

10  
2ej.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ACATLAN"

PLANEACION Y PROYECTO GEOMETRICO  
DE LA VIA FERREA EN EL SISTEMA  
MEXICANO (VIA CUERNAVACA-CUAUTLA,  
TRAMO NEPOPUALCO - SAN JUAN  
TLACOTENCO)

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
JACOBO GARCIA JIMENEZ

México, D. F.

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## INDICE

- INTRODUCCION.....	1
<b>- CAPITULO 1: ANTECEDENTES</b>	
* 1.1. Via México-Cuernavaca.....	4
* 1.2. Ruta actual.....	4
* 1.3. Problemática.....	5
* 1.4. Soluciones a corto plazo.....	7
* 1.5. Solución a largo plazo.....	8
<b>- CAPITULO 2: SELECCION DE RUTA</b>	
* 2.1. Condiciones geométricas.....	10
* 2.2. Alternativas de solución.....	16
* 2.3. Perfiles Deducidos.....	23
* 2.4. Reconocimiento en campo.....	26
* 2.5. Evaluación.....	31
<b>- CAPITULO 3: ANTEPROYECTO</b>	
* 3.1. Restitución Fotogramétrica.....	35
* 3.2. Trazo Preliminar.....	38
* 3.3. Matematización de trazo.....	41
* 3.4. Reconocimiento topográfico del lugar.....	48
* 3.5. Preparación del proyecto.....	52
<b>- CAPITULO 4: PROYECTO DEFINITIVO</b>	
* 4.1. Matematización del trazo definitivo.....	55
* 4.2. Calculo de curvas horizontales y verticales.....	64
* 4.3. Trazo definitivo en campo.....	91
* 4.4. Levantamiento del perfil definitivo.....	94
* 4.5. Curva masa.....	102
<b>- CAPITULO 5: COSTOS</b>	
* 5.1. Terracerías.....	115
* 5.2. Obras de Drenaje.....	118
* 5.3. Sub-balasto.....	120
* 5.4. Caminos de acceso.....	121
* 5.5. Pasos Superiores y Pasos Inferiores.....	123
* 5.6. Puentes.....	124
* 5.7. Túneles.....	127

* 5.8. Obras de Mitigación de impacto ambiental.....	130
* 5.9. Evaluación.....	132
- CONCLUSIONES.....	139
- ANEXOS.....	142
- BIBLIOGRAFIA.....	165



(FIG. 1.1)

## INTRODUCCION

Vivimos en un mundo en el que las exigencias del transporte se han hecho apremiantes como causa y al mismo tiempo, efecto de los procesos de desarrollo económico, de las necesidades y valores sociales.

El desarrollo económico, requiere productividades a su vez crecientes y altos niveles de consumo satisfactorio; ello exige de un sistema de transporte eficaz que permita la accesibilidad desde los lugares de producción hasta los de consumo. Esto hace posible, tanto en el caso de los consumos intermedios, como el de los finales, la especialización de cada área o zona territorial, según sus diferentes potencialidades.

Dentro de los medios existentes, el transporte por rieles, está adquiriendo gran importancia; de hecho, se perfila como el principal medio de transporte de carga, debido al crecimiento sustancial de la población y del producto nacional bruto.

Tiene muchos problemas el ferrocarril y no escasos inconvenientes, tales como: costos de estructura, rapidez, explotación, inadaptación a deseos personales, etc. Pero también ofrece hoy, soluciones ventajosas a varios de los problemas más graves, que no pueden ofrecer de igual manera otros medios. A manera de ejemplo, cabe mencionar solo algunos:

- Mayor capacidad de transporte en puntas.
- Posibilidad real de llegar los centros de las ciudades en acceso directo no interrumpido.
- Conexión en las estaciones con las redes de transporte interno en la ciudad, para la dispersión y su acceso.
- Escasa ocupación del suelo urbano.
- Transporte de mercancía pesada.
- Transporte a menor costo energético.
- Transporte que no deteriora el medio ambiente.
- Transporte directo entre regiones.
- Escasos accidentes en relación a otros medios, que ocasionan pocos muertos y heridos.

( Merrit, S. F., 1986)

El desarrollo económico de un país como el nuestro, acentúa la necesidad de incrementar los medios que favorezcan el transporte, entre los cuales, aparece el ferrocarril como una de las mejores alternativas.

Esto obliga necesariamente a un incremento en la capacidad de la red ferroviaria de nuestro país; lo que requiere del conocimiento de los elementos necesarios para la planeación, construcción y mantenimiento de la vía y sus instalaciones. De ahí la importancia de proporcionar, a quienes dedican profesionalmente su esfuerzo al desarrollo y planeación de los proyectos ferroviarios, los instrumentos de formación técnica que puedan facilitar y perfeccionar su trabajo.

El transporte sobre rieles en México, ha frenado su desarrollo a través de la historia debido a múltiples factores, entre los que destacan: los geográficos, económicos y sociales; atacando la Ingeniería Civil de manera coordinada el primero de estos aspectos.

El territorio nacional es tan extenso, que nos permite observar una gran variedad de climas y tipos de suelo, así como una compleja orografía. En este sentido, esto ha constituido el primer tropiezo para el abatimiento de tiempos; resultado de un tren más rápido, ya que dicha orografía trae en consecuencia, fuertes pendientes y excesos de curvas en la línea de trazo.

Es fácil deducir, que la rentabilidad de cualquier medio de transporte, depende de los gastos de consumo de energía y mantenimiento por una parte y del abatimiento de tiempo, entre dos puntos por comunicar con la máxima seguridad, por la otra.

La primera condición, es cumplida ampliamente por el ferrocarril; sin embargo, la segunda ha encontrado las ya mencionadas dificultades geográficas, por lo que se han tenido que mejorar y establecer métodos para el desarrollo de proyectos, que optimicen los tiempos de recorrido.

Sería difícil tratar de exponer y justificar, cada uno de los tramos de los libramientos que componen la red ferroviaria en nuestro país, debido a que la ubicación del 70% de la vía fue trazada durante las primeras décadas de nuestro siglo, como satisfactor de las necesidades y con las técnicas de aquel tiempo.

En este trabajo se presentará, analizará, calculará y justificará (en su caso), el proyecto para trazo y construcción de un nuevo libramiento, el que comprende la unión de la vía México-Cuernavaca con la vía México-Cuatla, entre los puntos de Nepopualco-Santa Cruz Atoyac.

La elaboración de un proyecto de vía férrea, requiere de la aplicación coordinada de diferentes áreas de la Ingeniería Civil. El desarrollo del proyecto aquí estudiado, es una clara muestra del estudio y aplicación de las técnicas modernas en las diversas áreas, para la solución de un problema de comunicación actual.

Cabe mencionar, que en el momento en que se elabora el presente trabajo, dicho libramiento se encuentra en la etapa de trazo preliminar.

De esta manera, el presente dotará de los elementos necesarios a los profesionales dedicados al diseño, planeación y desarrollo de la vía, para la adecuación de otros trabajos a las técnicas y especificaciones del sistema ferroviario mexicano.

Este libramiento, es uno de los primeros en la política de desarrollo y expansión de nuestro sistema ferroviario.

Sea pues, el análisis de este, fundamento para los profesionales en esta materia, ayudando con esto, al crecimiento económico de nuestro país.

## CAPITULO 1 ANTECEDENTES

### *1.1. Vía México-Cuernavaca .*

Hoy en día, una de las líneas férreas que reviste una considerable importancia en el sistema, corre entre las ciudades de Cuernavaca y México; debido a que ofrece el servicio de carga a las diferentes industrias, ubicadas no solo en estas dos ciudades, sino que también es paso necesario a todo el transporte de carga entre el estado de Guerrero y la Ciudad de México.

Esto se debe a que la conexión de carga transportada en todo el estado de Guerrero a través de otros medios, hace punto de enlace en la ciudad de Iguala, con el fin de poder llegar a la Ciudad de México en grandes volúmenes.

Esta vía es a su vez, es una prolongación de la México-Cuernavaca, como se puede observar en la figura (1.1).

Esta ruta fue trazada y construida a fines del siglo pasado y reconstruida en 1918, por los estragos de la revolución mexicana. (Urias, B. 1987).

Esta conservación se ha venido realizando desde entonces, debido a que existe una fuerte afluencia de cargueros en los estados de Guerrero, Morelos y México, sin que a la fecha se hubiese tenido la necesidad de modificar la ruta. Esto representa aproximadamente el 70% de la carga de productos azucareros del país (Series estadísticas, F.N.M.,1990).

Dicho sea de paso, esta ruta también ofrece el servicio de transporte de pasajeros, sin embargo, sus altos gastos de operación en comparación con las bajas tarifas al usuario, hacen de este, un servicio poco rentable, ofreciéndose solo como un servicio social.

### *1.2. Ruta actual.*

Actualmente, la vía México-Cuernavaca cuenta con una longitud de 119.6 kms entre ciudad y ciudad, de los cuales, 88.9 kms atraviesan el

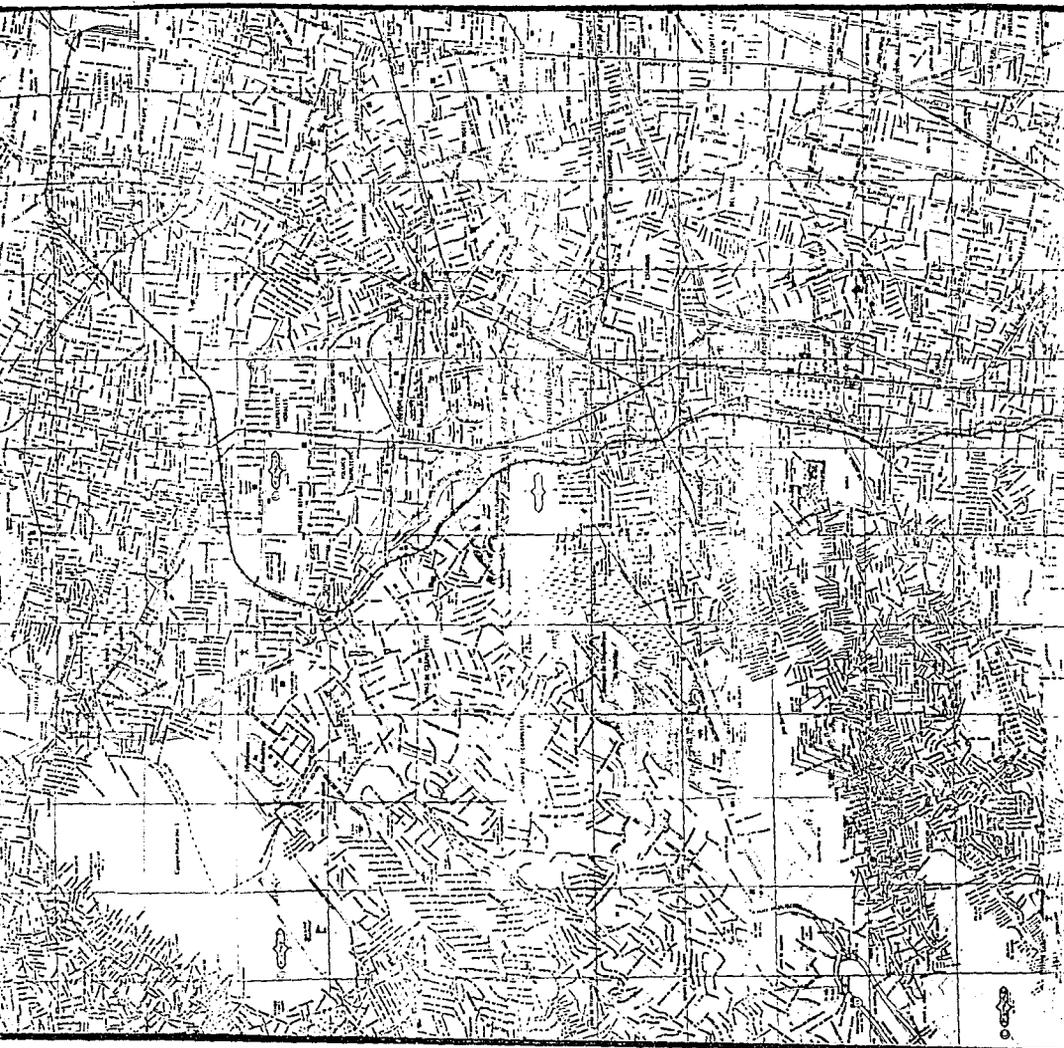
estado de Morelos, tocando como se puede apreciar en la figura (1.2), poblaciones de baja densidad, como: Ramón, Alarcón, Tres cumbres, El parque, Tezoyo, Toro, Cima, Parres y el cerro del Ajusco; y 30.7 kms atraviesan el Distrito Federal, que ya de por sí es la zona con mayor densidad poblacional de la República, ocasionando con esto, el cruce de la vía con un gran número de vialidades de gran importancia, como son, de sur a norte: Av. San Jeronimo, San Bernabe, Manuelito, Av. Toluca, Desierto de los Leones, Romulo O'Farril, Calz. de los Leones, Las Aguilas, Av. López Mateos, Barranca del Muerto, cerrada Tinoco, lateral de Periferico, lateral de Lopez Mateos Cellini, Largoullere-Girardon, Callot Jouvenet, Rio Becerra, Felipe Angeles, Canario, Prol. Tordo, Javier Gonzalez Belen, Av. López, Jose B. Cueto, Jose Ceballos, La Tapatia, Alancastre, Paseo de la Reforma, Palmas-F.C.Cuernavaca, Pdte. Masaryk, Esopo, Horacio, Homero, Ejército Nacional, Miguel de Cervantes S., Lago Zurich, Moliere, Rio San Joaquin, Lago Mask, Mariano Escobedo, Marina Nal., Carrillo Puerto, Calz. Mexico-Tacuba, Mar Mediterraneo, Los Gallos y Calz. Camarones.

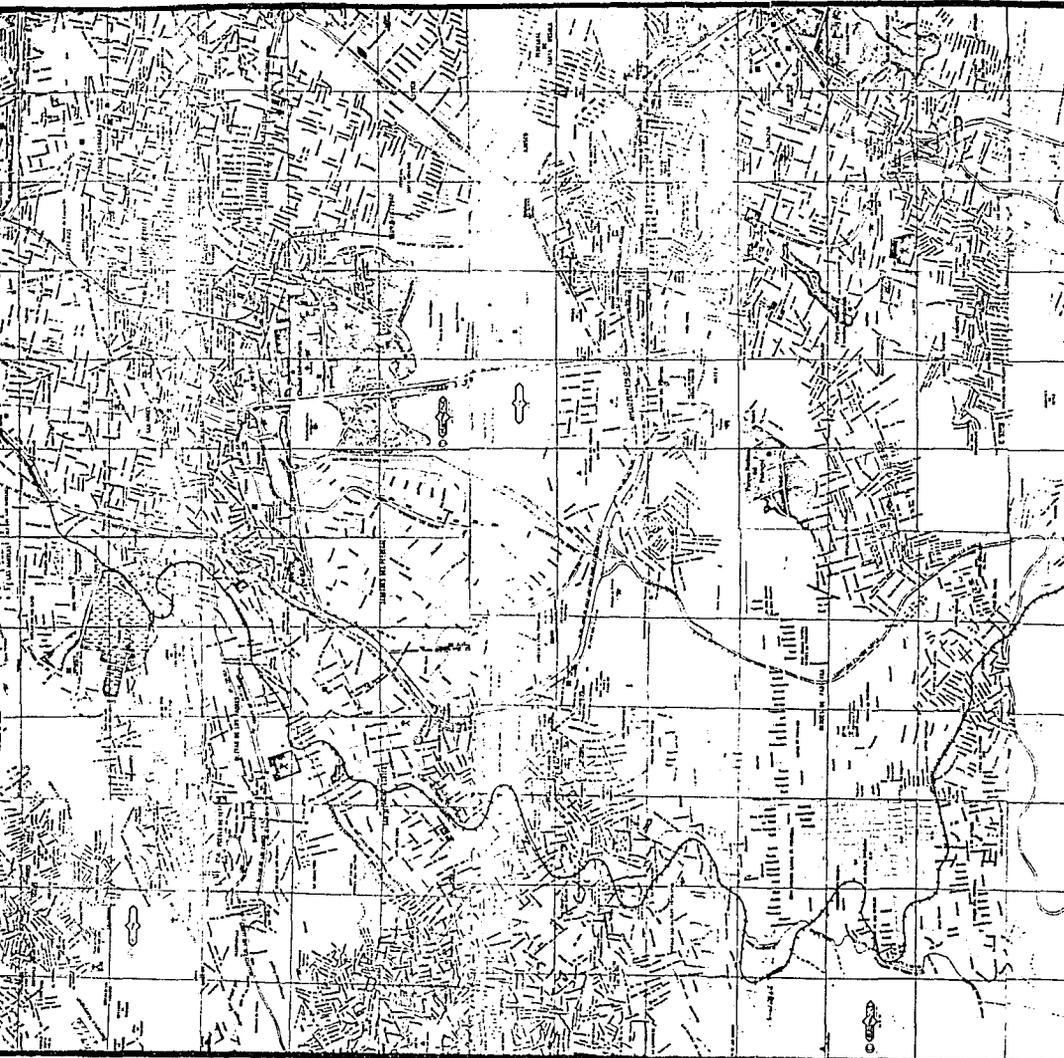
En total, 43 cruces vehiculares de gran importancia. De hecho, es la ruta ferroviaria con mayor longitud, a través del Distrito Federal, como se puede apreciar en la figura (1.3).

### *1.3. Problemática .*

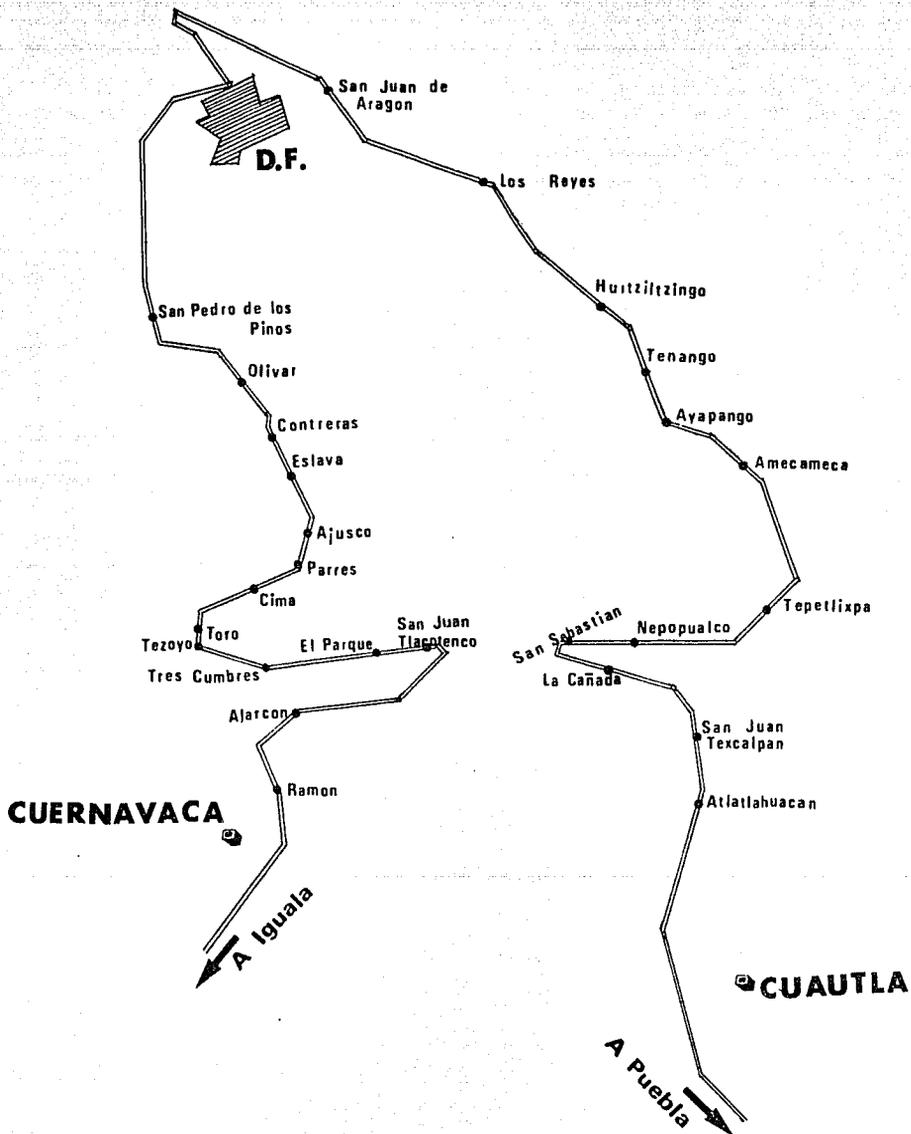
Cuando a finales del siglo pasado, la vía México-Cuernavaca fue trazada, esta entraba a la Ciudad (como la actual), por el sur de la capital, bordeando el cerro del Ajusco y corriendo por el lado oriente, tratando de esta manera, de circundar la zona de mayor densidad poblacional e importancia de aquel tiempo, la antigua Ciudad de Mexico. Sin que esto afectara sus vialidades, ya que sus límites estaban comprendidos por lo que ahora se conoce como el bosque de Chapultepec, las colonias Cuahutemos y San Rafael al oriente; Buenavista y Guerrero al norte, Centro y la Candelaria al poniente y la Roma y Obrera al sur.

Sin embargo, y como sucede en la mayoría de los problemas de vialidad de las grandes ciudades, no se tenía entonces idea del desmesurado crecimiento demográfico de la ciudad capital. Esto ha ocasionado hasta nuestros días, que la mancha urbana no solo alcance el derecho de vía de la









(FIG. 1.3)

aquí tratada, sino que la envuelva por completo, a través de sus casi 38 kms de longitud a través de la ciudad, hasta la estación de Contreras.

Cabe definir, el concepto de derecho de vía, como la franja de terreno que corre paralela a las vías del ferrocarril con un ancho de 20 m por ambos lados del riel. Este derecho de vía, esta reservado para la operación del tren, por lo que no debe ser invadido por seguridad de las personas ajenas a dicha operación (Merrit, S. F.,1986)

Retomando los graves problemas que ocasiona el desmedido crecimiento ya citado, se pueden clasificar a estos dentro de dos aspectos fundamentales: el aspecto económico y el social.

Ambos aspectos, son originados en su mayor parte por la invasión del derecho de vía de asentamientos irregulares y el cruce de la misma con las vialidades.

Dado que los terrenos que constituyen el derecho de vía son propiedad federal, el Departamento del Distrito Federal, no considera estos espacios como zonas habitables y por ende, tampoco susceptibles de urbanización, provocando con ello un grave problema social.

Estas invasiones poblacionales, obligan además, a una disminución en la velocidad de los trenes, trayendo como consecuencia, una elevación en los costos de operacion. Pero por otra parte y tal vez el mas grave problema, desde el punto de vista económico, es el que se origina con esta baja velocidad en los cruces con avenidas de alto tránsito vehicular.

Considerando que los trenes que transitan por esta vía, generalmente están compuestos por un número promedio de 40 carros, dependiendo de la época del año (630 m de longitud de tren, incluyendo las locomotoras) y que la velocidad con la que transitan en la ciudad en zonas de crucero, fluctúa entre los 20 y 30 kms/hr, se llega a la conclusión real, de que por este concepto aunado a los movimiento operacionales de cambio de vía o formación de trenes, el tráfico de automóviles se detiene totalmente entre 5 y 210 min. y en ocasiones más, cuando se tienen problemas de operación.

Si este tiempo se tradujera en horas/hombre de trabajo por la cantidad de ciudadanos involucrados en el embotellamiento, representaria esto, una considerable pérdida económica en la producción.

Regresando al punto de vista social, el cruce de la vía con avenidas de alto tránsito vehicular, trae como consecuencia, un gran número de

accidentes originados principalmente, por la mala educación vial de la población. Esto aunado a la ya mencionada invasión del derecho de vía, ha traído como resultado en los últimos años, accidentes de graves consecuencias e incluso algunos de ellos, con pérdida de vidas humanas.

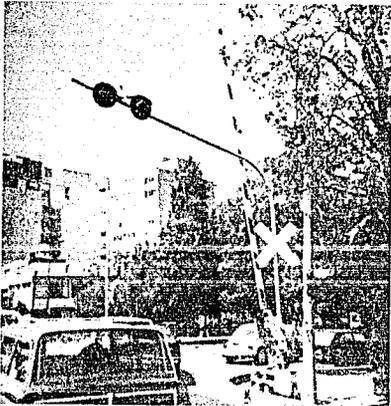
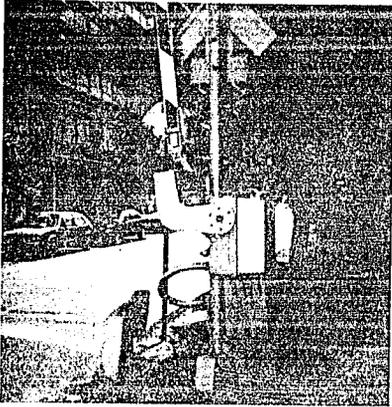
#### *1.4. Soluciones a corto plazo.*

El tratar de solucionar el problema de vialidad por la ruta más rápida, ha obligado a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en coordinación con Ferrocarriles Nacionales de México y la Secretaría de Protección y Vialidad del Departamento del Distrito Federal, a implementar una serie de dispositivos electro-luminosos y electro-mecánicos, como sistemas de guardavías en los cruces de la vía con avenidas transitadas.

La prevención de accidentes, en los cruces de la vía México-Cuernavaca, con las avenidas que se mencionan en el apartado (1.2.) y que aparecen en la figura (1.3.), ha traído como consecuencia, el empleo de guardavías electro-mecánicos como el que aparece en la figura (1.4.), el cual prohíbe estrictamente el paso de cualquier vehículo a través de la vía en el momento del cruce de un tren, a una distancia mínima de 50m, lo que se considera seguro para el conductor.

Estos guardavías electro-mecánicos, están provistos de un brazo metálico, cuya longitud varía de acuerdo al ancho de la avenida por proteger y que generalmente se encuentra en posición vertical. En el momento en que un tren se aproxima, este acciona un reelevador, localizado en la vía a 50 m de distancia con el cruce, lo cual ocasiona que dicho brazo metálico, descienda hasta una posición horizontal.

Sin embargo, nuevamente la mala educación vial de nuestra población, hace que esta solución resulte un tanto provisional, además de que esto no resuelve el problema económico originado por las bajas velocidades; por lo que esta se considera una solución parcial, en tanto se realiza la más adecuada a largo plazo.



( FIG.14. )

### 1.5. Solución a largo plazo.

Ante esta problemática, el D. D. F. planteo a la S.C.T. una solución a largo plazo, la cual considera la cancelación de esta vía.

Después de estudiar lo conveniente para clausurar de manera definitiva este tramo, la S.C.T. en coordinación con los F.N.M., se llegó a la conclusión de que el servicio ferroviario a las ciudades de Cuernavaca e Iguala, se proporcionara mediante la vía férrea del sur, división de Puebla; para lo cual se hace necesaria la construcción de un nuevo libramiento que unirá a esta vía con la México-Cuautla.

En atención directa a dicha propuesta y conscientes del alto riesgo que implica esta vía, F.N.M. estudio varias alternativas de ruta, a fin de poder conectar la vía México-Cuernavaca con la vía México-Cuautla.

Las razones por las cuales, se escogió la vía México-Cuautla, para dicho enlace resultan obvias, ya que además de ser casi paralelas entre si, esta última entra a la ciudad de México, bordeando los límites de la zona poniente del D.F. como se muestra en la figura (1.1), afectando vialidades de poco tránsito.

Se analizarán con mayor detalle en el siguiente capítulo, los aspectos de más importancia en el estudio de las diferentes alternativas. Dichos aspectos son:

- "\* Uso del suelo: se debe afectar lo menos posible a zonas habitacionales, de riego o de bosque.
- \* Desarrollos urbanos actuales y de proyecto: el trazo de la vía no deberá atravesar, zonas proyectadas para el desarrollo urbano, con el fin de evitar las consecuencias ya sufridas.
- \* Ecología: se debe procurar dejar inerte el habitat a través del cual se tiende la vía, a fin de preservar el medio ambiente en su estado mas natural posible.
- \* Topografía: buscar la ruta que nos ofrezca menos variaciones y accidentes del terreno para ajustarse a pendientes ligeras y curvas no tan cerradas."

(Oliveros, R. F., 1980)

Además de los anteriores, se efectuó una evaluación de tipo económico, resultado del menor costo de operación que representa la ruta con menor longitud de vía.

## CAPITULO 2 SELECCION DE RUTA

El éxito de cualquier proyecto ferroviario, donde la región genera gran tráfico de carga y pasaje por largos recorridos y además es factible emplear el tren más económico, se obtiene a través de suministrar los elementos geométricos que permitan establecer una vía que facilite la operación de trenes a su máxima velocidad, logrado a través de la utilización de reducidos gastos de operación y el mínimo de patios y terminales intermedias, para el tráfico de carros cargados a su máxima capacidad. (M. Togno F., 1982)

En lo que se refiere a la reducción de gastos de operación, esto se logra reduciendo distancias y pendientes a su mínimo. Esto resulta lógico, si se recuerda por un lado, que cuanto más grande es la pendiente, mayor la inclinación del terreno y esfuerzo para la máquina; y por el otro, que la distancia mínima entre dos puntos, es la descrita por una línea recta, por lo que se deberán procurar curvas en el trazo, cuyo grado de curvatura sea el menor posible, conceptos que se explicaran a continuación.

### *2.1. Condiciones geométricas.*

Dentro del criterio del óptimo operacional, como se mencionó anteriormente, se considera recomendable que:

- La vía férrea de cualquier proyecto use el mayor porcentaje de líneas rectas con respecto de la longitud total, ligadas con curvas del mayor radio posible.
- Las pendientes sean lo menos inclinadas posible y su aplicación sea en tramos de gran longitud.
- El cambio de pendientes se limite a lo indispensable entre dos puntos obligados, cualquiera que sea el desnivel entre las terminales.
- La suma de las deflexiones del trazo se reduzcan al mínimo.
- Las espirales sirvan para la transición del riel sobre elevado exterior de la curva sin producir desconfort.
- Las parábolas de enlace de las pendientes permitan esfuerzos tolerables a los trenes, además de una buena visibilidad. (Oliveros, R.F., 1980)

El trazo de línea férrea emplea líneas rectas, curvas simples, compuestas y espirales; en tanto que el perfil del eje de vía, está constituido por varias líneas rectas (con diversas pendientes), unidas por curvas parabólicas.

Anterior al cálculo y trazo de la línea de proyecto, deberá definirse la pendiente máxima y el mayor grado de curvatura, anterior inclusive a la localización.

Es deseable, como ya se menciona, que ambos se mantengan en un mínimo, siempre y cuando esto no incremente el costo y tiempo de construcción al requerir de un excesivo desarrollo de obras como puentes, túneles o grandes cortes y terraplenes. Es así, que la pendiente máxima y grado de curvatura, son lo que se constituye como las condiciones geométricas del proyecto.

### *2.1.1. Pendiente*

La pendiente se expresa como la razón de la elevación del terreno sobre la distancia en la cual se traza dicha elevación, medida en porcentaje (una pendiente del 1% eleva 1 m por cada 100 m recorridos).

Aunque el tráfico sea moderado, el costo operacional del tren en vías con pendiente muy pronunciada es muy alto, lo que en la actualidad los limita a pendientes en cuyo caso extremo tengan un valor del 3%, compensado en largos tramos; como consecuencia de los resultados que sobre la experiencia se han obtenido y que aparecen en la figura (2.1.).

Se recordara, que la pendiente más económica es aquella que se apega al terreno natural, por lo que se evitara tanto los grandes desarrollos para conseguir una pendiente muy suave, como los muy pronunciados.

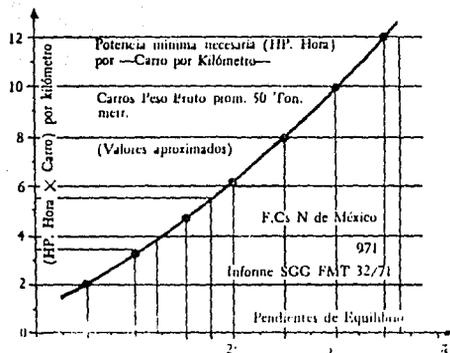
De acuerdo con el Ing. Francisco M. Togno en su libro "Ferrocarriles" (1982), una mayor pendiente significa costos elevados de operación y conservación y un crecimiento impredecible del tráfico, es decir, tanto en el número de trenes como en el número de máquinas ayudadoras. Esto ocasionaría, la saturación de la vía, precisando la construcción de otra línea o entregar la carga a otro transporte.

" Observando la gráfica de costos de la figura (2.1.), se deduce que para el 3% de pendiente comparado con el 1% , la relación entre pendientes es 3,

Tabla de Velocidades Equilibrio (subida y descenso) para diversas Pdtes.

Valores calculados para Loc de (2 Unid.) Total 3600 HP  
 Veloc. min. cont. = 25 Kph; veloc máximo = 65 Kph

Pendiente %	Veloc. Equilibrio		P %	V. Eq. (Kph)		P %	V. Eq. (Kph)		P %	V. Eq. (Kph)	
	Sube	Baja		+	-		Sube	Baja		+	-
1%	25 Kph	50	1.50	25	50	2%	25	40	3%	25	20
0.50	40	60	1.25	32	50	1.50	33	50	2.50	28	30
0.30	50	65	1.00	35	50	1.00	43	60	2%	33	40
			0.75	43	60	0.50	61	65	1.50	43	50
			0.50	52	60	1%			1%	57	60
			0.25	65	65	0.50			0.50	65	65
Nivel 0	65		0	65		0	65		0	65	
45 Carros 80 HP × Carro			30 Carros 120 HP × Carro			23 Carros 156 HP × Carro			15 Carros 240 HP × Carro		



(FIG. 2.1)

en tanto que la relacion de costos es 2.3; o sea, que la pendiente afecta la resistencia a un variable numero de carros respecto a un constante numero de locomotoras produciendo costos que varian a mayor tasa, por lo que para fuertes diferencias entre pendientes se requiere un cambio gradual con pendiente suave. " (M. Togno, F. , 1982 pp. 123)

Las demoras de los trenes son proporcionales a la demanda, de modo que por simple analisis, resulta indebido mas de un 2.5% de pendiente para rutas de primer orden.

Dado que la intencion de la via Cuernavaca-Cuatla, es canalizar el trafico de la via Cuernavaca-Mexico a la via Cuatla-Mexico, se requerira de agilizar los trenes mediante una via con pendientes ligeras, por lo que la Subdireccion General de vias ferreas de F.N.M. establecio que la pendiente maxima compensada permitida en este proyecto, sera del 2%, esto obliga a que las diferentes alternativas de solucion se ajusten a tal condicion geometrica.

Aqui se incluye un concepto aun no definido, pero que se determina como condicion geometrica, este es el de Pendiente Compensada.

Se conoce como pendiente compensada, a: "la pendiente de un tramo de via donde las curvas del alineamiento horizontal tienen pendientes equivalentes a la pendiente gobernadora de las tangentes, reducida en funcion de sus diversos grados de curvatura. Asi mismo, entenderemos por pendiente gobernadora, como la pendiente de cada tramo de una via ferrea, que rige al proyecto. " (Castillo, J., 1990)

Esto es, que al mantener una pendiente determinada en las lineas tangentes, esta pareceria disminuir al momento de entrar a una curva, lo cual es efecto en parte de la energia centrifuga, ocasionando con esto rozamientos excesivos entre las uedas y el riel, por lo que se compensan los rozamientos de la curva circular disminuyendo la pendiente en un 0.05% por cada grado de curvatura y en la mitad de este porcentaje para las curvas espirales.

Estos datos estan determinados en el Manual de Especificaciones de F.N.M., donde la obtencion de estos valores depende ademas de la velocidad minima de operacion en trenes de carga y pasajeros, los cuales para este proyecto son de 60 y 80 kms/hr respectivamente. Se recordara que la obtencion del maximo de rentabilidad, es a paartir de las velocidades optimas, figura (2.2.).

### VIAS FERREAS CLASE A

Características	Unidades	Terreno plano y lomerío suave	Terreno montañoso y lomerío fuerte	Terreno montañoso muy escarpado
Tráfico mínimo de carga anual.....	millones de toneladas	5	5	5
Velocidad mínima de operación en trenes de carga.....	km/h	75	60	55
Velocidad mínima de operación en trenes de pasajeros.....	km/h	100	80	70
Ancho de corona en tangentes.....	m	5.5 a 7.0	5.5 a 7.0	5.5 a 7.0
Ancho de cama en tangentes.....	m	7.0 a 8.5	7.0 a 8.5	7.0 a 8.5
Espesor del balasto o del conjunto balasto y sub-balasto.....	cm	20 a 60	20 a 60	20 a 60
Calibre mínimo del riel.....	kg/m	55	60	65
Curvatura máxima.....	°	2	3	4
Pendiente gobernadora máxima compensada.....	%	0.5	0.7	1.0

(FIG. 2.2)

En otras palabras, la pendiente geometrica maxima es del 2.15%; sin embargo, se compensa en 0.05% por cada uno de los 3 grados de curvatura establecidos como maximo, es decir:  $(0.05\%)(3)=0.15\%$ . Por lo tanto  $2.15\%-0.15\%=2.0\%$  como la pendiente maxima compensada en curvas circulares y  $(0.15\%)(0.5)=0.075$  por lo tanto  $2.15\%-0.075\%=2.075\%$  para curvas espirales.

En esta etapa preeliminar de trazo geometrico, baste con trazar las tangentes con abertura del compas al 2% de pendiente, esto obliga en planta a someter las curvas a las pendientes ya mencionadas.

### 2.1.2. Grado de Curvatura.

El parametro que rige el calculo y trazo de las curvas de proyecto de una via ferrea, es el grado de curvatura.

Por definicion, el grado de curvatura "es el angulo en el centro de la curva que subtiende un arco de 20 m, resultando inversamente proporcional al radio" (Matias, C. C., 1963)

Asi, el radio de la curva de 1 grado ( $G=1^\circ$ ) se ha calculado de manera geometrica; esto es:  $R=1,145.92$  m y de este valor se deducen los radios de curvas de otros grados, mediante la relacion:

$$R_n = \frac{\text{Radio } (G=1^\circ)}{n} = \frac{1,145.92}{n}$$

Explicado de una manera mas clara, se tiene que si un circulo tiene 360 grados y el arco definido por 1 grado para esta norma es de 20m, entonces se tendra que el perimetro del circulo medira  $360 \times 20 \text{ m} / 1 = 7200 \text{ m}$ ; por otro lado:

$$P = 2 \pi R \quad \text{donde: } P = \text{Perimetro} \quad R = \text{Radio}$$

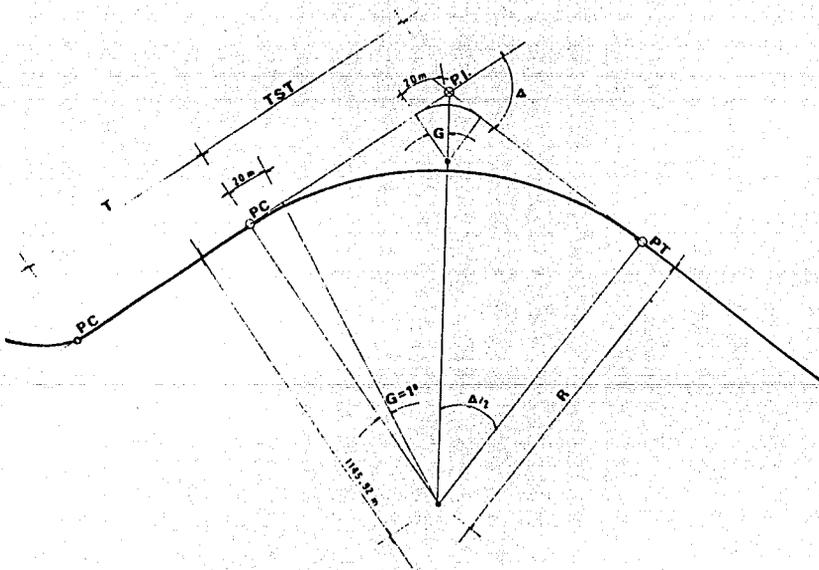
de aqui:

$$R = \frac{P}{2 \pi}$$

$$R = \frac{7200}{2(3.1416)} = 1145.92 \text{ m}$$

$$R = 1145.92 \text{ m}$$

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



( FIG. 2.3. )

Dado que la longitud del arco no cambia, se percibe que a mayor grado de curvatura, mas cerrado resulta el grado de la curva, como se puede observar en la figura (2.3.).

" Con dinamómetros se sabe que cada 330 grados (resultado de la suma de deflexiones de las curvas) equivale a 1 km adicional en el tendido de via y que ello afecta al 25% del total del costo. Estas observaciones basadas en medidas directas y cifras comparativas exactas, producen resultados comparativos aceptables a pesar de los errores inevitables en los coeficientes tecnicos usados; esto equivale a una discutible apreciacion global del complejo efecto que la curvatura produce sobre el efecto de operar."

" La curvatura limita la velocidad y afecta la vida util de riel y ruedas."

" En curvas menores de 1 grado, la vida util del riel se considera 100%, segun su calibre, curvas de 3 grados la vida util se reduce al 73%; para 6 grados, 48%; para 9 grados, 30%; y para 12 grados la maxima permisible, solo alcanza 16% de su vida util."

(Togno, F., 1982, pp.127)

La Subdireccion General de Construccion de Vias Ferreas (S.G.C. de V. F.) establecio que el grado maximo de curvatura que debiera observar el proyecto en cuestion sera de 3 grados, esto debido por una parte, a que como se observo con anterioridad, es el grado maximo que permite una mayor vida util del riel y por lo tanto, un menor mantenimiento; y por la otra, lograr una via rapida al crear velocidades mayores, con curvas lo menos cerradas posible.

Finalmente, se puede establecer que las condiciones geometricas que regiran el calculo y trazo de la via, sera el de una pendiente maxima compensada del 2% y grado de curvatura maximo de  $G = 3^\circ$ .

## 2.2. Alternativas de solución .

Una vez establecidas las condiciones geométricas que deberá satisfacer el nuevo proyecto, se deberán proponer las alternativas geométricas de localización de las posibles soluciones, o por lo menos las más viables, a fin de analizar cada una de ellas y obtener la óptima.

Los elementos de evaluación de dichas alternativas, van encaminados a lograr un equilibrio entre la economía, la seguridad (las cuales están implícitas al satisfacer las condiciones geométricas) y el ámbito ecológico social. Aquí vale la pena recordar brevemente, los puntos expuestos en el capítulo 1: uso del suelo, desarrollos urbanos actuales y en proyecto, ecología y topografía.

De una manera más condensada se deberán tomar en cuenta para cualquier trazo propuesto, la ubicación de los poblados de la región, las zonas agrícolas, yacimientos minerales, caminos y veredas existentes, zonas boscosas y topografía del lugar. Todo esto, a fin de danar lo menos posible el entorno ecológico a través del cual se piensa tender la vía.

La manera más confiable y práctica de ubicar los elementos anteriores y trazar en gabinete las diferentes alternativas, es a través de una cartografía de toda la región que comprenda el desarrollo de la vía, con planos orográficos, hidrográficos y curvas de nivel perfectamente definidas a cada 25 m y cuya escala sea de 1:25 000. Esta escala en particular, permite identificar rápidamente la topografía del lugar de manera que, se tenga una adecuada visión de la región y problemas a los que se enfrentarán las posibles soluciones.

Más adelante, cuando se analice la ruta definitiva de proyecto, se observará que además de contar con las cartografías de la región, se deberá contar con otros elementos como: cartas, del uso de suelo y las

ya mencionadas hidrológicas; sin embargo, para el estudio preeliminar de la zona, basta con la cartografía del lugar escala 1: 25 000 .

(Togno, F., 1982)

En México, el encargado de proporcionar toda esta información es el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), que posee las cartografías aerofotogramétricas de todo el territorio nacional en la ya mencionada escala.

De las cartografías publicadas por dicho organismo, las clasificadas como (E14A49) Milpa Alta, (E14B41) Amecameca, (E14B59) Cuernavaca y (E14B51) Cuautla, son las que definen el territorio de Cuernavaca, Mor. y Cuatla, Mor., hasta llegar a la Ciudad de México mismas que engloban y definen la extensión y ubicación de las vías ya existentes. Dichas cartografías se unieron a fin de poder proporcionar un plan general de la región en estudio como se puede observar en la figura (2.7.).

