26)T1(V);TAB(34)TA(V);TAB(43)T2(V);TAB(51)D(V);NEXTV;PRINTTAB(0)PK(V-1);"
+"
110 PRINTPH(V-1);PRINT:PRINT" DEFLEXION RUMBO SENO +X -X
COSENO";FORV=1TOY;IFA@(V)="I" THENPRINTTAB(0)GR(V);MI(V);ELSEPRINTTAB(6)GR(V)
;MI(V)
120 PRINTTAB(14)RG(V);RM(V);(B@(V)+C@(V));TAB(25)SE(V);IFC@(V)="E" THENPRINTTAB(
34)SD(V);ELSEPRINTTAB(44)SD(V);
130 PRINTTAB(53)CO(V);NEXTV;PRINT
140 PRINT" +Y -Y C O O R D E N A D A B";PRINT"
X Y";FORV=0TOY;IFB@(V+1)="N" THENPRINTTAB(0)CD(V+1);ELSEPRINTTAB(8)CD
(V+1)
150 PRINTTAB(20)UBINGZ@;X@(V);PRINTTAB(32)USINGZ@;Y@(V);NEXTV;END

```

## POLIGONAL DE PRUEBA DE PROGRAMA.

ESTACION	PUNTO VISADO	BT1	TANGENTE	BT2	DISTANC.
38 + 780.88	39 + 489.74	152.36	425.25	131.25	708.86
39 + 489.74	40 + 317.42	168.34	391.87	269.37	829.58
40 + 317.42	41 + 765.66	96.21	313.19	45.92	455.32
41 + 765.66	42 + 347.14	43.58	522.38	21.49	587.45
42 + 347.14	43 + 275.35	238.76	1542.57	203.87	1985.20
43 + 275.35	44 + 703.14	63.29	346.26	38.46	448.01
44 + 703.14					

DEFLEXION	RUMBO	SENO	+X	-X	COSENO
19 0	72 20 NE	.952838	675.429		.303479
29 42	53 20 NE	.802123	665.425		.597159
28 4	83 2 NE	.992617	451.958		.121292
58 25	54 58 NE	.818818	481.015		.574053
	3 27 NW	.0601775		119.464	.998189
	42 0	38 33 NE	.623197	279.199	.782063

+Y	-Y	C O O R D E N A D A B	
		X	Y
215.124		10,000.000	10,000.000
495.391		10,675.429	10,215.124
55.2267		11,340.854	10,710.515
337.227		11,792.813	10,765.741
1981.6		12,273.827	11,102.969
358.373		12,154.363	13,084.571
		12,433.562	12,434.944

Existe además una forma gráfica de comprobar las coordenadas -- (fig. 5.5.):

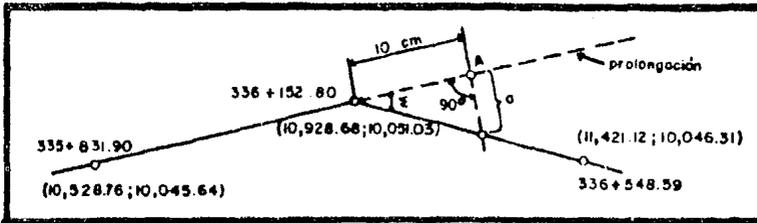


fig. 5.5.

prolongando la tangente que llega al PI, se marcarán  $10\text{ cm}$ . sobre ella, a partir de dicho PI, obtenido el punto (A). Del punto (A) se marca una perpendicular que corte a la tangente que sale del PI, obteniendo la distancia (a) esa distancia se multiplica por  $10$ ; del resultado así calculado se obtiene la  $\tan^{-1}$  y ese ángulo debe ser aproximadamente igual a la deflexión ( $\Sigma$ ).

#### IGUALDAD DE CADENAMIENTOS

En algunas ocasiones puede suceder que un punto, de una vía terrestre, tenga diferentes cadenamientos. Esto se presenta cuando el punto en cuestión es la coincidencia de dos cadenamientos que vienen en distintas direcciones. Un ejemplo que explica este caso, puede ser una cañada, barranca, etc. (fig. 5.6.):

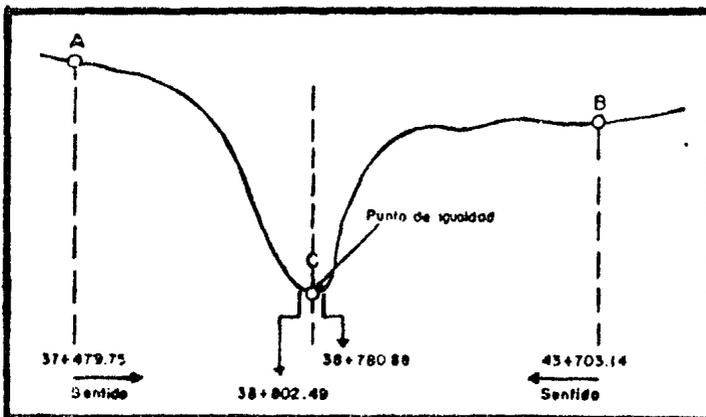


fig. 5.6.