Se recordara que el problema que enfoca este estudio es el de suprimir la vía México-Cuernavaca. Una vista general del trazo actual de estas dos vías es la que proporciona la figura (1.2.) donde si se recuerda, uno de los principales objetivos que debiera satisfacer la posible ruta, es el de la economía lograda a través de la ruta más corta de enlace, se observara que el punto más probable de unión es en las peras que forman las vías a 28 km y 39 km aproximadamente de las ciudades de Cuernavaca y Cuautla respectivamente.

El limitar la solución a esta región, satisface además la necesidad de alejar el tráfico ferroviario procedente de la ciudad de Cuernavaca a más de 100 kms de la zona conurbada de la ciudad de México.

Las curvas de nivel que aparecen en las cartografías anteriormente mencionadas y que se reproducen en la figura (2.7) permite establecer las

posibles soluciones del trazo. En el se establece la distancia de 25 m entre curva de nivel, recordando que entre mas juntas se les encuentre estaran definiendo elevaciones de terreno con pendientes mayores, al saber que esta es la relacion de elevacion del terreno entre longitud del mismo.

Este concepto manejado bajo la restriccion geometrica de una pendiente no mayor del 2% y grado de curvatura de 3 grados, obliga a que la linea de trazo no se tienda directamente sobre una region donde aparezcan curvas de nivel muy juntas; es decir, que se tiene que subir de una curva de nivel a la siguiente con la mayor longitud que el trazo permita, sin que ello represente un excesivo kilometraje de via.

El lograr un trazo que permita pendientes minimas, obliga al proyectista a tratar de seguir la ruta que mas se ajuste a la definida por una sola curva de nivel, lo que en el caso mas optimo, la pendiente sera de 0 grados. Esto permite ademas, como se definio anteriormente, bajos costos de construccion y operacion.

Sin embargo, esto no es posible para la via en estudio, ya que como se puede observar en la figura (2.7.), entre las regiones de Cuautla y Cuernavaca se elevan los cerros del Tepozteco con 2010 m de altura s.n.m., el Cematzin de 1800 m de altura, la Corona con 1800 m y las Tetillas de 1650 m de altura, por lo que para cualquiera que fuese el trazo, este se obligara a bordear cualquiera de estos cerros, a traves de los entornos que forman curvas de nivel cuyas diferencias de altura no son tan grandes con respecto a las distancias entre si, como para obligar a pendientes pronunciadas.

Una vez definidas por simple inspeccion visual, las posibles rutas que podran trazarse a traves de las que representen la mayor cantidad de

líneas rectas posibles y que dentro del trazo geométrico se les conoce como tangentes (Carrasco, C. M., 1963), se les une a través de líneas curvas, cuyo grado de curvatura no exceda los 3 grados ya mencionados.

Al ir desarrollando la línea de trazo sobre la cartografía, es conveniente evitar:

- Los terrenos pantanosos o con exceso de agua, cuyo drenaje natural sea difícil o inseguro.
- Los terrenos de gran compresibilidad.
- Los laderos de material inestable.
- Las zonas de divagación de ríos.
- Los terrenos que requieran excesivas obras de drenaje.

Estos elementos, serán proporcionados por un reconocimiento en campo, de las líneas del trazo propuesto, el cual se analizará adelante y que obligará a modificar dicho trazo en caso de que se caiga en cualquiera de las restricciones anteriores.

Por otra parte, para la línea de trazo, se deberá procurar que:

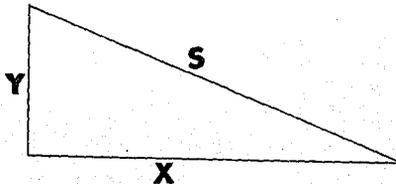
- La longitud total sea mínima.
- La suma de las longitudes de sus tangentes sea la máxima.
- La suma de los ángulos de deflexión sea la mínima.
- El grado de curvatura sea el menor posible.
- En terreno plano y lomerío suave se proyecten primero las tangentes y después las curvas y para terreno montañoso, se deberá invertir el proceso.
- Los puentes, túneles, laderos y estaciones queden en tangente.
- El ascenso-descenso sea el mínimo.
- No existan contrapendientes necesarias.

- Los cortes y tuneles no sean alojados en columpio.
- Los tuneles no queden alojados en cimas.
- Evitar los muros de retencion.
- En terrenos planos predominen los terraplenes sobre los cortes.

( Castillo, J., 1990)

En este momento, se esta en la fase preeliminar de la desicion de ruta definitiva, por lo que resultaria imprudente en obvio de tiempo y costo, el tratar de disenar matematicamente, cada una de las curvas que componen estos trazos.

Para el trazo de tangentes, es necesario que el tendido de estas, observen la pendiente establecida a traves de su recorrido por las diferentes curvas de nivel. Para ello, se utiliza el metodo de compas, el cual se deriva del concepto de pendiente antes mencionado, obteniendo una abertura de compas que dara distancias obligadas para pasar de una curva de nivel a otra. Esta abertura de compas, se obtiene de la siguiente manera:



(figura 2.4.)

Donde:

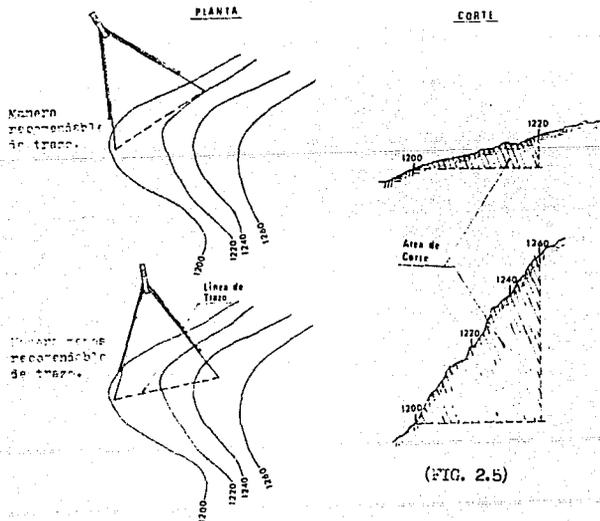
Y = Equidistancia entre curvas de nivel.

S = Pendiente establecida (condicion geometrica)

X = Abertura del compas.

$$S = \frac{Y}{X} \quad \text{por lo tanto} \quad X = \frac{Y}{S}$$

Con esta abertura del compas, se trazaran las tangentes con la pendiente establecida para pasar de una sola linea a otra; es decir, se produciran sobre costos de cortes o terraplenes muy elevados, al tratar de abarcar 2 o mas curvas de nivel, con una sola abertura de compas, como se muestra en la figura (2.5) .



(FIG. 2.5)

Para trabajar de manera holgada y evitar los máximos cortes posibles, al momento de elaborar los perfiles del terreno, se recomienda que se den entre 2 y 4 aberturas de compas, para pasar de una curva de nivel a otra.

Como se mencionó anteriormente, es poco recomendable en esta etapa, diseñar matemáticamente cada curva del trazo, por lo que una forma confiable y rápida de trazar estas curvas, lo constituye el empleo de "cerchas". Este es un instrumento del proyectista, que consta de un conjunto de círculos de acrílico que varían de tamaño dependiendo del grado de curvatura, radio por emplear y escala de que se trate.

Con base en estos lineamientos, se trazaron 3 posibles rutas para la unión de estas 2 vías, mismas que se muestran en la figura (2.6.).

La primera ruta, parte de la vía Cuautla-México a la altura del poblado de López Mateos, para bordear después el desarrollo turístico de Cocoyoc y dirigirse al norte de Itzamatitlan. Este tramo en particular, ofrece un recorrido con muy pocas curvas debido a lo uniforme del terreno y curvas de nivel, que dada su distancia entre sí, presuponen pendientes ligeras.

Sin embargo, después de Itzamatitlan, es obligado cruzar una zona orográfica de gran densidad, por lo que lo más conveniente es atravesarlo por la zona más baja, formada por el paso entre el cerro de la Corona y el cerro de las Tetillas, para posteriormente bordear el valle de Cuernavaca, a la altura del poblado de Ricardo Flores Magon.

La segunda opción, parte de la vía Cuautla-México a la altura de la estación de la Cueva y por la orografía del lugar, tiene un trazo de curvas hasta el poblado de Ignacio Bastida a unos 15 kms, tratando de seguir en adelante, por la curva que define los 1350 m de altura s.n.m., atravesando la zona de cerros en dirección del poblado de San Andrés, para unirse finalmente con la primera alternativa, en el kilómetro 35 + 000 del trazo.

TRAMO - NEPOPUALCO - S. JUAN TLACOTENCO

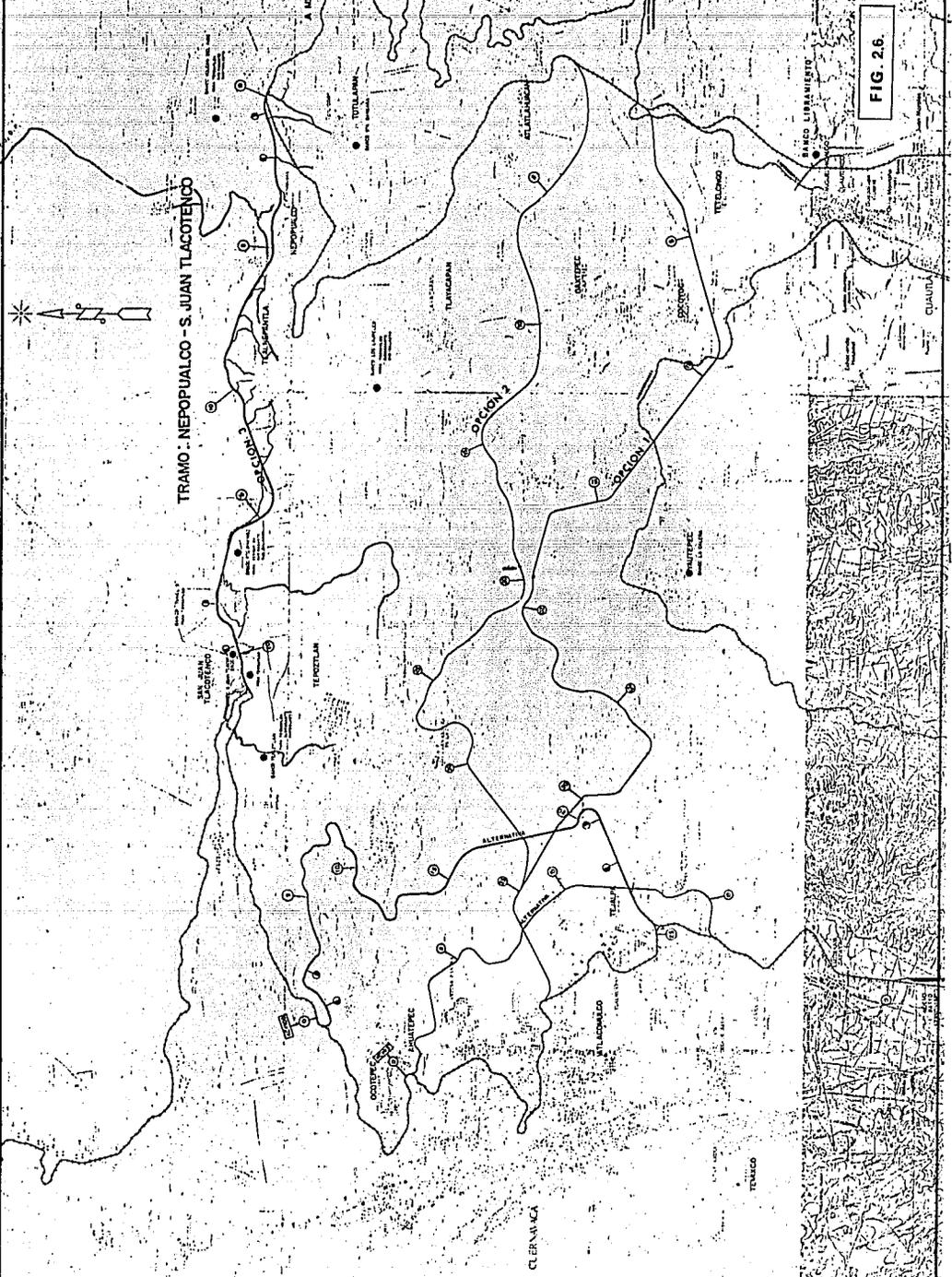


FIG. 2.6.

Estas dos primeras líneas del trazo, definen una distancia de recorrido de 38.5 kms.

La tercera opción, parte al oriente del poblado de Nepopualco y continúa ascendiendo con pendiente uniforme, dado que se trata de una orografía densa, continuando hasta la altura del kilómetro 10 + 000, donde pasa al norte de Tlalnepantla hasta unirse con la vía México-Cuernavaca, al sur de San Juan Tlalcotenco.

Este trazo, define una longitud aproximada de 22 kms, quedando así establecidas las 3 opciones más probables y ajustables a los lineamientos ya planteados.

### *2.3. Perfiles Deducidos.*

Uno de los elementos que más peso tiene en la toma de decisiones, para una ruta óptima desde el punto de vista económico, lo constituyen los diferentes perfiles del terreno. Gracias a esto, se pueden analizar de forma rápida, las pendientes obligadas por el mismo, las cuales en caso de no ajustarse a las máximas especificadas, obligarán la construcción de terraplenes y cortes en el terreno.

En el caso más crítico y ajustándose a lo que constituirá la rasante de proyecto, serán necesarias construcciones de gran costo, como son los túneles y puentes.

Una gran cantidad de análisis de costos de diferentes zonas del país, han dado como resultado el establecimiento de especificaciones de construcción, que normatizan el criterio del Ingeniero Proyectista.

La Subdirección General de Construcción de Nuevas Obras de F.N.M. sanciona los proyectos ferroviarios, en base al Manual de Especificaciones emitidas por la misma empresa; las cuales en este rubro se apoyan en los diferentes análisis de costos de obras ya concluidas, en las diversas zonas de la República Mexicana. Concluyendo que cuando en el campo se tenga que efectuar un corte de más de 30 m de altura, resulta más económica la construcción de un túnel, con las medidas de Galibo especificadas en dicho manual para la locomotora que transitara en la vía. Mientras que por el lado contrario, cuando la topografía del terreno requiera de un terraplén de más de 20 m de altura, se optará por la construcción de un puente.

Resulta obvio deducir que los parámetros anteriores únicamente son un punto de apoyo que normatiza el criterio del Ingeniero Proyectista, ya que estos datos resultan flexibles de acuerdo con las características topográficas y geológicas del lugar; así por ejemplo, no es difícil de encontrar en nuestro sistema ferroviario, puentes para salvar profundidades menores de 20 m o terraplenes de más de 20 m de altura.

Nuevamente, se hace patente lo inadecuado de un levantamiento topográfico a detalle de cada una de las posibles soluciones de ruta propuestas, ya que el costo y tiempo tomado por las brigadas topográficas, a lo largo de rutas en ocasiones mayores de 100 kms, resulta demasiado elevado.

Actualmente, el método empleado para conocer de manera rápida y confiable los perfiles que conforman las diferentes rutas en esta fase preliminar, lo constituye la obtención de los mismos, deduciéndolos de las curvas de nivel que se atraviesan con el trazo en planta.

Los perfiles deducidos se obtienen graficando en un plano, cuyo eje horizontal represente la distancia recorrida por el trazo propuesto ( que

generalmente es en escala 1 a 10 000) y un eje vertical, en el cual se representan las alturas del terreno tomadas al cruzar las diferentes curvas de nivel (cuya escala generalmente es de 1 a 400) . Se grafican entonces distancia y alturas.

En el plano, esto se obtiene midiendo las distancias con un curvgrafo, mientras que las alturas las definen las curvas de nivel de la cartografía.

De esta manera, se obtiene punto a punto, la línea componente de cada perfil. El análisis se apoya en la cartografía que aparece en la figura (2.6.), para el caso en estudio, deduciéndose los perfiles que aparecen en la figura (2.7).

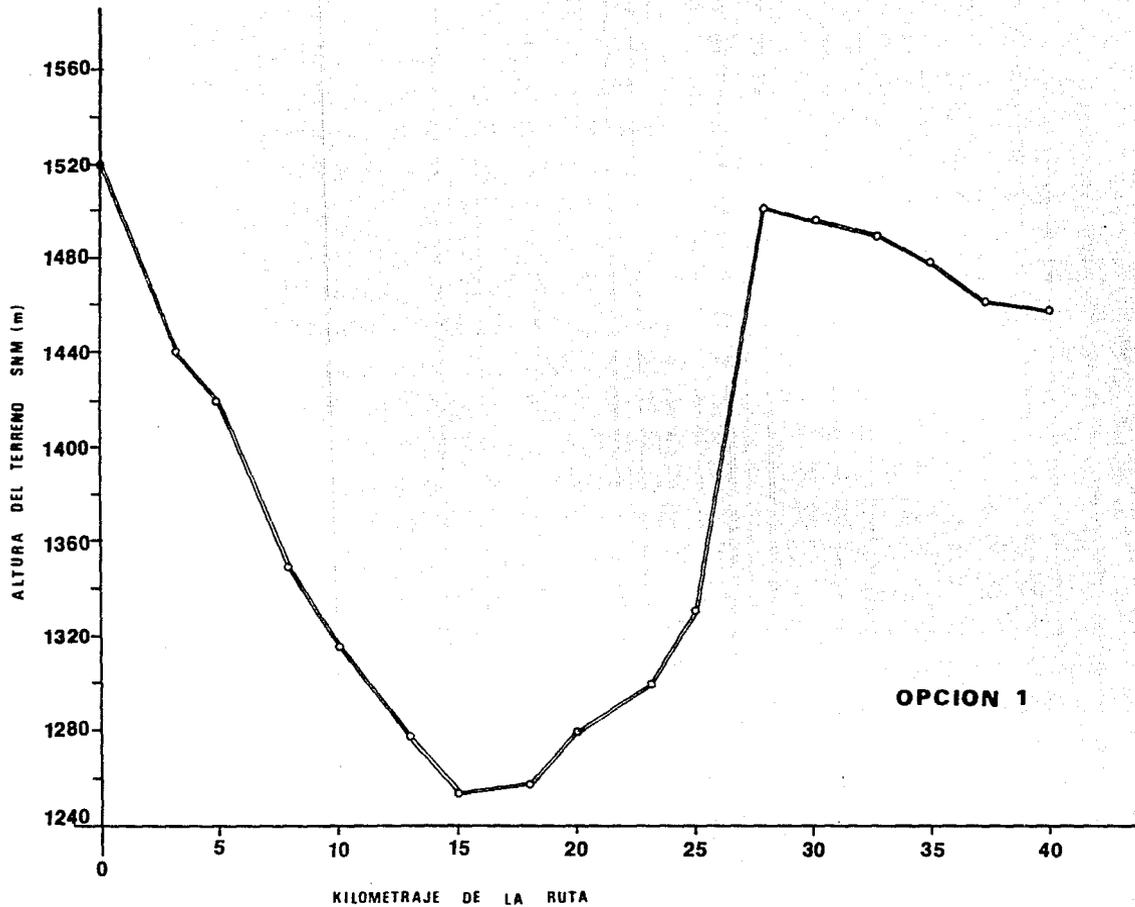
En estos tres perfiles, se puede observar, a reserva de elaborar una inspección de campo más detallada, que el perfil de la propuesta número 1, define una superficie de terreno poco accidentada, con pendientes casi uniformes. Este perfil desciende desde su inicio unos 200 metros, a lo largo de 10 kms y se mantiene en una cuenca de pendientes ligeras a través de 15 kms, para luego ascender nuevamente 200 m.

Por su pendiente y uniformidad del terreno, podría representar esta, una opción muy favorable en cuanto a sus costos de construcción y operación.

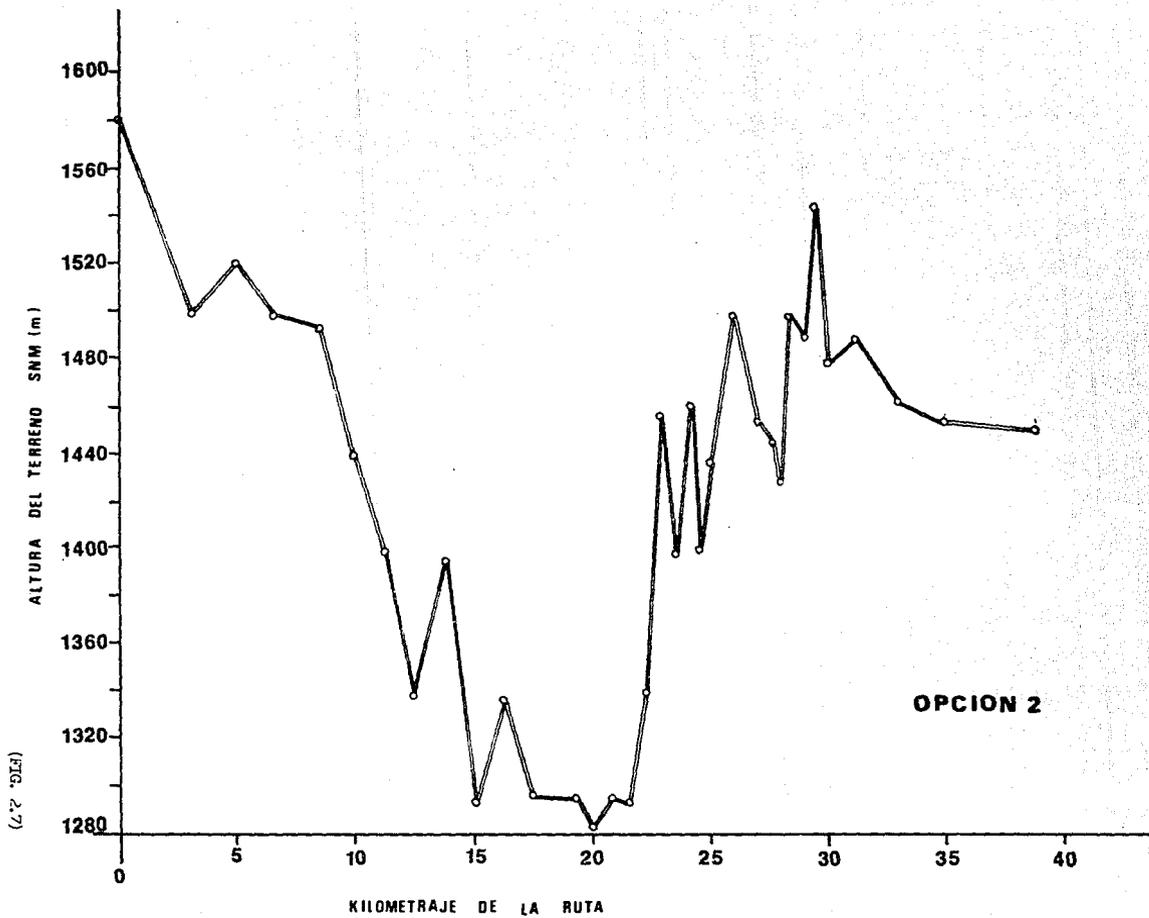
El perfil que representa la segunda opción, denota un terreno demasiado accidentado, no obstante se recuerda, que las pendientes se encuentran dentro de lo establecido; esto obliga a un incremento en el costo de construcción por el empleo necesario de terraplenes y cortes de gran altura, así como puentes y túneles.

La tercera opción describe un terreno poco accidentado, con pendientes uniformes que no implican cambios bruscos en magnitud y sentido, lo que ofrece una buena opción para la selección definitiva, dadas las aparentemente pocas obras de gran costo que se requieren y que se mencionaron en la opción anterior.

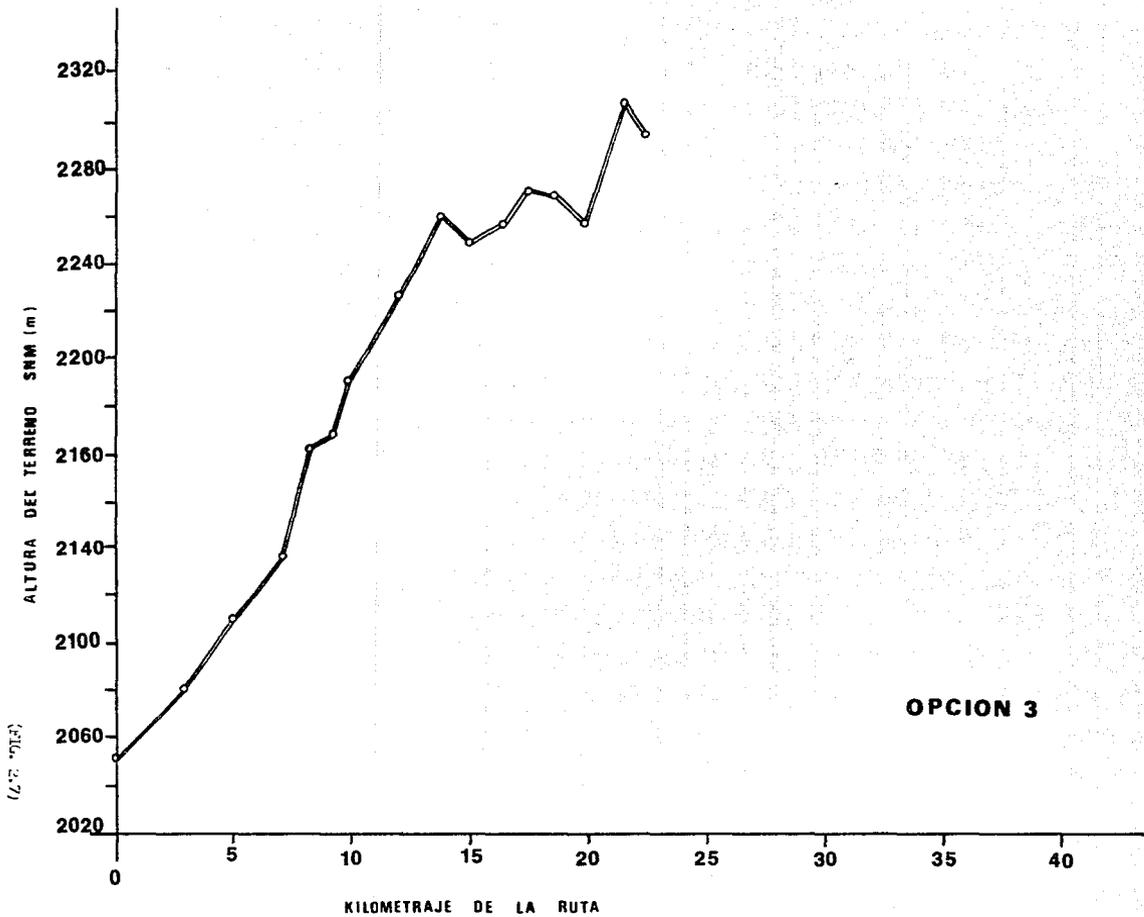
(FIG. 2.7)



**OPCION 1**



**OPCION 2**



#### *2.4. Reconocimiento en campo.*

Es de extrema importancia para la identificación de rutas preliminares, que se cuente con la mayor información posible del terreno, a través de las múltiples cartas que definen las características topográficas del mismo. Sin embargo, una vez definidas las posibles rutas, se hace imprescindible un reconocimiento real del terreno, a fin de especificar a detalle la información proporcionada por las cartografías.

De esta manera, se podrá apoyar el criterio empleado en la selección de ruta verificando en campo, la existencia y magnitud de accidentes y tipos de suelos. Lo que definirá, el tipo y cantidad de obras civiles por construir.

La investigación de campo se efectúa con brigadas de reconocimiento, las cuales se auxilian de diferentes herramientas de fácil empleo, como son: la cámara fotográfica, la brújula, el altímetro compensado portátil y el teodolito o en su caso el teluómetro y el geodimetro (anexo 1); a fin de establecer direcciones, alturas y distancias del mismo.

(Togno, F., 1982)

Una herramienta de gran utilidad y veracidad, es la fotografía aérea (fotogrametría), sin embargo, su alto costo hace poco recomendable el empleo de esta en rutas opcionales que ocupen grandes extensiones de terreno, por lo que solo se utiliza como parte del estudio del anteproyecto de la ruta seleccionada, punto que se analizará más adelante.

Es precisamente el recurso del reconocimiento en campo, lo que sustituye en esta etapa a la fotografía aérea.

El reconocimiento de las diferentes rutas se efectúa por diferentes medios, dependiendo de la naturaleza del terreno. Así por ejemplo, cuando es posible, la brigada efectúa el recorrido a bordo de un jeep, elaborando

sus mediciones, registrando sus observaciones, eligiendo los puntos obligados de paso, que se encuentren en los trayectos de las rutas y buscando los puntos secundarios de cierta importancia, tales como: pasos de rios o barrancos, puntos topograficos, poblados, fabricas, etc. Teniendo siempre presente los rendimientos que puedan obtenerse, la pendiente minima tolerable y el costo de la obra.

Como resultado de estos conocimientos, se obtiene un panorama bastante confiable de las condiciones del terreno sobre el que se desarrollan las diferentes alternativas. De esta manera, los reportes elaborados por las brigadas de exploracion, de la ya mencionada Subdireccion General de Construccion, reportan para la ruta aqui considerada, como numero uno, el desarrollo sobre un terreno bastante uniforme (pendientes suaves y sin accidentes), con vegetacion propia de climas semicalidos a traves de los primeros 7 kms, para hacerse luego escasa al internarse en los poblados de Cocoyoc, Itzamatitlan y Oacalco, zonas proyectadas actualmente como turisticas; ya que el clima a lo largo de esta ruta, fluctua entre los 21 grados y 29 grados centigrados, lo que hace que esta zona prevea un gran desarrollo para el turismo, por lo menos hasta el kilometro 15.

Desde el punto de vista topografico, esta puede ser considerada como una buena ruta, dadas su pendiente y escasos accidentes del terreno.

Posteriormente a partir del kilimetro 20+200 y hasta el 300+100, el trazo se ve obligado a cruzar los cerros de las Tetillas y el de las Coronas, a traves del paso existente entre ambos, donde empieza a mostrarse una zona con vegetacion propia de climas templados a semicalidos, como pastizales, ocotillo, jara y encino; asi como zonas aisladas que muestran mantos rocosos de escasa magnitud. Accidentes de poca profundidad que

van de los 5 a los 12 m, los cuales no representan un problema, al pensar en la construcción de terraplenes.

El final del tramo lo constituye nuevamente un terreno uniforme de escasa vegetación del tipo de clima cálido, hasta llegar al poblado de Ricardo Flores Magon.

La segunda ruta está constituida hasta el kilómetro 10+150 por un terreno de pendientes suaves (0.5% a 1%), de vegetación del tipo de clima semicálido, ya que como en la anterior opción, el clima fluctúa entre los 21 y 29 grados centígrados.

En esta zona se encuentran principalmente, árboles denominados como Chichilao, Casahuate, Encino y Namahuastle. Sin embargo, en los kilómetros 2+600, 6+000 y 10+100 aproximadamente, el trazo bordea las barrancas de Tetepitla, Nanahuapan y el Salto, respectivamente; cuyas profundidades oscilan entre los 50 y 75 m aprox., esto obliga al diseño de balcones para una buena estabilización.

Posteriormente, hasta el kilómetro 14+800, se encuentra un terreno de poca variación de pendiente, así como orográfica, hasta el poblado de Ignacio Bastida; para nuevamente, encontrar otra gran ondonada de 85 m de profundidad aprox. y 600 m de largo en el kilómetro 10+900 de la ruta.

Esto define una pendiente severa, lo que obliga a un corte inmediato anterior a dicho accidente y terraplenes al centro; con el fin de suavizar dicha pendiente con respecto de la especificada.

A lo largo de los siguientes 4 km, se encuentra un terreno poco accidentado y con formaciones rocosas, además de poca vegetación, lo que hace suponer el empleo de explosivos durante la etapa de construcción.

A partir del km 20+300 y hasta el km 30+350, se atraviesa el cerro del Chalopiltepatl, zona extremadamente accidentada con depresiones del

terreno de hasta 100 m, cuyas longitudes varían entre los 200 y 300 m. También se encuentran elevaciones de tipo rocoso, que hacen suponer por lo menos la construcción de 3 túneles, entre los km 23+200, 24+100 y 27+100; todo esto sobre una vegetación densa que hace poco accesible el lugar a maquinaria pesada sin la tala ordenada de árboles (densidad = 5 árboles por cada 100 m<sup>2</sup> ).

Finalmente, en el km 32+400, se uniformiza el terreno con pendientes suaves y escasos accidentes, o al menos de poca importancia, hasta el poblado de Ricardo Flores Magon.

En lo que se refiere a la tercera alternativa de ruta, se observa que desde el poblado de San Juan Tlalcotenco, hasta el de Tlanlnepanitla, atraviesa la gran sierra volcánica compuesta de estratos formados por volcanes aislados y laderas abruptas, 1 km al norte del trazo. Mientras que en la zona definida entre el poblado de Nepopualco y Totolpan, existen lomeríos de colinas redondeadas y aunque existen formaciones volcánicas, no se considera que puedan volverse activas.

Esto obliga al trazo de la ruta, siguiendo el entorno de curvas de nivel, cuyas alturas entre sí no varían en más de 5m. La ruta así descrita, contiene un gran número de curvas en el trazo.

El área que ocupará el trazo de la vía, está constituido por tres tipos de suelo. El primero que caracteriza a la zona de la pera, en el poblado de Tlalcotenco, así como en los bordes de Ocotitlan, Tlanlnepanitla, Nepopualco y Totoloapa; cuyas condiciones generales exponen una superficie de hojarasca suelta, que descansa sobre un suelo de horizonte humoso color pardo oscuro, que llega a tener hasta 30 cm de espesor.

Otro tipo de suelo es el que cubre la población de Ocotitlan y corresponde a uno con características similares al anterior, pero de

consistencia mas embarrosa y limitados en profundidad por un extracto no determinado de roca continua dura.

El ultimo corresponde a una zona muy limitada al oriente del poblado de Tlalhepantla, en el cual tambien se presentan mantos rocosos, solo que a una mayor profundidad.

El tipo de suelo, aunado al clima semi-calido a templado (temperaturas que oscilan entre los 12 y 22 grados centigrados), han originado que en el tramo que va de del km 0+000 al 13+000, se observen zonas aisladas de cultivo (principalmente de nopal), mientras que en el tramo comprendido entre el km 13+000 a 18+200 se encuentra una zona boscosa y accidentada donde predomina el encino, el madrono, el aile y el pino, con una densidad aproximada de 3 arboles en cada 100 m<sup>2</sup>.

Finalizando con el tramo comprendido entre el km 18+200 al 20+500, que es una zona de escasa vegetacion y mantos de roca aislados, denominados como brecha volcanica.

A lo largo de sus 23 km y por encontrarse en zona de lomerio, la ruta no atraviesa ningun asentamiento humano de importancia o en proyecto de desarrollo.

En el tramo comprendido entre el km 13+000 al 18+200, se hace factible el proyecto de 3 viaductos para salvar depresiones de hasta 70 m de profundidad, asi como la posible construccion de 3 tuneles, obligados por el trazo al evitar cortes de mas de 30 m de altura y 40 m de longitud, como se puntualizo en el tema (2.3.).

## 2.5. Evaluación .

El criterio que rige la selección de la ruta definitiva, fundamenta su análisis en los elementos de tipo económico, ecológico y social ya definidos en el tema (2.2.) y que de manera condensada, procuran afectar en lo mínimo posible la ecología del lugar, así como los desarrollos urbanos, mediante un costo mínimo de construcción.

Generalmente se requiere analizar las características de cada posible solución, las cuales desde el punto de vista económico, se refieren a la evaluación de costos de construcción, tanto en curvas (a través de la suma de deflexiones), como de tangentes; de manera tal, que se pueda conocer la longitud de la vía por construir y así determinar su costo.

El costo total de construcción también está integrado por las pendientes, construcción de obras de arte, túneles, puentes, etc. En el proyecto donde la afectación de los elementos ecológicos y sociales no se dañen considerablemente, el criterio económico predomina sobre estos.

Recordando, que el proyecto de esta línea, nació de la necesidad de resolver un problema social de urbanismo, aunado al área tan poco extensa a la que se deben limitar las posibles soluciones (40 km a través del valle de Cuernavaca), donde además se encuentran grandes zonas de infraestructura turística, hacen necesario un profundo análisis de costos para casos como este, obteniendo más peso los aspectos ecológico-sociales.

El clima cálido tropical que predomina en esta región del estado de Morelos, ha hecho propicio el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar por un lado y gracias a su cercanía con el D. F., la gran afluencia del turismo por el otro.

Parte de los lugares que constituyen esta infraestructura turística, lo forman los poblados de: Cocoyoc, Oaxtepec y Yautepec; los cuales constituyen un proyecto urbanístico real a futuro, no obstante existen otros poblados en este mismo valle, como son: Oacalco, Los Arcos, Tlayacapan y Lazaro Cardenas. Estos cuentan con proyectos de desarrollo poblacional a largo plazo.

Aunado a esto, se encuentra una zona cuyos límites están definidos por el poblado de Yautepec al norte, Oacalco al oriente y los cerros de Las Coronas y Las Tetillas al poniente; cuya extensión es de 2500 hectáreas, aprox., destinadas en su mayoría al cultivo de la caña de azúcar.

El pensar en la construcción de la vía férrea conforme a la alternativa del proyecto número 1, representa el tender dicha línea a través de las zonas poblacionales y de cultivo antes descritas, como se observa en la figura (2.7.). Lo cual, a largo plazo, coincide con el mismo problema urbanístico social de la vía México-Cuernavaca. Esto aunado a la invasión de terrenos destinados al cultivo y a la afectación de su entorno ecológico, hacen por consiguiente de esta ruta, una opción inadecuada, al no satisfacer los factores ecológico-sociales; no obstante el excelente perfil con curvas y pendientes ligeras que ofrece la topografía de esta zona.

Los problemas que ofrece la construcción de ruta número 1, son salvados por las rutas 2 y 3, al no tender su línea a través de zonas poblacionales o de cultivo de marcada importancia. Sin embargo, estas enfrentan problemas que abarcan elementos de tipo geográfico.

Como resultado del análisis de perfil de la ruta número 2, que aparece en la figura (2.7. b) y el reconocimiento en campo de la ruta en cuestión, se concluye que esta representa un elevado costo de construcción por lo accidentado del terreno; sobretodo en el tramo comprendido entre el km

11+700 al 32+200 aprox., donde se hacen necesarios, cortes de mas de 15 m de altura y la construccion, de por lo menos 6 tuneles al tratar de salvar cortes de mas de 20 m de altura; ademas de otros tantos puentes.

Todo esto, aunado a sus 38 kms de desarrollo, que en comparacion con la alternativa numero 3, la cual ademas de ser menos accidentada, tiene una longitud de 22 km, hacen de la opcion numero 2 una eleccion poco factible de construir, por sus altos costos con respecto a los de la 3; no obstante, esta no altera los factores ecologicos y desarrollo social de una manera impactante.

La ruta numero 3, pasa 800m al norte del poblado de Nepopualco y a 1.1 km al norte de Tlalnepantla. Sin embargo, como esta ruta corre a traves de la zona de lomerio, es poco factible que esta se vea invadida por un probable desarrollo urbanistico a futuro.

Nuevamente, el hecho de que esta ruta se desarrolle a traves de una zona montanosa, impide que invada zonas destinadas al cultivo o desarrollos turisticos de importancia.

El analisis del perfil y reconocimiento de campo, arrojaron la probable construccion de 4 tuneles e igual numero de puentes o viaductos. Esto aunado a sus 22 km de desarrollo (16 km menos que las otras opciones), hacen de esta la ruta mas favorable, por cumplir con los lineamientos establecidos.

Es muy conveniente, que una vez elegida la ruta a seguir, se elabore una evaluacion de tipo ecologico, hecha preferentemente por la Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecologia (SEDUE), a fin de no afectar de manera considerable, el ya mencionado entorno ecologico del lugar.

Este es el caso para la ruta seleccionada. El reporte correspondiente de la SEDUE notifico lo siguiente: " modificara esta ruta, la dinamica natural

de las comunidades de flora y fauna ?. Se puede decir que si, pero en muy baja escala, ya que en lo que se refiere a la flora, esta se vera afectada a lo largo de 22 km y 10 m de ancho, que sera el limite del trazo de la via. Ahora, por lo referente a la fauna, esta se vera afectada al paso de los trenes, ya que las vibraciones que producen afectara a la fauna existente a lo largo del trazo de la via ferrea." (SEDUE, 1991., pp.74)

Esto tambien constituye el cumplimiento de los factores ecologicos, para la ruta elegida, por lo que se confirma lo acertado de la desicion de la ruta numero 3.

### CAPITULO 3

#### ANTEPROYECTO

##### *3.1. Restitucion fotogrametrica .*

Evaluadas las diferentes alternativas de solucion, se ha llegado a la ruta mas favorable, la cual constituye la base del proyecto definitivo. En este momento, es necesario analizar a detalle, la situacion real del terreno, con el fin de elaborar un trazo preeliminar de la linea, con fundamentos matematicos.

Esto constituye lo que se conoce como Anteproyecto, dentro del cual se pueden elaborar todas las modificaciones resultado del terreno natural, antes de definir el ya mencionado proyecto definitivo.

En este nivel del proyecto geometrico, se hace conveniente el empleo de un excelente elemento de apoyo de los trabajos de campo, explicados en el capitulo anterior; este es el que se conoce como Fotogrametria.

En este sentido, Frederick S. Merritt define a la Fotogrametria como: "el arte y la ciencia de obtener mediciones seguras, por medio de la fotografia. Esta incluye el uso de fotografias terrestres, aereas, verticales, oblicuas y su interpretacion. "

(Merrit, F. S., 1986, pp. 12-20)

Para el analisis y desarrollo del trazo de la via, se utiliza principalmente la fotografia aerea.

La fotografia aerea, es un elemento estrechamente ligado al ya mencionado reconocimiento de campo, ya que esta constituye un metodo rapido y economico, usado para cubrir grandes areas de cualquier terreno,

incluso las inaccesibles por via terrestre. Sin embargo, el control basico de la topografia del lugar, debera complementarse con metodos topograficos terrestres, como se vera mas adelante.

En el capitulo anterior, se menciona el inconveniente de usar la fotografia aerea para la seleccion de ruta, esto debido a que en esa etapa se cubren grandes extensiones de terreno, que para este caso es el valle delimitado entre Cuernavaca y Cuautla; lo que provocaria un gran numero de vuelos, considerando que cada uno de ellos cubre una ruta que abarca una franja de terreno de hasta 10 km de ancho, dependiendo de la altura a la que se tome la fotografia.

Sin embargo, una vez definida la ruta, este elemento se traduce en una gran economia al considerar que se puede tener un area de hasta 70 km<sup>2</sup> por foto, del terreno natural a detalle ahorrando tiempo a las brigadas topograficas.

Llegado el caso, si el calculo o condiciones del terreno no permiten el trazo de la ruta por el originalmente propuesto, sera facil desviarla ajustandola a nuevas curvas de nivel, ya que se cuenta con la restitution fotografica del area (10 km de ancho), lo que permite ahorrar reconocimientos de campo sucesivos, en obvio de tiempo y dinero.

Para la toma de dichas fotografias aereas, se acostumbra volar sobre la ruta de proyecto en avionetas lentas (180 km/hr) y empleando pelicula de 35 mm a color, cuyo grano fino admite gran amplificacion y el color permite, identificar tonalidades de suelos y vegetacion.

De esta manera, se pueden definir aspectos importantes del terreno como son: morfologia, erosion, azolves, forma tipica del drenaje, etc.

Asi por ejemplo, la observacion del tono de color nos indica que este es mas subido en las areas humedas; mientras que las areas de colores

diferentes, están más separadas entre sí, como en los suelos arenosos (bien drenados); suelos mezclados de distintas rocas pueden producir colores agrisados, etc.

Obtenidas las fotografías aéreas, del área sobre la cual se proyectará el trazo de vía, se procederá a la elaboración de una restitución fotogramétrica, que es la representación gráfica de las condiciones topográficas reales del terreno. En otras palabras, la elaboración de una cartografía a detalle del terreno en cuestión, a partir de las condiciones dictadas por la fotografía aérea y el reconocimiento de campo.

La utilización de cada uno de los puntos que definen el trazo definitivo dentro del plano, son los que se ubican gracias a la restitución fotogramétrica, de manera preliminar. Estos puntos son: los principios de curva (P.C.), puntos de inflexión (P.I.) y los principios de tangente (P.T.).

Resulta de gran conveniencia, el trabajar la ubicación de estos puntos sobre una cartografía que muestre la topografía a detalle (curvas de nivel a cada 5 m) y no sobre las que proporciona el INEGI, cuya distancia entre curvas de nivel es de 25 m, como se trabajó en la obtención de las diferentes alternativas de solución.

Obtenido el trazo preliminar sobre la mencionada restitución fotogramétrica, se reserva la indispensable labor de precisión detallada de un levantamiento terrestre, para formular el proyecto final, con la precisión requerida por las rasantes rígidas del ferrocarril.

### 3.2. Trazo Preliminar.

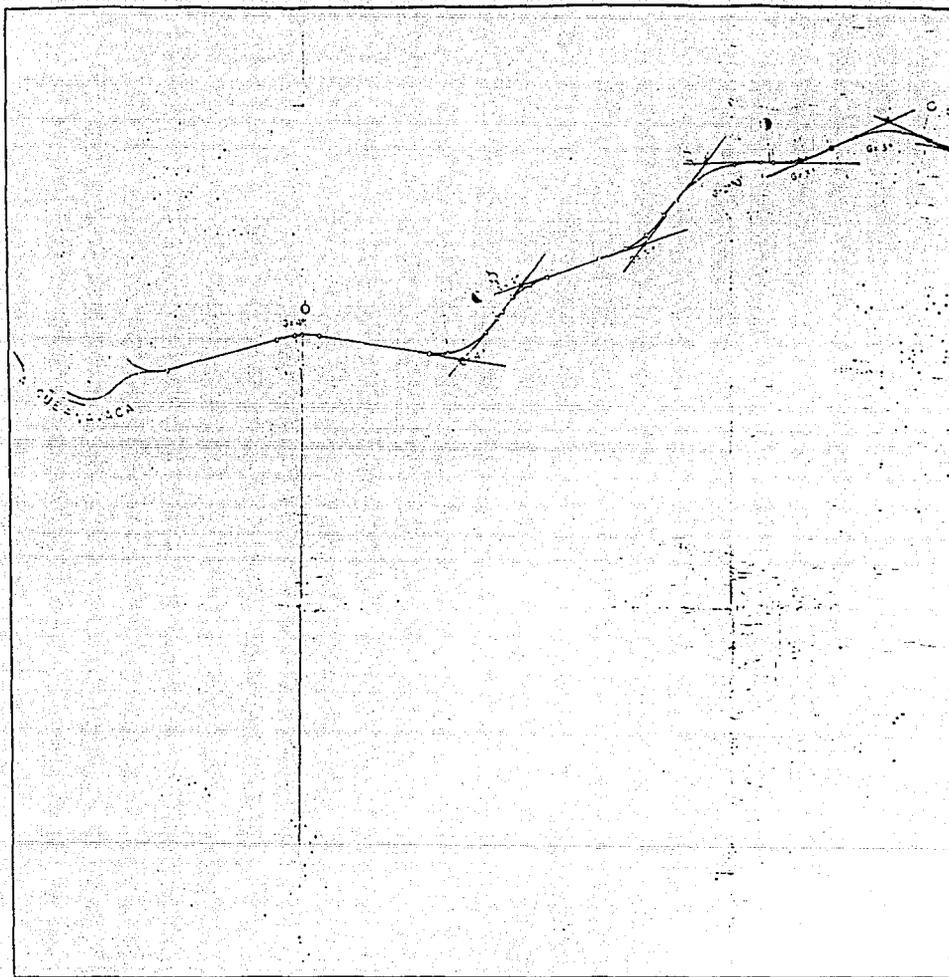
El objetivo principal de la matematización del trazo preliminar es la de proporcionar los elementos geométricos, tales como: coordenadas y rumbos; calculados de acuerdo a las características de dicho trazo.

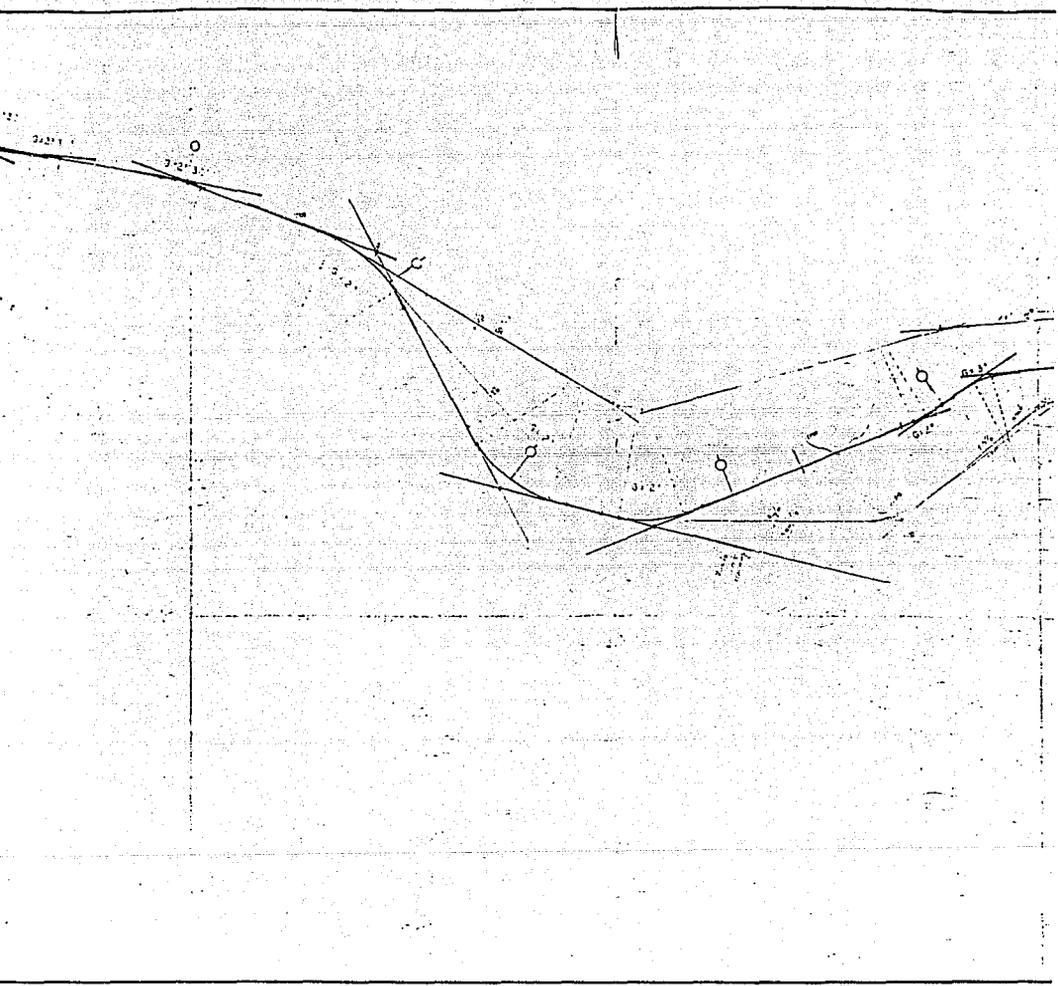
El trazo de dicha preliminar se elabora de una manera más detallada, con respecto a la ubicación de las rutas preliminares. Cabe señalar que en esta etapa del proyecto, aunque se realiza un análisis más específico del trazo, este no deja de ser resultado de las consideraciones expuestas en el tema de "alternativas de solución" y del buen manejo de ellas, consecuencia del criterio y experiencia del proyectista. El cálculo específico de cada una de las curvas, se elabora una vez hecho el levantamiento topográfico a detalle del terreno, el cual muestra la problemática orográfica que habrá que evadir mediante un desvío del trazo.

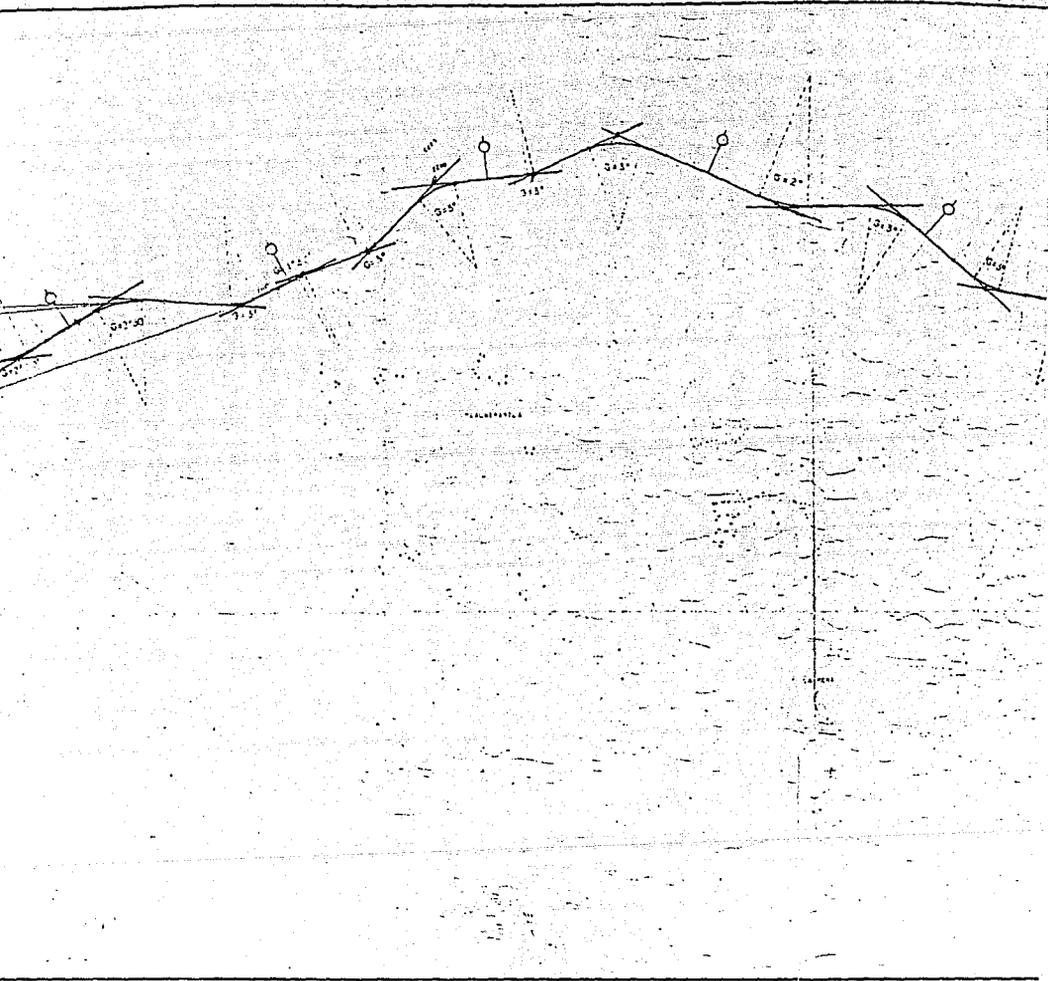
Recordando los elementos geométricos expuestos en el capítulo 2, se elabora un primer trazo de la rasante de anteproyecto. Una vez trazadas las tangentes, como se muestra en la figura (3.1.), se procede a dibujar las curvas circulares, para lo cual resulta de gran utilidad usar un patrón de curvas (cerchas), lo cual permitirá desplazar dichas curvas sobre el plano, hasta seleccionar aquella que mejor se adapte a la línea rasante, respetando la pendiente máxima compensada.

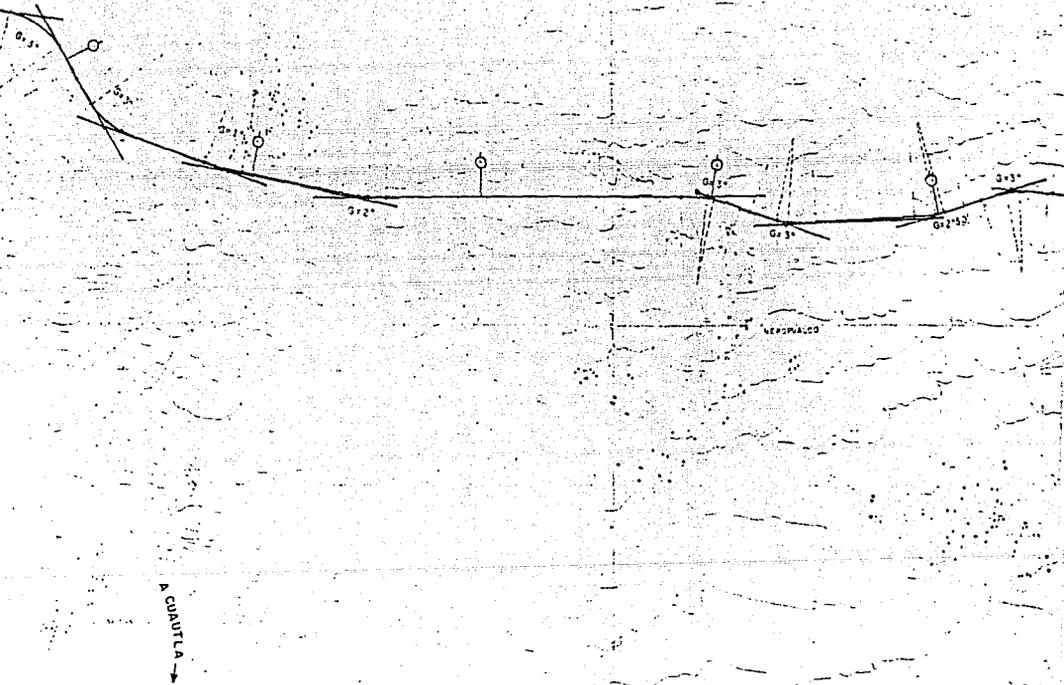
En el trazo de vías que sean sinuosas, por la gran cantidad de curvas a que obliga el terreno (caso estudiado), se recomienda elaborar un replantamiento de dicho trazo, donde primero se establezcan las curvas y obligar con ello a las tangentes resultantes.

Sin embargo, hasta el momento se debe evitar por completo, el pensar que la elaboración de un proyecto geométrico, no es sino ajustar líneas



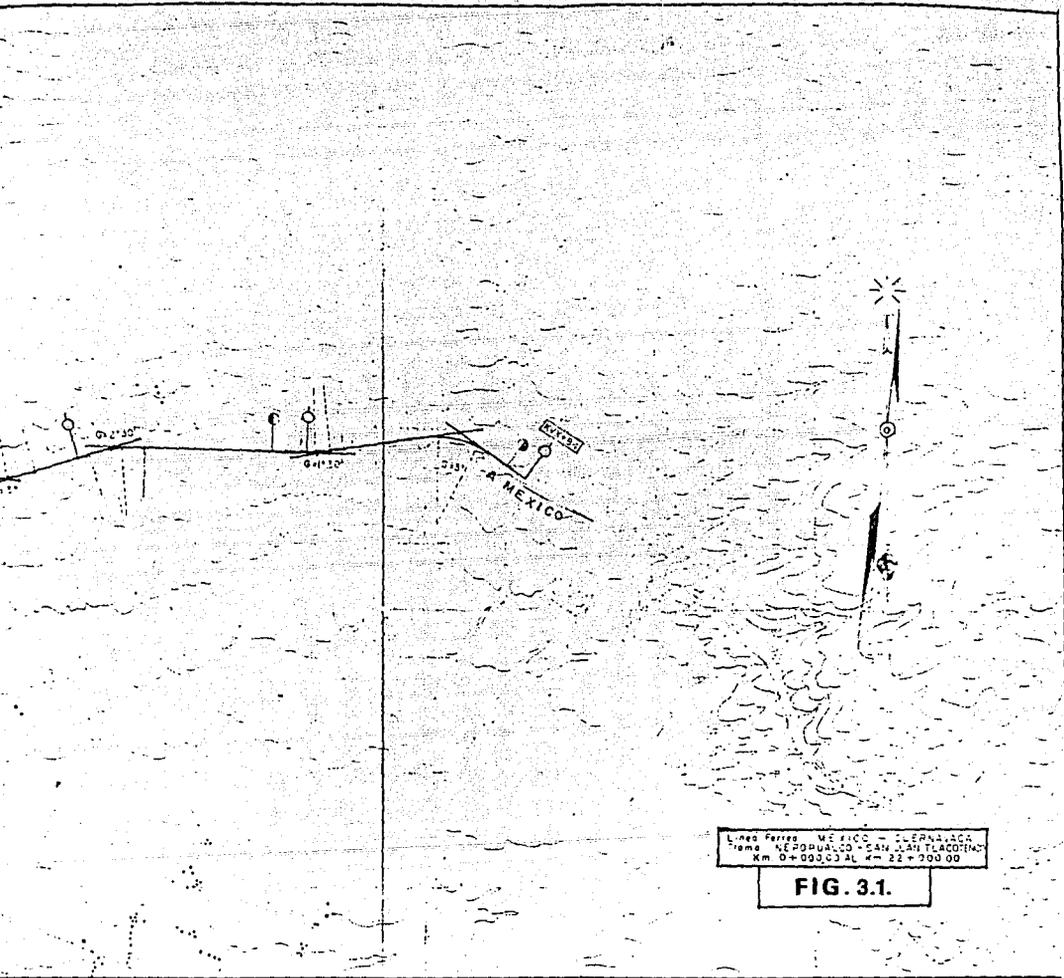






A CAUTIA →

LA PLAZA



Linea Ferrea MEXICO - GUERNAACA  
Entre MEXICO - SAN JUAN TLACOTINGO  
Km 0 + 00, 53.41, Km 22 + 200.00

**FIG. 3.1.**

tangentes y curvas sobre una cartografía de detalle, en lo que se da en llamar trazo; el caer en este error, provocaría fallas de construcción, mantenimiento y operación. Con esto, se estaría faltando a uno de los principios de todo proyecto ingenieril: la economía.

Es por esto, que el Ingeniero Proyectista debe resolver simultáneamente, el menor costo resultado de la buena ubicación de los terraplenes, cortes, viaductos, túneles, muros de contención y todo aquello que incluya una mejor operación y conservación de las vías.

De esta manera, " el límite del grado mínimo recomendable lo marca la velocidad máxima factible en el sector de cada curva; por ejemplo, un tramo donde los trenes de pasajeros (en cierta dirección), puedan alcanzar un máximo de 100km/hr, podrá admitirse una curva de 2 grados y otra curva de 0 grados 20 minutos, capaz de tolerar velocidades de hasta 180 km/hr, que no resultan admisibles ni necesarias para nuestra vía en proyecto." ( M. Togno.,1982, pp.197-198)

Las condiciones geométricas que deberán guardar los proyectos del sistema mexicano, para cumplir con la observación anterior, se establecen en la figura (2.2.).

Una manera acertada de regir el criterio al proyectar, es observar las recomendaciones que dictan en el Manual de Especificaciones Generales para Proyecto Geométrico Ferroviario, editado por la S.C.T. (1982). De este manual, las especificaciones más importantes a considerar para el buen manejo de costos y seguridad, son las siguientes:

- Las tangentes deberán tener una longitud mínima de:
  - a) 60 m, entre curvas de igual sentido.
  - b) 20 m, entre curvas de sentido contrario.

- Se emplee una curva compuesta de menor grado de curvatura en lugar de 2 curvas de mayor grado unidas por una tangente corta.
- Los puentes, los tuneles, los laderos y las estaciones queden en tangente.
- Las tangentes de acceso de los puentes tengan una longitud minima de 20 metros.
- Los accesos de los puentes, de los tuneles y de las estaciones, tengan deflexiones pequenas y curvaturas suaves.
- El ascenso-descenso sea el minimo.
- Una curva vertical no coincida con una curva horizontal.
- Los cortes y los tuneles no queden alojados en columpio, a no ser que se drenen economicamente.
- Los tuneles no queden alojados en cimas.
- En tuneles con longitud mayor de 300 m, se reduzca la pendiente en un 25%.
- La recta minima entre curvas verticales, sea de 20 m.
- Entre el extremo de un puente y una curva vertical, se deje una recta minima de 20 m.
- El espesor maximo de un terraplen, se limite en funcion del costo, por unidad de longitud del puente correspondiente.
- El espesor maximo de un corte se limite en funcion del costo, por unidad de longitud del tunel correspondiente.
- En laderas empinadas con pendiente transversal, mayor de 30 grados, se eviten los terraplenes que necesiten muros de contencion."

Estas consideraciones, obligan al trazo de una preeliminar como la que aparece en la figura (3.1.), sobre la fotogrametria obtenida y que debe ser motivo de una minuciosa verificacion en campo.

### 3.3. *Matematizacion de trazo .*

Obtenido el trazo preeliminar, se proporcionara este, a las brigadas que se encargan de su trazo en campo, con el fin de encontrar los imponderables de tipo topografico que modificaran (en su caso) esta ruta preeliminar.

La ubicacion exacta en campo de la via, dependera de los elementos que determinan la posicion de los puntos geometricos de la misma, a traves de coordenadas topograficas. A la obtencion de estos puntos, a partir de sus coordenadas en la restitution fotografica, se les conoce como: *Matematizacion del trazo.*

Los puntos especificos que deberan ubicarse en el campo y que determinan el trazo, son los puntos de inflexion (P.I.), ya que estos son los puntos de enlace de las mencionadas tangentes, como se puede observar en la figura (3.1.).

Para la ubicacion de estos puntos, se emplea un sistema coordenado en la restitution fotografica, con el fin de poder localizarlos mediante las coordenadas correspondientes en "X" e "Y".

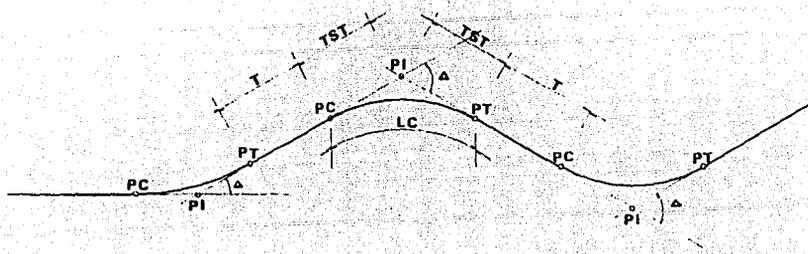
Este sistema coordenado esta referido al utilizado por el INEGI en sus cartografias esc.: 1:50 000, recordando que el trabajo sobre la actual restitution, no es sino una ampliacion de dichas cartografias.

Una vez definidas las tangentes gracias a la ubicacion de sus P.I.' s, se pueden tambien deducir otros elementos del trazo, como son: las longitudes de estas tangentes y por consiguiente la de las subtangentes; entendiendose por subtangente (T.S.T.), "la distancia entre el punto de interseccion de 2 tangentes (P.I.) consecutivas y el punto de tangencia de una curva circular simple o compuesta, con o sin espirales."

(Documento Inedito de Defnicon de Terminos, 1991)

Es decir, conociendo el valor de las subtangentes, podemos conocer donde comienza la curva (principio de curva, P.I.) y donde termina (principio de tangente, P.T.), como se observa en la figura (3.2.).

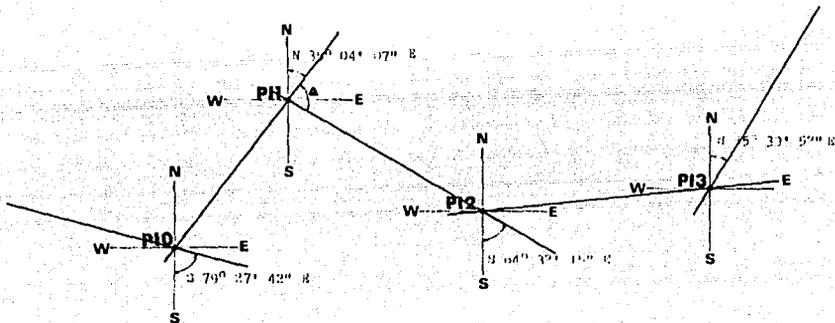
Las curvas han sido definidas unicamente por las tecnicas de dibujo expuestas, sin ser calculadas; por lo que la longitud de las subtangentes, tambien es deducida a partir del dibujo como: el punto donde las curvas trazadas tocan a las tangentes.



(FIG. 3.2)

Otro elemento que se define para la correcta ubicacion de las tangentes, es su direccion astronomica; la cual debera obtenerse con una aproximacion al segundo y referida a la orientacion real que en campo se tiene de alguna via ya existente o algun punto referido. En este caso, se cuenta ya con los rumbos de las vias que van de Mexico tanto a la ciudad de Cuernavaca, como a la de Cuautla.

Estas direcciones indican también el valor de las deflexiones entre tangentes y se definen, con respecto al punto anterior. Es decir, como si el tránsito estuviera ubicado en el punto anterior y visara el punto de interés, como se muestra en la figura (3.3.)



(FIG. 3.3)

Se han definido ya, los elementos que deben proporcionarse a las brigadas topográficas, para la ubicación del trazo en campo. Esto es, la posición de los P.I.'s mediante sus coordenadas, longitudes de tangente, subtangentes y rumbos astronómicos calculados.

Es sumamente importante, ubicar lo mejor posible los P.I.'s dentro de un plano coordenado como en la figura (3.1.), ya que a partir de dichas coordenadas se desarrolla la matematización del trazo preliminar y que no es si no la obtención de los citados elementos.

Como se refiere el trazo a un plano coordenado, son validos los teoremas que sobre el estudio de lineas y puntos, expone la geometria analitica.

De esta manera, la obtencion de la distancia entre un P.I. y otro, se obtiene de la ecuacion que define la distancia entre dos puntos de un plano. Esta es:

Dados P.I.1. (X1, Y1) y P.I.2. (X2, Y2)

la distancia estara dada por:

$$\overline{\text{P.I.1.- P.I.2.}} = \sqrt{(X2-X1)^2 + (Y2-Y1)^2} \quad (\text{a})$$

de igual manera, los rumbos estan definidos por:

$$\text{Rumbo} = \text{Arctg} \left( \frac{X2-X1}{Y2-Y1} \right) \quad (\text{b})$$

y la orientacion esta dada, al sobreponer en cada uno de los P.I.'s del trazo, las orientaciones astronomicas como se muestra en la figura (3.3.).

La gran cantidad de datos a calcular, hace imprescindible el manejo de una tabla como la que aparece en la figura (3.4.), misma que se le debera proporcionar a las brigadas topograficas para su senalizacion, mediante estacas en campo.

Las tablas que aparecen en la figura (3.4.), contienen los datos calculados a partir de un trazo como el que aparece en la figura (3.2.), obteniendose en primer lugar, las coordenadas de los P.I.'s.

OBRA VIAL Y - MALIBCO - OLLA MAYA

TRAMO 451.00 VA. CO - SAN JUAN T. A. 2015.0030

SUBTRAMO Km 11+762.497 AL Km 22+425.571

ESTACION	PUNTO OBSERVADO	SUB-TANGENTE ATRAS	TANGENTE	SUB-TANGENTE ADELANTE	DISTANCIA	DEFLEXIONES		RUMBO ASTRONOMICO CALCULADO	COORDENADAS	
						IZQ.	DER.		X	Y
	PI-11+762.857								66,939.181	50,574.087
	PI-12+169.980	200.497	157.698	159.096	513.231			558°19'29"W	66,503.202	50,305.081
	PI-13+161.246	154.096	180.729	165.771	500.591		25°32'45"	583°52'14"W	65,005.473	50,251.625
	PI-13+978.723	166.771	313.159	193.830	673.360	30°05'56"		553°23'00"W	65,465	49,850
	PI-13+528.123	PI-13+877.871	173.820	97.656	168.159	160.245	38°29'04"	N88°07'56"W	65,005	49,865
	PI-13+877.871	PI-14+129.728	168.159	110.177	279.259	553.195	7°30'41"	560°11'27"W	64,525	49,590
	PI-14+429.728	PI-15+198.452	279.259	336.290	152.422	162.911	58°33'23"	N61°25'10"W	63,855	49,755
	PI-15+22.523	PI-15+535.069	152.422	53.813	92.805	229.030	10°15'48"	N20°33'22"W	62,750	50,235
	PI-15+12.069	PI-14+1876.232	92.805	140.751	106.922	390.118	9°23'51"	N29°57'13"W	63,580	50,530
	PI-16+512.272	PI-16+328.542	106.922	10.302	336.186	124.010	15°28'53"	N16°38'20"W	63,450	50,965
	PI-16+512.272	PI-16+1752.817	336.186	25.272	118.209	500.225	11°38'34"	N88°16'54"W	62,950	50,980
	PI-18+255.766	PI-18+1255.766	118.209	118.956	271.923	1,562.178	16°36'55"	N71°19'59"W	61,470	51,480
	PI-18+689.357	PI-18+689.357	271.923	75.205	180.727	501.162	12°43'01"	564°36'57"W	61,010	51,265
	PI-19+140.537	PI-19+140.537	180.727	11.157	283.810	490.591	25°26'58"	N65°36'05"W	60,555	51,300
	PI-21+572.183	PI-21+572.183	283.810	29.207	162.690	315.651	16°45'29"	533°51'25"W	60,290	50,305
	PI-19+881.729	PI-19+881.729	162.690	75.255	89.025	325.130	38°15'52"	572°07'18"W	59,982	50,805
	PI-20+189.350	PI-20+189.350	89.025	61.931	142.323	301.637	8°11'12"	563°26'06"W	59,710	50,670
	PI-20+141.346	PI-20+141.346	142.323	282.346	187.123	555.382	25°15'47"	598°41'53"W	59,159.161	50,657.396
	PI-21+565.533	PI-21+565.533	187.123	654.135	16.219	917.182	21°42'25"	565°27'28"W	58,318.311	50,275.490
	PI-21+779.183	PI-21+779.183	76.219	29.213	29.345	121.112	30°32'29"	N84°00'03"W	58,177.239	50,288.216
	PI-21+861.923	PI-21+861.923	14.345	0.526	22.601	87.472	54°42'05"	N89°44'03"W	58,107.767	50,288.622
	PI-22+045.923	PI-22+045.923	22.601	8.571	116.069	192.211	58°23'02"	520°52'55"W	58,008.529	50,119.245
	PI-22+234.493	PI-22+234.493	116.069	102.108	218.177	210.000	70°00'00"	N79°07'05"W	57,794.275	50,160.534
	PI-22+321.631	PI-22+321.631	102.108	14.345	116.353	210.252	74°02'52"	N4°53'13"W	57,784.152	50,276.546
	PI-22+371.605	PI-22+371.605	14.345	21.307	14.345	19.277	54°46'00"	N4°44'47"E	57,784.803	50,326.539
	PI-22+371.605	PI-22+385.901	14.345		14.345	54°46'00"		N4°37'13"W	57,783.556	50,340.830

(P.F. 0114)

De esta manera se inicia a partir del punto 0+000 del trazo, que es la union con la via Mexico-Cuatla, correspondiendo este al primer P.I. con coordenadas  $X=77\ 636$  y  $Y=49\ 974$ ; siguiendo el trazo hasta encontrar el siguiente P.I. el cual tiene como coordenadas,  $X=77\ 050$  y  $Y=49\ 883$ , registrandose como se puede observar en la figura (3.4.).

A partir de estas coordenadas, se obtiene la distancia total entre P.I.'s, con la ecuacion (a), esto es:

sustituyendo:

$$\overline{P11\ P12} = \sqrt{(77050 - 77636)^2 + (49883 - 49974)^2}$$

$$\overline{P11\ P12} = \sqrt{(351\ 677)} = 593.02\ m$$

El rumbo astronomico calculado, se obtiene a partir de estas mismas coordenadas, aplicadas a la ecuasion (b):

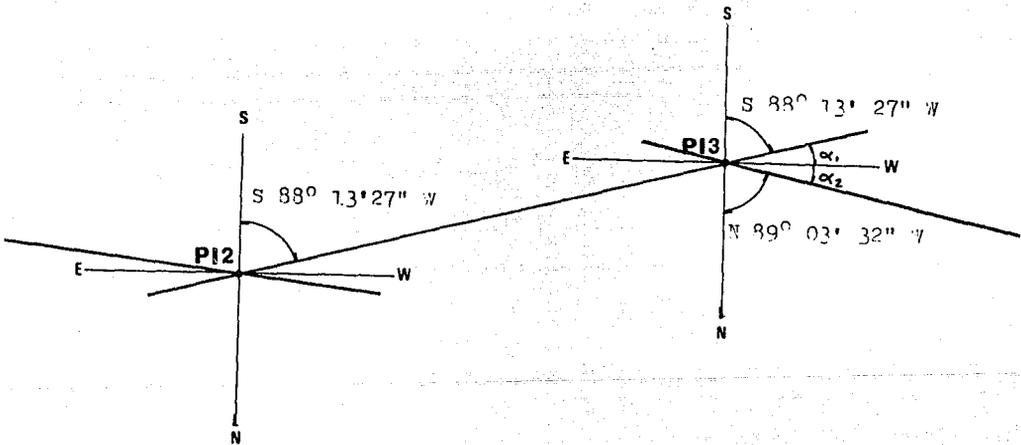
sustituyendo:

$$\text{Rumbo} = \text{Arc tg} \frac{(77\ 050) - (77636)}{(49\ 883) - (49\ 974)} = \text{Arc tg } 6.4395$$

$$\text{Rumbo} = 91^{\circ}\ 10'\ 23''$$

Si colocamos la orientacion astronomica en el P.I.1., se observa que es S-W obteniendo asi, que su rumbo es S  $81^{\circ} 10' 23''$  W.

Si se continua con el mismo procedimiento, se encuentra que el rumbo del siguiente P.I. es N  $89^{\circ} 03' 32''$  W, como se muestra en la tabla de la figura (3.4.); de esta manera, el angulo de deflexion queda definido por la suma algebraica de los rumbos con respecto del eje cordenado de 90 grados, como se muestra en la figura (3.5.)



(FIG. 3.5)

Es decir, Rumbo de P.I.2. =  $88^{\circ} 13' 27''$

$$\begin{array}{r} \text{Restando este de } 90^{\circ} \text{ da } \alpha_1 : \\ \quad 90^{\circ} 59' 60'' \\ \quad - 88^{\circ} 13' 27'' \\ \hline \alpha_1 = 01^{\circ} 46' 33'' \end{array}$$

Por otra parte, restando el rumbo de P.I.3. a  $90^\circ$  se tiene:

$$\begin{array}{r} 89^\circ 59' 60'' \\ - \\ 89^\circ 03' 32'' \\ \hline \alpha_2 = 00^\circ 56' 28'' \end{array}$$

La deflexion resulta de la suma de ambas diferencias

$$\begin{array}{r} \alpha_1 = 01^\circ 46' 33'' \\ \alpha_2 = 00^\circ 56' 28'' \\ \hline \Delta = 02^\circ 43' 01'' \end{array}$$

Suponiendo que el tránsito se coloca en el punto P.I.2. y se visa el punto siguiente, que es el P.I.3., el ángulo de flexión así calculado, queda del lado izquierdo del aparato, definiéndose así, el sentido de la deflexión que aparece en la tabla de cálculo y que se marca como (I).

La obtención de las subtangentes, se logra sabiendo que la longitud total de la tangente es la suma de la distancia total del P.I. anterior hasta el P.C., más la longitud de la subtangente; longitud que se obtiene por trigonometría como se muestra en la figura (2.3.)

Con la ecuación:  $ST = \text{tg } \Delta/2 R$

se obtiene fácilmente la longitud de todas las subtangentes, a partir del grado de curvatura de cada una de las cuerdas, así como la de su radio, el cual se conoce a través de la ecuación:  $R = 1145.92/G$ .

Mediante el empleo de las cerchas, se definió que el grado de curvatura en el P.I.3. es de  $1^\circ 30'$ , del que se obtiene el radio:

$$R = 1145.92\text{m} / 1.5 = 764.95 \text{ m}$$

de aquí, la obtención del valor de las subtangentes:

$$ST = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$ST = 764.95 \operatorname{tg} 2^{\circ} 43' 01''$$

$$ST = 764.95 \operatorname{tg} 2.7169$$

$$ST = 764.95 (0.4746)$$

$$ST = 36.30 \text{ m}$$

Mismos que se tabulan, en la tabla de la figura (3.4.)

De igual manera, se continúa para todos los puntos a lo largo del trazo obteniéndose de manera concentrada los datos de las tablas de la figura (3.4.), lo que constituye la citada Matematización del trazo preeliminar y que deberá tenerse completa, para la siguiente fase del proyecto, constituida por el reconocimiento topográfico del lugar.

#### 3.4. Reconocimiento topográfico del lugar .

El trazo preliminar de la ruta, ha sido el resultado de múltiples consideraciones que van encaminadas a lograr la mayor economía en su construcción, sin perder de vista la seguridad en la operación de trenes por circular. Sin embargo, para que este trazo se considere como definitivo, se deben de tomar en cuenta las condiciones reales del terreno; ya que no obstante este se trazo sobre una restitución fotogramétrica, esta es resultado de una fotografía aérea, la cual está sujeta a errores que producen factores como: las sombras que producen las elevaciones del terreno con el sol, dependiendo de la hora del día a la que fue tomada la foto, por una parte; así como la distorsión que produce el ángulo de toma

en las orillas de dicha foto, por la otra.

Pero el reconocimiento topografico del lugar, no solo tiene por objetivo evaluar los problemas a los que se enfrenta la construccion de la via con el trazo propuesto, sino que ademas proporciona curvas de nivel a cada 2m o a cada 1m, inclusive, en una franja de terreno de entre 100 y 200m de ancho, a cada extremo del eje; dependiendo de la pendiente transversal del terreno.

Para la ubicacion de este trazo, se elaboro la matematizacion del mismo; proporcionando asi los elementos de apoyo para la brigada topografica, definiendose, el Trazo Definitivo.

Obtenida la matematizacion, la brigada topografica traza en campo la linea de anteproyecto. Para esto se clavan estacas a cada 20m, orientandose astronomicamente cada 5 o 10 km. como maximo, a fin de checar la convergencia de los meridianos.

Es obligacion de la brigada realizar comprobaciones frecuentes, entre la linea preliminar de trazo y la posible razante de proyecto; ya que estas pueden ocasionar modificacion del trazo de las curvas, derivado de la diferencia de longitudes en tangentes y pendientes.

Por lo que respecta a la franja de terreno de 100 m a ambos lados de la linea de trazo, esta es con el fin de modificarla, en su caso, sin la necesidad de tener que hacer un levantamiento mas u otra verificacion en campo.

Es importante el reconocimiento a detalle del terreno, identificando inclusive, puntos de referencia con respecto de la poligonal; como arboles y rocas de gran dimension o bancos de nivel dispuestos por la propia brigada.

La importancia radica precisamente en el trazo definitivo, ya que este

debera quedar alojado dentro de dicha faja, teniendose en consideracion que los errores de nivelacion y de posicion, son maximos en los extremos de esta faja topografiada; por lo que se explica la gran conveniencia de que el trazo definitivo se asemeje lo mas posible a la poligonal preeliminar.

Todas las nivelaciones deberan comprobarse y nivelarse por medio de la nivelacion de regreso, usando diferentes puntos de enlace y dibujando los perfiles diariamente con el fin de afinar el trazo en caso de que esto se requiera.

Obtenidos los datos de campo (orientaciones, alturas y longitudes), el Ingeniero a cargo de la brigada, construira el trazo de la preeliminar sobre papel grueso, donde se debe incluir las curvas de nivel de la faja de 200 m, sobre la cual se desarrolla. Ubicando en esta, los puntos de referencia en campo del trazo en cuestion.

Se recomienda que dicho plano, contenga curvas de nivel a cada 2 m en zona de lomerio (como el de estudio) y hasta un metro menos en zonas de planicie, asi como el manejo de una escala de 1: 5000 en planicie, 1:2000 en lomerio y 1:1000 en montanas escarpadas; obteniendose asi, un plano como el que aparece en la figura (3.6.) del trazo en estudio.

Como segunda parte del trabajo de topografia, el mismo Ingeniero debera construir el perfil de este trazo, preferentemente a una escala de 1:2000 horizontal y 1:200 vertical, a fin de analizar la curva masa de proyecto, como se vera adelante. Dicho perfil, es el que aparece en la figura (3.7.).

La figura (3.6.) y la (3.7.), muestran el trazo que ha sido resultado del calculo en gabinete con condiciones del terreno real. Es aqui precisamente, donde adquiere su importancia el levantamiento topografico, al analizar tramo por tramo, la comparacion entre la figura (3.1.) que representa el

### SIMBOLOGIA

VIA DE FERROCARRIL	=====	POSTE DE TELEGRAFO	⊕
CERCA DE ALAMBRE	-----	CAMINO DE FERRAJERIA	-----
POSTE DE LUZ	○	LINEA DE TELEGRAFO	-----
LINEA DE ENERGIA ELECTRICA	---v---	SEÑALAMIENTO	△
POSTE CON TRANSFORMADOR	□	LINEA DE PEVEK	-----
TORRE	⊗	CURVAS DE NIVEL	=====
CARRETERA	=====	POLIGONAL DE APOYO	○
BANCO DE NIVEL	⊕	RETENIDA	---
RESPIRADERO PEVEK	⊗	PARAMENTO	---

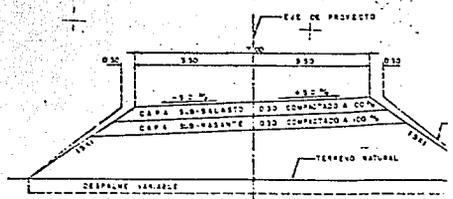
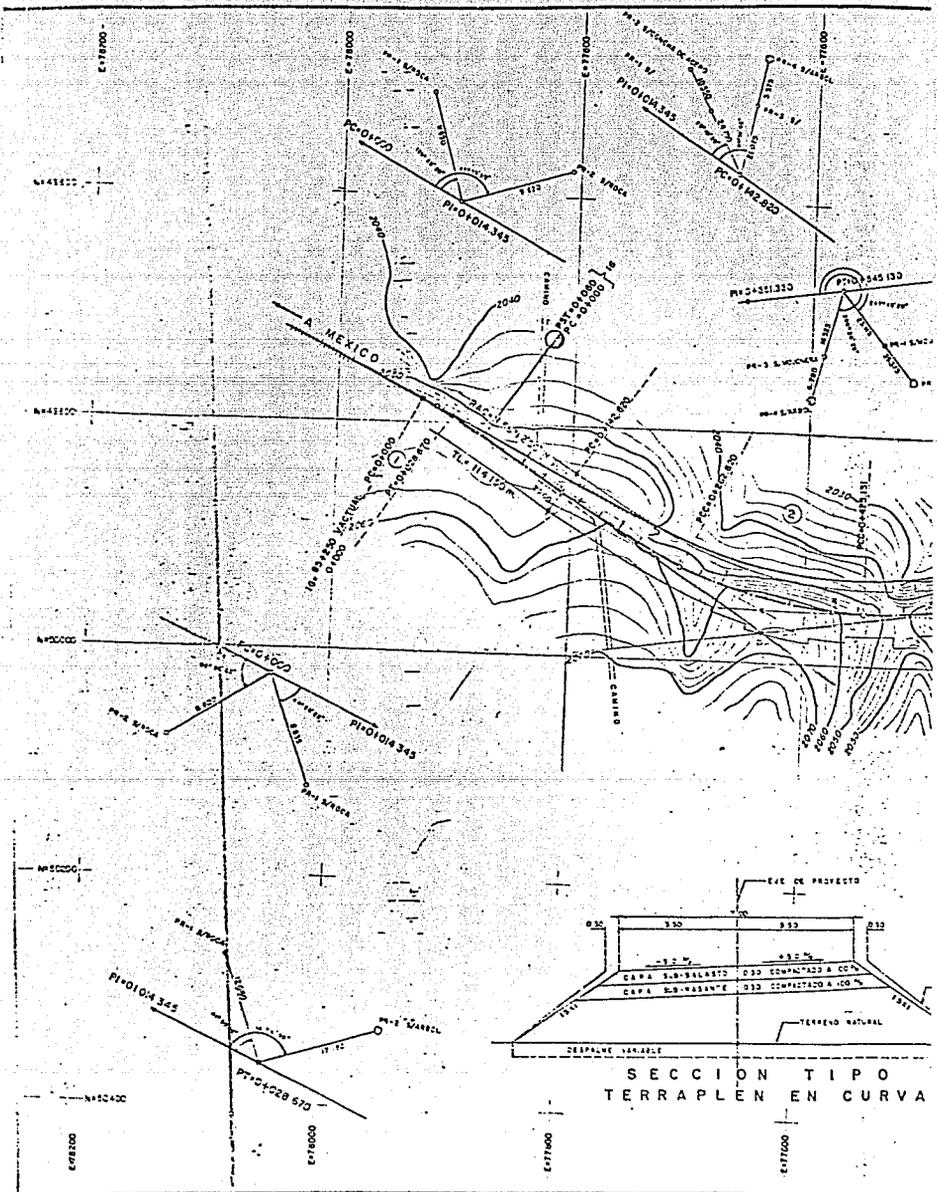
#### NOTA :

Las elevaciones de los cursos de nivel están referidas al B.N. Casuel-177 localizada, sobre todo sur en alfilerillo a 17.50 mts. del Km. 79+200 de la carretera MEXICO-CUAUTLA, en poblado NEPANTLA, con Elev+2007.772 m.s.n.m.