El punto (C) tendrá un cadenamiento determinado si el punto de partida es (A) y otro si se inicia de (B), aunque su elevación será la misma viniendo de uno u otro punto. Si este caso lo analizamos en la planta del proyecto, tendremos algo semejante a la fig. 5.7.; donde se consideran curvas espirales (por presentarse TST). En caso de que las curvas fueran simples, se consideraría la ST.

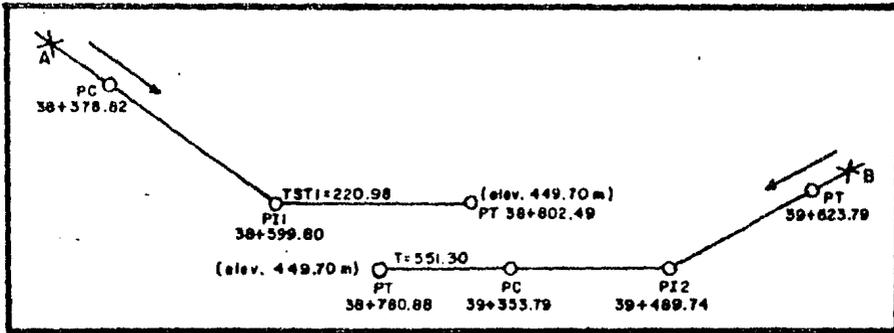


fig. 5.7.

Corresponden al punto (C), fig. 5.6, los cadenamientos de los PT mostrados: 38+802.49 viniendo de (A) y 38+780.88 viniendo de (B); a pesar que el cadenamiento sea diferente, la elevación tendrá que ser la misma en ambos sentidos; puesto que se trata del mismo punto. Sin embargo, se presenta el problema de definir la distancia entre PI1 y PI2, para fines del cálculo de coordenadas; la distancia que habrá de considerarse es:

- 1° Diferencia de cadenamientos de la igualdad:  
 $38+802.49 - 38+780.88 = 21.61 \text{ m} \dots (a)$
- 2° Tangente + (a):  
 $551.30 + 21.61 = 572.91 \text{ m} \dots (b)$
- 3° TST1 + TST2 + (b):  
 $220.98 + 135.95 + 572.91 = 929.84 \text{ m}$

esta distancia es la que se considerará para los fines del cálculo de coordenadas. Pero existe otra forma:

- 1° PC del PI2 - PT (viniendo de B):  
 $39+353.79 - 38+780.88 = 572.91 \text{ m} \dots (a)$

2° TST1 + TST2 + (a):

$$220.98 + 135.95 + 572.91 = 929.84 \text{ m}$$

Resultado similar al calculado anteriormente.

Evidentemente, los fines de este apartado fueron puramente ex plicativos y, por la sencillez de los cálculos realizados, no se pre sentará un programa para microcomputadora que lo resuleva. Sin embar go, con unas cuantas instrucciones, que compongan un programa por -- demás sencillo, se consigue que la máquina calcule todas las iguala da des que se deseen. Inclusive, se podría incorporar al programa de -- cálculo de coordenadas, como una subrutina del mismo, y así determi nar las igualdades directamente.

#### NIVELACIONES

Conforme se va avanzando en el trazo de la línea en el terreno, una brigada niveladora deberá ir determinando las elevaciones de los puntos importantes y estaciones con respecto a un plano general de - comparación (nivel del mar comunmente). Como se describió en el capí tulo III, los resultados de la nivelación serán utilizados en la con figuración, proyecto de perfil, proyecto de la subrasante, secciones transversales de construcción y curva masa. Evidentemente la impor-- tancia que reviste una adecuada nivelación es primordial, pues sus - resultados serán manejados a lo largo de casi todo el proyecto.

Como objetivo de este apartado, se pretende mostrar el procedi- miento de cálculo que se debe seguir para determinar las elevaciones de todos los puntos de la línea que sean necesarios y la correspon-- diente aplicación de la microcomputadora en este sentido. Asimismo, -- se describirá el trabajo de campo y algunos aspectos importantes inhe rentes a las nivelaciones.

Con el objetivo de contar con elementos de referencia y control para obtener las cotas de los puntos del terreno, se escogen o cons- truyen marcas fijas notables en lugares convenientes. Estos puntos - se denominan "bancos de nivel" y su cota es conocida en base a otros puntos ya nivelados o se les asigna una cualquiera según sea el caso.

Dentro de los procedimientos de nivelación (1), el utilizado en

(1) Topografía. Miguel Montes de Oca. RSI. Pág. 80

las vías terrestres es el conocido como "nivelación directa o topográfica". Se ejecuta con aparatos llamados "niveles" que pueden ser de dos tipos: fijos o topográficos y de mano. Como se ha visto en capítulos anteriores, el nivel de mano proporciona grandes ahorros de tiempo y trabajo al aplicarse en las labores de campo y por esta razón es el más utilizado en los trabajos que requieren poca aproximación, pero para los fines de la nivelación de la línea, que requiere mayor exactitud, se utiliza el nivel fijo. Con este aparato, el desnivel entre dos puntos se determina tomando lecturas en estadales colocados sobre dichos puntos y obteniendo la diferencia entre ellas (fig.5.8.):

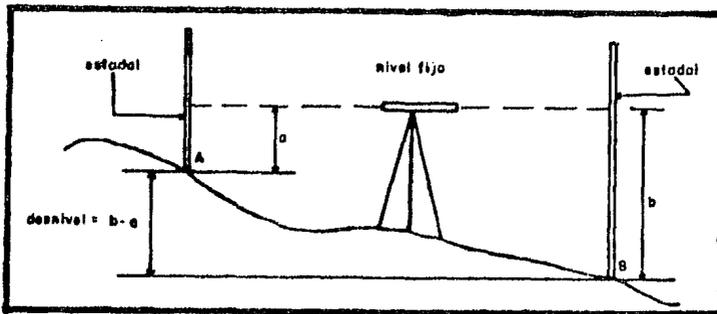


fig. 5.8.

Dentro de los procedimientos de nivelación directa, el método más utilizado en vías terrestres es el conocido como "nivelación de perfil". Este método tiene por objeto determinar las cotas de puntos a distancias sobre el trazo de la línea, para posteriormente obtener el perfil de dicho trazo. Los puntos que se mencionan son las estaciones (equidistantes 20 m) y puntos principales de la línea (PC, PT, PST, etc.).

Las nivelaciones entre el primero y el último punto de la línea, se van llevando por la ruta que mejor convenga, utilizando puntos intermedios llamados "puntos de liga" (PL) como referencia de las distintas posiciones del aparato (fig.5.9.):

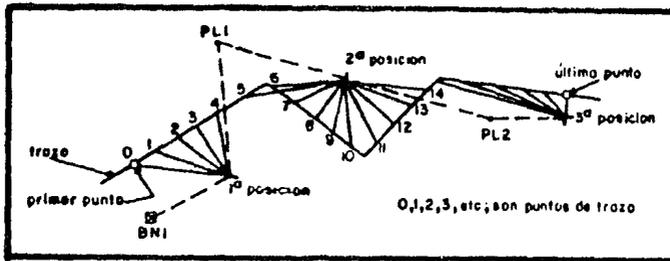


fig. 5.9.

Como se aprecia en esta figura, los puntos de liga se emplean-- para, refiriéndose a ellos, determinar las posiciones y cotas que irá tomando el aparato, siendo el primero de ellos un banco de nivel generalmente. Deberá colocarse el estadal en los diferentes puntos - de trazo y en él se irán determinando (desde una posición fija del - aparato) los valores de las diferentes lecturas. Los datos obtenidos en campo se vaciarán en una libreta, cuya configuración se muestra a continuación:

(1) Punto observado	(2) (+)	(3) Cota del Aparato	(4) Lecturas - (-) BN, PL	(5) Puntos (-)	(6) Cotas
BN1	2.950	52.950			50.000
0	↳ +50.000	↗	(-)	2.668	50.282
1			(-)	2.391	50.559
2			(-)	1.955	50.995
3			(-)	1.447	51.503
4			(-)	1.582	51.368
PL1	1.666	54.221	0.392		52.558
5	↳ +52.558	↗	(-)	0.590	53.634
6			(-)	0.591	53.633
7			(-)	0.912	53.312
8			(-)	1.235	52.989
.				.	.
.				.	.
.				.	.
PL2			3.699		50.525
.				.	.
.				.	.
.				.	.