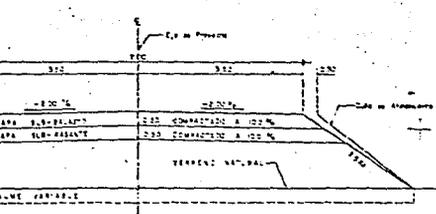
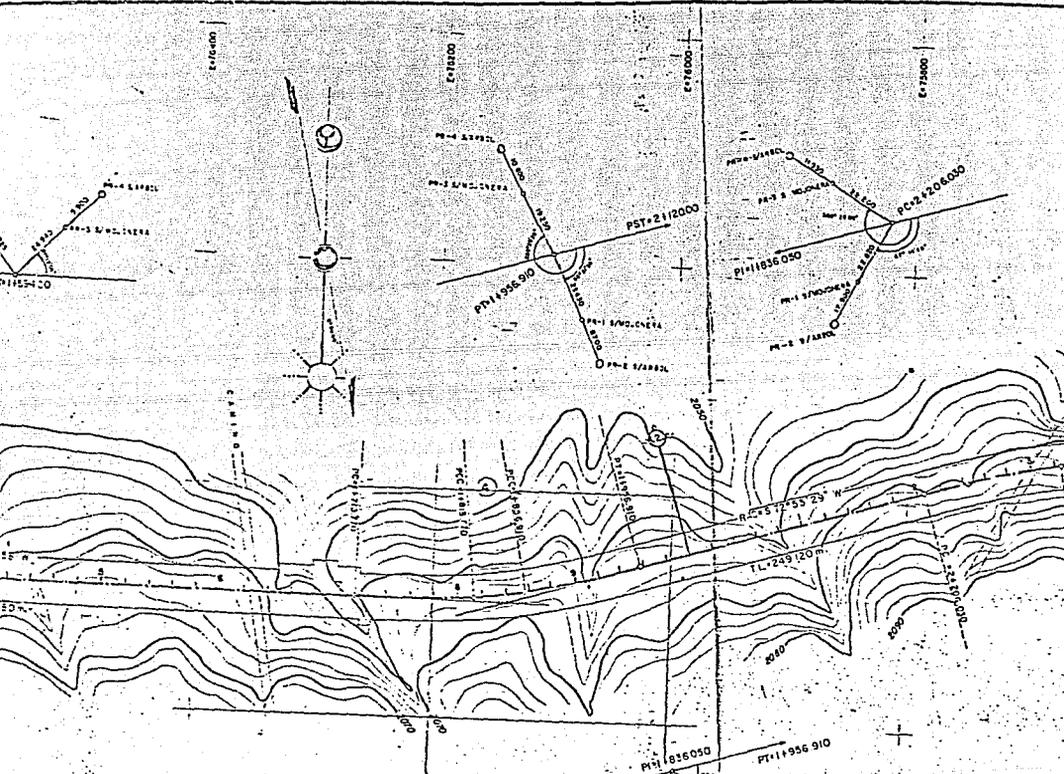
LINEA FERREA MEXICO - CUERNAVACA  
TRAMO NEPOLALCO-SAN JUAN TLACOTENCO  
DEL Km. 0+000 AL Km. 22+616.404

FIG. 3.6.

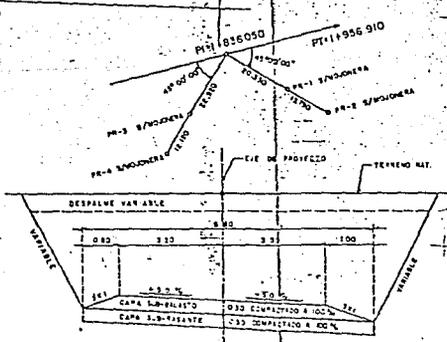


SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN CURVA





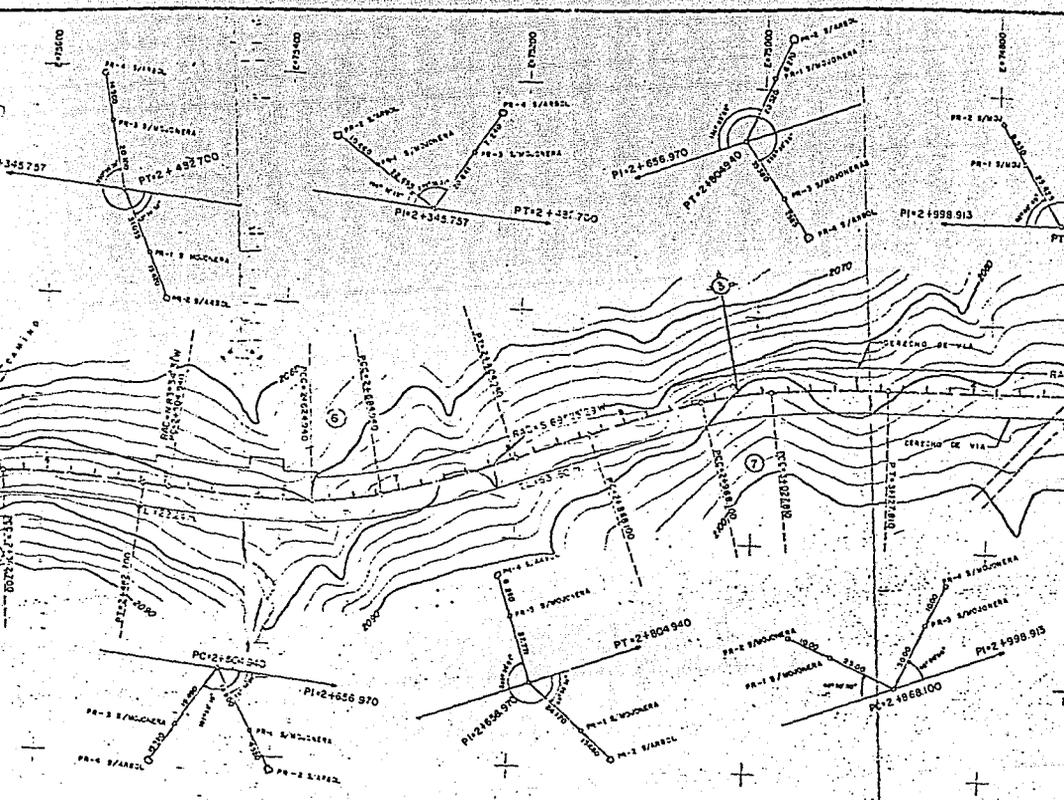
SECCION TIPO  
CORRAPIEN EN TANGENTE



SECCION TIPO  
CORTE EN CURVA

D		
CURVA	PI	CCC
1	04014 545	25
2	04351 330	25
3	04936 619	25
4	14636 050	25
5	24345 757	25
3	24656 970	25
7	24939 913	25
8	24265 275	25
N	44012 471	25

Escala 1:500

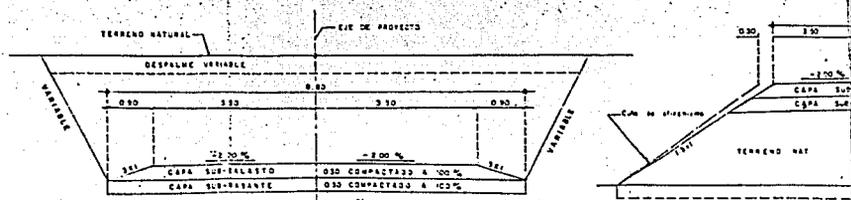
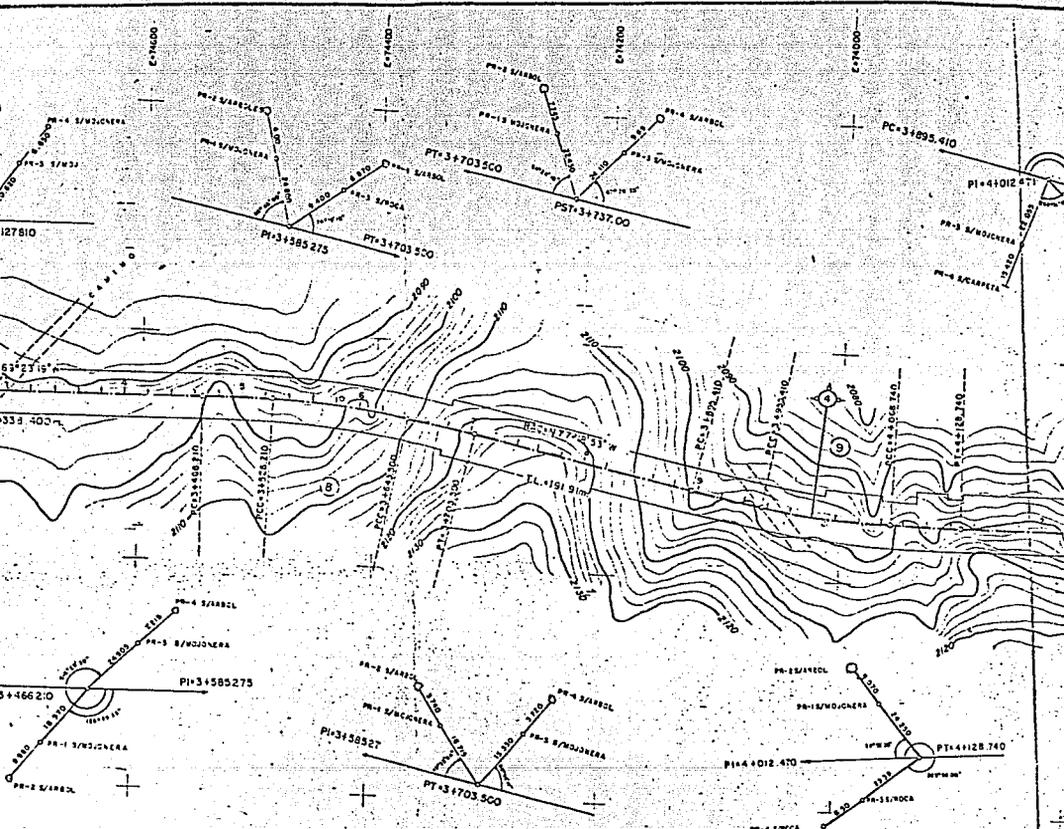


**T O S D E C U R V A S**

ST	ΔC	CC	ST	LC	RC	V <sub>1</sub>	Δ	TST	E	L <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	TC
03	344°00'00"	4°00'00"	14.345 m	29.672 m	295.479 m	0°15'00"	42°23'45"	208.510 m	9°00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m
05	340°00'00"	3°00'00"	32.445 m	64.832 m	763.344 m	0°15'00"	9°21'50"	92.573 m	2°15'	60.00 m	59.991 m	0.785 m
06	323°15'21"	2°30'00"	21.566 m	43.142 m	453.356 m	0°15'00"	17°23'33"	122.282 m	4°15'	100.00 m	99.881 m	3.633 m
07	313°30'00"	3°30'00"	18.347 m	36.672 m	331.972 m	0°15'00"	23°15'00"	139.727 m	9°00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m
08	310°00'00"	3°00'00"	30.062 m	60.000 m	581.972 m	0°15'00"	2°11'00"	152.030 m	9°00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m
09	312°15'00"	2°30'00"	29.838 m	59.711 m	459.265 m	0°15'00"	11°11'00"	153.813 m	6°15'	100.00 m	99.881 m	3.633 m
10	314°45'00"	1°30'00"	58.760 m	117.252 m	763.344 m	0°15'00"	13°17'45"	119.263 m	2°15'	60.00 m	59.991 m	0.785 m
11	313°30'00"	3°30'00"	56.771 m	113.332 m	753.344 m	0°15'00"	13°15'00"	117.261 m	2°15'	60.00 m	59.991 m	0.785 m

-673600
-673400
-673200
-673000

4+00-4+0
4+00-3+0
4+00-2+0
4+00-1+0



SECCION TIPO  
CORTE EN TANGENTE

SECCION TIPO  
TERRAPLEN CON LAD

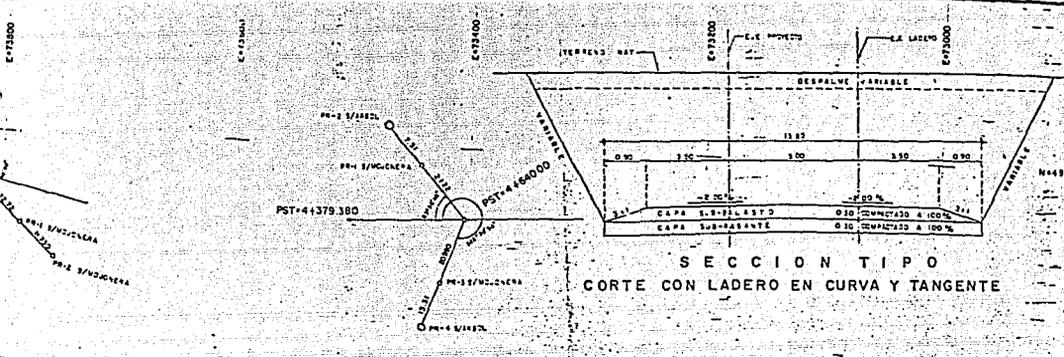
-E+7400

-E+7400

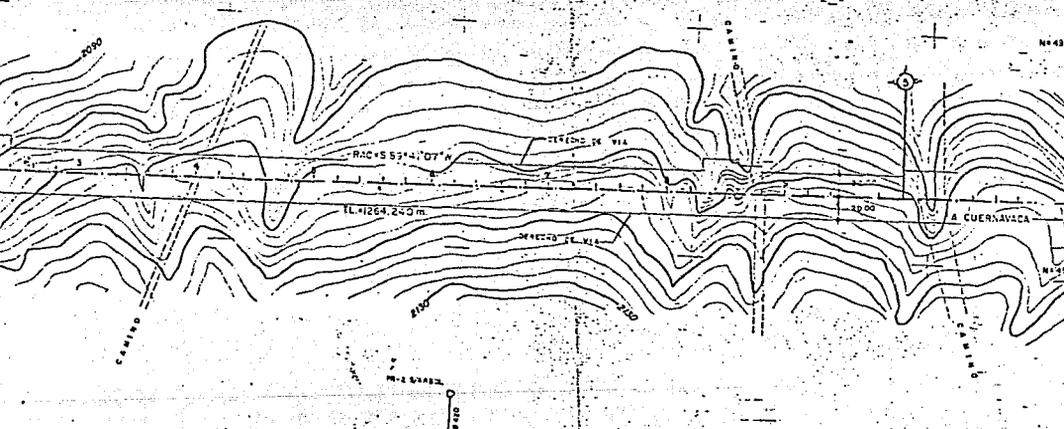
-E+7400

-E+7400

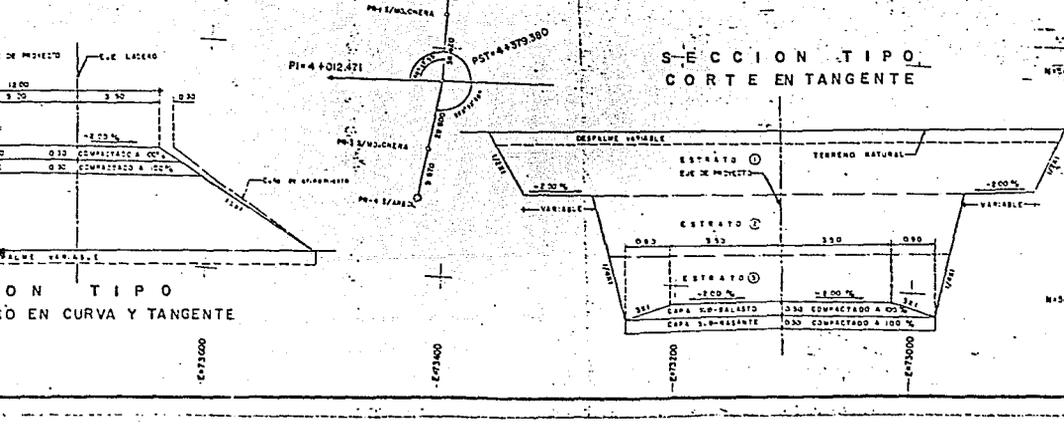
-E+7300



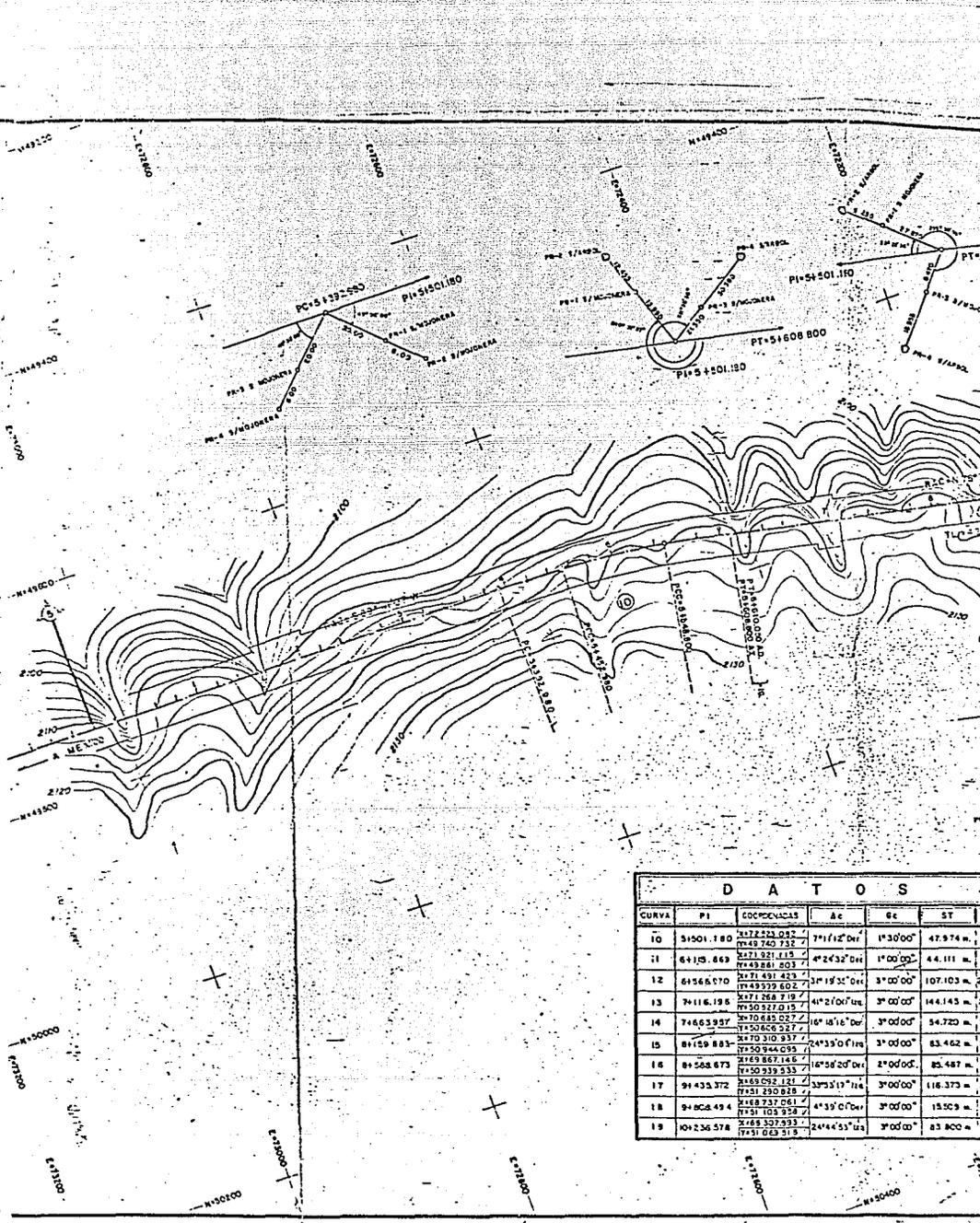
SECCION TIPO  
CORTE CON LADERO EN CURVA Y TANGENTE



SECCION TIPO  
CORTE EN TANGENTE

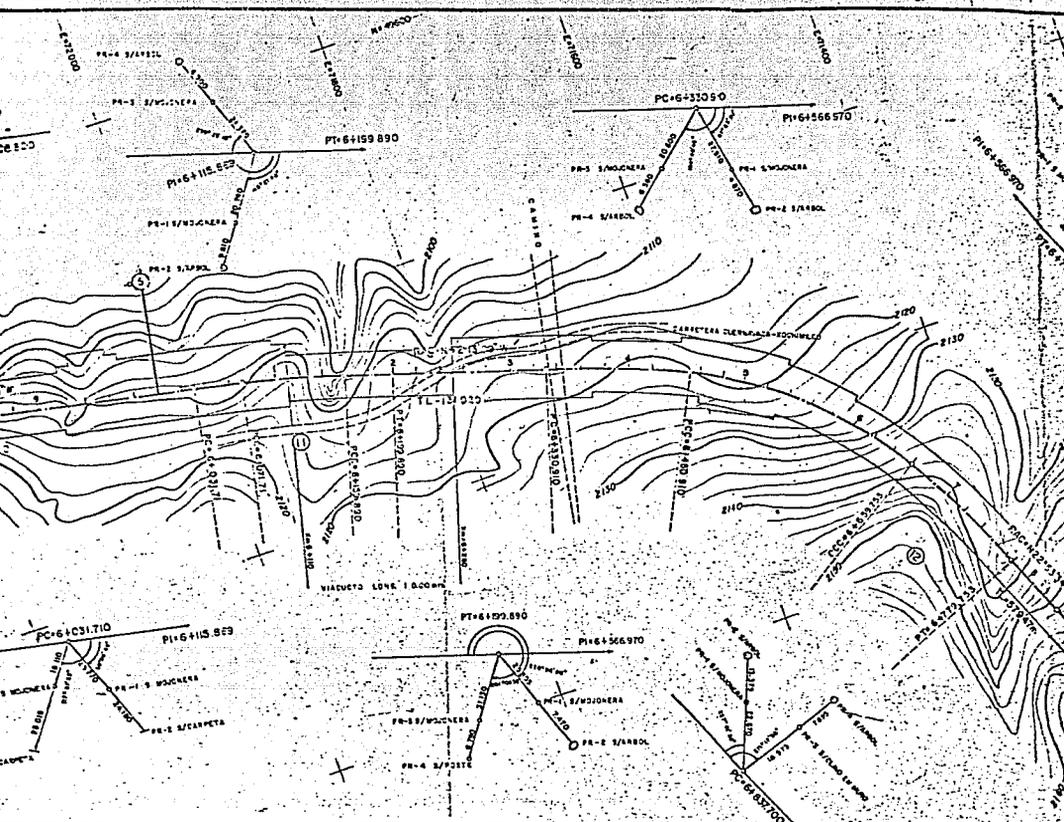


ON TIPO  
O EN CURVA Y TANGENTE



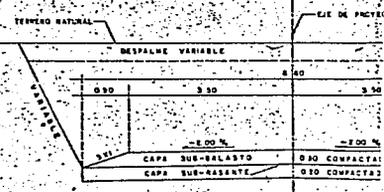
**D A T O S**

CURVA	PI	COCORDENADAS	A c	Gc	ST
10	51501.180	2172221.087 145740.732	7°11'12" Der	1°30'00"	47.974 m.
11	6+125.868	2171321.115 143484.503	2°24'32" Der	1°00'00"	44.111 m.
12	6+566.570	2171491.423 143932.602	3°18'32" Der	3°00'00"	107.103 m.
13	7+116.198	2171268.719 143522.015	41°27'07" Der	3°00'00"	144.145 m.
14	7+663.987	2170682.027 143086.527	6°48'16" Der	3°00'00"	54.720 m.
15	8+159.883	2170310.937 1430944.035	24°33'07" Der	3°00'00"	83.462 m.
16	8+568.873	2169867.145 1430939.533	6°56'20" Der	2°00'00"	85.487 m.
17	9+433.372	2169592.151 1431250.818	33°51'17" Der	3°00'00"	116.375 m.
18	9+806.494	2169237.061 1431053.587	4°33'07" Der	3°00'00"	15.503 m.
19	10+236.578	2169327.933 1431023.518	24°44'53" Der	3°00'00"	83.800 m.

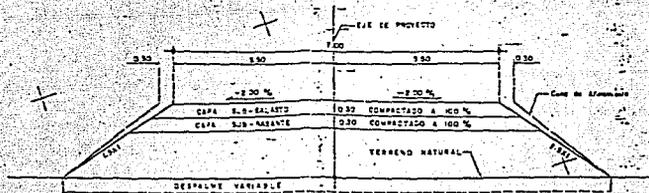


### D E C U R V A S

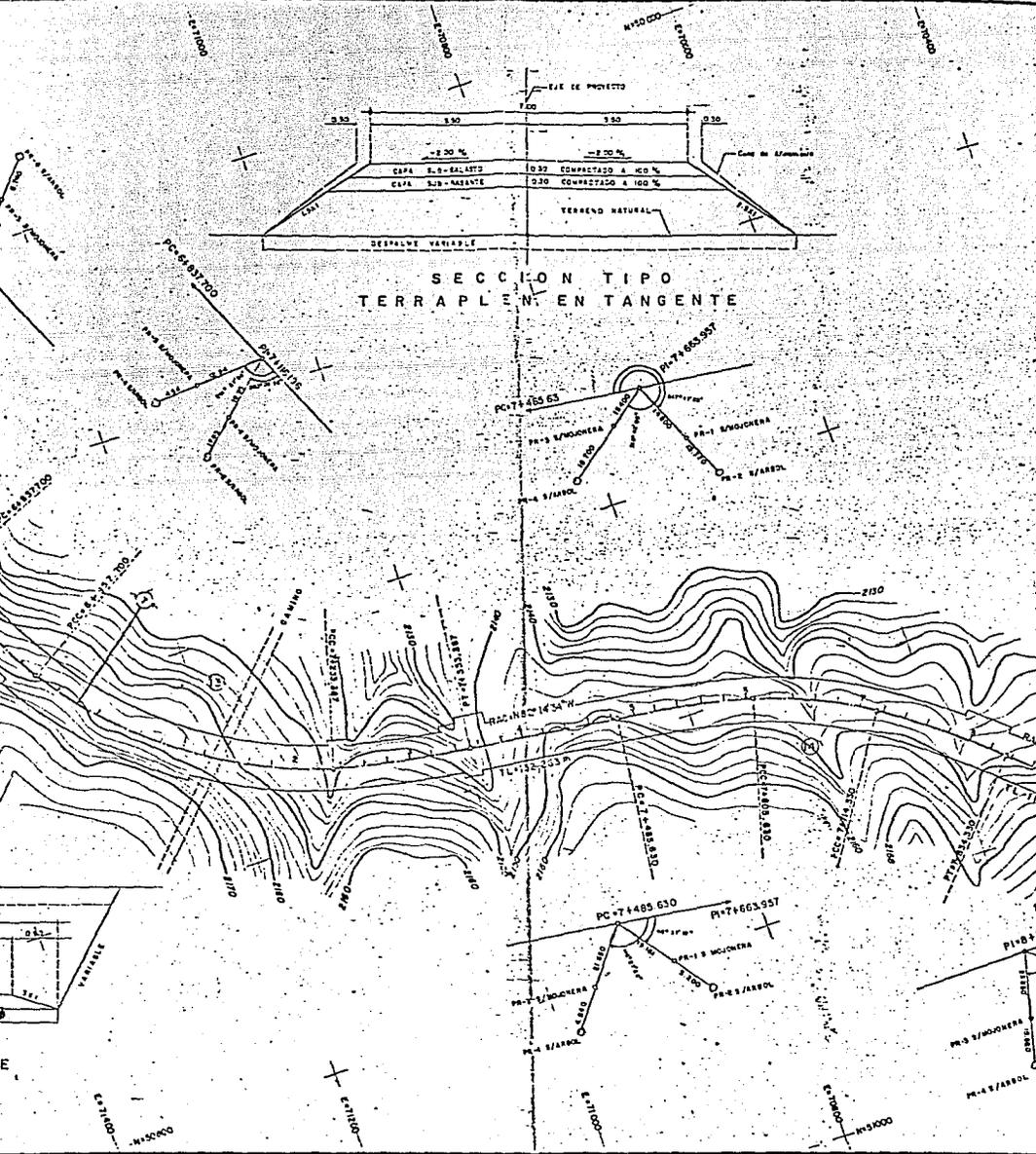
	Rc	Vm	α	TST	G	Lo	Xc	Tc
2	783.344 m	0° 15' 00"	11° 41' 12"	108.200 m	2° 15'	6000 m	59.991 m	0.785 m
3	1143.366 m	0° 15' 00"	8° 24' 32"	84.159 m	1° 00'	40.00 m	39.997 m	0.233 m
43	381.973 m	0° 15' 00"	49° 15' 35"	236.660 m	9° 00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m
47	381.973 m	0° 15' 00"	55° 21' 00"	273.496 m	9° 00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m
50	381.972 m	0° 15' 00"	3° 18' 18"	178.327 m	9° 00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m
51	381.972 m	0° 15' 00"	42° 33' 24"	279.683 m	9° 00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m
52	372.858 m	0° 15' 00"	24° 58' 20"	166.972 m	4° 00'	80.00 m	79.961 m	1.851 m
53	389.972 m	0° 15' 00"	5° 55' 17"	246.552 m	9° 00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m
55	381.972 m	0° 15' 00"	2° 23' 01"	134.764 m	9° 00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m
57	381.972 m	0° 15' 00"	42° 44' 53"	212.058 m	9° 00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m

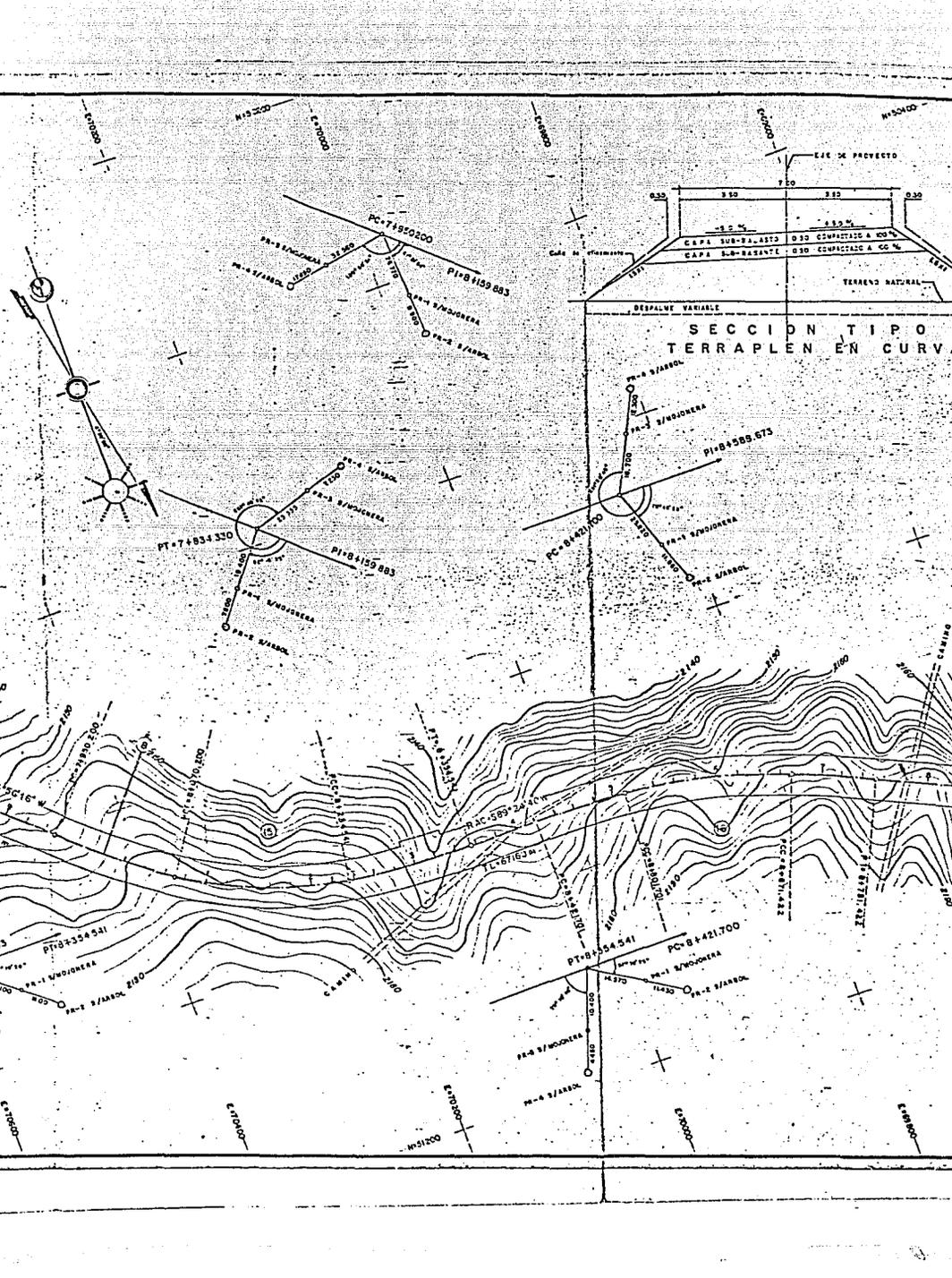


SECCION TI  
CORTE EN TA

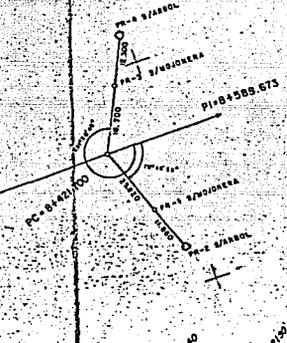
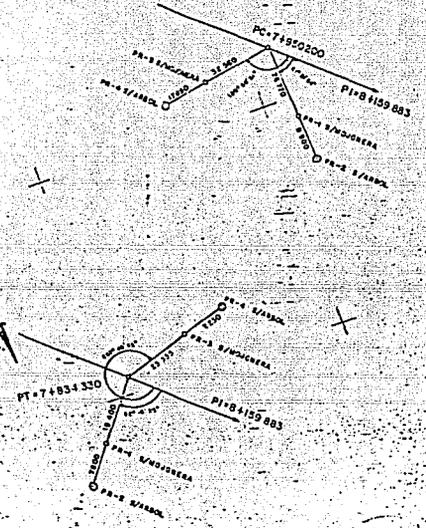
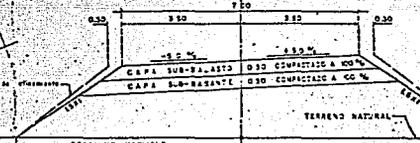


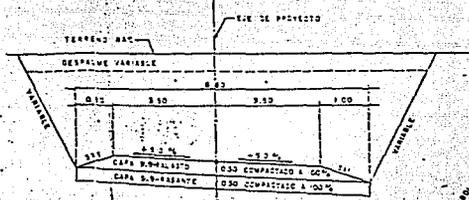
SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN TANGENTE





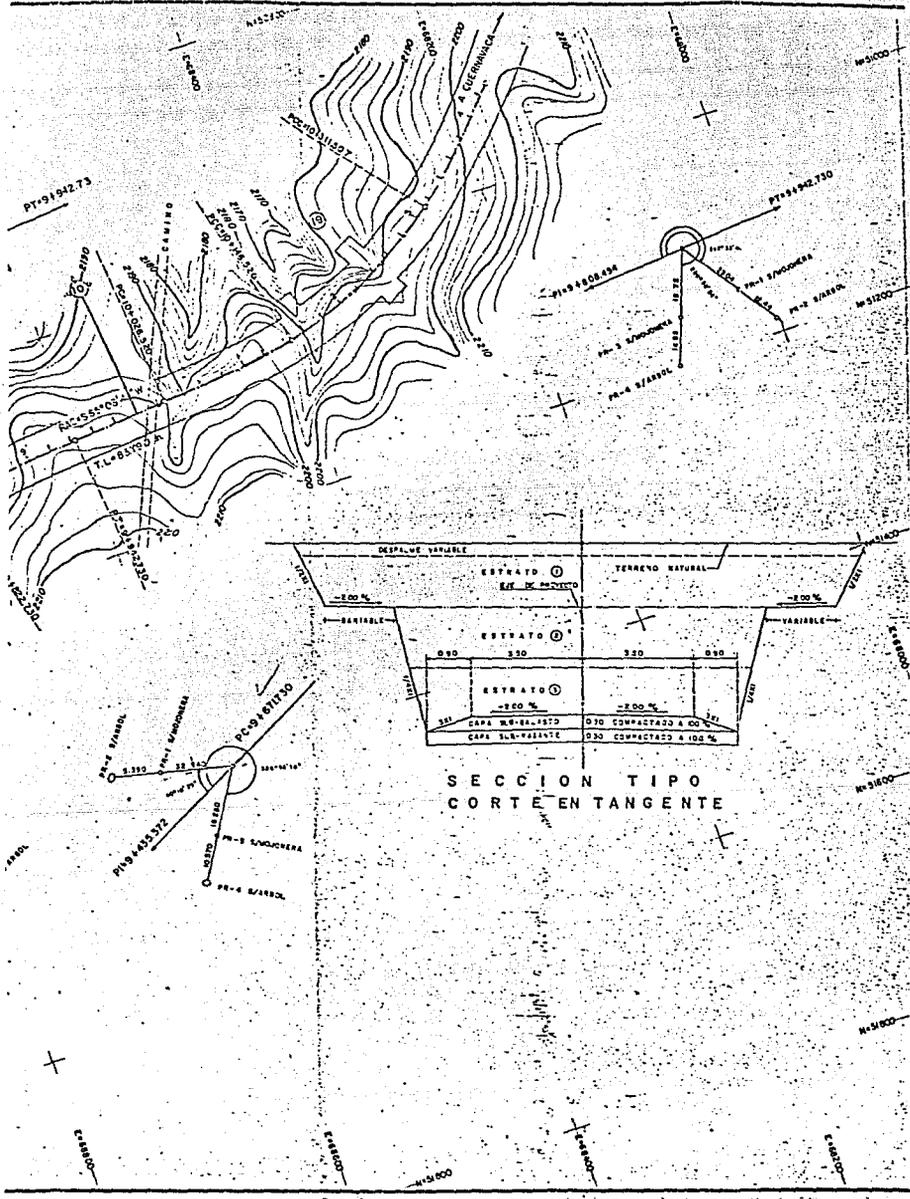
SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN CURVA





**SECCION TIPO  
CORTE EN CURVA**





SECCION TIPO  
CORTE EN TANGENTE

trazo preliminar calculado y la (3.6.), que representa las condiciones reales de dicha poligonal.

De esta manera, se observa que la ubicacion de este trazo, varia de posicion con respecto de las curvas de nivel mostradas en la figura (3.1.). Esto se debe al error fotogrametrico explicado con anterioridad, no obstante, la topografia a detalle que se tomo. Esto hace variar la poligonal en base a los accidentes de terreno que se encuentren, lo pronunciado de sus pendientes o la gran altura de cortes y terraplenes.

Asi por ejemplo, podemos observar algunas variaciones, en la ubicacion del P.C. del km 3+466 de la figura (3.6.), donde la via corta a la curva de nivel 2100 a lo largo de casi 30 m. Esto representa un corte; sin embargo, en la figura (3.1.), el trazo no toca siquiera, dicha curva.

Otro ejemplo lo podemos ubicar en los puntos definidos por los km 6+199.89, 8+751.42 y 9+188.82, donde la topografia a detalle, muestra la existencia de la carretera Cuernavaca-Xochimilco en el primero y dos caminos vecinales en el segundo y tercer punto; mismos que no aparecen en el trazo preliminar.

En el caso del primero, la linea preliminar muestra el P.T. exactamente en la interseccion con la mencionada carretera a Xochimilco, sin embargo, se recordara que las curvas requieren de una sobreelevacion para contrarrestar el efecto de la energia centrifuga; necesitandose que la diferencia de alturas de esta sobreelevacion, no quede ubicada en un camino, ya que el paso vehicular obliga al constante mantenimiento de la sobreelevacion.

Esto obliga a la brigada topografica, a ubicar el P.T. en cuestion, 30m antes de la interseccion de la carretera, como se muestra en la figura (3.6.).

### 3.5. Preparacion del proyecto .

La elaboracion del proyecto definitivo, requiere de la obtencion de los elementos reales que determinan la ubicacion del trazo definitivo, para lo cual se analizara sobretodo, el perfil que se muestra en la figura (3.7.), en base a los lineamientos de cortes y terraplenes que se mencionan en el punto (3.2.).

Esto se debe analizar antes de iniciar el proyecto, ya que este será dedicado a calcular los elementos que definen en detalle la construccion de cada una de las curvas y tangentes, ajustandose lo mas posible al anteproyecto hasta aqui definido.

De esta manera, se analizan cada uno de los cortes y terraplenes, de mas de 20m de altura, ya que como se analizo en el punto (3.2.), esto recomienda el empleo de tuneles y viaductos; por lo que antes de aprobar dicha construccion, se analiza el posible desvio del trazo, con el fin de impedirlos, dentro de la faja topografica de los 200 m, sin que esto obligue al tendido excesivo de via.

En el perfil de la figura (3.7.), se puede observar la construccion de 7 tuneles y 2 viaductos de poca longitud. Dado que todos se analizan de manera similar, se estudia solo uno, a fin de asentar el lineamiento a seguir.

Asi, se analizara el tunel de mayor longitud (el localizado entre el km 13+250 y el km 13+650). Dicho sea de paso, se puede observar que en el citado perfil, ninguno de los tuneles ni viaductos se albergan en columpios o cimas, por lo que se satisface una de las especificaciones que al respecto establece F.N.M.

Al observar el trazo dentro de la faja topografica de la figura (3.6.) se

- P E R F I L -  
LINEA FERREA: MEXICO - CUERNAVACA  
TRAMO: NEPOPUALCO - SAN JUAN TLACOTENCO  
DEL KM. 0+000.00 AL KM. 22+000.00

ELEV. TERR. 2120 M.

ELEV. TERR. 2100 M.

ELEV. TERR. 2080 M.

ELEV. TERR. 2060 M.

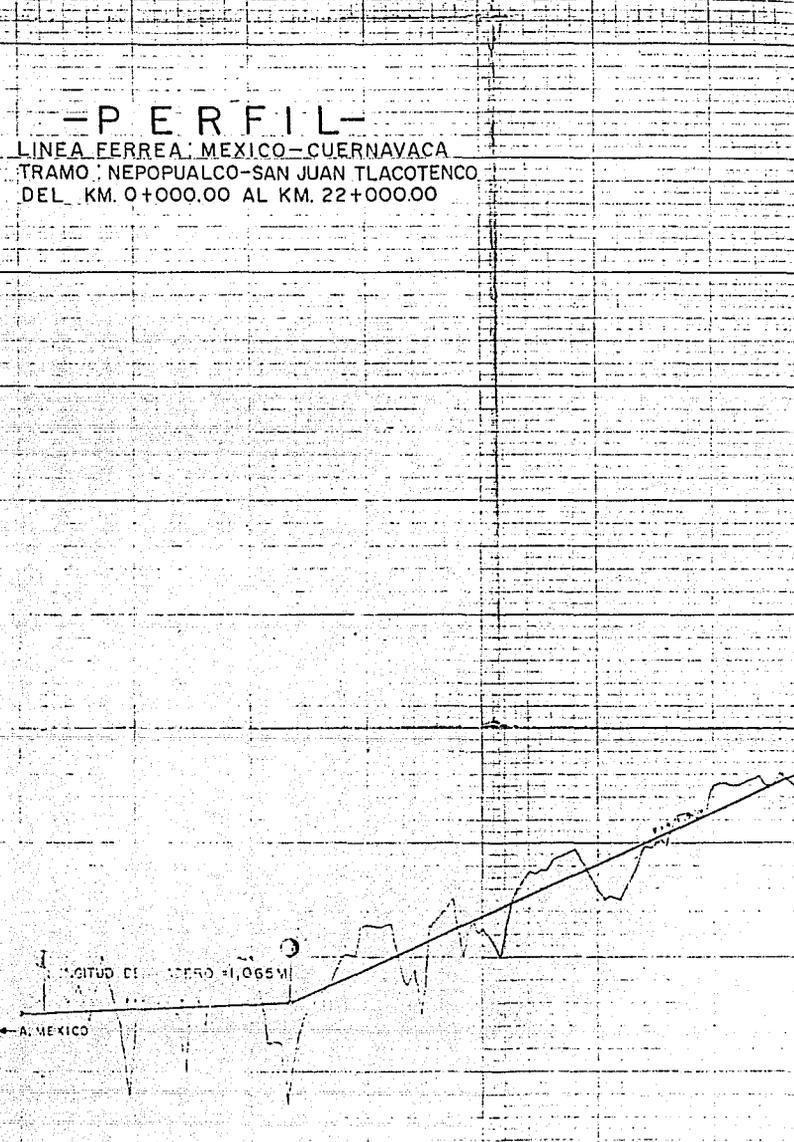
← A. MEXICO

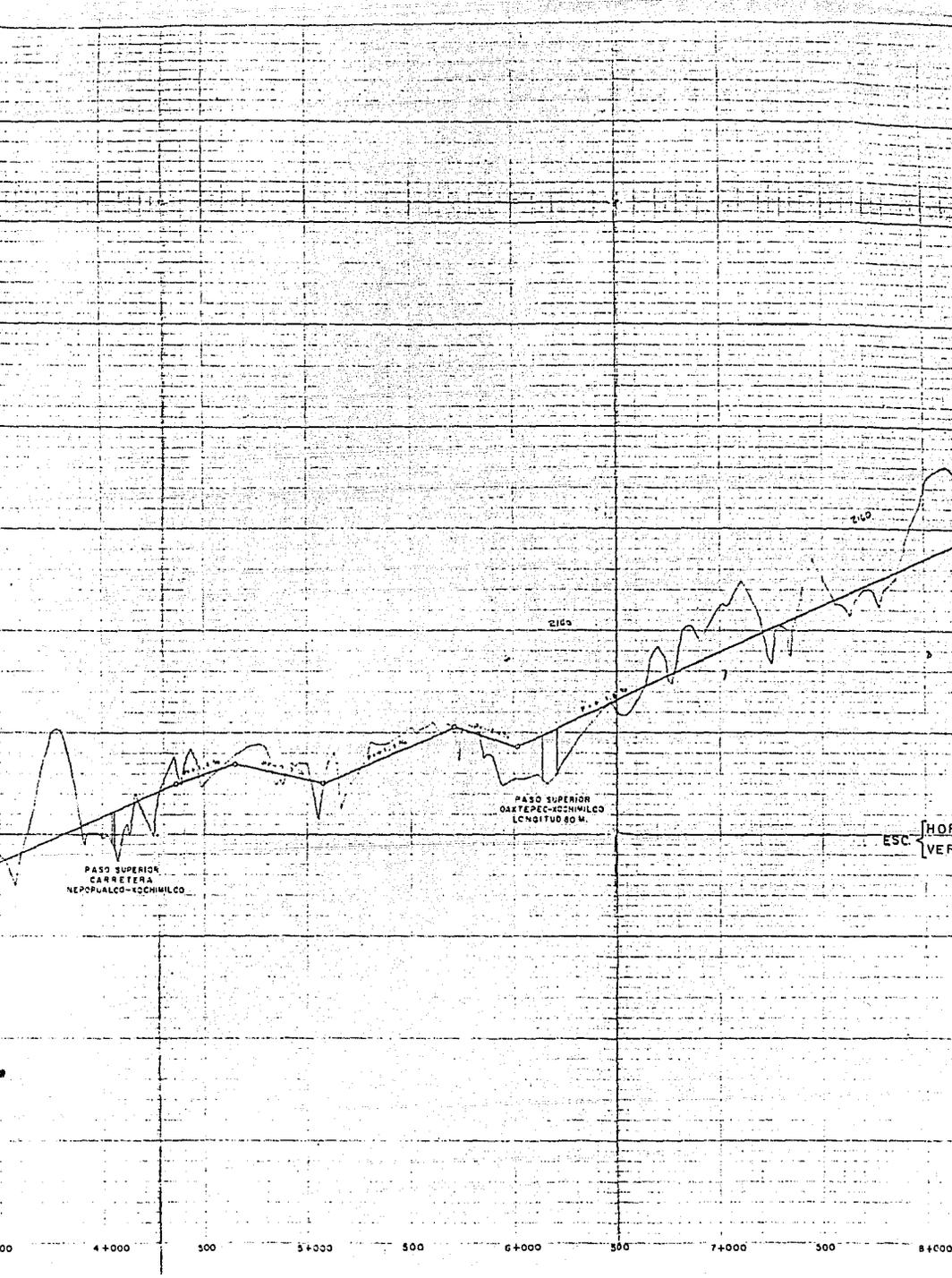
ELEV. TERR. 2040 M.

ELEV. TERR. 2020 M.

ALTITUD DE NEPOPUALCO 1,065 M.

0+000 500 1+000 2+000 3+000 4+000



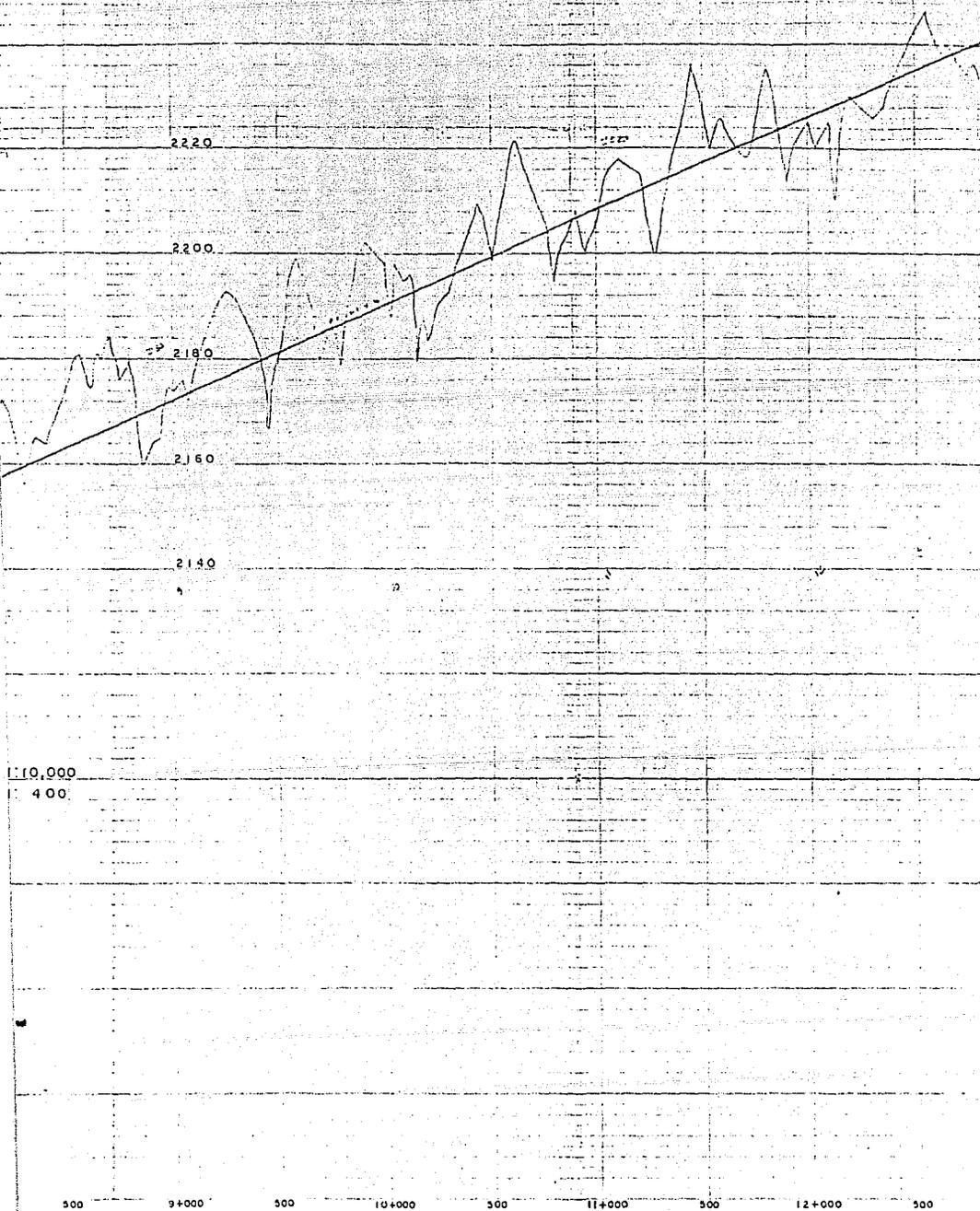


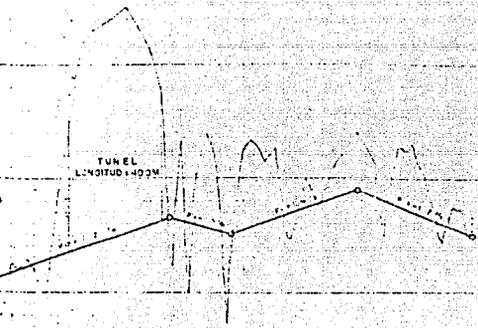
PASO SUPERIOR  
CARRETERA  
NEPOQUALCO-ECCHIMILCO

PASO SUPERIOR  
OAXTEPEC-ECCHIMILCO  
LONGITUD 80M.

ESC } HOR  
VER

00 4+000 500 5+000 500 6+000 500 7+000 500 8+000





ELEV. TERR. 2230 M.

ELEV. TERR. 2250 M.

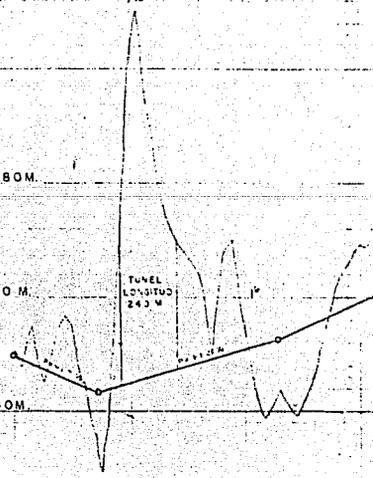
ELEV. TERR. 2240 M.

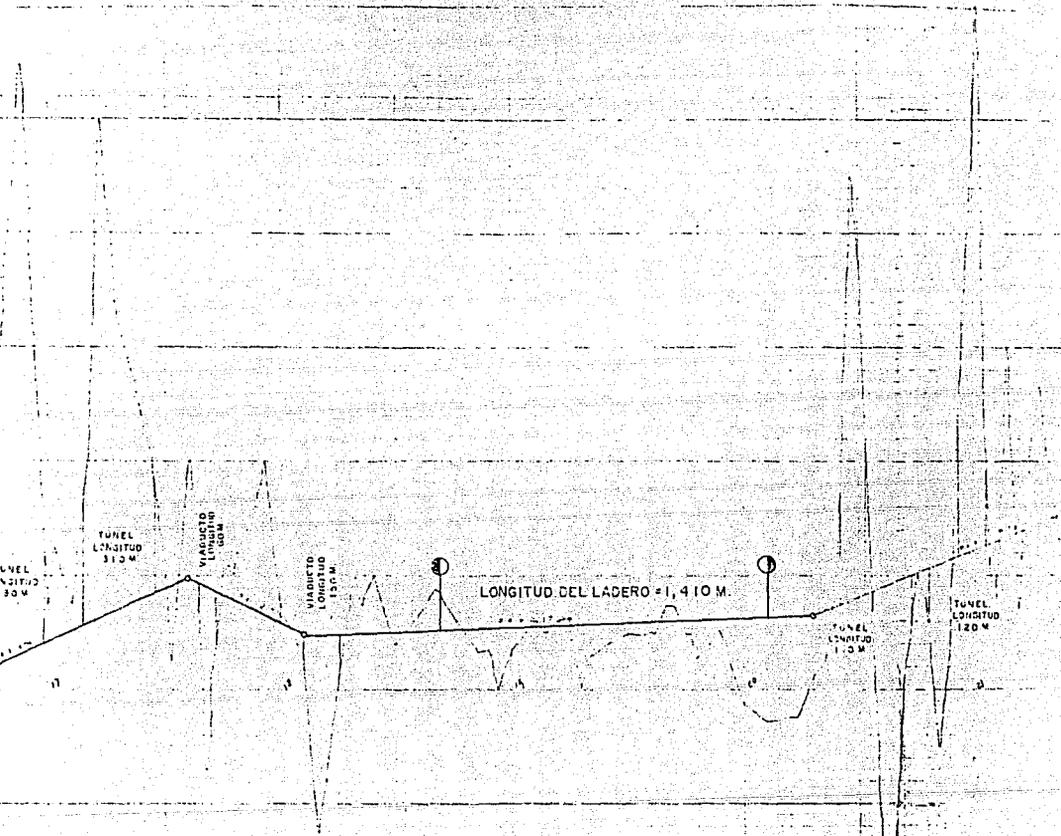


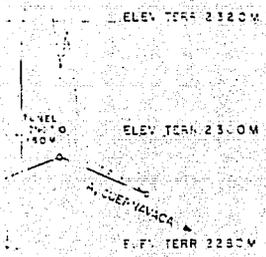
ELEV. TERR. 2280 M.

ELEV. TERR. 2260 M.

ELEV. TERR. 2240 M.







44  
 44  
 44

LINEA FERREA MEXICO-C. ERIVACA  
 TRAMO MEMORIALCO-SAN JUAN TLACATEPEC  
 KM. C+000.00 A. KM. 22+000.00

---

P E R F I L

---

ESTACION 14+300

**FIG. 3.7.**

deduce por las curvas de nivel, que este atraviesa una elevación de terreno, de aprox. 50 m con respecto al punto de entrada del túnel (cota 2290 en el punto más alto y 2248 en el punto de referencia) y de extensión aprox. de 400m en línea perpendicular al eje de la poligonal.

La necesidad de elaborar una nueva propuesta de trazo, lleva a la fotogrametría de la figura (3.1.), ya que la franja topográfica solo cubre 200m de terreno, lo cual no es suficiente para librar el paso del cerro a través de un túnel.

En la figura (3.8.) se muestra la restitución fotogramétrica en el tramo del trazo que va del km 10+600 al 17+000, donde se muestran dos posibles opciones de librar el cerro en cuestión.

La primera propuesta establece un desvío hacia la parte norte del trazo, partiendo aprox. del km 16+200. La pendiente compensada del 2%, obliga una abertura del compás definiendo las tangentes que se muestran en la opción 1; sin embargo, las curvas de nivel indican que en esta región, el suelo asciende de manera continua, por lo que esta línea requeriría en campo de un corte de más de 50m de altura, para conservar la citada pendiente; esto nos obliga a la construcción de un túnel de aprox. 1200m en este tramo y hace mucho menos costosa esta opción.

Por otra parte, el tratar de desviar el trazo más hacia el norte, provocaría cortes mucho mayores o túneles de mayor longitud al tratar de conservar la pendiente máxima en terreno con pendiente natural, evidentemente mucho mayor.

La segunda opción, la constituye un desvío hacia el sur de la poligonal, partiendo aprox. del km 12+200 y uniéndose nuevamente en el km 14+510.

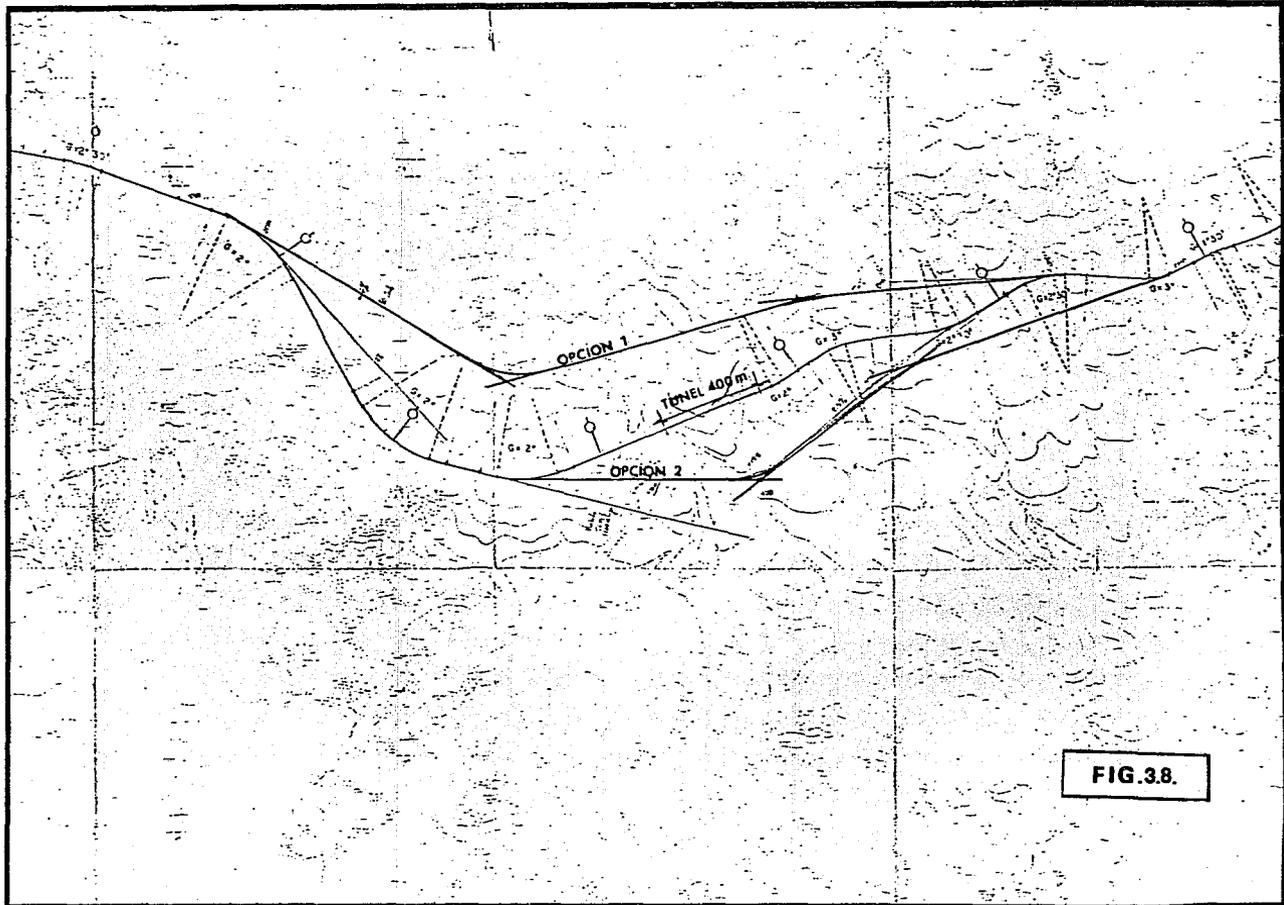
Este trazo, por localizarse entre dos puntos de igual nivel sobre un terreno descendiente, requiere de rellenos de hasta 30m de altura, durante

la primera fase de su desarrollo, que consta de aprox. 1 km y rellenos de hasta 25 m de altura, desde su punto mas bajo en la segunda fase de su desarrollo y que consta de aprox. 600m.

Se hace necesaria entonces, la construccion de 2 viaductos, los cuales sumarian una longitud aprox. de 1 km. Esto encarece la construccion al compararlo con los correspondientes 400m de tunel.

La longitud de esta opcion es de 2.35 km, es decir, 40 m mas de longitud que aunado a las razones anteriores, hacen de esta, una opcion inelegible por su costo.

Analizando de similar manera los otros 6 tuneles, se llega a la conclusion de que el trazo obtenido por las brigadas topograficas (basado en el anteproyecto), es el mas adecuado para el calculo y desarrollo del proyecto definitivo, gracias a que desde el trazo de la ruta preeliminar, se siguio el criterio de continuar la poligonal lo mas apegado a una sola curva de nivel; utilizando para el cambio entre una y otra, de 2 a 4 aberturas de compas que definen a las tangentes con las pendientes especificadas; esto origina en consecuencia, la necesidad de cortes y terraplenes de baja altura.



**FIG. 38.**

## CAPITULO 4

### PROYECTO DEFINITIVO

#### *4.1. Matematización del trazo definitivo.*

Se analizó en el capítulo anterior, la gran importancia del reconocimiento topográfico del lugar, ya que de él se desprende el ajuste del eje de la vía calculada, a las condiciones reales de campo.

Como se puntualizó en su momento, la existencia de accidentes topográficos (cortes o rellenos de gran magnitud, en consecuencia), obligan al Ingeniero Topógrafo a desplazar el trazo con el fin de salvar dichos problemas, con la obligada reubicación de los puntos que determinan dicho trazo y que se denominan como: P.I.'s.

La realización del proyecto definitivo requiere en este nivel del cálculo específico de cada uno de los elementos que componen el diseño geométrico y que son: las curvas horizontales, la sobreelevación de las curvas, las curvas espirales y las curvas verticales. Esta matematización se realiza a partir de la ubicación real de los P.I.'s. A este proceso se le conoce como Matematización del Trazo Definitivo.

De igual manera que en la matematización del trazo preliminar, se obtienen los valores de las tangentes, subtangentes, rumbos y deflexiones, con los métodos ya explicados. De manera que esto funcione como base de datos para el cálculo geométrico de los diferentes elementos del proyecto.

Es obvio que para que esto tenga resultados reales, la brigada topográfica deberá proporcionar los datos del kilometraje y ubicación

mediante coordenadas de los P.I.'s que alojan a cada una de las curvas, aunada a un trazo de localización en campo.

Dichos elementos, fueron proporcionados en la tabla que aparece en la figura (4.1) donde se muestra el número de curva para su ubicación en el plano, el kilometraje que ubica a los P.I.'s y sus coordenadas.

Obtenidas las coordenadas reales de los 38 P.I.'s (punto final para la realización del proyecto definitivo) se calculan los elementos que se deberán entregar a las brigadas topográficas para la ubicación del trazo definitivo en campo, previo a su construcción.

De esta manera, se proveen los elementos que componen las curvas circulares, entendiéndose por estas, a las trazadas en el plano horizontal y que unen a dos líneas tangentes a través de una curva descrita por un radio de la misma magnitud en cualquiera de los puntos del arco descrito; siendo sus elementos: el ángulo de deflexión ( $\Delta C$ ), el grado de curvatura (GC), la subtangente (ST), longitud de la curva (LC) y el radio de la curva (RC), como se muestra en la figura (4.2.).

Estos conceptos han sido ya definidos en los temas "Grado de curvatura" y "Trazo preliminar".

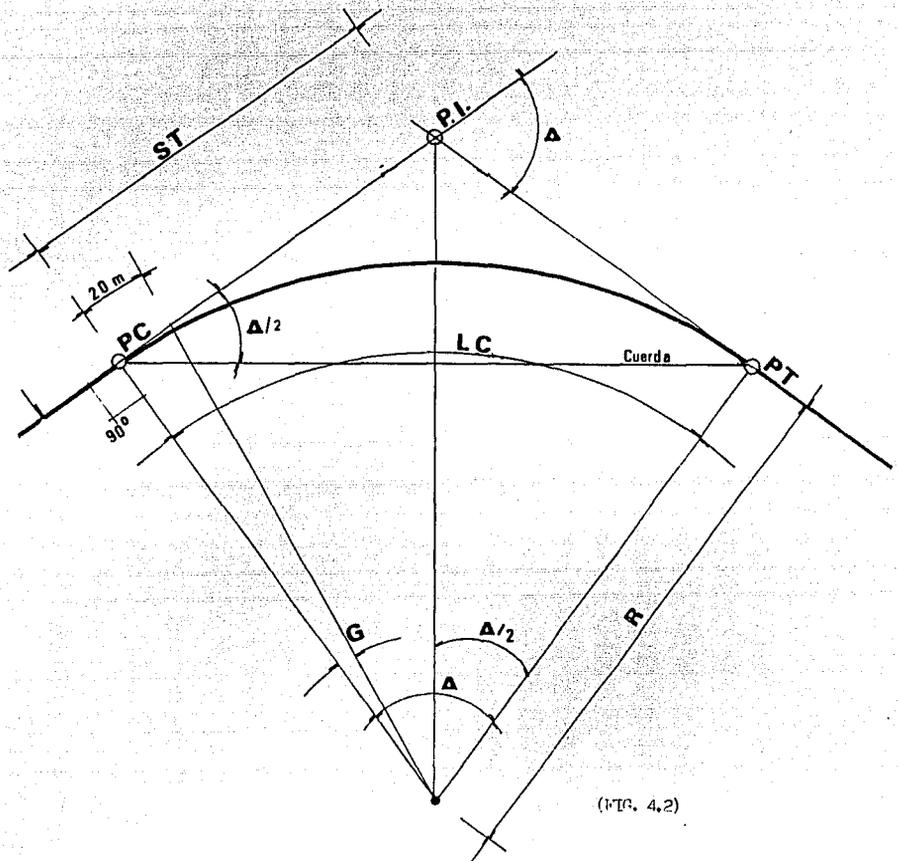
Si se analiza la figura (4.2.), se observa que el punto PC, el PI y el centro de la curva (C), forman un triángulo rectángulo que es semejante al formado por los puntos PT, PI y C.

A través de un simple análisis trigonométrico de ambos triángulos, se deduce que el ángulo de deflexión ( $\Delta$ ) es el mismo que define el ángulo central de la curva horizontal.

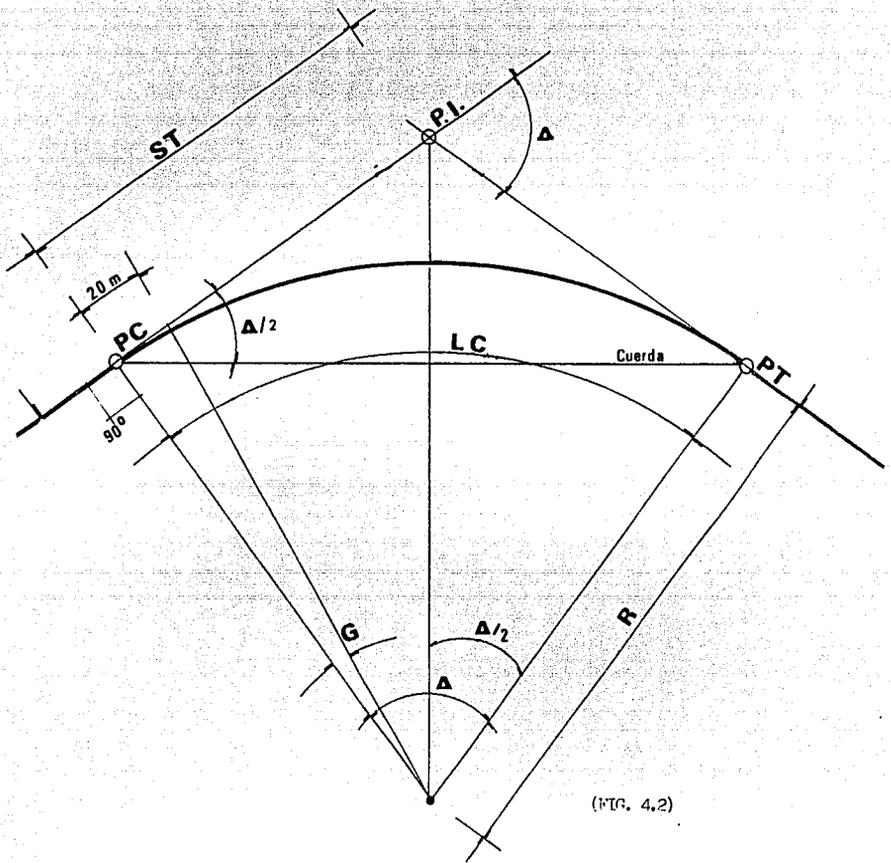
CURVA	PI	COORDENADAS
1	0+014.345	X= 77 915.982 Y= 49 786.603
2	0+351.330	X= 77 635.940 Y= 49 974.075
3	0+936.619	X= 77 042.603 Y= 49 884.906
4	1+836.050	X= 78 142.955 Y= 49 897.739
5	2+345.757	X= 78 654.355 Y= 49 747.657
6	2+656.970	X= 75 342.327 Y= 49 782.793
7	2+998.913	X= 75 018.398 Y= 49 661.195
8	3+585.275	X= 74 430.152 Y= 49 654.918
9	4+012.471	X= 74 012.561 Y= 49 748.913
10	5+501.180	X=72 523.082 Y=49 740.732
11	6+115.869	X=71 921.115 Y=49 861.803
12	6+566.970	X= 71 491.429 Y=49 999.602
13	7+116.196	X=71 268.719 Y=50 527.015
14	7+663.957	X=70 685.027 Y=50 606.527
15	8+159.883	X=70 310.937 Y= 50 944.095
16	8+588.673	X=69 867.146 Y=50 939.533
17	9+435.372	X=69 092.121 Y=51 290.828
18	9+808.494	X=68 737.061 Y=51 105.958
19	10+236.578	X= 68 307.993 Y= 51 069.518
20	10+626.357	X= 68 034.978 Y= 50 770.502
21	10+938.884	X= 67 733.968 Y= 50 669.508
22	11+223.665	X= 67 484.220 Y= 50 530.085
23	11+762.857	X= 66 939.181 Y= 50 574.087
24	12+264.480	X= 66 503.202 Y= 50 305.081

(FIG. 4.1)

CURVA	PI	COORDENADAS
25	12+755.904	X= 66 010.696 Y= 50 252.191
26	13+223.245	X= 65 631.191 Y= 49 969.788
27	14+344.843	X= 64 590.616 Y= 49 548.823
28	14+998.209	X= 63 945.673 Y= 49 718.061
29	15+174.78	X=63 840.569 Y=49 956.134
30	16+262.98	X=63 418.252 Y=50 971.990
31	16+693.31	X=62 930.672 Y=50 985.953
31'	17+590.44	X=62 079.195 Y=51 272.347
32	18+168.05	X=61 593.750 Y=51 586.816
33	18+770.71	X=61 028.121 Y=51 262.399
34	19+235.12	X=60 557.201 Y=51 304.694
35	19+669.10	X=60 290.152 Y=50 906.074'
36	19+987.94	X=59 978.015 Y=50 801.341
37	20+286.19	X=59 710.244 Y=50 669.609
37	20+286.19	X=59 710.244 Y=50 669.609
38	21+007.78	X=58 985.395 Y=50 657.041
39	21+792.10	X=58 290.706 Y=50 277.181
40	21+865.72	X=58 213.478 Y= 50 284.969
41	21+959.62	X=58 119.571 Y=50 282.688
42	22+145.18	X=58 017.836 Y=50 110.724
43	22+342.27	X=57 799.457 Y=50 151.626
44	22+444.93	X=57 786.785 Y=50 289.263
45	22+494.66	X=57 787.196 Y=50 339.022
P. F.	22+508.98	X= 57 785.880 Y=50 353.307



El trazo se comienza a calcular a partir de la intersección con la vía Mexico-Cuatla, en el kilometro 85+250 de la misma, el cual define precisamente el PC=0+000 del trazo. Este punto de unión debe de estar situado sobre la tangente de la vía actual y nunca sobre una curva, ya que ello afectaría a la sobreelevación de la misma (concepto que se analizara adelante), al arrancar de ahí con una tangente que carece de dicha sobreelevación, o una curva de sentido inverso con sobreelevación en sentido contrario, se puede ocasionar un descarrilamiento por el cambio de sobreelevaciones.



(FIG. 4.2)

El trazo se comienza a calcular a partir de la intersección con la vía Mexico-Cuatla, en el kilometro 85+250 de la misma, el cual define precisamente el PC=0+000 del trazo. Este punto de unión debe de estar situado sobre la tangente de la vía actual y nunca sobre una curva, ya que ello afectaría a la sobreelevación de la misma (concepto que se analizara adelante), al arrancar de ahí con una tangente que carece de dicha sobreelevación, o una curva de sentido inverso con sobreelevación en sentido contrario, se puede ocasionar un descarrilamiento por el cambio de sobreelevaciones.

NO  
EXISTE  
PAGINA

El arranque de la vía, comienza con una curva de corta longitud (28.67m) y con un grado de curvatura de  $4^{\circ}$  el cual obviamente queda fuera de las condiciones geométricas. Sin embargo, esto no solamente es justificable sino necesario, ya que el arrancar de una vía a partir de otra ya existente, hace obligado el empleo de un sape para el cambio de vía.

Según el reglamento de conservación de vía y estructuras de F. N. M., se establece que para vías principales como esta, se utilizará un cambio con un sape del número 10, a través de una curva circular de 28.67 m y con un grado de curvatura  $G=4^{\circ}$ , como se puede observar en la tabla de la figura (4.3.).

Esto resulta razonable si se considera que al llegar el tren a dicho cambio, reducirá su velocidad a 0.0 km/hr, a fin de poder efectuar manualmente el cambio; al pasar totalmente el tren, tendrá que detenerse nuevamente para regresar el cambio a su condición inicial. Es decir, el paso del tren por la curva de entrada a la vía, que es de  $G=4^{\circ}$ , transcurre a una velocidad mínima, por lo que no se requiere de sobreelevación alguna.

El ángulo de deflexión ha sido obtenido en campo, a través de un tránsito ubicado en el P.I.1. que forman el eje de la vía existente y el del trazo; este es de  $5^{\circ} 44' 00''$ .

Se concluye que no es necesario calcular la primera curva del trazo, debido a que no se dan las condiciones geométricas en base a las especificaciones que dictan los F.N.M., para un cambio de vía. Sin embargo, continuando con el curso de la vía, se encuentra la curva número 2.

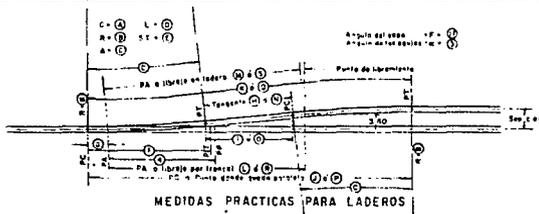
Es aquí donde comienza la matematización del trazo definitivo, con las ecuaciones ya descritas en la matematización del trazo preliminar, de tal manera, que para la obtención del radio, se tiene:

$$R = 1145.92 / G$$

## DATOS PRÁCTICOS PARA CAMBIOS Y LADEROS

NUM DEL SAPO	CURVAS DEL CAMBIO Y LA REVERSA DEL LADERO					DST. P. C. A. P. T. TECNICA DEL SAPO METROS F	DST. P. C. A. P. AGUAS METROS E	DST. PA. O. PP. SAPO		NUM DEL SAPO F	PARA SEPARACION DE 460m. DE C. C. DE VIAS (metros)					PARA SEPARACION DE 500m. DE C. C. DE VIAS (metros)					POR CADA METRO AB. CONAL DE SEPARACION DE VIAS							
	GRADO		RADIO		ANG. CURVA GR. MIN.			LONG. CURVA METROS	TANGENTE METROS		MES	PULO	TANGENTE	C. P. O. PUNTO CONOP. PARALELO DOCS. PARALELO		P. A. O. LIBRAJE		TANGENTE	C. P. O. PUNTO CONOP. DOCS. PARALELO		P. A. O. LIBRAJE		TANGENTE	METROS	AB. METROS			
	BR.	MIN.	A.	B.										GR.	D.	E.	H.		I.	J.	K.	L.				M.	N.	O.
5	10	02	71	709	11	88	14 262	7 178	14 35	1 447	42	81/2	12 9867	5	8 849	8 673	17 101	77 374	24 97	23 24	10 888	10 637	39 08	35 382	24 31	24 83	5 065	6 849
6	11	08	103	337	9	38	17 378	8 822	17 22	8 818	47	8	14 4790	6	10 570	10 785	44 834	48 888	28 98	28 22	12 845	12 748	47 016	47 301	28 48	24 75	6 059	8 264
7	6	08	140	752	8	10	20 041	10 048	20 09	1 836	82	1	18 8230	7	12 890	12 185	52 148	52 372	35 90	36 11	15 104	14 951	54 935	55 168	35 36	35 56	6 808	8 908
8	6	14	163	887	7	08	22 841	11 482	22 98	8 538	88	0	20 7884	3	15 973	15 884	59 655	59 835	40 18	40 37	17 187	17 053	82 841	83 043	28 53	38 75	6 054	7 978
9	4	58	132	332	6	28	28 811	18 823	25 83	3 810	72	31/2	27 0345	8	15 858	15 539	67 072	67 258	43 80	44 05	18 243	18 124	70 657	70 865	45 18	45 14	6 018	8 982
10	4	00	288	337	3	44	28 887	14 347	28 70	4 824	78	3	24 0030	10	17 357	17 284	74 510	74 687	48 29	48 45	21 357	21 250	78 459	78 681	47 48	47 63	10 010	8 985
11	3	18	347	248	8	13	31 818	16 881	31 57	3 713	91	12 1/4	27 9872	11	18 951	18 873	82 026	82 183	54 75	54 84	23 350	23 253	86 406	86 583	53 85	53 88	11 000	10 853
12	2	44	414	227	4	47	34 978	17 300	34 44	5 128	98	8	29 4640	12	20 584	20 487	89 572	89 770	58 88	58 81	25 381	25 273	94 352	94 517	57 76	57 84	11 982	11 950
13	2	02	143	285	4	06	40 388	20 171	40 18	7 728	107	03/4	32 6327	14	23 988	23 935	104 515	104 632	66 80	66 73	29 318	29 218	110 034	110 247	65 44	64 73	15 988	15 931
15	1	44	848	857	3	49	43 208	21 810	43 05	4 721	116	4/2	38 1191	15	25 888	25 829	112 175	112 302	78 20	78 32	31 888	31 825	118 169	118 316	74 04	74 18	18 024	18 000
16	1	34	731	158	3	38	45 987	28 880	45 82	6 083	131	4	40 0304	16	27 278	27 223	118 085	118 182	78 76	78 82	33 810	33 806	122 453	122 584	75 47	75 66	15 928	15 918
18	1	14	828	138	3	17	51 827	25 814	51 64	8 828	140	11/2	47 8641	18	31 205	31 157	134 341	134 449	84 11	87 00	34 408	34 349	141 533	141 832	85 45	85 54	18 008	17 880
20	1	00	1148	830	8	28	57 333	28 671	57 40	11 337	151	11/2	64 3188	20	34 876	34 583	148 725	149 307	84 95	88 05	42 834	42 681	187 185	187 70	87 45	85 51	18 888	18 970

NOTA:-  
SE CONSIDERA LA VIA DE APOYO DEL  
CAMBIO EN TANGENTE.



**MEDIDAS REGLAMENTARIAS  
PARA  
CAMBIOS Y LADEROS DE VIA ANCHA**  
(Escantillón 1.435 mts.)

(FIG. 4.3)

que para la curva numero 1 el  $G=4^\circ$

$$R_c = \frac{1145.92}{4} = 286.48 \text{ m}$$

y la subtangente

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

$$ST = 286.48 \operatorname{tg} \frac{5^\circ 44' 00''}{2}$$

$$ST = 286.48 \operatorname{tg} ( 2^\circ 52' 00'' )$$

$$ST = 286.48 ( 0.50074 )$$

$$ST = 14.345 \text{ m}$$

Aqui es necesaria la inclusion de las ecuaciones que definen los demas elementos de la curva y que salvo la longitud de la misma, los demas se utilizan para la comprobacion en campo del grado de curvatura. De esta manera la longitud de la curva se obtiene:

$$L = 20 \frac{\Delta}{G}$$

la cuerda:

$$C = 2R \operatorname{sen} \frac{\Delta}{2}$$

la flecha:

$$f = R \left( 1 - \cos \frac{A}{2} \right)$$

la externa:

$$E = R \left( \sec \frac{A}{2} - 1 \right)$$

(Especificaciones Generales para Proyecto Geometrico, S.C.T.)

La obtencion de la longitud de la curva numero 1:

$$T_c = \frac{5^{\circ}44'00''}{4^{\circ}} \cdot 20$$

$$T_c = 1.43 ( 20 )$$

$$T_c = 28.67 \text{ m}$$

de esta manera se obtiene el kilometraje que indica la posicion de los elementos del trazo, es decir, se inicia en el PC=0+000 como se muestra en la figura (4.12.) y que sumado a la longitud de la curva, da el kilometraje del PT de la curva 1.

$$\begin{array}{r} \text{PC}_1 = 0 + 000.00 \\ + \quad T_c = \quad \quad 28.67 \end{array}$$

$$\text{PT}_1 = 0 + 028.67$$

Se calculan ahora los elementos de la curva numero 2, a partir de su angulo de deflexion  $\Delta=24^{\circ} 20' 48''$  y  $GC=3^{\circ}$

$$R = \frac{1145.92}{3} = 381.972 \text{ m}$$

$$ST = 381.972 \operatorname{tg} \left( \frac{24^{\circ} 20' 48''}{2} \right) = 351.33 \text{ m}$$

$$TC = \frac{24^{\circ} 20' 48''}{3^{\circ}} (20) = 162.31 \text{ m}$$

$$PC = PJ - ST = (0 + 351.33) - 351.33 = \text{Pm } 0 + 268.93$$

$$PT = PC + TC = (0 + 268.93) + 162.31 = \text{Pm } 0 + 431.24$$

Se debe tener en cuenta que no obstante cada curva representa una parte del circulo verdadero, el trazar este desde su centro seria practicamente imposible, ya que el radio para la curva con  $G=1^{\circ}$ , se localizara a 1145.92 m de distancia de su centro; tomando en cuenta la topografia del lugar, esto acarrearía una gran cantidad de errores.

Esto conduce al trazo de las curvas desde puntos situados sobre estas mismas, donde "...todo angulo visado entre los 2 puntos extremos de cualquier cuerda, es igual a la mitad del angulo que subtiende a esa cuerda, visto desde el centro de la curva." (Togno.M.,1982, pp.54)

El trazo de la curva en el campo, requiere entonces de ir espaciando estacas sobre el terreno, posiciones determinadas por el tránsito, que marcara deflexiones sucesivas sobre puntos situados en la misma curva, al visar los extremos de la cuerda que se utilice.

Para iniciar este trabajo se determina la ubicación del PC y PT, mediante la medición de las ST a partir del PI, iniciando con las deflexiones sucesivas desde estos puntos, con el fin de coincidir en el centro de la curva.

De esta manera, "si usamos cuerda de 20m, la deflexión será de la mitad de 1 grado, de modo que la deflexión por 1m (dm) expresada en minutos, será:

$$dm = \frac{G \times 60}{2 \times 20} = 1.5 G$$

Este valor (dm) nos permite marcar la primera estaca de cadenamamiento cerrado (20 en 20 m), a partir de un punto cualquiera correspondiente al PC o al PT multiplicando la distancia fraccionaria (en metros) por la "dm" para obtener la deflexión correspondiente." (Togno, M., 1982, pp.55)

Así, la deflexión por metro para la curva número 2 con  $G=3^\circ$  será de:  $dm=1.5G=(1.5) \times (3)=4.5'$ . Se recordará que la longitud de la curva es de 162.311m así es que, dependiendo de las cuerdas que se decidan usar en el trazo, quedará una fracción; por ejemplo, si se decide usar cuerdas de 10m, se harán 16 trazos:  $(10m) \times (16 \text{ trazos})=160m$  y queda una fracción de 2.311m.

Para conocer su deflexión, se multiplica esta fracción por la "dm", es decir:  $(2.311m) \times (4.5')=10' 24''$ . De esta manera se elabora una tabla para el trazo de cuerdas como el que se muestra en la figura (4.4.)