	Σ + = 4.616		Σ - = 4.091		

En la primera columna se anotan los puntos que se observen desde la posición fija del aparato; el primero de los cuales, es un banco de nivel (BN1) con cota conocida (50.000). Colocando el estadal en el banco de nivel y/o en los puntos de liga, se obtiene el valor de la segunda columna considerada positiva. Con la cota conocida y el valor de la segunda columna, se obtiene la cota del aparato (tercera columna) al cual se le irán restando las lecturas obtenidas en el estadal al colocarlo en los puntos de trazo de la línea (columna 5); el resultado así obtenido es el valor de la cota del punto de trazo en cuestión (columna 6). Esta operación se repite hasta llegar a otro banco de nivel o punto de liga (PL1) anotando el valor de la lectura en la columna 4, que restándosele a la altura del aparato, se obtiene la cota correspondiente a dicho punto de liga o banco de nivel. En este momento se cambia de posición el aparato y se repite todo el procedimiento empezando del último punto de liga (PL1), con cota ya conocida (52.558).

En base a la tabla mostrada, se propondrá a continuación el programa BASIC para microcomputadora que calcula las cotas de los puntos de trazo de una vía terrestre, partiendo de los siguientes datos: lecturas en el estadal, cota del primer punto (banco de nivel) y cadenamiento de la línea. Con el objeto de hacer representativo este programa será aplicado a un problema de nivelación común.

```

1 REM NIVELACIONES. GUILLERMO MANCILLA URREA, MEXICO, 1984.
40 CL9: CLEAR 10000: DIM LP(50), CA(50), PL(50), BN(50), LE(50)
45 INPUT "NOMBRE DEL TRAMO": A$: PRINT "TRAMO": A$: PRINT
50 K=K+1: PRINT "APARATO EN": K-1: "A POSICION": IF K=1 THEN GOSUB 1000: GOSUB 1050: GOT 050
60 PRINT "CUANTAS ESTACIONES ENTRE BN O PL": K-1: "Y BN O PL": K: INPUT A: FOR X=1 TO A: PR
INT "LECTURA EN PUNTO DE TRAZO": X-1: INPUT LP(X): CA(X)=AA-LP(X): NEXT X
70 PRINT "LECTURA EN EL BN O PL": K: INPUT PL(X): CA(X)=AA-PL(X)
80 FOR Y=1 TO A: PRINT TAB(3)Y-1: TAB(41)LP(Y): TAB(50)CA(Y): NEXT Y
90 PRINT TAB(3)"PL": K: TAB(29)PL(Y): TAB(50)CA(Y): K=0: GOT 050
1000 PRINT "COTA DEL BN O PL DE ARRANQUE": K: INPUT EN(K): INPUT "LECTURA EN ESTADAL
PUESTO EN DICHO BN O PL": LE(K): AA=BN(K)+LE(K): RETURN
1050 PRINT " PUNTO (+) COTA LECTURAS PUNTOS COTAS": PRINT "OBSERV
ADO APARATO (-) BN Y PL (-)"
1060 PRINT TAB(3)"BN1": TAB(10)LE(K): TAB(18)AA: TAB(50)BN(K): RETURN

```

TRAMO DE PRUEBA DE PROGRAMA.					
PUNTO OBSERVADO	(+)	COTA APARATO	LECTURAS (-) BN Y PL	PUNTOS (-)	COTAS
BN1	.392	19.949			19.557
0				1.30	18.569
1				1.09	18.859
2				1.4	18.549
3				1.20	18.669
4				1.34	18.609
5				1.1	18.849
6				1.04	18.909
7				.85	19.099
8				.9	19.849
9				1.1	18.649
PL 2			1.156		18.793
PUNTO OBSERVADO	(+)	COTA APARATO	LECTURAS (-) BN Y PL	PUNTOS (-)	COTAS
BN1	2.265	21.058			18.793
0				2.37	18.688
1				2.39	18.668
2				3.37	17.688
3				2.67	18.388
4				2.71	18.348
5				2.75	18.308
6				.89	20.168
7				1.28	19.778
8				2.12	18.938
9				2.55	18.508
10				2.82	18.238
11				2.74	18.318
12				2.27	18.788
13				3.02	18.038
14				3.1	17.958
PL 2			3.06		17.998

Si bien existe una forma de comprobar los cálculos del registro, la nivelación únicamente puede comprobarse repitiendo el trabajo por un camino distinto al primero o contando con un banco de nivel en el último punto que compruebe la última cota obtenida. La forma aritmética de comprobar el registro, consiste en sumar todos los valores de la columna 2 ( $\Sigma +$ ), haciendo lo propio con los de la columna 4 ( $\Sigma -$ ) y cumpliendo con la siguiente condición.