No. Estación	Km	Cuerdas	Deflexión Parcial	Deflexiones Totales
1	Punto de Arranque PC 0+268.94	0.00	0'00"	0'00"
2	0+278.94	10.00	45'00"	45'00"
3	0+288.94	10.00	45'00"	1°30'00"
4	0+298.94	10.00	45'00"	2°15'00"
5	0+308.94	10.00	45'00"	3°00'00"
6	0+318.94	10.00	45'00"	3°45'00"
7	0+328.94	10.00	45'00"	4°30'00"
8	0+338.94	10.00	45'00"	5°15'00"
9	0+348.94	10.00	45'00"	6°00'00"
10	Punto de Encuentro	2.311	10'24"	6°10'24"
11	0+351.25	10.00	45'00"	6°55'24"
12	0+361.25	10.00	45'00"	7°40'24"
13	0+371.25	10.00	45'00"	8°25'24"
14	0+381.25	10.00	45'00"	9°10'24"
15	0+391.25	10.00	45'00"	9°55'24"
16	0+401.25	10.00	45'00"	10°40'24"
17	0+411.25	10.00	45'00"	11°25'24"
18	0+421.25	10.00	45'00"	12°10'24"
19	Punto de Arranque PT 0+431.25	0.00		

(FIG. 4.4)

Angulo de deflexion de la curva ( $\Delta$ )= 24° 20'48"

$$\Delta/2 = 12° 10' 24''$$

La suma de las deflexiones acumuladas es de 12° 10' 24'', igual al angulo de

(FIG. 4.5)

CURVA	PI	COORDENADAS	Δ C	GC	ST	LC	RC
1	0+014.348	X= 77 915.982 Y= 49 786.603	5°44'00" Der.	4°00' 00"	14.345m.	28.670 m.	286.479 m.
2	0+381.330	X= 77 635.940 ✓ Y= 49 974.075 ✓	24°20'48" Izq.	3°00' 00"	82.399 m.	162.311 m.	381.972 m.
3	0+936.619	X= 77 042.603 ✓ Y= 49 884.906 ✓	4°51' 50" Der.	1° 30' 00"	32.445 m.	64.852 m.	763.944 m.
4	1+838.050	X= 76 142.955 ✓ Y= 49 897.739 ✓	5°23'33" Izq.	2°30' 00"	21.586 m.	43.140 m.	458.366 m.
5	2+345.757	X= 75 654.355 ✓ Y= 49 747.657 ✓	5°30'00" Der.	3° 00' 00"	18.347 m.	36.670 m.	381.972 m.
6	2+856.970	X= 75 342.327 ✓ Y= 49 782.793 ✓	8°00'00" Izq.	3° 00' 00"	30.062 m.	60.00 m.	381.972 m.
7	2+998.913	X= 75 018.398 ✓ Y= 49 661.195 ✓	7°27'50" Der.	2° 30' 00"	29.898 m.	59.711 m.	458.366 m.
8	3+585.275	X= 74 430.152 ✓ Y= 49 654.918 ✓	8°47'48" Der.	1°30' 00"	58.760 m.	117.290 m.	763.944 m.
9	4+012.471	X= 74 012.561 ✓ Y= 49 748.913 ✓	8°30'00" Izq.	1°30' 00"	56.771 m.	113.330 m.	763.944 m.
10	5+501.180	X=72 523.082 ✓ Y=49 740.732 ✓	7°11'12" Der.	1° 30' 00"	47.974 m.	95.822 m.	763.944 m.
11	6+115.869	X=71 921.115 ✓ Y=49 861.803 ✓	4°24'32" Der.	1°00' 00"	44.111 m.	88.178 m.	1145.916 m.
12	6+566.970	X=71 491.429 ✓ Y=49 999.602 ✓	31° 19' 35" Der.	3° 00' 00"	107.103 m.	208.843 m.	381.973 m.
13	7+116.196	X=71 268.719 ✓ Y=50 527.015 ✓	41°21'00" Izq.	3° 00' 00"	144.145 m.	275.667 m.	381.973 m.
14	7+663.957	X=70 685.027 ✓ Y=50 606.527 ✓	16° 18'18" Der.	3° 00' 00"	54.720 m.	108.700 m.	381.972 m.
15	8+159.883	X=70 310.937 ✓ Y=50 944.095 ✓	24°39'04" Izq.	3° 00' 00"	83.462 m.	164.341 m.	381.972 m.
16	8+588.673	X=69 867.146 ✓ Y=50 939.533 ✓	16°58'20" Der.	2° 00' 00"	85.487 m.	169.722 m.	572.958 m.
17	9+435.372	X=69 092.121 ✓ Y=51 290.828 ✓	33°53'17" Izq.	3°00'00"	116.373 m.	225.920 m.	381.972 m.
18	9+808.494	X=68 737.061 ✓ Y=51 105.958 ✓	4°39'01" Der.	3°00'00"	15.509 m.	31.000 m.	381.972 m.
19	10+236.578	X= 68 307.993 ✓ Y= 51 069.518 ✓	24°44'53" Izq.	3°00'00"	83.800 m.	164.987 m.	381.972 m.
20	10+626.357	X= 68 034.978 ✓ Y= 50 770.502 ✓	11° 03' 18" Der.	3°00'00"	36.965 m.	73.700 m.	381.972 m.
21	10+938.884	X= 67 733.968 ✓ Y= 50 669.508 ✓	2°37'30" Izq.	2°00'00"	13.127 m.	26.250 m.	572.958 m.
22	11+223.665	X= 67 484.220 ✓ Y= 50 530.085 ✓	15°47'17" Der.	3°00'00"	52.962 m.	105.254 m.	381.972 m.
23	11+762.857	X= 66 939.181 ✓ Y= 50 574.087 ✓	23°47'27" Izq.	2°30'00"	96.555 m.	190.326 m.	458.366 m.
24	12+264.480	X= 66 503.202 ✓ Y= 50 305.081 ✓	13°02'45" Der.	2°30'00"	52.410 m.	104.367 m.	458.366 m.

(FIG. 4.5)

CURVA	PI	COORDENADAS	Δ C	GC	ST	LC	RC
25	12+755.904	X= 66 010.696 Y= 50 252.191	12° 31' 29" Izq.	3° 00' 00"	41.916 m.	83.498 m.	381.972 m.
26	13+223.245	X= 65 631.191 Y= 49 969.788	6° 37' 42" Der.	2° 00' 00"	33.179 m.	66.283 m.	572.958 m.
27	14+344.843	X= 64 590.613 Y= 49 548.823	28° 43' 45" Der	2° 00' 00"	146.733 m.	287.292 m.	572.958 m.
28	14+998.209	X= 63 945.673 Y= 49 715.061	38° 43' 38" Der.	2° 00' 00"	201.361 m.	387.272 m.	572.958 m.
29	15+174.78	X= 63 840.569 Y= 49 956.134	21° 27' 19.98"	3° 00' 00"		143.037 m.	381.973 m.
30	16+262.98	X= 63 418.252 Y= 50 971.990	17° 47' 08.61"	3° 00' 00"		318.571 m.	381.973 m.
31	16+693.31	X= 62 930.672 Y= 50 985.953	4° 26' 59.73"	2° 30' 00"		35.599 m.	458.368 m.
31'	17+590.44	X= 62 079.195 Y= 51 272.347	1° 50' 40.87"	2° 30' 00"		14.757 m.	458.368 m.
32	18+168.05	X= 61 593.750 Y= 51 586.816	44° 46' 17.19"	3° 00' 00"		298.476 m.	381.973 m.
33	18+770.71	X= 61 028.121 Y= 51 262.399	16° 58' 06.93"	3° 00' 00"		113.124 m.	381.973 m.
34	19+235.12	X= 60 557.201 Y= 51 304.694	43° 18' 45.71"	3° 00' 00"		288.751 m.	381.973 m.
35	19+669.10	X= 60 290.152 Y= 50 906.074	19° 37' 55.67"	3° 00' 00"		130.881 m.	381.973 m.
36	19+987.94	X= 59 978.015 Y= 50 801.341	3° 08' 48.58"	1° 30' 00"		41.958 m.	763.947 m.
37	20+286.19	X= 59 710.244 Y= 50 669.609	7° 12' 06.75"	3° 0' 0.00"		48.012 m.	381.973 m.
38	21+007.78	X= 58 985.395 Y= 50 657.041	23° 10' 36.25"	1° 30' 0.00"		309.023 m.	763.947 m.
39	21+792.10	X= 58 290.706 Y= 50 277.181	34° 25' 43.40"	5° 22' 6.25"	66.134 m.	128.264 m.	213.456 m.
40	21+865.72	X= 58 213.478 Y= 50 284.969	7° 8' 60.00"	6° 14' 0.00"	11.486 m.	22.941 m.	183.837 m.
41	21+959.62	X= 58 119.571 Y= 50 282.688	58° 0' 00.00"	7° 45' 0.00"	81.960 m.	149.677 m.	147.861 m.
42	22+145.18	X= 58 017.836 Y= 50 110.724	70° 0' 00.00"	8° 9' 44.42"	98.303 m.	171.519 m.	140.391 m.
43	22+342.27	X= 57 799.457 Y= 50 151.626	74° 7' 52.00"	6° 69' 15.00"	123.874 m.	212.182 m.	163.996 m.
44	22+444.93	X= 57 786.785 Y= 50 289.263	5° 43' 60.00"	4° 0' 0.00"	14.345 m.	28.667 m.	286.480 m.
45	22+494.66	X= 57 787.196 Y= 50 339.022	5° 44' 00.00"	4° 0' 0.00"	14.345 m.	28.667 m.	286.480 m.
P. F.	22+508.98	X= 57 785.880 Y= 50 353.307					

deflexion de la curva entre 2, por lo que se comprueba la exactitud de las deflexiones del trazo.

Cabe mencionar, que aunque la deflexion por metro no constituye parte especifica de la matematizacion del trazo, esta es parte importante en el estacamiento del mismo en el campo.

La matematizacion de todas las curvas del proyecto en estudio se efectuan de manera similar, quedando pendiente el diseno de las curvas espirales y verticales que requieren de un calculo mas elaborado, como se detalla a continuacion y que parten de los datos que se han obtenido, mediante la metodologia descrita y que se muestran en la figura (4.5.).

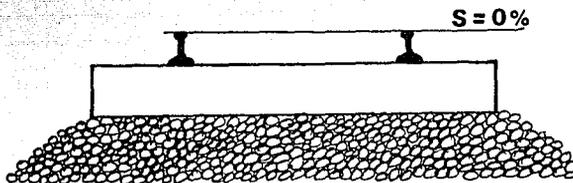
## *4.2. Calculo de curvas horizontales y verticales.*

### *4.2.1. Sobreelevacion.*

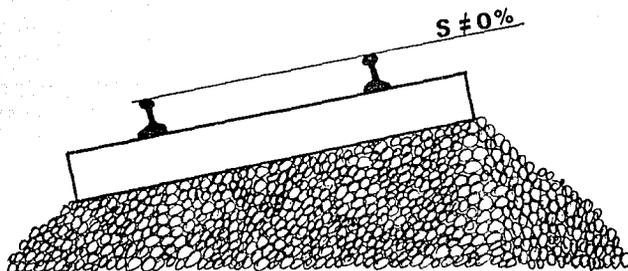
Como se ha mencionado, la union entre dos tangentes del trazo se hace mediante una curva, la cual en su caso mas sencillo, se trata de una curva circular.

Se deduce facilmente que el alineamiento de un riel con respecto del otro en la via deben, ademas de ser completamente paralelos a lo largo de todo el recorrido, guardar un alineamiento transversal de 0% de pendiente de uno con respecto del otro en los tramos rectos o tangentes del trazo, como se muestra en la figura (4.6.), ya que de lo contrario se produciria desconfort, desgaste de ruedas, rieles y trucks y si es demasiado continuo o elevado, inclusive el descarrilamiento del tren.

### ALINEAMIENTO CORRECTO EN TANGENTES



### ALINEAMIENTO INCORRECTO EN TANGENTES, CORRECTO EN CURVAS



(FIG. 4.6)

Sin embargo, el paso del tren por las curvas del trazo a una velocidad determinada, origina una fuerza que tiende a deslizar o resbalar lateralmente a un vehículo, mientras se mueve a lo largo de una trayectoria curva. A esta fuerza que obliga al tren a salirse hacia afuera de la curva, se le conoce como fuerza centrífuga.

Esta fuerza origina, en su intento por desplazar el tren hacia afuera, una mayor presión de la rueda sobre el riel exterior, por lo que se requiere en este caso, de elevar más dicho riel con respecto del interior; es decir, un alineamiento transversal cuya pendiente sea diferente de 0%.

A esto se le conoce como sobreelevación del riel y se realiza con el fin de equilibrar, la presión de las ruedas sobre ambos rieles de la vía, al contrarrestar la fuerza centrífuga, con la componente horizontal del peso del tren al inclinarlo con la sobreelevación.

Es obvio, que mientras mayor sea la velocidad y/o más cerrada sea la curva, mayor será la fuerza centrífuga y por lo tanto, se requerirá de una mayor sobreelevación.

Se comprende que la igualdad de presiones ocurre solo para una velocidad llamada de equilibrio; debido a lo cual se calcula para el tráfico real de trenes.

En los F.N.M. dicha sobreelevación es calculada con la ecuación, resultado del equilibrio entre todas las fuerzas que participan:

$$e = 0.01 V G$$

donde:

e= sobreelevación en mm.

V= velocidad de diseño en km/hr.

G= grado de curvatura en grados.

Considerando que la velocidad de proyecto de la vía en estudio es de 70km/hr y el grado de curvatura máximo es de  $3^\circ$ , se obtiene que la sobreelevación máxima es de:

$$e = 0.01(70) (3)$$

$$e = 147 \text{ mm}$$

Sin embargo, existen razones para limitar la sobreelevación, por ejemplo, el hecho de que una muy grande puede crear el peligro de que un tren grande moviéndose lentamente se descarrile. Este descarrilamiento puede inclusive sucederse durante una parada de emergencia, o cuando se ejecuta un arranque rápido.

En el mejor de los casos, una excesiva sobreelevacion o variacion en la llamada velocidad de equilibrio, ocasionara un mayor apoyo y presion sobre alguno de los 2 rieles, sometendolos a una excesiva presion lateral y desgaste en el filete superior del hongo del riel del lado del escantillon, ocasionando problemas que van desde el dificil mantenimiento de la via, hasta el arrancar los clavos o tirafondos de las planchuelas, con el consecuente descarrilamiento.

SOBREELEVACION DEL RIEL EXTERIOR EN LAS CURVAS																				
GRADO DE CURVATURA	VELOCIDAD EN KILOMETROS POR HORA																			
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100	110	120	130	140
0 3 0	2	3	5	6	8	10	13	15	18	21	25	28	32	36	41	50	61	72	85	98
1 0 0	4	6	9	12	16	20	25	30	36	42	49	56	64	72	81	100	121	144	150	150
1 3 0	6	9	14	18	24	30	38	45	54	63	74	84	96	108	122	150	150	150		
2 0 0	8	13	18	25	32	41	50	61	72	85	98	113	128	145	150					
2 3 0	10	16	23	31	40	51	63	76	90	106	123	141	150	150						
3 0 0	12	19	27	37	48	61	75	91	108	127	147	150								
4 0 0	16	25	36	49	64	81	100	121	144	150	150									
5 0 0	20	31	45	61	80	101	125	150	150											
8 0 0	24	38	54	74	96	122	150													
7 0 0	28	44	63	86	112	142	150													
8 0 0	32	50	72	98	128	150														
9 0 0	36	56	81	110	144	150														
10 0 0	40	63	90	123	150															

$Sobreelevación = 0.01V^2 G$   
 V = velocidad en Km/h  
 G = grado de curvatura  
 e = 1:150 mm  
 Los sobreelevaciones están dadas en mm

(FIG. 4.7)

Gradualmente y de manera experimental, se ha definido la " e " limite, que es de 6" ( 15 cm ) para una via ancha y 3" ( 7.5 cm ) para las angostas. ( Especificaciones Generales de Proyecto Geometrico, S.C.T., Mexico).

En general, F.N.M. ha desarrollado una tabla como la que aparece en la figura ( 4.7.), con el fin de especificar las sobreelevaciones maximas para la velocidad y grado de curvatura propuestos. De hecho, tambien es util, con el fin de revisar las calculadas y ajustandose, en su caso, al valor de la tabla, con la consiguiente velocidad maxima por circular en esa curva en particular.

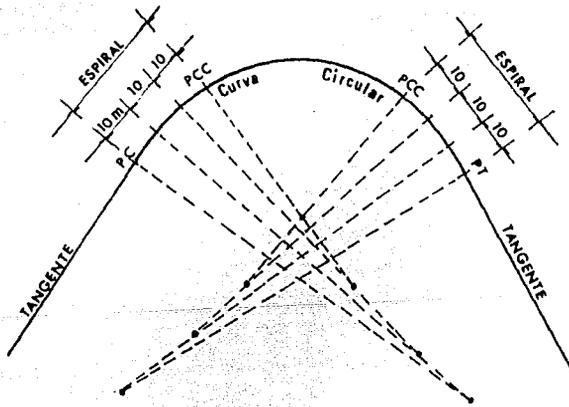
#### 4.2.2. Curvas Espirales.

Se ha discutido ya ,la importancia que tiene la sobreelevacion de la via en las curvas del trazo , con el fin de mantener la seguridad del tren al observar las velocidades de operacion . Sin embargo, el tren durante su marcha no puede cambiar su trayectoria bruscamente de una sobreelevacion igual a 0 mm en tangentes, a la correspondiente en una curva, ya que esto originaria un volcamiento.

Lo anterior hace ver la necesidad de suavizar gradualmente la sobreelevacion que requiere la curva circular, asi como tambien el grado de curvatura de la misma, con el fin de regular el paso de la tangente a la curva simple y viceversa; sin que esto ocasione un desconfort, inseguridad o disminucion excesiva de la velocidad.

Dicha combinacion de curvatura graduada y sobreelevacion, se proporcionara empleando una curva auxiliar denominada comunmente "Espiral", entre la tangente y la parte realmente circular de la curva.

Las Especificaciones Generales de F.N. M. para Proyecto Geometrico, en su capitulo XI, "Propiedades de los alineamientos Horizontal y Vertical", define a las espirales como "..... curvas compuestas de arcos circulares subtendidos por cuerdas de una misma longitud con variacion constante de sus grados de curvatura.", esto se puede comprender facilmente si se observa la figura (4.8) .



(FIG. 4.5)

Se puede observar que una espiral principia con una curvatura de cero grados (sobre la tangente) y aumenta uniformemente hasta tener el grado completo de la curva central. Por lo tanto, el grado de curvatura de la espiral es un grado promedio de las mismas, descritas por cuerdas de 10m.

La matamatizacion del trazo de las curvas espirales, parte de los elementos que componen las curvas circulares simples que ya se definieron en el tema 4.1., ya que solo se busca suavizarlas, mediante el calculo de sus respectivas espirales de entrada y de salida. De esta manera los datos que interesan son la Velocidad de proyecto ( $V_p$ ) y que para este proyecto es de 70 km/hr, los kilometrajes de los puntos de inflexion (KPI), las deflexiones totales entre tangentes ( $\Sigma \Delta$ ) y los correspondientes grados de curvatura (G);necesarios para iniciar dicha matematizacion.

Los elementos que componen y que habran de calcularse, en las curvas espirales, son los que se muestran en la figura (4.9) y que difieren, como se puede observar, de las curvas circulares, del punto donde la curva se enlaza con la tangente, ya que al suavizar la entrada y salida del tren por este trazo, se requiere de una mayor distancia para tal efecto y un desplazamiento definido como "d" con respecto a la tangente primitiva.

Los elementos que definen la espiral de la figura (4.9) son:

- PC= Principio de la curva.
- PCC= Punto de la curva circular, donde se enlaza con la espiral.
- PT= Principio de tangente.
- T= Tangente de la espiral.
- ST= Subtangente.
- TST= Subtangente mas tangente.
- PI= Punto de inflexion.
- $\delta$  = Angulo central de la espiral ( $\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n$ )

- $\Sigma$  = Angulo de deflexion.
- R= Radio de la curva circular.
- d= distancia entre la tangente y el punto donde el radio de la curva circular se hace perpendicular a dicha tangente.
- G= Grado de la curva circular.
- $\Delta$  = Angulo central de la curva circular.
- D= Distancia del centro de la curva circular a la tangente original.
- X= Abscisa del PCC referida al PC.
- Y= Ordenada del PCC referida al PC.
- le= Longitud de la espiral en metros.
- CL= Cuerda larga de la espiral entre PC y PCC.

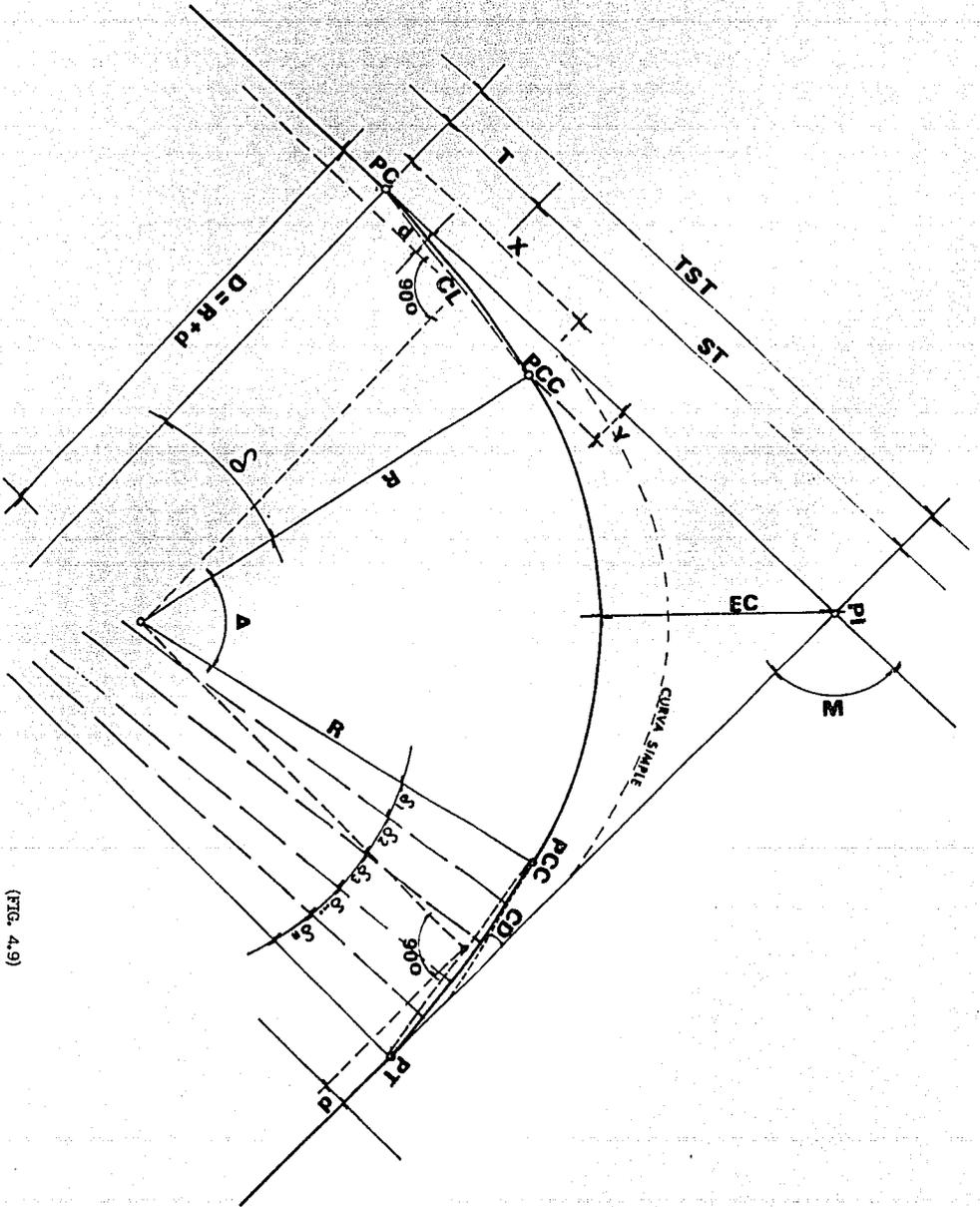
Todos estos elementos se calculan a partir de los datos ya mencionados, con las ecuaciones y de la manera que a continuacion se especifica.

Como ya se menciona, la velocidad de proyecto para este analisis es de 70 km/hr , que aunada a los datos de la curvas circulares de la tabla de la figura (4.5) se calculan los elementos de la curva numero 2, donde el Km PI= 0+351.330, el  $\Sigma\Delta = 42^\circ 20'48''$  y el  $G=3^\circ 00'00''$ .

Se recuerda que no se analiza la curva numero 1 debido a que esta no tiene espirales al disminuir la velocidad a 0 km/hr, efectuando el cambio de via con un sapeo del numero 10, analizado en el inciso (4.1).

Las curvas espirales, observan una ley de variacion con respecto del grado de curvatura que se aplica a los diversos segmentos de arco, desde el contiguo a la tangente, hasta ligar con la curva simple donde adquiere el grado de curvatura de la misma.

El manual de especificaciones generales para proyecto geometrico de



(FIG. 4.9)

F.N.M., establece que la variación del grado de curvatura por cuerda de 10m se obtiene a través de la ecuación:

$$\mathcal{V} = \frac{10\,000}{V^3}$$

donde  $\mathcal{V}$  : es la variación en grados.

V : es la velocidad de proyecto en km/hr.

En la mencionada curva número 2 de esta vía, la variación esta dada por:

$$\mathcal{V} = 100\,000 / 70^3 = 0.29^\circ = 0^\circ 17' 30''$$

El hecho de que se matematice el trazo con cuerdas de 10m, ha llevado a la conclusión de que las variaciones de la curva, también sean en rangos exactos de 5 min hasta llegar a velocidades de proyecto de 100 km/hr, a partir de los cuales se tienen variaciones de cada 15 seg inclusive. Todo ello, con el fin de tener un número de cuerdas exactas de 10m, con variaciones que daran grados de curvatura exactos, como se analiza a continuación.

Esta norma, que también esta contenida en el mencionado Manual de Especificaciones Generales para proyecto Geométrico, nos obliga a cambiar la variación obtenida al rango próximo inferior de 5 minutos, es decir:

$$\mathcal{V} = 0^\circ 15' 00'' \quad \text{por cada 10m.}$$

a partir de la cual obtenemos la longitud de la espiral mediante la ecuación:

$$l_e = \frac{10G}{v}$$

y que en ningún caso será menor de la obtenida con la siguiente ecuación:

$$l_e = 0.0001 V^3 G$$

para este estudio:

$$l_e = \frac{10 (30.00')}{0.15' \cdot 00''} = 120 \text{ m}$$

$$l_e > 0.0001 (70^3) = 103 \text{ m} < 120 \text{ m}$$

Cabe mencionar que todas las ecuaciones empleadas para la obtención de los elementos de las curvas espirales, son emanadas del ya mencionado Manual de Especificaciones.

A continuación se calcula el ángulo total central de la espiral ( $\delta$ ):

$$\delta = \left( \frac{l_e}{40} \right)^3$$

$$\delta = \left( \frac{120}{40} \right)^3 = 9^\circ 00' 00''$$

y a partir del mismo, el nuevo angulo de la curva central se obtiene de la siguiente ecuacion:

$$\Sigma = \Delta + [\delta]$$

para este estudio, se tienen 2 espirales simetricas, una de entrada y una de salida, por lo que:

$$\Delta = \Sigma - 2\delta$$

$$\Delta = 42^{\circ} 20' 48'' - 2(9^{\circ} 00' 00'')$$

$$\Delta = 24^{\circ} 20' 48''$$

el calculo del angulo de la cuerda larga de la espiral ( $\phi$ ):

$$\phi = \frac{\delta}{3}$$

$$\phi = \frac{9^{\circ} 00' 00''}{3} = 3^{\circ} 00' 00''$$

la cuerda larga de la espiral (CL), como sigue:

$$CL = 4R \left( \text{sen} \frac{\delta}{2} \right)$$

recordando que la obtencion del radio es:

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

$$R = \frac{1145.92}{3} = 381.97 \text{ m}$$

∴

$$CL = 4 (381.97) \left( \frac{\text{sen } 9^\circ 00' 00''}{2} \right)$$

$$CL = 119.876 \text{ m}$$

Por otra parte, el calculo de las coordenadas del PCC, referidas al PC, se logra mediante las siguientes ecuaciones:

$$X = CL \cos \phi$$

$$Y = CL \text{sen } \phi$$

$$X = 119.876 \cos 3^\circ 00'$$

$$Y = 119.876 \text{sen } 3^\circ 00'$$

$$X = 119.70 \text{ m}$$

$$Y = 6.27 \text{ m}$$

a partir de las cuales se obtienen los valores de la tangente de la espiral (T) y la distancia entre la tangente y el punto donde el radio de la curva circular se hace perpendicular a dicha tangente (d):

$$T = X - (R \operatorname{sen} \delta)$$

$$d = Y - R(1 - \cos \delta)$$

$$T = 119.70 - (381.97 \operatorname{sen} 9^\circ)$$

$$d = 6.27 - 381.97(1 - \cos 9^\circ)$$

$$T = 59.95 \text{ m}$$

$$d = 1.56 \text{ m}$$

posteriormente, se calcula la longitud de la curva central:

$$L_c = \left( \frac{A}{G} \right) 20$$

$$L_c = \left( \frac{24^\circ 20' 43''}{3} \right) 20 = 162.311 \text{ m}$$

finalmente para el calculo de la subtangente mas la tangente (TST), se encuentra primero el valor de la distancia del centro de la curva circular a la tangente original (D)

$$D = R + d$$

$$D = 381.97 + 1.56 = 383.53 \text{ m}$$

encontrando luego, el valor de la subtangente (ST):

$$ST = D \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2}$$

$$ST = 383.53 \operatorname{tg} (42^\circ 20' 48''/2)$$

$$ST = 148.56$$

y por ultimo la (TST):

$$TST = T + ST$$

$$TST = 59.95 + 148.56 = 208.51$$

Los valores de los elementos asi encontrados, sirven para determinar el kilometraje de la localizacion de los puntos donde cambia el trazo y que define exactamente la ubicacion de las tangentes, curvas circulares y curvas espirales; es decir, los elementos PC, PCC1, PCC2 y PT. Procediendo de esta manera al calculo del kilometraje, a partir del punto de inflexion PI.

-	Km PI	0 + 351.330
	TST	<u>208.510</u>
-	Km PC	0 + 142.820
	$l_c$	<u>120.000</u>
+	Km PCC 1	0 + 262.820
	$r_c$	<u>162.311</u>
+	Km PCC 2	0 + 425.131
	$l_c$	<u>120.000</u>
	Km PT	0 + 545.131

Todos estos datos, son vaciados en el plano que constituye el proyecto final y que dotan al Ingeniero Topografo de los elementos necesarios para su correcto trazo en campo. Para esto, se requiere de la elaboracion de un registro de campo para ubicar sus estacamientos. Este registro se elabora para la curva circular como se analizo en la tabla de la figura (4.5) y para las espirales, mediante una ley de variacion gradual representada por la ecuacion:

$$\alpha = \frac{\delta}{Le^2}$$

que para este estudio es:

$$\alpha = \frac{9^{\circ} 00'}{120^2} = 6.25 \times 10^{-4}$$

y recordando que la deflexion total de la cuerda es:

$$\phi = \frac{\delta}{3}$$

al igual que la deflexion "n" en cualquier punto "n" de la espiral:

$$\phi_n = \frac{\delta n}{3}$$

se elabora un registro de la curva numero 2, que define posiciones y deflexiones de los estacamientos, de la siguiente manera:

PUNTO	ESTACION	P.V.	L Longitud de la Cuerda	L <sup>2</sup>	Q	$\delta n = QL^2$	$\phi n = \delta n/3$
P.C.	0+142.820	0+152.820	10.0	100	0.000625	0° 00' 00"	0° 00' 00"
		0+162.820	20.0	400	"	0° 03' 45"	0° 01' 15"
		0+172.820	30.0	900	"	0° 15' 00"	0° 05' 00"
		0+182.820	40.0	1 600	"	0° 33' 00"	0° 11' 15"
		0+192.820	50.0	2 500	"	1° 00' 00"	0° 20' 00"
		0+202.820	60.0	3 600	"	1° 33' 45"	0° 31' 15"
		0+212.820	70.0	4 900	"	2° 15' 00"	0° 45' 00"
		0+222.820	80.0	6 400	"	3° 03' 45"	1° 01' 15"
		0+232.820	90.0	8 100	"	4° 00' 00"	1° 20' 00"
		0+242.820	100.0	10 000	"	5° 03' 45"	1° 41' 15"
		0+252.820	110.0	12 100	"	6° 15' 00"	2° 05' 00"
		0+262.820	120.0	14 400	"	7° 33' 45"	2° 31' 15"
P.C.C.	0+262.820					9° 00' 00"	3° 00' 00" = G
PUNTO DE ENCUENTRO		0+272.820	10.0			0° 45' 00"	0° 45' 00"
		0+282.820	10.0			0° 45' 00"	1° 30' 00"
		0+292.820	10.0			0° 45' 00"	2° 15' 00"
		0+302.820	10.0			0° 45' 00"	3° 00' 00"
		0+312.820	10.0			0° 45' 00"	3° 45' 00"
		0+322.820	10.0			0° 45' 00"	4° 30' 00"
		0+332.820	10.0			0° 45' 00"	5° 15' 00"
		0+342.820	10.0			0° 45' 00"	6° 00' 00"
		0+352.820	2.311			0° 10' 24"	6° 10' 24"
		0+345.131	10.0			0° 45' 00"	6° 55' 24"
		0+355.131	10.0			0° 45' 00"	7° 40' 24"
		0+365.131	10.0			0° 45' 00"	8° 25' 24"
		0+375.131	10.0			0° 45' 00"	9° 10' 24"
		0+385.131	10.0			0° 45' 00"	9° 55' 24"
		0+395.131	10.0			0° 45' 00"	10° 40' 24"
		0+405.131	10.0			0° 45' 00"	11° 25' 24"
0+415.131	10.0			0° 45' 00"	12° 10' 24"		
P.C.C.	0+425.131						= A/2
P.T.	0+425.131	0+425.131	120.0	14 400	0.000625	9° 00' 00"	3° 00' 00" = G
		0+435.131	110.0	12 100	"	7° 33' 45"	2° 31' 15"
		0+445.131	100.0	10 000	"	6° 15' 00"	2° 05' 00"
		0+455.131	90.0	8 100	"	5° 03' 45"	1° 41' 15"
		0+465.131	80.0	6 400	"	4° 00' 00"	1° 20' 00"
		0+475.131	70.0	4 900	"	3° 03' 45"	1° 01' 15"
		0+485.131	60.0	3 600	"	2° 15' 00"	0° 45' 00"
		0+495.131	50.0	2 500	"	1° 33' 45"	0° 31' 15"
		0+505.131	40.0	1 600	"	1° 00' 00"	0° 20' 00"
		0+515.131	30.0	900	"	0° 33' 45"	0° 11' 15"
		0+525.131	20.0	400	"	0° 15' 00"	0° 05' 00"
		0+535.131	10.0	100	"	0° 03' 45"	0° 01' 15"
		0+545.131	0.0	0	"		0° 00' 00"

Esta gran labor de calculo de espirales, ha sido simplificada por la antes llamada Direccion General de Vias Ferreas de la Secretaria de Obras Publicas y cuyas funciones desempeña ahora, el Departamento de Estudios y Proyectos de Nuevas Lineas de la Subdireccion General de Infraestructura y Telecomunicaciones de F.N.M., mediante el empleo de tablas como la que aparece en la figura (4.10) la cual forma parte de un grupo, dentro del cual se pueden encontrar una similar para cada grado de curva y variacion; estas se pueden analizar en los anexos del presente trabajo.

Con la variacion descrita de  $0^{\circ} 15' 00''$ , se encuentra en la tabla que aparece en la figura (4.10) (la variacion se describe en su encabezado) la longitud de las cuerdas que conforman la espiral (10m), y la longitud de la maxima cuerda (160m).

Se ubica entonces en la posicion de  $3^{\circ} 00'$  correspondiente al grado de curvatura que aparece en la tabla superior y se corre la vista horizontalmente, hasta encontrar los valores del radio ( $R=381.972$  m), longitud de la espiral ( $l_e=120$  m), el angulo total de la misma ( $\delta =9^{\circ} 00'00''$ ), la tangente de la espiral ( $T=59.950$ ), la distancia entre la tangente de la espiral y la tangente primitiva ( $d=1.569$ m) y la distancia del centro de la curva al PC ( $D=383.541$ m).

Como se puede observar, todos los valores coinciden con los anteriormente calculados, pero ademas del gran ahorro de tiempo que representan estas tablas al proporcionar los valores de los elementos que componen la espiral, ofrecen una gran ventaja al observar en la parte inferior de las misma, una tabla donde se indican las deflexiones por observar en cada uno de los puntos que constituyen las cuerdas de dicha espiral.

Esto se puede reafirmar, observando la columna de grados-minutos-segundos, marcada con el numero 0 (PC) y comprobando que estos valores a los puntos visados (12 en total), corresponden con los anteriormente calculados, destacando nuevamente la ventaja que brinda esta tabla al proporcionar todas las deflexiones para cualquier posible posicion del aparato.

Mediante este proceso simplificado, se calcularon todas las curvas del proyecto en estudio, cuyos datos aparecen en la tabla de la figura (4.11) y que determinan el trazo definitivo que aparece en la figura (4.12).

Cabe mencionar, que este representa el caso mas general y comun de proyecto de curvas, es decir, espirales simetricas de entrada y salida a una curva circular central.

Sin embargo, existen casos especiales determinados por la topografia del lugar, la velocidad del proyecto, el tipo de via, el tipo de carga, etc., que hacen posible la combinacion de espirales asimetricas, con curvas simples o compuestas inclusive.

Para estos casos especiales, se hacen validas las ecuaciones de los elementos ya descritos y solo cambian en cuanto a los valores de las "TST". Las ecuaciones y diagramas para todos los casos especiales, se muestran en los anexos y son extraidos del ya mencionado Manual de Especificaciones Generales para Proyecto Geometrico de las Vias Ferreas del F.N.M.

De esta manera, se han calculado los elementos que componen el trazo de las curvas espirales y esto se ha logrado, variando gradualmente el grado de curvatura. Sin embargo, se debera recordar que dichas espirales tambien tienen la funcion de variar poco a poco, la sobreelevacion de la via. Para

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE VIAS FERREAS  
DPTO. DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL

VARIACION 0° 15' 00"  
CUERDAS DE 10 M  
LONGITUD DE ESPIRAL 160 M

O.		R.		Lp.		B		f		T.		I		Y.		TL.		TC.		C.		O.		
0	M	MTS.		MTS.		0	M	S	MTS															
0	0	15	4583.660	10	000	0	3	45	0	001	5	000	10	000	0	004	6	667	3	333	10	000	45	83
0	0	30	2291.831	20	000	0	15	45	0	007	10	000	20	000	0	009	13	333	6	667	20	000	22	91
0	0	45	1527.887	30	000	0	33	45	0	027	15	000	30	000	0	028	20	000	10	000	30	000	32	78
0	0	1	1459.916	40	000	0	1	0	0	000	20	000	39	939	0	233	26	667	13	334	39	399	11	45
0	0	1	918.735	50	000	0	1	0	0	000	29	889	49	898	0	433	31	000	16	000	49	998	15	40
0	0	1	683.844	60	000	0	2	1	0	000	24	889	39	911	0	745	40	003	20	000	59	998	19	40
0	0	1	572.958	70	000	0	3	1	0	000	20	000	30	991	1	681	53	347	26	679	79	998	23	42
0	0	1	509.298	80	000	0	4	1	0	000	16	000	40	000	2	649	60	025	30	027	89	998	27	42
0	0	1	458.588	90	000	0	5	1	0	000	12	000	48	980	3	881	58	708	33	371	99	947	45	25
0	0	1	381.972	100	000	0	6	1	0	588	8	830	11	970	4	872	80	103	40	084	118	868	33	51
0	0	1	327.404	140	000	12	15	0	2	490	5	861	13	359	9	045	8	555	4	871	159	713	37	85
0	0	1	266.479	160	000	18	0	0	3	713	7	978	15	848	14	811	10	097	5	375	159	437	2	90

VISANDO AL PUNTO NUMERO	INSTRUMENTO COLOCADO EN EL PUNTO																																																						
	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16																						
	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S																			
0	0	0	0	2	30	0	10	0	22	30	0	40	0	1	2	30	1	30	0	2	2	30	2	40	0	3	22	30	4	10	0	5	2	30	6	0	7	2	30	8	10	0	9	22	30	10	40	0							
1	0	1	15	0	0	0	6	15	0	17	30	0	33	45	0	55	0	1	21	15	1	52	30	2	28	45	3	10	0	3	56	15	4	47	30	5	43	45	6	45	0	7	51	15	9	2	30	10	18	45					
2	0	5	0	0	5	0	0	0	0	10	0	0	25	0	0	45	0	1	10	0	1	40	0	2	15	0	2	55	0	3	40	0	4	30	0	5	25	0	6	25	0	7	30	8	40	0	9	55	0						
3	0	11	15	0	12	30	0	8	45	0	0	0	13	45	0	32	30	0	56	15	1	25	0	1	58	45	2	37	30	3	21	15	4	10	0	5	3	45	6	2	30	7	6	15	8	15	0	9	28	45					
4	0	20	0	0	22	30	0	20	0	0	12	30	0	0	0	17	30	0	40	0	1	7	30	1	40	0	2	7	30	3	0	0	3	47	30	4	40	0	5	37	30	6	40	0	7	47	30	9	0	0					
5	0	31	15	0	35	0	0	33	45	0	27	30	0	16	15	0	0	0	21	15	0	4	7	30	1	18	45	1	35	0	2	36	15	3	22	30	4	13	45	5	10	0	6	11	15	7	17	30	8	28	45				
6	0	45	0	0	50	0	0	50	0	0	45	0	0	35	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	25	0	1	30	0	2	10	0	2	55	0	3	45	0	4	40	0	5	40	0	6	45	0	7	55	0					
7	1	1	15	1	7	30	1	8	45	1	5	0	0	56	15	0	42	30	0	23	45	0	0	0	0	28	45	2	30	1	41	15	2	25	0	3	13	45	4	7	30	5	6	15	6	10	0	7	18	45					
8	1	20	0	1	27	30	1	30	1	1	27	30	1	20	0	1	7	30	0	50	0	0	0	0	27	30	0	0	G	J	32	30	1	10	0	1	52	30	2	40	0	3	32	30	4	30	0	5	32	30	6	40	0		
9	1	41	15	1	50	0	1	53	45	1	52	30	1	46	15	1	35	0	1	18	45	0	1	18	45	0	57	30	0	31	15	0	0	0	0	36	15	1	17	30	2	3	45	2	55	0	3	51	15	4	52	30	5	58	45
10	2	5	0	2	15	0	2	20	0	2	20	0	2	15	0	2	5	0	1	50	0	1	30	0	1	5	0	0	35	0	0	0	0	0	40	0	1	25	0	2	15	0	3	10	0	4	10	0	5	15	0				
11	2	31	15	2	42	30	2	46	45	2	50	0	2	46	15	2	37	30	2	23	45	2	5	0	1	41	15	1	12	30	0	38	45	0	0	0	43	45	1	32	30	2	26	15	3	25	0	4	28	45					
12	3	0	0	3	12	30	3	20	0	3	22	30	3	20	0	3	12	30	3	0	0	2	42	30	2	20	0	1	32	0	1	20	0	0	42	30	0	0	0	47	30	1	40	0	2	37	30	3	40	0					
13	3	31	15	3	45	0	3	53	45	3	50	0	3	56	15	3	50	0	3	38	45	3	22	30	3	1	5	2	35	0	2	3	45	1	27	30	0	46	15	0	0	0	51	15	1	47	30	2	48	45					
14	4	5	0	4	20	0	4	30	0	4	35	0	4	35	0	4	30	0	4	20	0	4	5	0	3	45	0	3	20	0	2	50	0	2	15	0	1	35	0	0	50	0	0	0	0	55	0	1	55	0					
15	4	41	15	4	57	30	5	8	45	5	15	0	5	16	15	5	12	30	5	3	45	4	50	0	4	31	15	4	7	30	3	38	45	3	5	0	2	26	15	1	42	30	0	53	45	0	0	0	58	45					
16	5	20	0	5	37	30	5	50	0	5	57	30	6	0	0	5	57	30	5	50	0	5	37	30	5	20	0	4	57	30	4	30	0	3	57	30	3	20	0	2	37	30	1	50	0	0	57	30	0	0	0				

(FIG. 4.10)

CURVA	PI	COORDENADAS	AC	GC	ST	LC	RC	Var	Σ	TST	S	Le	Xc	Yc
1	0+014.348	X= 77 916.982 Y= 49 786.607	9°44'00"Der	4°00'00"	14.345m.	28.670m.	286.479m.							
2	0+038.1380	X= 77 634.940 Y= 49 874.078	2°20'48"Der	3°00'00"	62.399m.	162.311m.	381.972m.	0° 15' 00"	42° 20' 48"	208.510m.	9° 00'	120.00m.	119.704m.	6.272m.
3	0+056.618	X= 77 046.603 Y= 49 884.906	4°51'50"Der	1°30'00"	32.445m.	64.852m.	763.944m.	0° 15' 00"	9° 21' 50"	92.579m.	2° 15'	60.00m.	59.991m.	0.785m.
4	1+056.060	X= 76 142.955 Y= 49 897.739	3°23'33"Der	2°30'00"	21.586m.	43.140m.	458.366m.	0° 15' 00"	17° 03' 33"	122.280m.	6° 15'	100.00m.	99.881m.	3.633m.
5	2+345.757	X= 75 654.859 Y= 49 747.657	6°30'00"Der	3°00'00"	18.347m.	36.670m.	381.972m.	0° 15' 00"	23° 30' 00"	139.727m.	9° 00'	120.00m.	119.704m.	6.272m.
6	2+036.970	X= 75 542.327 Y= 49 782.793	8°00'00"Der	3°00'00"	30.062m.	60.00m.	381.972m.	0° 15' 00"	27° 00' 00"	152.030m.	9° 00'	120.00m.	119.704m.	6.272m.
7	2+498.918	X= 75 018.398 Y= 49 861.193	7°27'50"Der	2°30'00"	29.898m.	59.711m.	458.366m.	0° 15' 00"	19° 57' 50"	130.813m.	6° 15'	100.00m.	99.881m.	3.633m.
8	3+585.275	X= 74 430.152 Y= 49 854.918	8°47'48"Der	1°30'00"	58.760m.	117.290m.	763.944m.	0° 15' 00"	13° 17' 48"	119.065m.	2° 15'	60.00m.	59.991m.	0.785m.
9	4+012.471	X= 74 012.581 Y= 49 749.913	8°30'00"Der	1°30'00"	56.771m.	113.330m.	763.944m.	0° 15' 00"	13° 00' 00"	117.061m.	2° 15'	60.00m.	59.991m.	0.785m.
10	5+501.180	X= 72 523.082 Y= 49 740.732	7°11'12"Der	1°30'00"	47.974m.	95.822m.	763.944m.	0° 15' 00"	11° 41' 12"	108.200m.	2° 15'	60.00m.	59.991m.	0.785m.
11	6+115.869	X= 71 921.115 Y= 49 861.803	4°24'32"Der	1°00'00"	44.111m.	88.178m.	1145.916m.	0° 15' 00"	6° 24' 32"	84.159m.	1° 00'	60.00m.	59.991m.	0.233m.
12	6+566.970	X= 71 491.429 Y= 49 999.602	5°11'35"Der	3°00'00"	107.103m.	208.643m.	381.973m.	0° 15' 00"	49° 19' 35"	236.060m.	3° 00'	120.00m.	119.704m.	6.272m.
13	7+116.196	X= 71 268.719 Y= 50 527.015	41°21'00"Der	3°00'00"	144.145m.	275.667m.	381.973m.	0° 15' 00"	59° 21' 00"	278.496m.	9° 00'	120.00m.	119.704m.	6.272m.
14	7+663.957	X= 70 885.027 Y= 50 606.577	6° 18' 18" Der	3° 00' 00"	54.720m.	108.700m.	381.972m.	0° 15' 00"	3° 4' 18"	178.327m.	9° 00'	120.00m.	119.704m.	6.272m.
15	8+159.883	X= 70 310.937 Y= 50 944.095	2°43'04"Der	3°00'00"	83.462m.	164.341m.	381.972m.	0° 15' 00"	42° 39' 04"	209.683m.	9° 00'	120.00m.	119.704m.	6.272m.
16	8+588.673	X= 69 867.146 Y= 50 939.533	16°58'20"Der	2°00'00"	85.497m.	169.722m.	572.958m.	0° 15' 00"	24° 58' 20"	166.972m.	4° 00'	80.00m.	79.961m.	1.861m.
17	9+433.372	X= 69 092.121 Y= 51 290.858	33°53'17"Der	5°00'00"	116.373m.	225.920m.	381.972m.	0° 15' 00"	5° 55' 17"	246.552m.	9° 00'	120.00m.	119.704m.	6.272m.
18	9+808.494	X= 68 737.061 Y= 51 105.958	4°39'01"Der	3°00'00"	15.509m.	31.000m.	381.972m.	0° 15' 00"	2° 39' 01"	136.764m.	9° 00'	120.00m.	119.704m.	6.272m.
19	10+236.578	X= 68 307.993 Y= 51 069.518	2°44'53"Der	3°00'00"	83.800m.	164.987m.	381.972m.	0° 15' 00"	42° 44' 53"	210.058m.	9° 00'	120.00m.	119.704m.	6.272m.

(5TC.4.11)

CURVA	PI	COORDENADAS	ΔC	GC	ST	LC	RC	Var.	α	TST	B	L*	Xc	Yc
19	10+236.578	X= 68 307.998 Y= 51 069.518	24°44'53" Izq	3°00'00"	83.800m	164.987 m	381.972 m	0° 15' 00"	42°44' 55"	210.058m	9°00'	120.00 m.	119.704m	6.272m
20	10+626.357	X= 69 034.978 Y= 50 770.502	11°05'18" Der	3°00'00"	36.965 m	73.700 m	381.972 m	0° 15' 00"	29°05' 18"	159.337 m.	9°00'	120.00 m.	119.704m	6.272m.
21	10+938.684	X= 67 753.968 Y= 50 669.508	2°37'30" Izq	2°00'00"	13.127 m	26.250 m	372.958 m	0° 15' 00"	10°37' 30"	93.314 m	4°00'	80.00 m.	79.961 m	1.861 m.
22	11+223.665	X= 67 484.220 Y= 50 530.085	15°47'17" Der	3°00'00"	52.962 m	105.254 m	381.972 m	0° 15' 00"	33°47' 17"	176.435 m	9°00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m.
23	11+762.857	X= 66 939.181 Y= 50 574.087	23°47'27" Izq	2°30'00"	96.555 m	190.326 m	458.366 m	0° 15' 00"	36° 17' 27"	200.497 m.	6° 15'	100.00 m.	99.881 m	3.634 m.
24	12+264.480	X= 66 303.202 Y= 50 305.081	13°02'45" Der	2°30'00"	52.410 m	104.367 m	458.366 m	0° 15' 00"	23°32' 45"	154.096 m.	6° 15'	100.00 m.	99.881 m	3.634 m.
25	12+755.904	X= 66 010.696 Y= 50 252.191	12°31' 29" Izq	3°00'00"	41.916 m	83.498 m	381.972 m	0° 15' 00"	30°31' 29"	164.604 m.	9°00'	120.00 m.	119.704 m	6.272 m.
26	13+223.245	X= 65 631.191 Y= 49 969.788	16°37'42" Der	2°00'00"	33.179 m	66.283 m	572.958 m.	0° 15' 00"	14°37' 42"	113.594 m.	4°00'	80.00 m.	79.961 m	1.861 m.
27	14+344.843	X= 64 590.616 Y= 49 548.823	28°43'45" Der	2°00'00"	146.733 m	287.292 m	572.958 m	0° 15' 00"	36°43' 45"	230.352 m	4°00'	80.00 m.	79.961 m	1.861 m.
28	14+568.209	X= 63 945.673 Y= 49 718.061	38°43'38" Der	2°00'00"	201.361 m	387.272 m	572.958 m	0° 15' 00"	48°43' 38"	287.703 m.	4°00'	80.00 m.	79.961 m	1.861 m.
29	15+174.78	X=63840.569 Y=49956.134	21°27'19.98"	3°00'00"		143.037m	381.973m	00°15'00"	39°27'19.98"D	197.489m	9°00'	120.00m	119.704m	6.275m
30	16+262.98	X=63418.252 Y=50971.990	47°47'08.61"	3°00'00"		318.571m	381.973m	00°15'00"	69°47'08.61"I	308.008m	9°00'	120.00m	119.704m	6.275m
31	16+693.31	X=62930.672 Y=50985.953	4°26'59.73"	2°30'00"		35.599m	458.368m	00°15'00"	16°56'59.73"D	118.414m	6°15'	100.00m	99.881m	3.634m
31'	17+590.44	X=62079.195 Y=51272.347	1°50'40.87"	2°30'00"		14.757m	458.368m	00°15'00"	14°20'40.87"D	107.775m	6°15'	100.00m	99.881m	3.634m
32	18+168.05	X=61593.750 Y=51566.816	14°46'17.19"	3°00'00"		298.476m	381.973m	00°15'00"	62°46'17.19"I	293.936m	9°00'	120.00m	119.704m	6.275m
33	18+770.71	X=61028.121 Y=51262.399	18°58'06.93"	3°00'00"		113.124m	381.973m	00°15'00"	34°58'06.93"D	180.766m	9°00'	120.00m	119.704m	6.275m
34	19+235.12	X= 60557.201 Y= 51304.694	43°18'45.71"	3°00'00"		288.751m	381.973m	00°15'00"	61°18'45.71"I	287.287m	9°00'	120.00m	119.704m	6.275m
35	19+669.10	X=60290.152 Y=50906.074	19°37'55.67"	3°00'00"		130.881m	381.973m	00°15'00"	37°37'55.67"D	190.639m	9°00'	120.00m	119.704m	6.275m
36	19+987.94	X= 59978.015 Y= 50801.341	3°08'48.58"	1°30'00"		41.956m	763.947m	00°15'00"	7°38'48.58"I	81.066m	2°15'	60.00m	59.991m	0.786m
37	20+286.19	X=59710.244 Y=50669.609	7°12'06.75"	3°00'00"		48.012m	381.973m	00°15'00"	25°12'06.75"D	145.689m	9°00'	120.00m	119.704m	6.275m

(FIG. 4.11)

CURVA	PI	COORDENADAS	Δ C	GC	ST	LC	RC	Var.	Σ	TST	S	Le	Xc	Yc
37	20+286.19	X:59710.244 Y:50669.609	7°12'06.75"	3°0'00"		48.012 m	381973 m.	0°15'0'00"	25°12'675 D	145.689	9°0'000"	120.00 m	119.704 m	6.275 m
38	21+007.78	X:58985.395 Y:50657.041	23°10'36.25"	1°30'0'00"		309.023 m	763.947 m.	0°15'0'00"	27°40'3625 I	218.233	2°15'0'00"	50.00 m	59.991 m	0.746 m
39	21+732.10	X:58290.706 Y:50277.181	34°25'43.40"	5°22'6.25"	66.134 m	128.264 m	213.456 m.		34°25'43.400		0°0'0'00"	0.00 m	0.00 m	0.00 m.
40	21+665.72	X:58213.478 Y:50284.969	7°8'60.00"	8°14'0'00"	11.466 m	122.941 m	183.837 m.		7°8'60.00" I		0°0'0'00"	0.00 m	0.00 m	0.00 m.
41	21+959.62	X:58119.571 Y:50282.688	58°0'00.00"	7°45'0'00"	81.960 m	149.677 m	147.861 m.		58°00'000I		0°0'0'00"	0.00 m	0.00 m	0.00 m.
42	22+145.18	X:58017.836 Y:50110.724	70°0'00.00"	8°9'44.42"	94.513 m	171.519 m	140.391 m.		70°0'0.00"0		0°0'0'00"	0.00 m	0.00 m.	0.00 m.
43	22+342.27	X:57799.457 Y:50151.626	74°7'52.00"	6°59'15.00"	123.874 m	212.182 m	163.996 m.		74°7'52.00"0		0°0'0'00"	0.00 m	0.00 m	0.00 m.
44	22+444.93	X:57786.785 Y:50289.263	5°43'60.00"	4°0'0'00"	14.345 m	28.667 m	286.480 m.		5°43'60.00"0		0°0'0'00"	0.00 m	0.00 m	0.00 m.
45	22+494.66	X:57787.196 Y:50339.022	5°44'00.00"	4°0'0'00"	14.345 m	28.667 m	286.480 m.		5°44'00.00" I		0°0'0'00"	0.00 m	0.00 m	0.00 m.
P.F	22+508.98	X:57785.880 Y:50353.307												

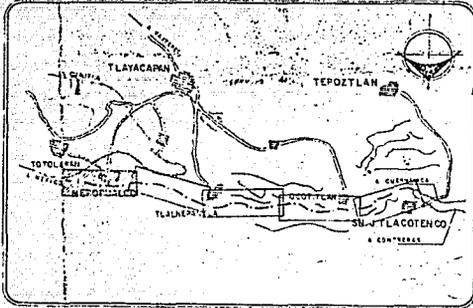
(FIG. 4.11)

## SIMBOLOGIA

VIA DE FERROCARRIL		POSTE DE TELEGRAFO	—+—
CERCA DE ALAMBRE	— · — · — · — · —	CAMINO DE TERRACERIA	— · — · — · — · —
POSTE DE LUZ	○	LINEA DE TELEGRAFO	— · — · — · — · —
LINEA DE ENERGIA ELCTRICA	—	SEALAMIENTO	— △ —
POSTE CON TRANSFORMADOR	⊞	LINEA DE PEVEX	— — — — —
TORRE	⊞	CURVAS DE NIVEL	— — — — —
CARRETERA	— — — — —	POLIGONAL DE APCYO	— — — — —
BANCO DE NIVEL	— — — — —	RETENIDA	— — — — —
RESPIRADERO PEVEX	— — — — —	PARAMENTO	— — — — —

### NOTA :

• Las elevaciones de los curvas de nivel están referidas al B.N. Catedral-177 localizado, sobre esta sur en alcantarilla a 17.50 mis del Km. 79.4200 de la carretera MEXICO—CUAUTLA, en poblado NEPANTLA, con Elev. +2007.772 m s n.m.

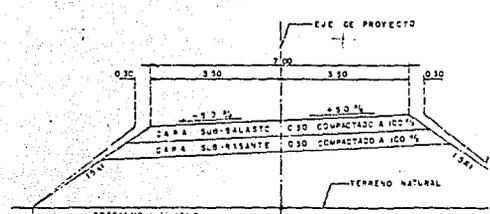
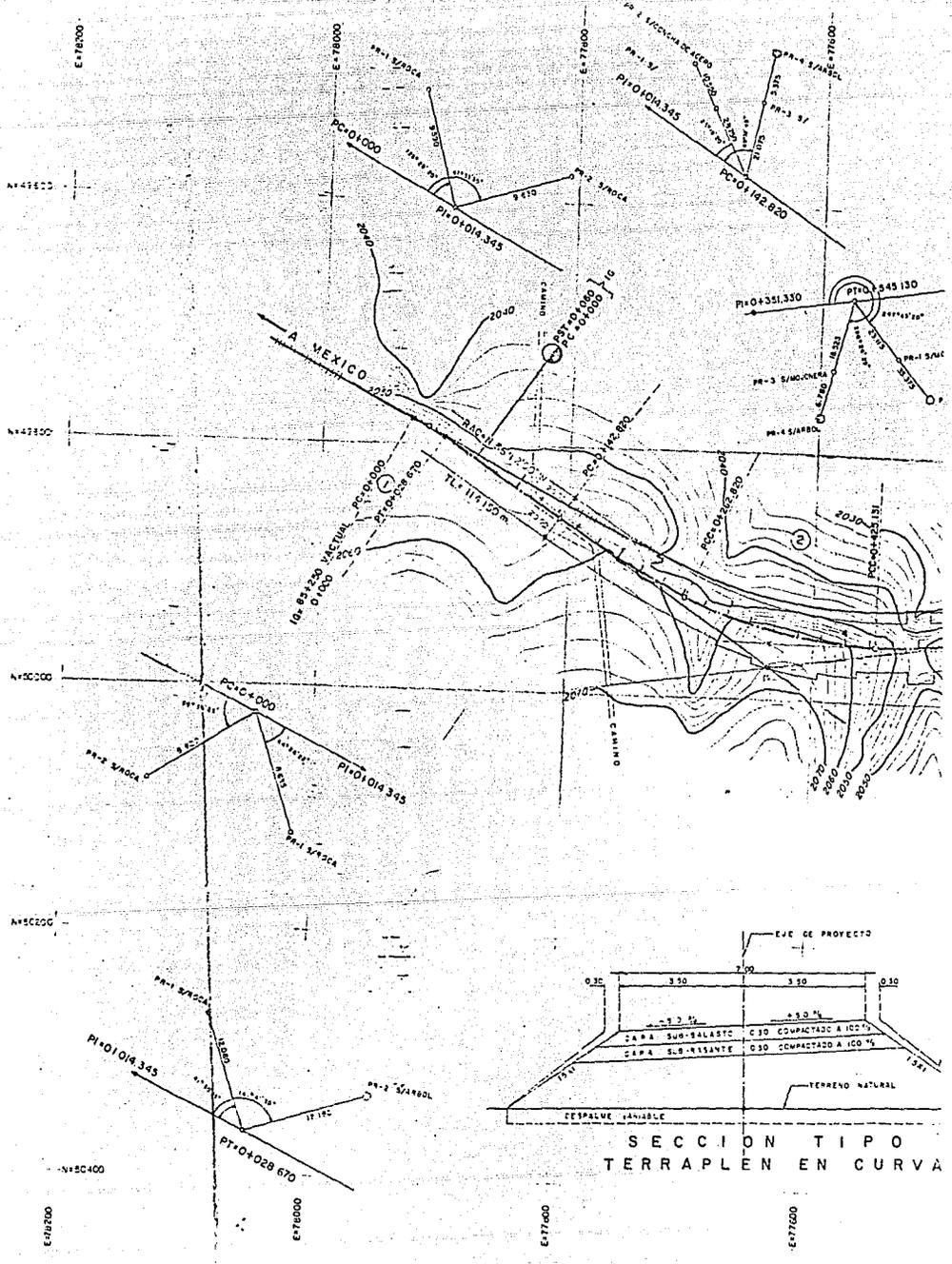


CROQUIS DE LOCALIZACION

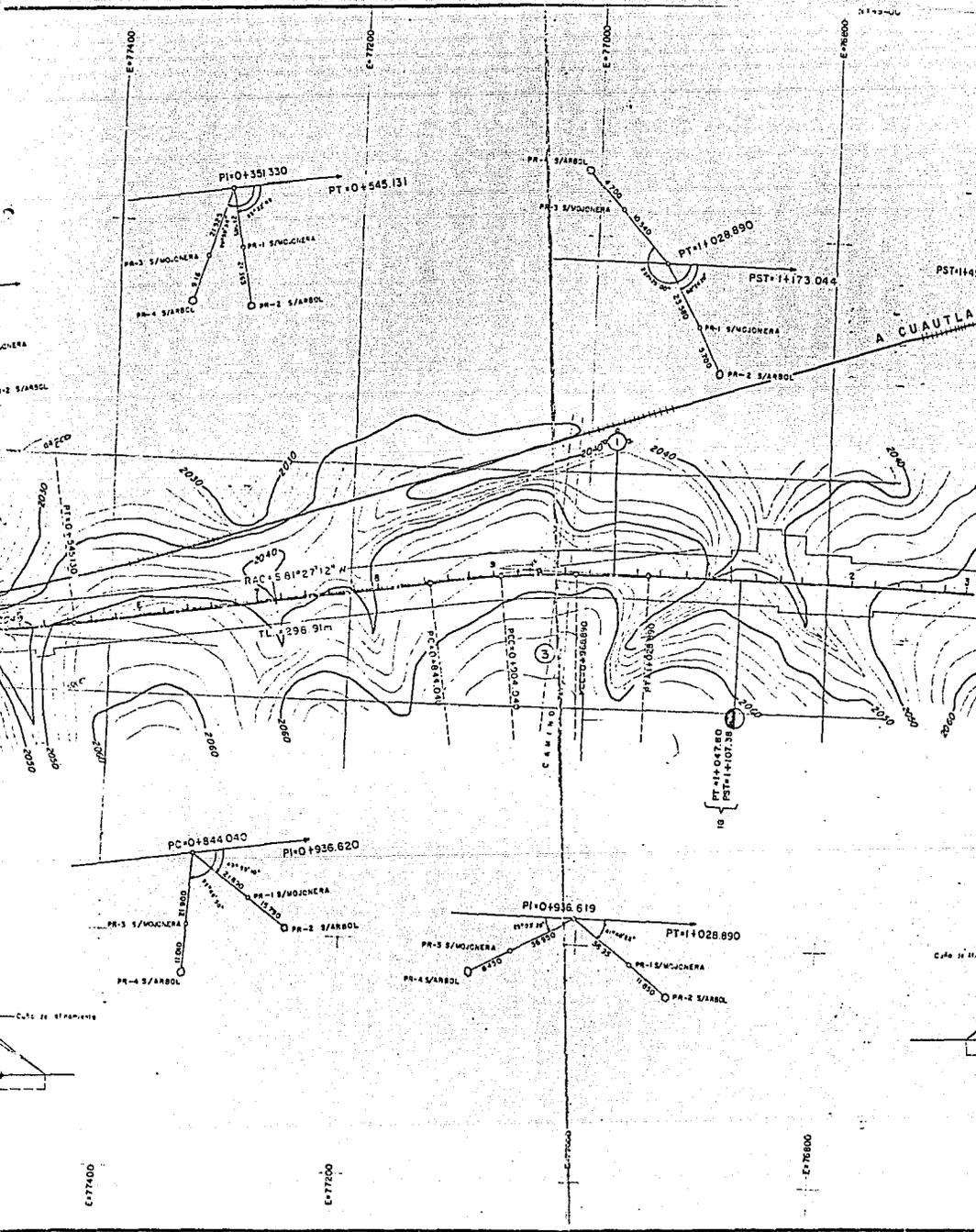


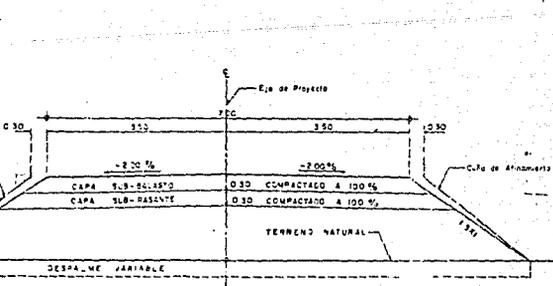
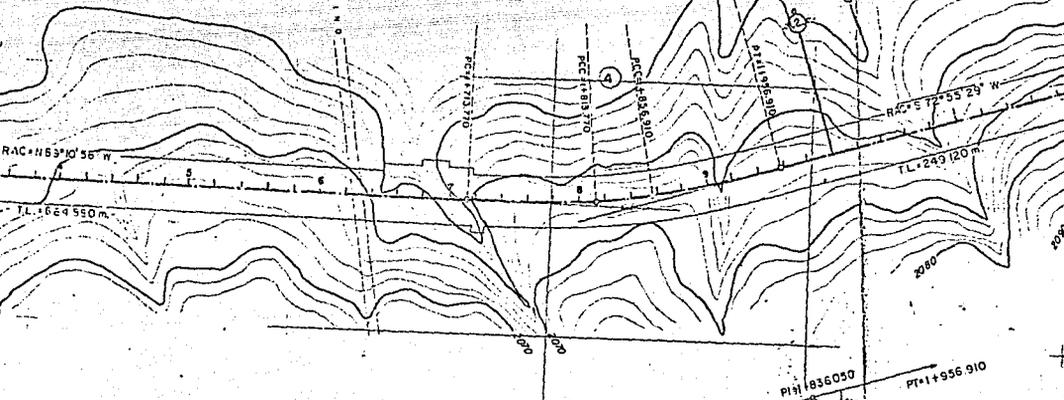
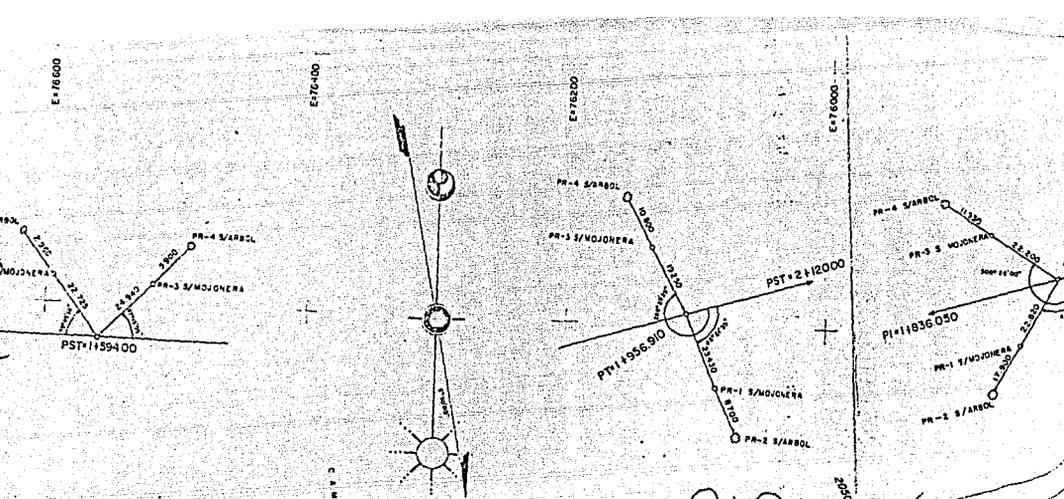
LINEA FERREA MEXICO - CUERNAVACA		
TRAMO NEPANTLA-CO-SAN JUAN TLAOTENCO		
DEL Km 0+000 AL Km 22+616.404		
<b>P L A N T A</b>		
DEL Km. 0+000 AL Km. 5+000		
07.11.11	PP. 4.8%	PL-24
1:200	Pa. 25'00"	2500'10" ECL. 92

**FIG. 4.12.**

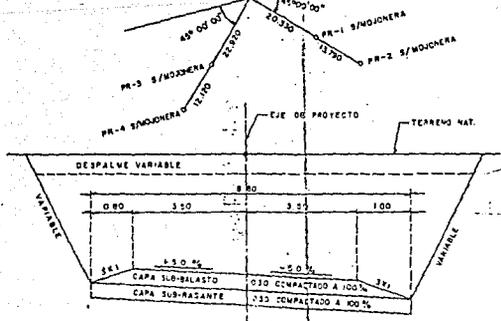


SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN CURVA

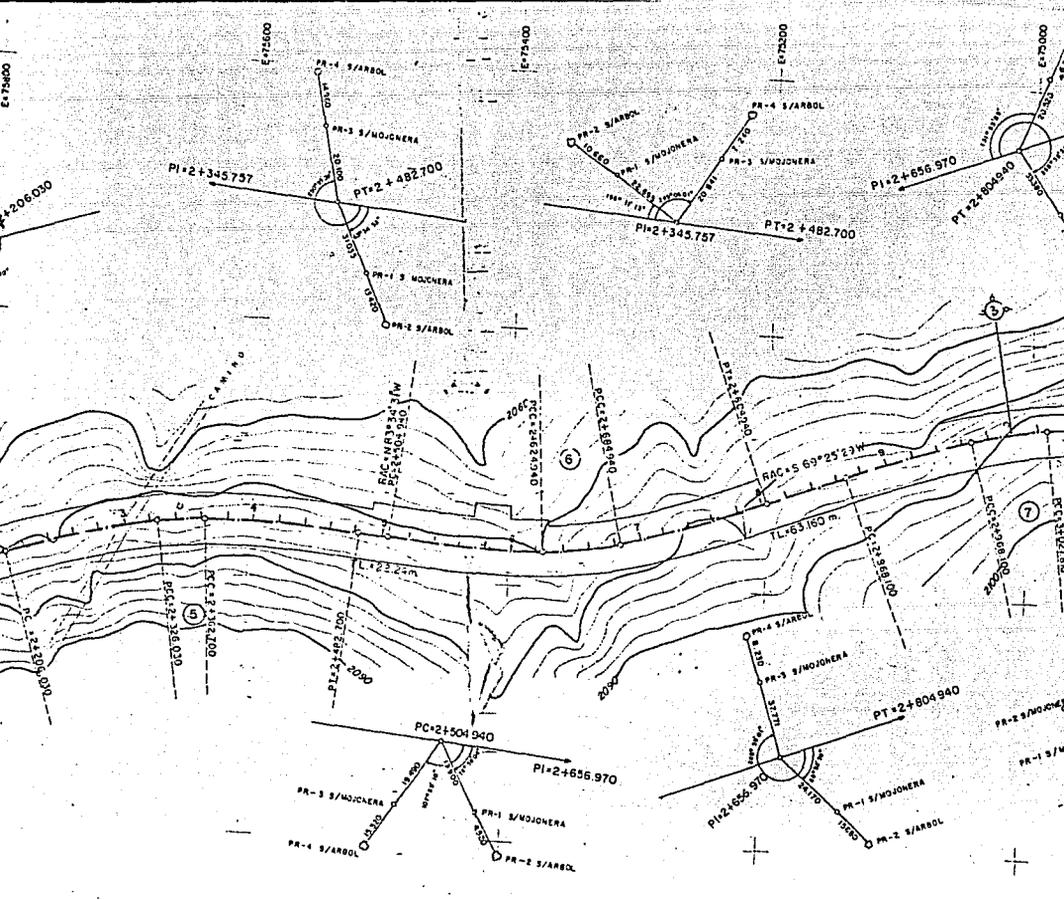




SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN TANGENTE



SECCION TIPO  
CORTE EN CURVA



## D A T O S D E C U R V A S

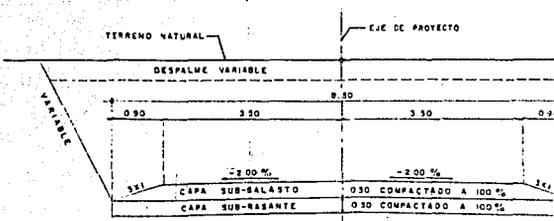
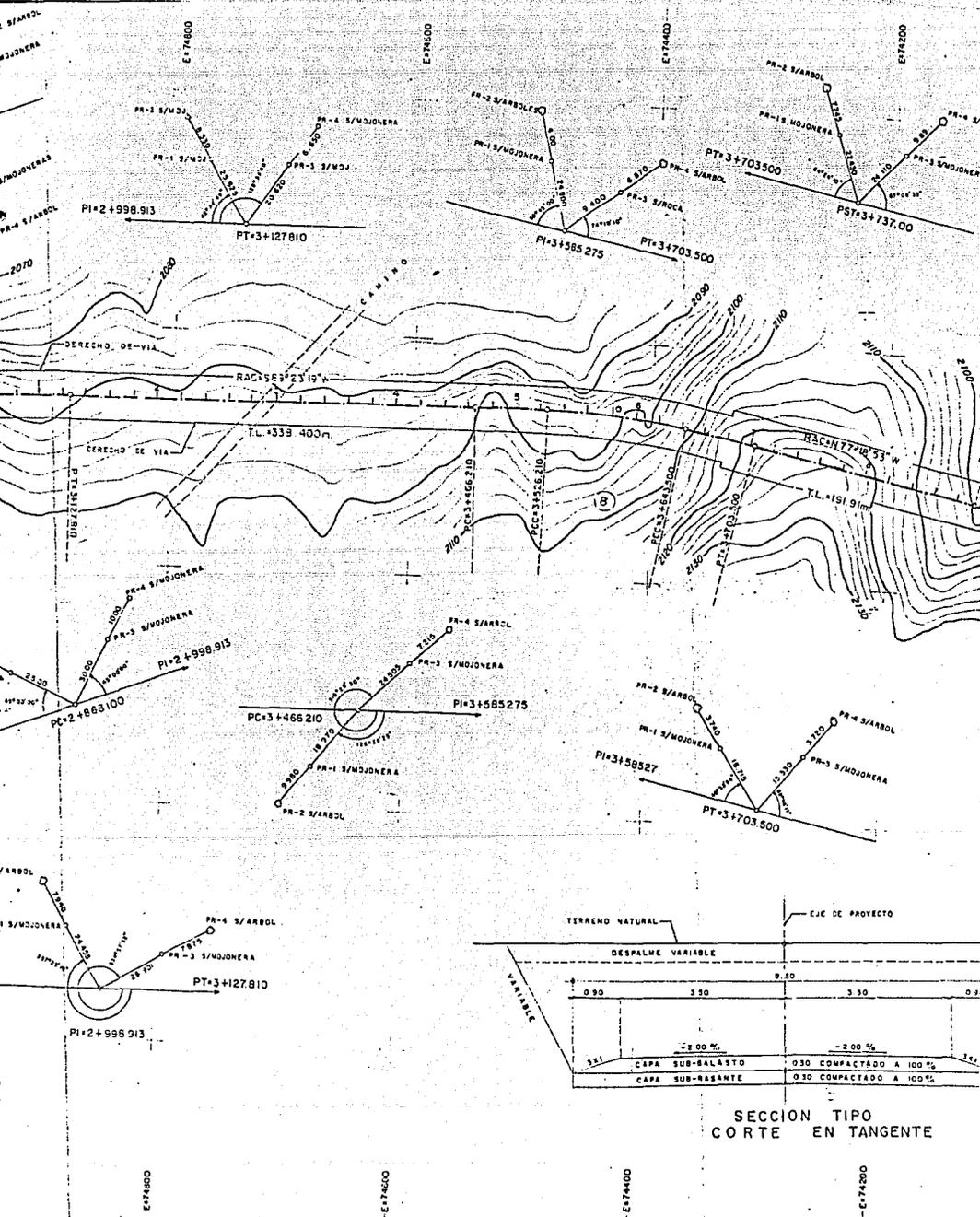
CURVA	PI	CORRENADAS	ΔC	GC	ST	LC	RC	Vgr	Z	TST	β	Le	Xc	Yc
1	0+014.345	X= 77 915.982 Y= 49 766.603	5°44'00"Der	4°00'00"	14.345 m	28.670 m	286.479 m							
2	0+351.330	X= 77 835.940 Y= 49 374.075	2°20'46"Uz	3°00'00"	82.399 m	162.311 m	381.972 m	0° 15' 00"	42°20' 49"	208.510 m	9° 00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m
3	0+935.619	X= 77 642.603 Y= 49 688.265	4°51'50"Der	1°30'00"	32.445 m	64.852 m	763.944 m	0° 15' 00"	9°21' 50"	92.579 m	2°15'	60.00 m	59.991 m	0.785 m
4	1+836.050	X= 76 142.925 Y= 49 492.739	5°23'33"Uz	2°30'00"	21.586 m	43.140 m	428.366 m	0° 15' 00"	17°53' 33"	122.260 m	6°15'	100.00 m	99.891 m	3.633 m
5	2+345.757	X= 75 543.337 Y= 49 747.637	5°30'00"Der	3°00'00"	18.347 m	36.670 m	381.972 m	0° 15' 00"	25°30' 00"	139.717 m	9°00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m
6	2+656.970	X= 75 243.337 Y= 49 661.195	9°00'00"Uz	3°00'00"	30.662 m	60.00 m	381.972 m	0° 15' 00"	27°00' 00"	152.030 m	9°00'	120.00 m	119.704 m	6.272 m
7	2+938.913	X= 75 018.398 Y= 49 661.195	7°27'50"Der	2°30'00"	29.838 m	59.711 m	458.366 m	0° 15' 00"	19°57' 50"	130.613 m	6°15'	100.00 m	99.891 m	3.633 m
8	3+585.275	X= 74 430.152 Y= 49 654.918	8°47'48"Der	1°30'00"	58.760 m	117.290 m	763.944 m	0° 15' 00"	13° 17' 48"	119.045 m	2°15'	60.00 m	59.991 m	0.785 m
9	4+012.471	X= 74 012.561 Y= 49 743.313	8°30'00"Uz	1°30'00"	56.771 m	113.330 m	763.944 m	0° 15' 00"	13° 00' 00"	117.051 m	2°15'	60.00 m	59.991 m	0.785 m

E-72600

E-72400

E-72200

E-72000



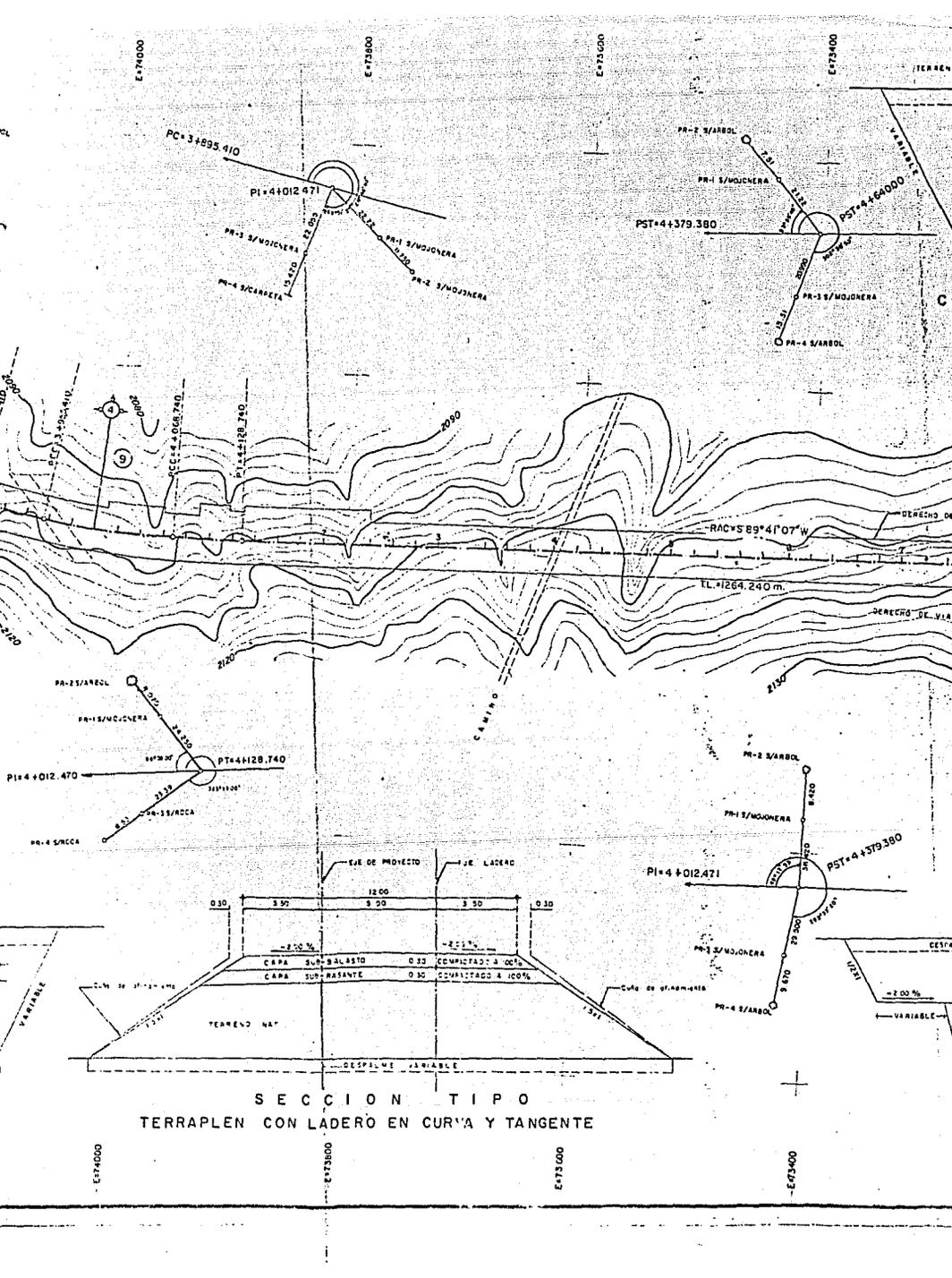
SECCION TIPO  
CORTE EN TANGENTE

E-74600

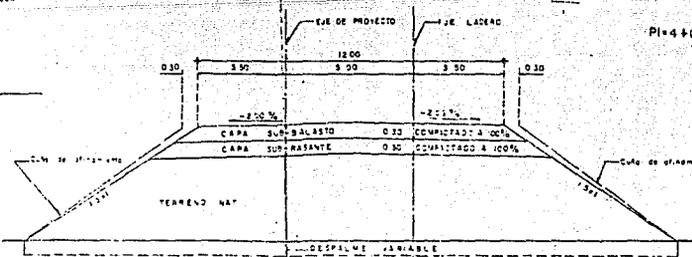
E-74200

E-74400

E-74000



SECCION TIPO  
TERRAPLEN CON LADERO EN CURVA Y TANGENTE

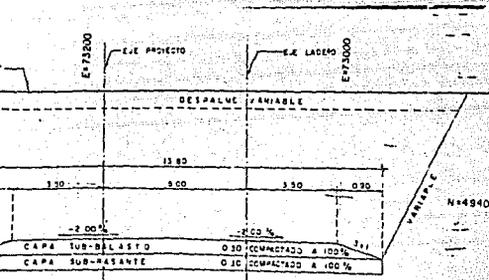


E-734000

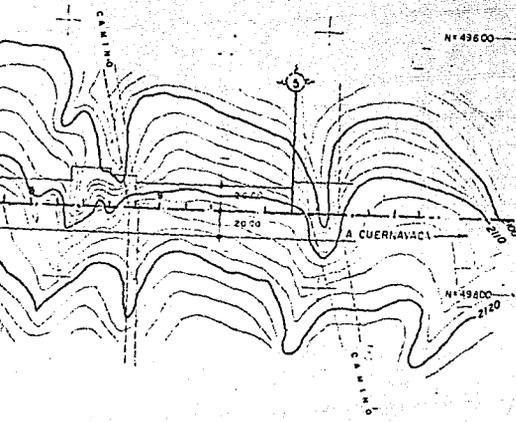
E-733000

E-732000

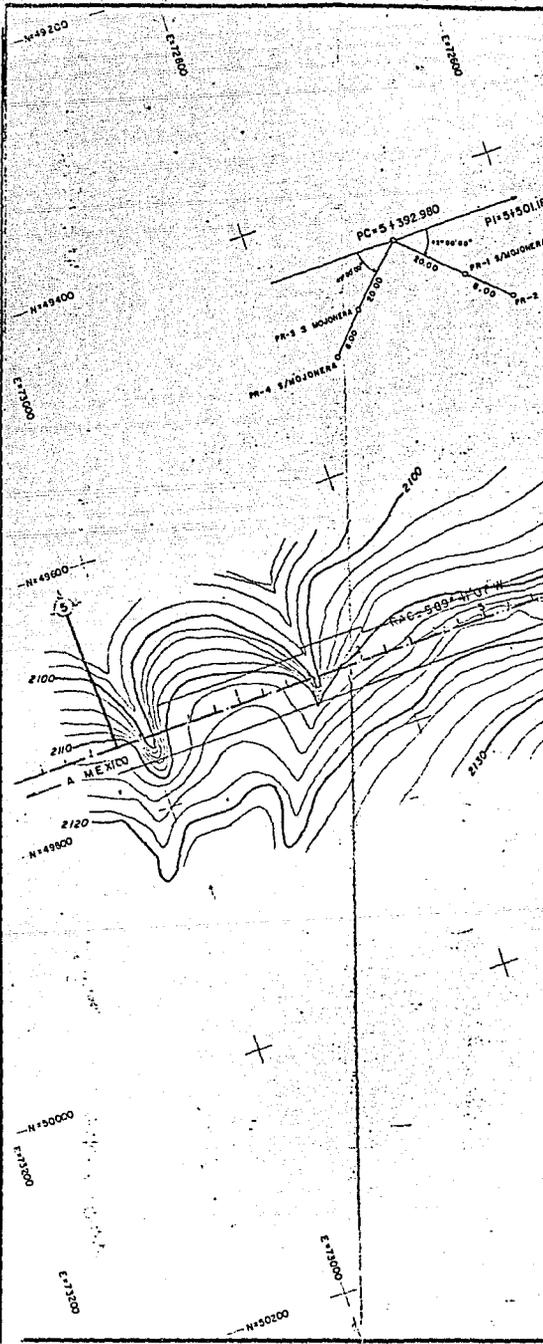
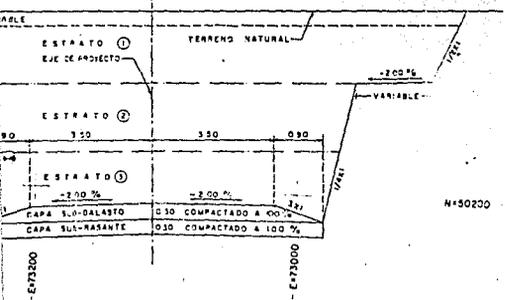
E-731000