$$(\Sigma (+)) - (\Sigma (-)) = \text{desnivel de BN1 ó PL1, a, BN2 ó PL2}$$

para el caso de la tabla utilizada como ejemplo:

$$4.616 - 4.091 = 50.525 - 50.000$$

$$0.525 = 0.525$$

y en el caso del ejemplo resuelto por el programa:

$$(0.392 + 2.265) - (1.156 + 3.060) = 17.998 - 19,557$$

$$- 1.559 = -1.559$$

Si el trabajo se llega a repetir por otro camino, para comprobar la nivelación, existe un error máximo permisible:

$$\text{Error máximo} = \pm 0.04 \sqrt{P}$$

donde:

P = número de kilómetros recorridos con la nivelación.

Error máximo = resulta en metros.

Teniendo las cotas de todos los puntos en el terreno y sus distancias, se puede dibujar el perfil del trazo, según se vió en el capítulo correspondiente.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo de este trabajo, se ha presentado la forma en que las microcomputadoras son aplicadas como auxiliares en los procedimientos de cálculo en los proyectos de Vías Terrestres.

Se describieron a grandes rasgos las características generales e importancia tanto de las Vías Terrestres como de las máquinas electrónicas, también llamadas computadoras.

Por un lado, hemos visto la enorme importancia que revisten las Vías Terrestres en el desarrollo de cualquier país. Esto ha originado que en la presente administración en México, se formulara un Programa Nacional de Comunicaciones y Transportes. En este programa, se plantean las estrategias que conducirán al fortalecimiento del Sistema de Transporte Terrestre Nacional, mediante la construcción, reconstrucción, modernización y mantenimiento de los sectores carretero y ferroviario y de esta manera coadyuvar al establecimiento de un adecuado Sistema Integral de Transporte, apoyado en los lineamientos -- asentados en el Plan Nacional de Desarrollo 1983-1988.

Dentro de los citados lineamientos, se contempla la reintegración en el largo plazo del transporte ferroviario a los intereses nacionales; ésto como consecuencia de la inconveniencia que existe en que dicho sector sea dominado, casi en su totalidad, por el autotransporte.

Ha quedado establecida la considerable interacción que se presenta entre el transporte terrestre y la ubicación, volumen y crecimiento de la actividad económica en México.

Así mismo, en razón de los importantes costos y beneficios que pueden derivarse de una adecuada política de transporte o decisión de inversión, es especialmente recomendable que la planificación de los transportes terrestres sea global y de largo alcance.

Por otro lado, el adelanto más notable en las últimas décadas - del siglo XX, ha sido sin duda la incorporación de las máquinas elec

trónicas a las actividades cotidianas de los seres humanos.

El desarrollo que han alcanzado estas máquinas, ha impactado en tal forma a la raza humana, que inclusive ha nacido en ella un cierto "temor" de llegarse a ver dominada algún día por las computadoras.

Sin embargo, presentamos las diferencias fundamentales que existen entre el cerebro humano y las computadoras y en base a éstas, -- concluimos que la aparente "dominación" del ser humano por las máquinas electrónicas, está lejos de poder ocurrir, puesto que los hombres tienen objetivos incorporados, como el hambre, evitar dolor, emociones y otros; pudiendo afrontar problemas generales, en tanto que las computadoras solo pueden manejar un número limitado de problemas y se deben reprogramar para resolver uno nuevo, lo que quiere decir que requieren de información "predigerida" y los que realizan esta tarea, son sus "creadores"... los propios hombres.

Particularmente, dentro del enorme campo de las computadoras, - existe un tipo de máquina que por su fácil manejo, bajo costo y poder para ser aplicada en problemas generales, ha quedado al alcance casi de cualquier persona; estas máquinas se denominan "microcomputadoras" debido a lo reducido de sus dimensiones.

Las microcomputadoras han penetrado en casi todos los campos de los profesionistas, incluyendo, desde luego, la Ingeniería. El uso de estas pequeñas máquinas, ha proporcionado al ingeniero un instrumento que le permite desarrollar precisamente su ingenio, en beneficio de la sociedad.

Pero desgraciadamente, la mayoría de los ingenieros han despreciado el potencial que las microcomputadoras tienen en la aplicación de casi todos sus trabajos, derivando su uso a técnicos "capacitados" para el manejo de las mismas.

Una recomendación predominante es que los ingenieros se conviertan un poco en programadores, combinando así el conocimiento de una ciencia con la forma técnica de desarrollarla, desplazando de esta -

manera, la técnica pura que carece de una base científica con la considerable calidad y eficiencia de los proyectos ingenieriles, que cada vez son más necesarios en países como el nuestro.

Con el objetivo principal de mostrar una aplicación práctica de la microcomputadora en el campo específico de la ingeniería civil, - se eligió el Estudio y Proyecto de Vías Terrestres, donde hemos limitado el uso de la máquina a problemas de cálculos matemáticos que reducen ampliamente el tiempo y trabajo requerido por un proyecto que se realice por los métodos tradicionales.

Es recomendable que los ingenieros penetren más en este campo - y descubran las aplicaciones de las máquinas electrónicas en etapas tales como diseño, construcción, administración, manejo de información y muchas más. Precisamente, los proyectos de Vías Terrestres, - engloban todas estas etapas e igualmente casi la totalidad de las ramas de la ingeniería civil, como: Estructuras, Geotecnia, Hidráulica, Construcción y Sistemas principalmente.

El ingeniero dedicado a cualquier rama de la ingeniería civil, - puede aplicar la microcomputadora en el sentido que más le convenga - y un campo general para lograrlo, es sin duda las Vías Terrestres.

Como objetivo secundario, se presentaron en forma sencilla y general, los trabajos de campo y gabinete necesarios en cualquier proyecto de Vías Terrestres y con ésto, proporcionar una ayuda a los -- profesionistas e ingenieros interesados en el tema, cuando se encuentran en problemas de este tipo.

Para los cálculos realizados, se presentaron tanto el procedimiento tradicional, como la comprobación del mismo por medio de programas BASIC procesados en microcomputadora, y de esta manera, se mostró lo sencillo que resulta elaborar dichos programas, así como su - alto poder de resolución, lo que deriva en grandes ahorros de tiempo y trabajo para los proyectistas de Vías Terrestres.

Con el fin de constatar la velocidad a la que trabajan las microcomputadoras, su exactitud y fácil manejo, recomendamos aplicar - los programas presentados en problemas específicos, así como la com--

plementación de los mismos para obtener una presentación de los resultados más completa y adecuada.

Si se cuenta con un poco de experiencia en programación, es recomendable que los diferentes programas presentados sean combinados unos con otros (utilizando subrutinas, por ejemplo) y en consecuencia, abarcar varios problemas en un solo programa.

En problemas de cálculos matemáticos, demostramos el enorme poder que tienen las microcomputadoras en cuanto a velocidad y precisión; sin embargo, los problemas de dibujo por lo general no son resueltos eficientemente por las impresoras comunes; debido ésto a que, por sus características técnicas de fabricación, son en su mayoría diseñadas para imprimir espacios medidos en pulgadas y no en centímetros.

En consecuencia de lo anterior, se obtienen dibujos aproximados a la escala 1:4 (por la razón de que 4 pulgadas son aproximadamente 10 centímetros) como los presentados en este documento.

Consideramos recomendable utilizar dichos dibujos para formarse un criterio general de lo que se está proyectando. El interesado podrá plantear sencillos programas para obtener los dibujos, que se omitieron en este trabajo por quedar fuera de nuestro objetivo fundamental: la matematización electrónica, encontrando una gran ayuda en problemas como: trazo de rasante, curvas verticales y horizontales, curva masa, perfil del terreno y en general, todas las actividades que requieren del dibujo.

A pesar de este inconveniente en las impresoras, y como consecuencia del mismo, los equipos periféricos de las microcomputadoras se han diversificado a gran escala, contando en la actualidad con digitalizadores y plotters que trazan planos con gran precisión y a escala conveniente.

Para el caso particular del equipo utilizado en el desarrollo de los métodos computarizados de este documento, se carece de dichos periféricos opcionales, pero existen otras marcas y modelos de máquinas que los contienen y que, inclusive, cuentan con diferentes colo-

res de plumas que trazan el perfil del terreno con tinta negra, el proyecto definitivo con roja y la topografía de la zona en sepia.

Aquí surge la recomendación de estudiar sobre estos equipos periféricos y aprender cómo se pueden simular proyectos en pantallas de video y, una vez aceptado, transmitirse al papel, obteniendo de esta manera proyectos y planos con un alto nivel de precisión en un tiempo y un costo considerablemente bajos.

Estos equipos, son susceptibles de manejarse por coordenadas, lo que permite trazar las secciones transversales de construcción, que es la tarea de dibujo que más tiempo requiere. Inclusive cuentan con programas de fábrica que directamente calculan el área de la figura (sección de construcción, curva masa, etc.) que se trace sobre el plano coordenado, lo que reduce aún más el tiempo de cálculo y con una mayor exactitud. Otra ventaja que presentan estos dispositivos, es la de poder trabajar en diferentes dimensiones de papel, alcanzando los 1.20 m x 1.60 m, que deriva en planos con las medidas que se deseen.

Con el objeto de evitar que el lector se llegue a ver en problemas de proyectos de Vías Terrestres, realizados por computadora, que no satisfagan sus necesidades al aplicar dichas máquinas, recomendamos, y creemos conveniente, leer la historia que las computadoras tienen en su aplicación específica en las Vías Terrestres.

Fue aproximadamente hace 22 años (1962), cuando las máquinas electrónicas empezaron a ser aplicadas en el campo de las Vías Terrestres. Aunque en estas fechas aún no "nacían" las microcomputadoras, el proyecto era realizado por el método "aerofotogramétrico-electrónico" mediante fotografías aéreas y grandes computadoras de marca IBM de la entonces llamada Secretaría de Obras Públicas (SOP). Con este método, se lograba avanzar el proyecto hasta el cálculo de la curva masa; sin embargo, el objetivo primordial que revestía el uso de las computadoras, no se estaba cumpliendo satisfactoriamente, puesto que si bien reducían el tiempo y trabajo de los métodos tradicionales, los ingenieros proyectistas buscaban, insistentemente, una cierta "perfección" del proyecto, esto conducía a que se repitieran

varias veces los trabajos en computadoras, alterando las especificaciones del proyecto, hasta obtener los resultados que satisficieran las necesidades del proyectista (modificaciones en los radios de las curvas, pendientes, compensadoras, trazo, etc.). En consecuencia, el tiempo total que consumía un proyecto realizado con computadoras, -- era muy similar al requerido por los métodos tradicionales y los resultados "perfectos" no presentaban grandes ventajas ni diferencias; además, el costo del trabajo aerofotogramétrico, combinado con el -- correspondiente al tiempo de máquina que resultaba al finalizar el proyecto, no representaba importantes ahorros de dinero. Por las razones explicadas, las computadoras perdieron aplicación en el proyecto de las Vías Terrestres, en consecuencia de la pérdida de interés en las "ventajas" del método.

No obstante, 22 años después (1984), al presentarse los enormes avances de la electrónica y las técnicas matemáticas, el proyecto de Vías Terrestres realizado en máquinas electrónicas, está renaciendo. Actualmente se está aplicando el sistema CAD/CAM para el proyecto de ferrocarriles y caminos, aunque en etapa experimental. Con modernas máquinas y dispositivos periféricos, se está logrando proyectar las Vías Terrestres con la "perfección" que hace 22 años resultaba anti-económica y lenta. Por medio de pantallas de video, digitalizadores, impresoras y accesorios adicionales, se consigue ensayar varias opciones de especificaciones para el proyecto, obteniendo resultados inmediatos y sin la necesidad de consumir tiempo de máquina, esto -- aunado a las técnicas matemáticas (como la aplicación de la "Teoría del Transporte" en la curva masa, donde el producto a trasladar es el material extraído de un corte y su destino el lugar donde se -- construirá un terraplén) ha logrado superar los inconvenientes de antaño, obteniendo proyectos rápidos, con gran precisión y a un costo-tolerable.

Concluimos que actualmente, se está realizando el proyecto de Vías Terrestres en minicomputadoras, pero no es difícil imaginar que a la vuelta de algunos años, las microcomputadoras contarán con las características necesarias para elaborar un proyecto totalmente, aun que en la actualidad, únicamente sirve como un auxiliar. La definitiva incorporación de las microcomputadoras en el campo de las Vías --

Terrestres, llegará cuando los elementos integrantes de los sistemas de cómputo y las técnicas matemáticas alcancen un desarrollo tal, -- que el trabajo resultará "poco" para una minicomputadora, derivando éste, necesariamente, a las microcomputadoras.

Actualmente, no siempre es conveniente adquirir un equipo de microcomputación como auxiliar en los trabajos de Vías Terrestres; de hecho, hay ciertos problemas que deben ser evaluados antes de decidir se a adquirir estas máquinas, como el volúmen de trabajo y personal-capacitado.

Se deberá realizar un estudio económico de estas variantes y es tablecer la factibilidad de inversión en una máquina, considerando - las ventajas que se pretenden obtener de ella y así evitar, ya reali zado el gasto correspondiente, su posible éxodo de la empresa con la irremediable pérdida de una gran herramienta de trabajo de indiscuti ble utilidad para los profesionistas dedicados al proyecto de Vías - Terrestres, los ingenieros civiles.

Finalmente, es recomendable que el ingeniero civil decidido a - trabajar con microcomputadoras, no limite su utilización a un caso - específico (cálculo, por ejemplo) pues de esta manera, pocas veces - resultará rentable la máquina; debe, entonces, abarcar todos los cam pos de aplicación de las máquinas: diseño, administración, construc ción, proyecto, inventarios y muchísimas otras, manteniendo así a su servicio, a un "empleado" que le puede ser de gran ayuda para afron-- tar problemas por demás diversos en su profesión, con un considera-- ble ahorro de tiempo y dinero que, sin más, son siempre los principa les enemigos a vencer por el ingeniero civil mexicano.

## BIBLIOGRAFIA

J. Rose. La Revolución Cibernética. México; Fondo de Cultura Económica, 1974.

Ferrocarriles Nacionales de México. Situación Actual y Perspectivas de Desarrollo a Corto, Mediano y Largo Plazos de la Industria de Equipo -- Ferroviario. México. 1980.

Caso Andrés. Las comunicaciones de México (1910-1960). México.

Nacional Financiera. El Mercado de Valores. Plan Nacional de Desarrollo (Suplemento) 1983-1988. México 1983.

Banco Mundial. Transportes. México 1972.

Francisco M. Togno. Ferrocarriles. México. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. 1976.

Edward Krick. Fundamentos de Ingeniería; Métodos, Conceptos y Resultados. México. LIMUSA 1979.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Revista mensual de Información Científica y Tecnológica. José de la Herrán. Progresos y Aplicaciones de la computación. La Cibernética y la Computación en el Diseño. -- México, Octubre 1983. Vol.5, Núm. 85, Pág. 8.

Informática. Enciclopedia Práctica de la Informática, Tomo I, Editorial Nueva Lente e Ingelek; España 1984.

BASIC. Enciclopedia de la Informática. Miniordenadores y ordenadores -- personales, Tomo I, Editorial Planeta y Origen. México 1984.

Level II BASIC Reference Manual. TRS-80 Micro computer system. Radio -- Shack a division of Tandy Corporation; USA 1978.

Primer Seminario Nacional de Ferrocarriles del 5 al 11 de febrero de -- 1967 (Memoria). Comisión Nacional Mexicana de la asociación del congreso panamericano de ferrocarriles. México 1967.

Byron S. Gottfried. Programación BASIC, teoría y problemas. México. Serie de compendios Schaum, Mc Graw-Hill. 1976.

Rodolfo Luthe G. Manual de BASIC. México; LIMUSA 1977.

Contreras García José. Vías Terrestres. Cátedra de. Ing. M. Salazar y Arce.

Montes de Oca Miguel. Topografía. México; Representaciones y Servicios - de Ingeniería, 1969.

Moguel Sarmiento Bernardo. Apuntes de vías terrestres. México. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, 1966.

SOP. Dirección General de Vías Férreas. Departamento de proyectos y construcción. Oficina de Proyectos. Tablas para el cálculo de curvas espirales.

Thomas F. Hickerson. Highway Surveying and Planning. New York and London. Mc Graw-Hill book company, Inc. 1926.

Chávez Aurelio. Curvas verticales parabólicas en los ferrocarriles. SOP. - Dirección General de Proyectos y Laboratorios. Depto. de vías terrestres- y aereopistas. Oficina de ferrocarriles. Copia fiel de la tabla 154.3.26- de los FF.CC. Nacionales de México. México 1962.

Cal y Mayor Rafael. Ingeniería de Tránsito. México. Representaciones y -- Servicios de Ingeniería, S.A. y Asociación Mexicana de Caminos, A.C., tercera edición 1972.

Radelat Egües Guido. Manual de Ingeniería de Tránsito. Buenos Aires, Argentina. Editorial The Reuben H. Donnelly Corporation 1964.

Nava Muro Jesús. Apuntes del Curso de Vías Terrestres 1956. Edición sin - revisar.

J.C. Nagle. A Field Manual for Railroad Engineers. New York. John Wiley & Sons, Inc. London Chapman & Hall, Limited. Third edition. 1917.

Memoria de cálculo de la vía férrea México-Veracruz; tramo Paso del Macho- Potrero, Ver. De km 343+703.14 a km 335+831.40. abril de 1980.

Nacional Financiera. El Mercado de Valores. Programa de Comunicaciones y Transportes 1984-1988. México, Núm. 34. Agosto 20 de 1984.