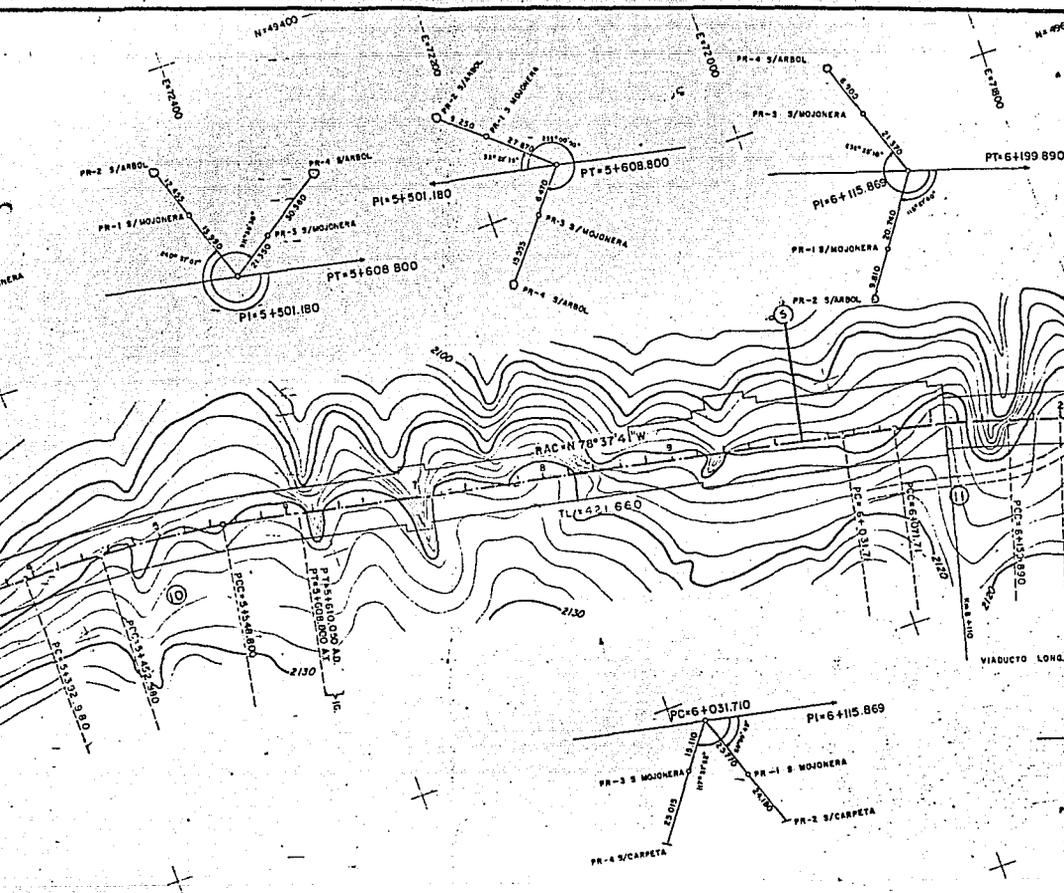


SECCION TIPO  
E CON LADERO EN CURVA Y TANGENTE



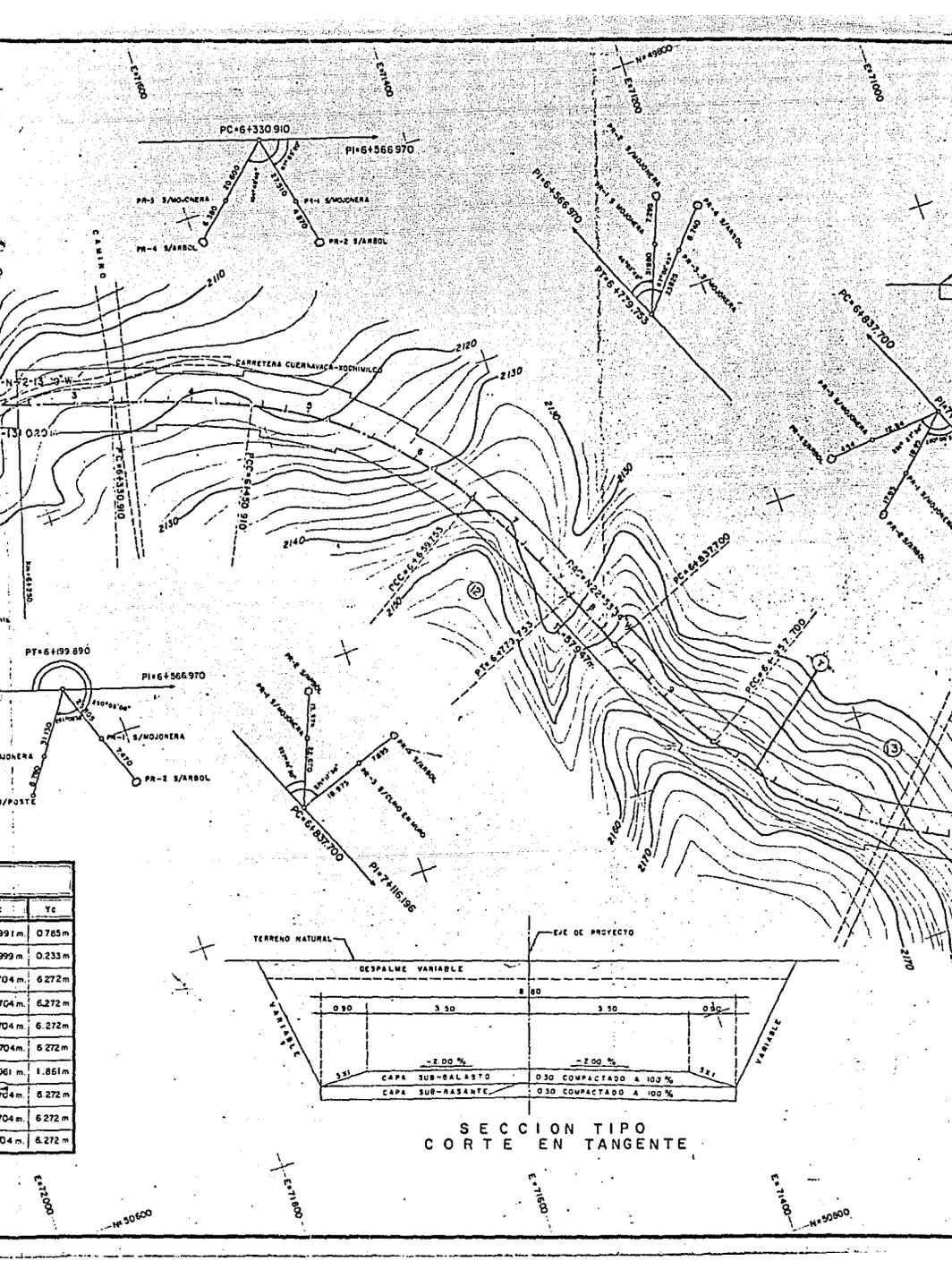
SECCION TIPO  
CORTE EN TANGENTE



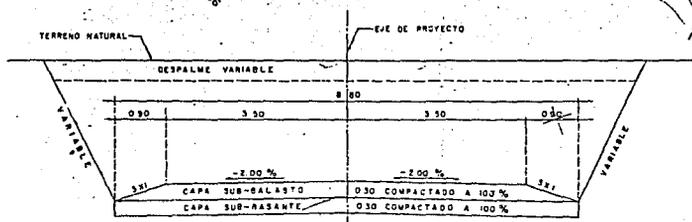


D A T O S D E C U R V A												
CURVA	PI	CODICENADAS	Δc	Gc	ST	Lc	Re	Yoc	Σ	TST	B	Le
10	51501.180	X=72.323.082 Y=49.740.732	7°11'2" Del	1°30'00"	47.974 m.	95.822 m.	783.944 m.	0° 15' 00"	11° 41' 12"	108.200 m.	2° 15'	6000 m.
11	6+115.869	X=71.921.115 Y=49.861.803	4°24'32" Del	1°00'00"	44.111 m.	88.178 m.	1145.916 m.	0° 15' 00"	6° 24' 32"	84.159 m.	1° 00'	4000 m.
12	61566.970	X=71.491.429 Y=49.939.602	3°19'35" Del	3°00'00"	107.103 m.	208.843 m.	381.973 m.	0° 15' 00"	49° 15' 35"	236.060 m.	9° 00'	120.00 m.
13	7+116.196	X=70.685.027 Y=50.606.527	4°21'00" Del	3°00'00"	144.145 m.	279.667 m.	381.973 m.	0° 15' 00"	53° 21' 00"	278.496 m.	9° 00'	120.00 m.
14	7+663.997	X=70.310.937 Y=50.444.059	0° 9' 18" Del	3°00'00"	54.720 m.	108.700 m.	381.972 m.	0° 15' 00"	3° 48' 18"	178.327 m.	9° 00'	120.00 m.
15	8+159.883	X=69.867.146 Y=50.939.533	2°11'54" Del	3°00'00"	83.462 m.	164.341 m.	381.972 m.	0° 15' 00"	42° 39' 04"	209.683 m.	9° 00'	120.00 m.
16	8+588.673	X=69.719.719 Y=51.290.828	1°29'22" Del	2°00'00"	89.487 m.	169.722 m.	572.958 m.	0° 15' 00"	24° 58' 20"	166.972 m.	4° 00'	80.00 m.
17	9+435.372	X=68.092.121 Y=51.108.928	32°51'37" Del	3°00'00"	116.373 m.	225.920 m.	381.972 m.	0° 15' 00"	5° 55' 13"	246.552 m.	9° 00'	120.00 m.
18	9+808.494	X=68.737.061 Y=51.108.928	4°31'01" Del	3°00'00"	15.509 m.	31.000 m.	381.972 m.	0° 15' 00"	2° 30' 01"	136.764 m.	9° 00'	120.00 m.
19	10+226.578	X=68.307.953 Y=51.069.518	2°44'55" Del	3°00'00"	83.800 m.	164.987 m.	381.972 m.	0° 15' 00"	42° 44' 53"	210.058 m.	9° 00'	120.00 m.

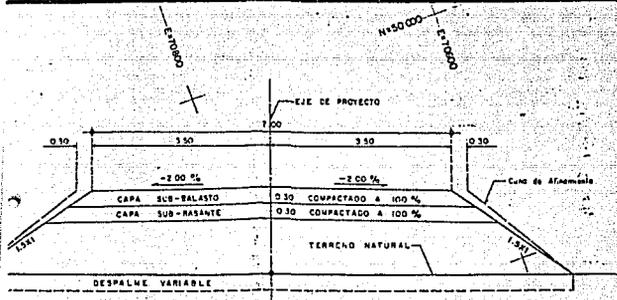
N=149400  
E=212600  
E=212600  
E=212600  
E=212600



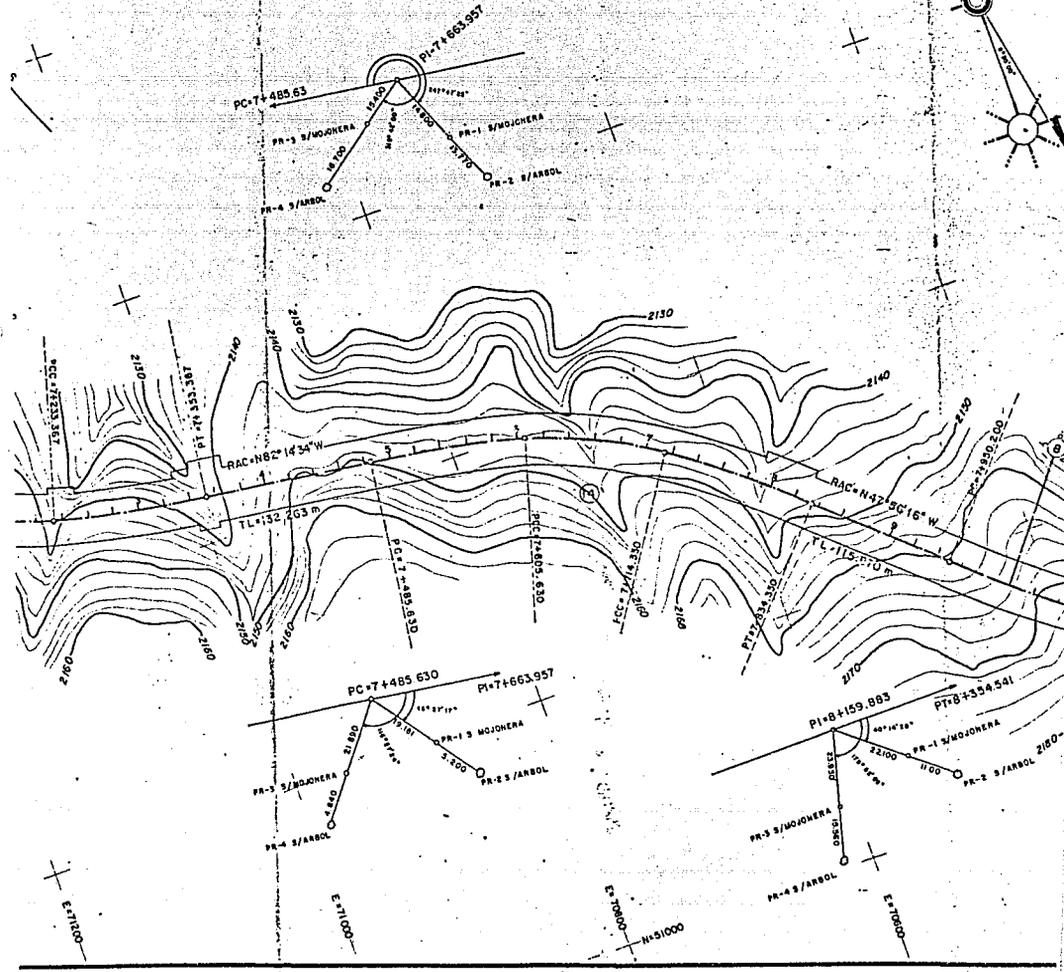
	Ye
991 m.	0.785 m
999 m.	0.233 m
704 m.	6.272 m
706 m.	1.861 m
704 m.	6.272 m
704 m.	6.272 m
704 m.	6.272 m

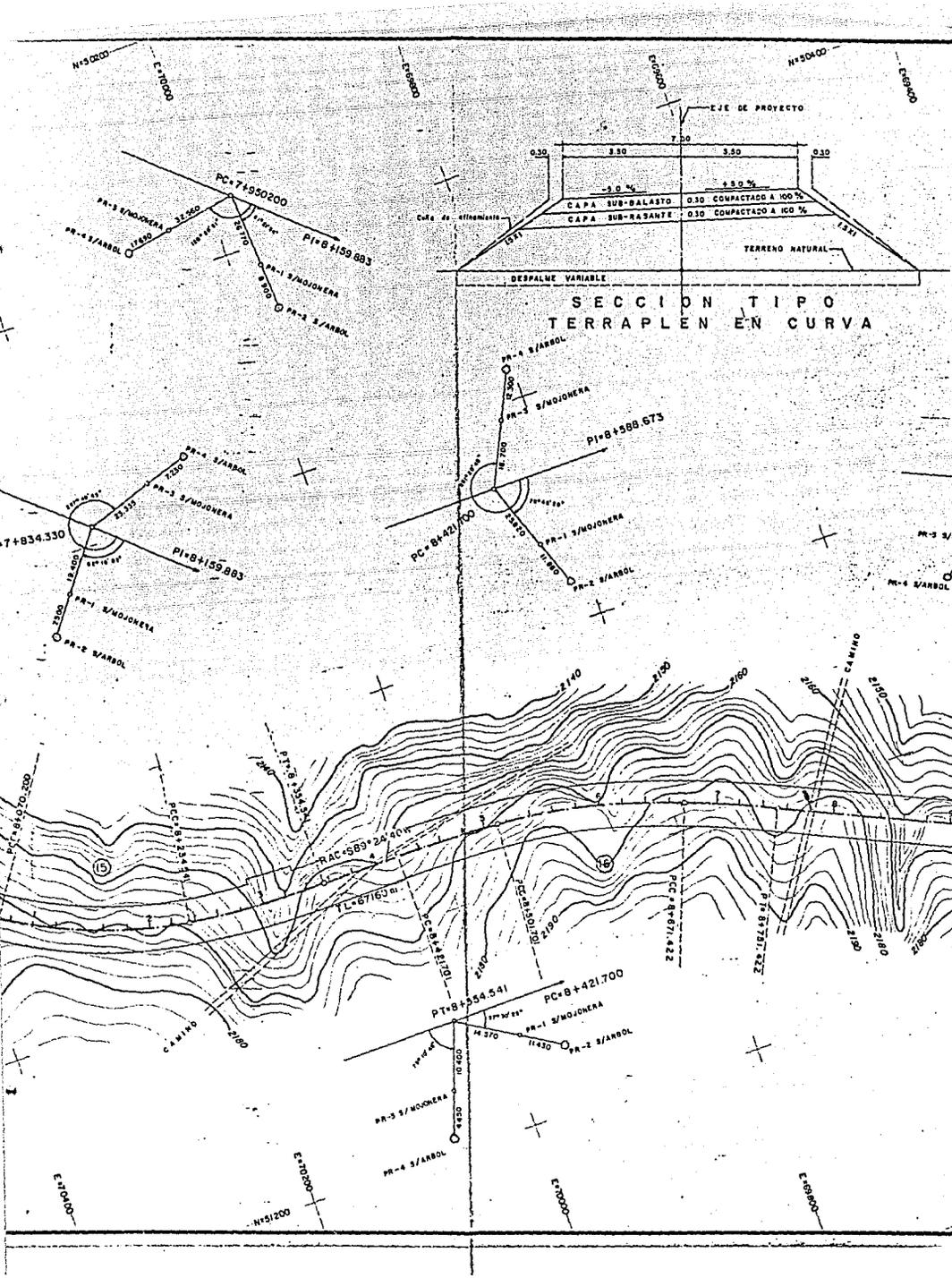


SECCION TIPO  
 CORTE EN TANGENTE

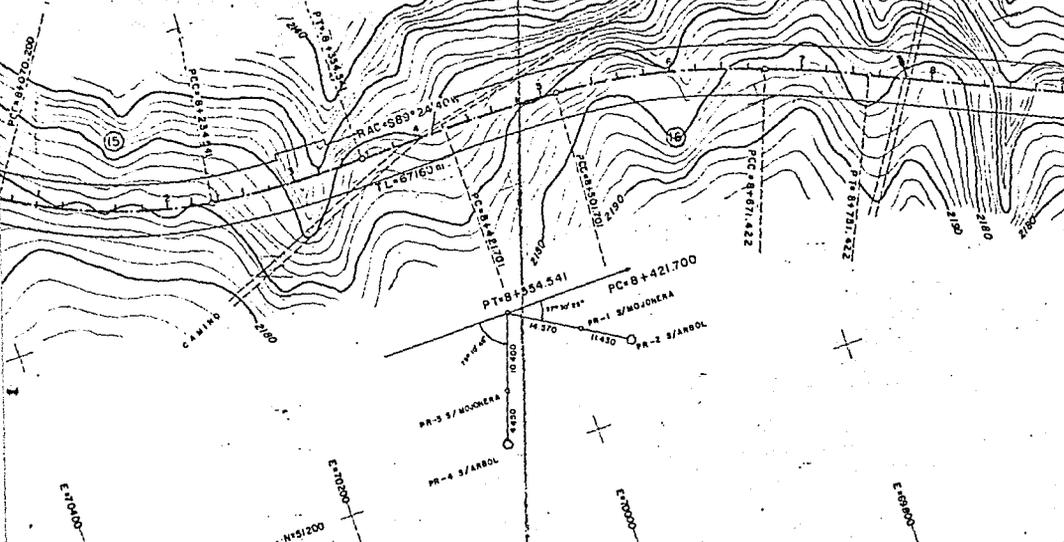
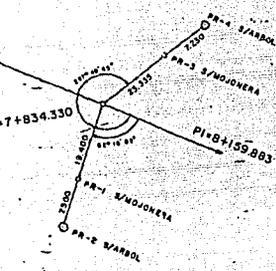
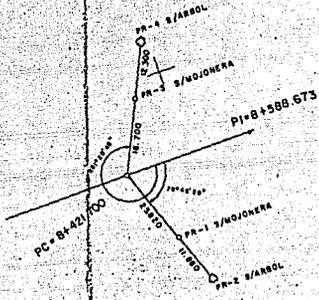
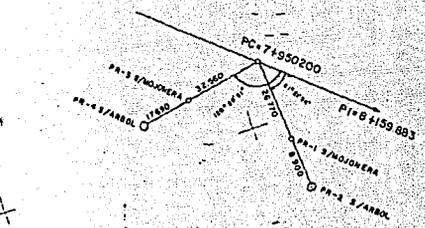
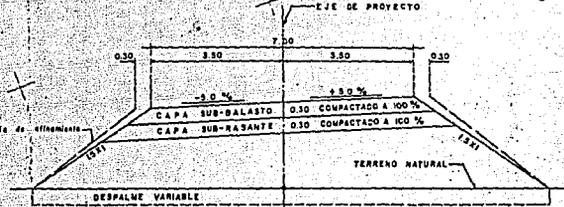


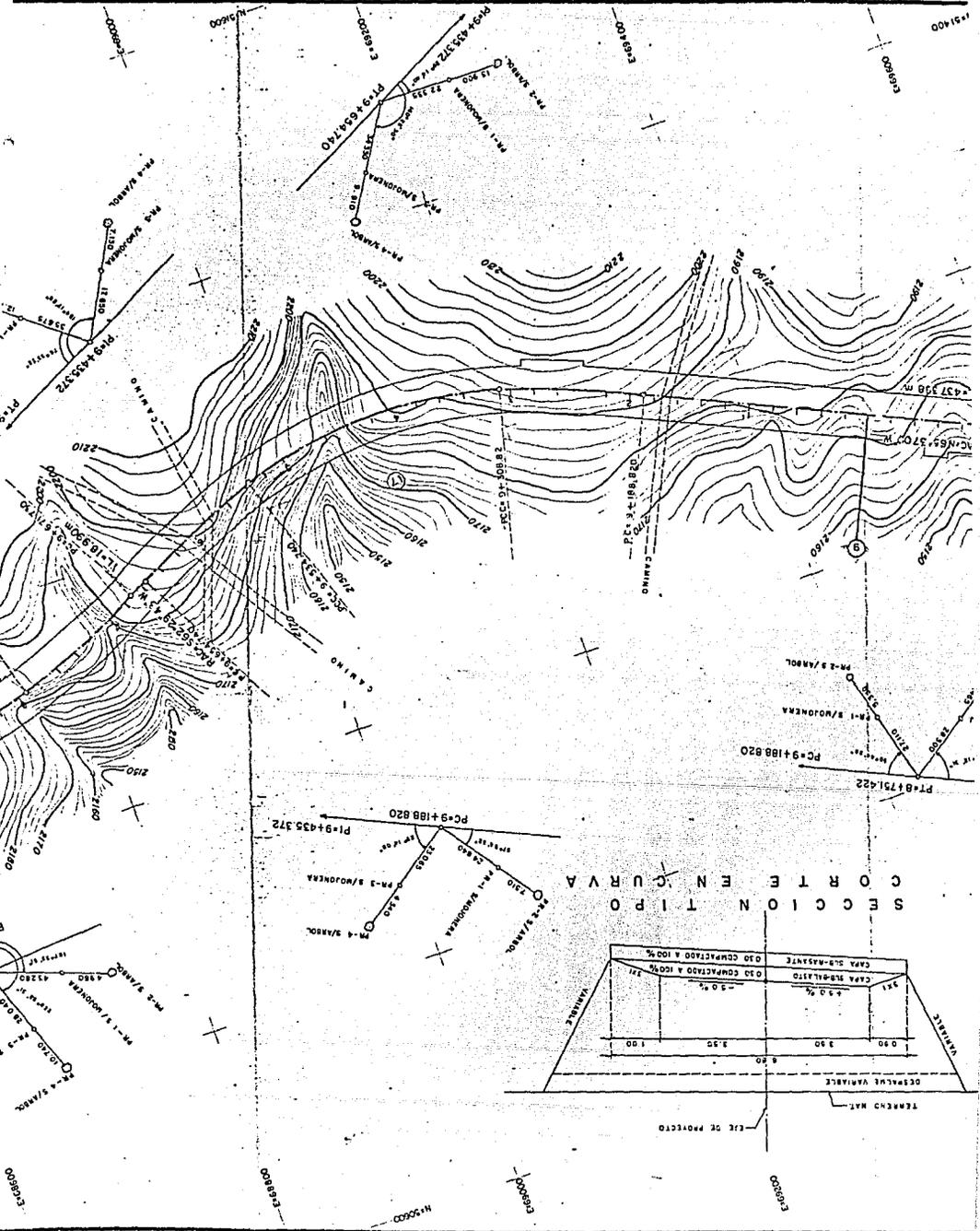
SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN TANGENTE



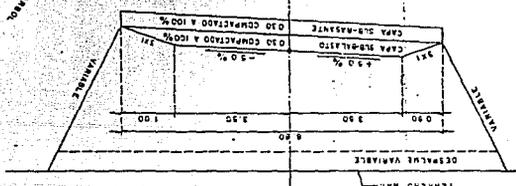


**SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN CURVA**





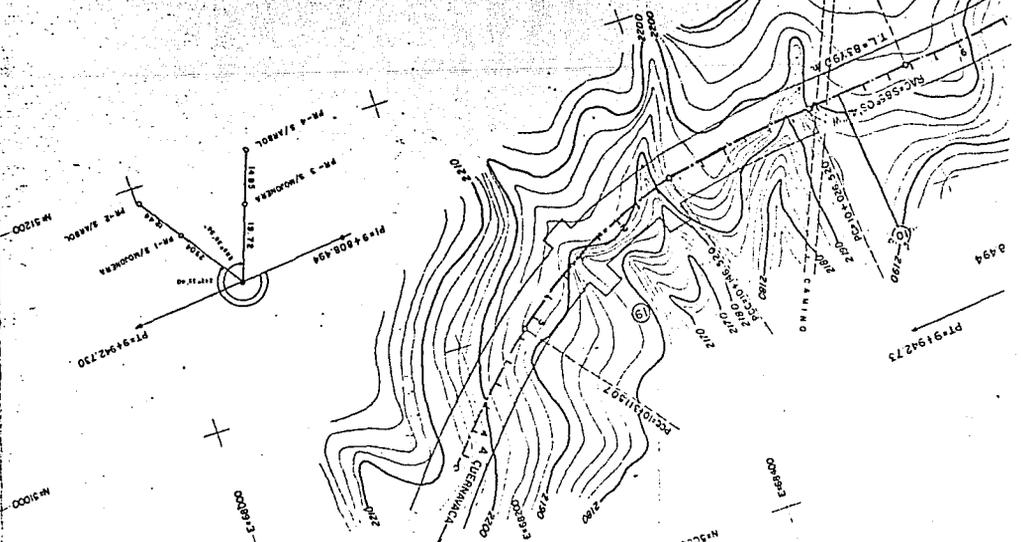
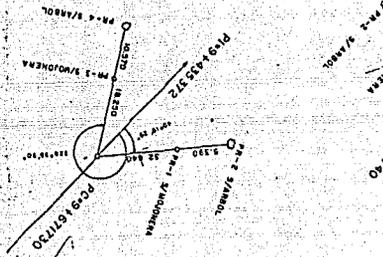
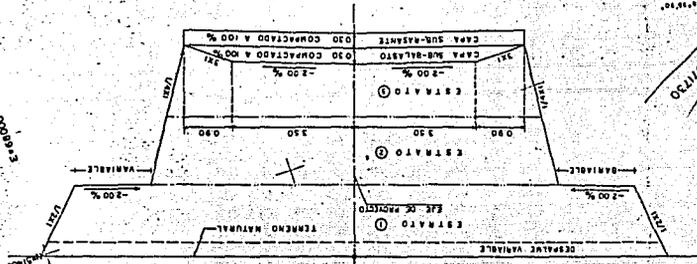
SECCION TIPO  
CORTE EN CURVA

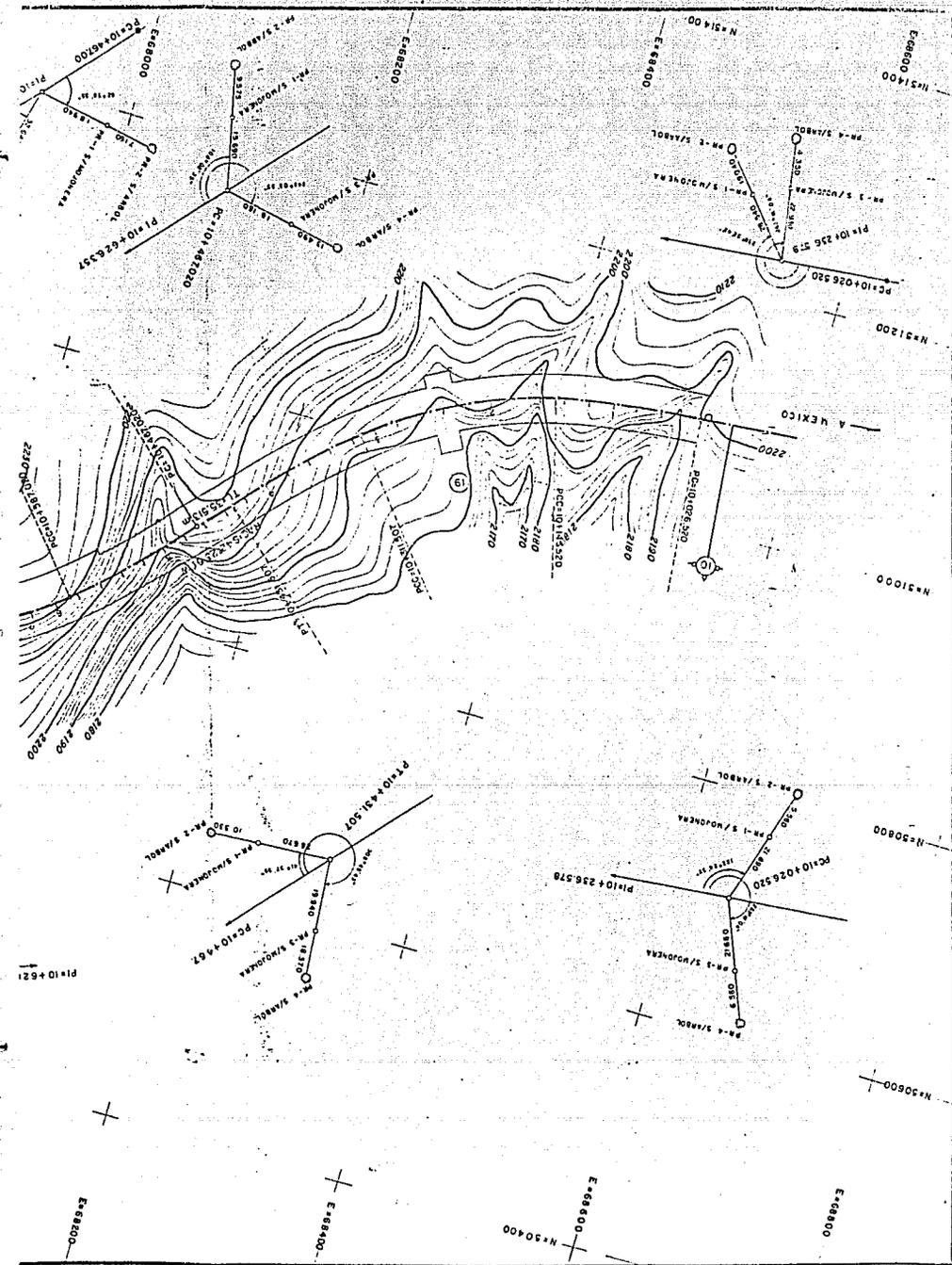


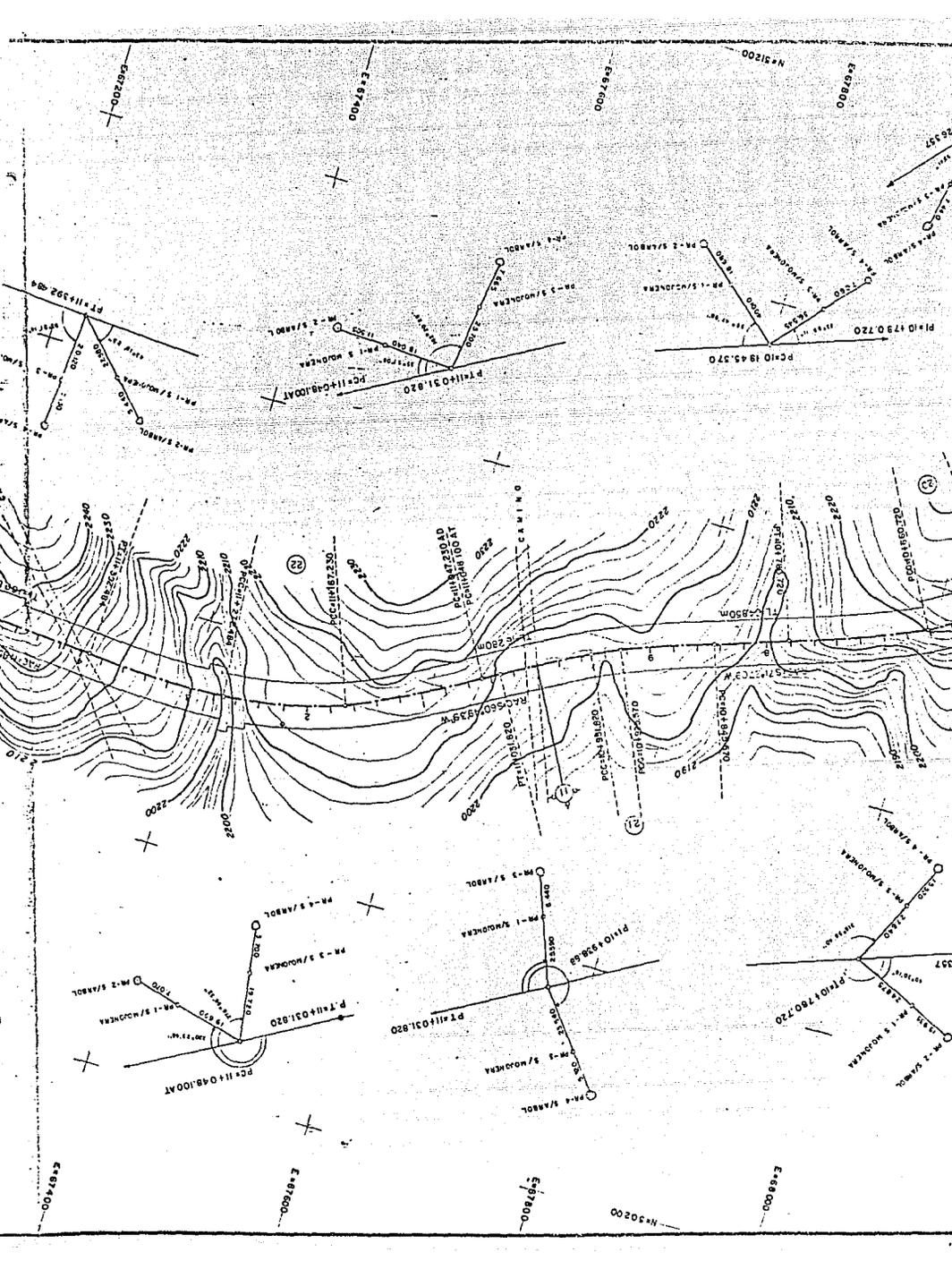
TERMINO M.T. | EJE DE PROYECTO

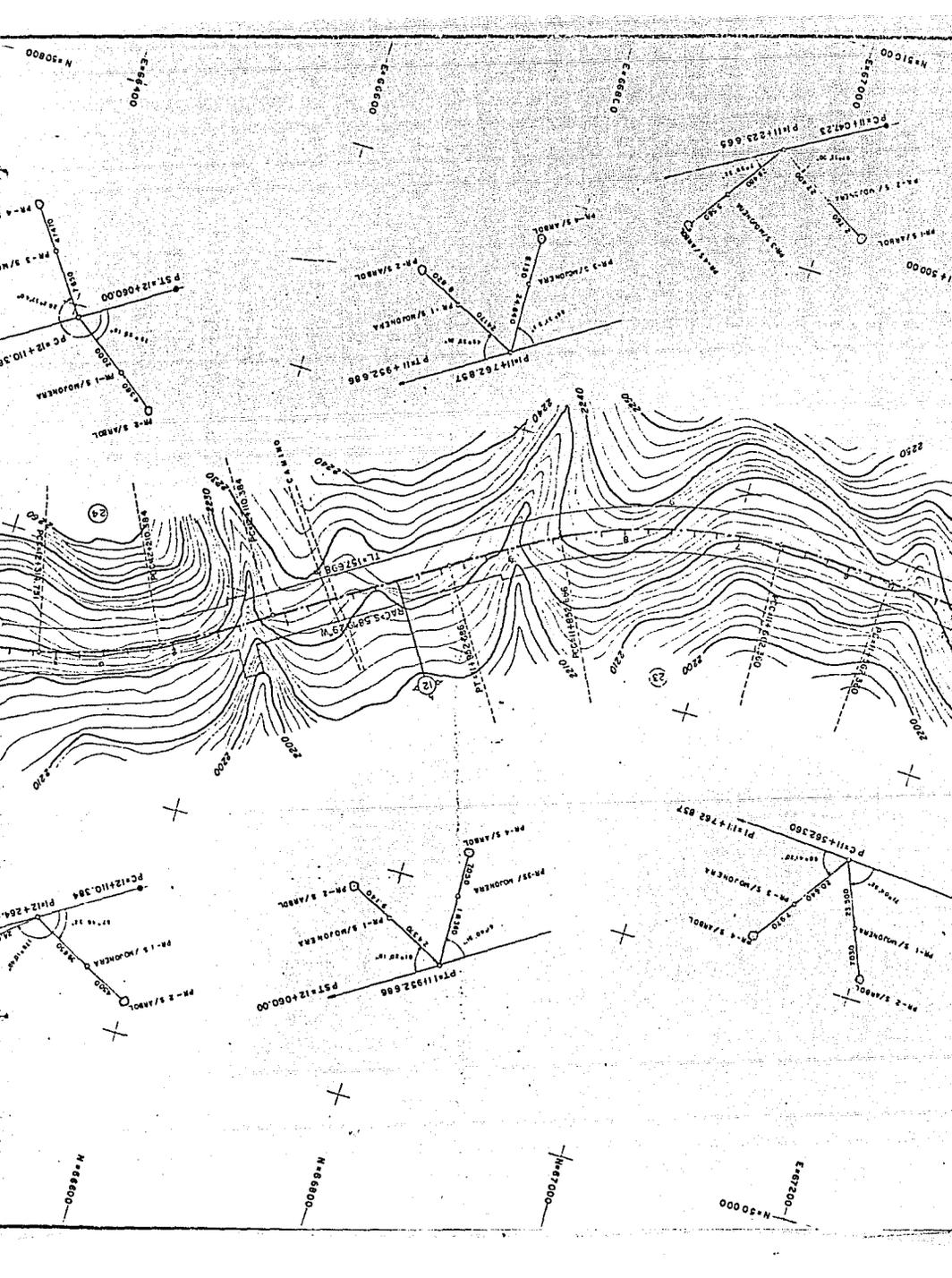


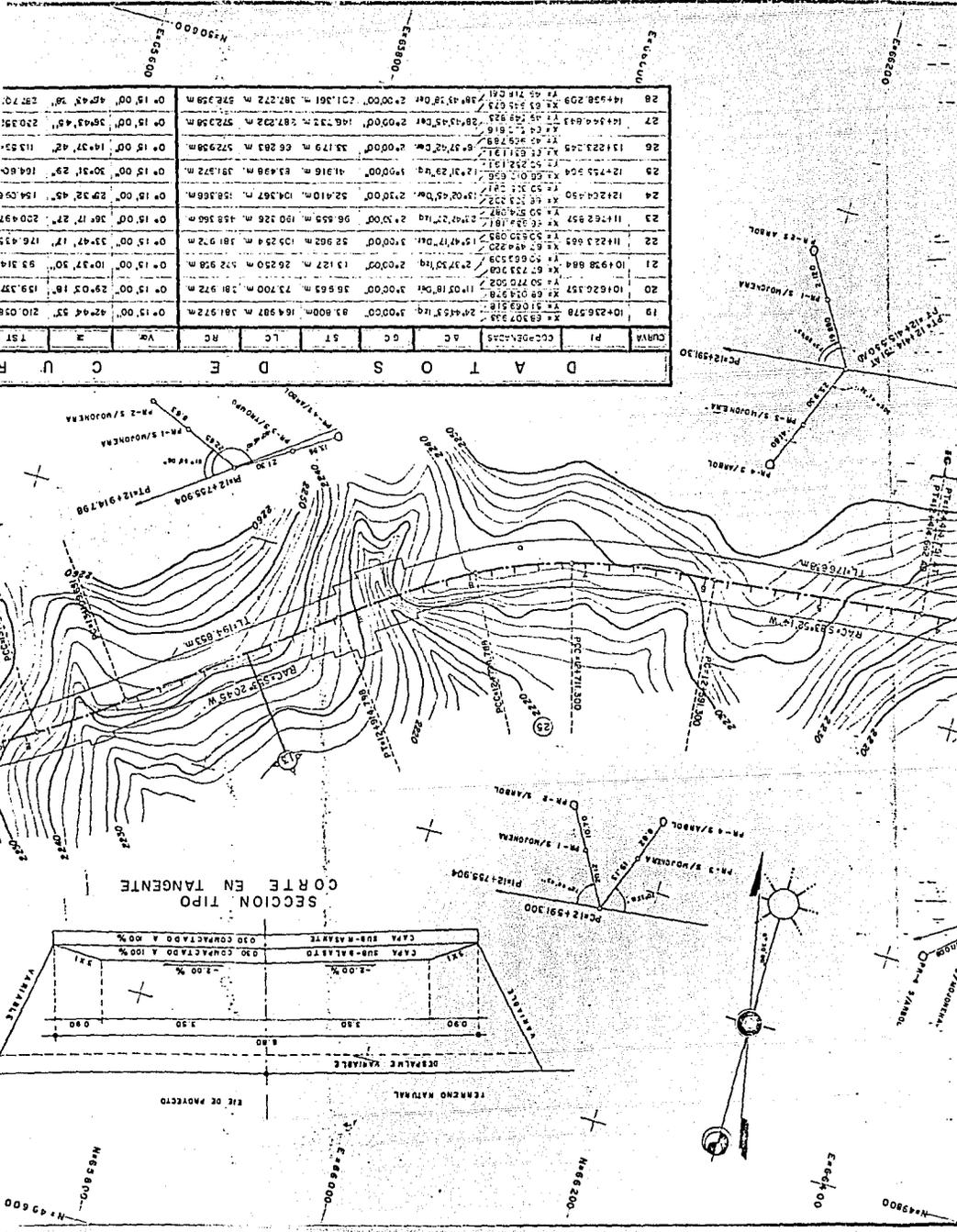
SECCION TIPO  
CORTE EN TANGENTE







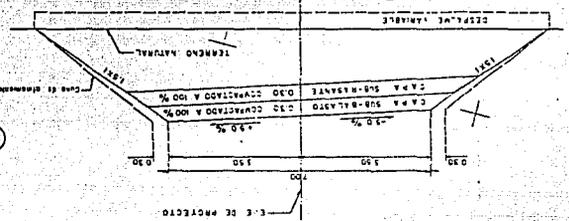




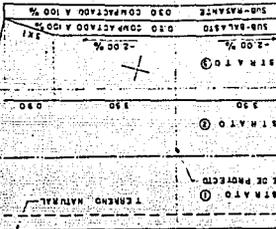
CURVA	PI	CC=056.5245	AC	CC	ST	LC	RC	VR	A	C	U	R	TST
19	10+226.578	63.307.83	244.55°	14.000'	83.800m	164.987 m	381.972m	0° 15' 00"	42° 46' 35"	210.038			
20	10+620.157	68.054.978	110° 01' 08"	3° 00' 00"	38.665m	73.700m	381.972m	0° 15' 00"	28° 32' 18"	159.337			
21	10+928.884	50.659.529	2° 37' 50" lig	2° 00' 00"	13.127 m	26.250m	572.958m	0° 15' 00"	10° 37' 30"	83.314			
22	11+223.665	44.4220	157° 47' 17" dia.	1° 00' 00"	52.802m	105.254 m	489.972m	0° 15' 00"	33° 47' 17"	126.435			
23	11+762.957	46.324.181	2° 34' 27" lig	2° 30' 00"	96.655m	190.126 m	489.956m	0° 15' 00"	38° 17' 27"	200.497			
24	12+254.450	52.123.232	130° 02' 05" dia.	2° 10' 00"	52.410m	104.867 m	358.966m	0° 15' 00"	28° 32' 45"	154.058			
25	12+753.504	56.050.566	123° 1' 23" dia.	1° 00' 00"	41.916m	83.438m	381.972m	0° 15' 00"	30° 31' 29"	164.60			
26	13+223.245	62.111.371	67° 37' 42" dia.	4° 00' 00"	33.179 m	66.283 m	572.958m	0° 15' 00"	14° 37' 42"	113.53			
27	14+544.641	67.157.816	281° 13' 45" dia.	2° 00' 00"	146.321 m	287.222 m	572.958m	0° 15' 00"	36° 43' 45"	220.351			
28	14+538.205	65.716.031	388° 43' 38" dia.	2° 00' 00"	201.361 m	387.272 m	572.958m	0° 15' 00"	42° 43' 38"	287.70			



**SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN CURVA**



**SECCION TIPO  
RTE EN TANGENTE**



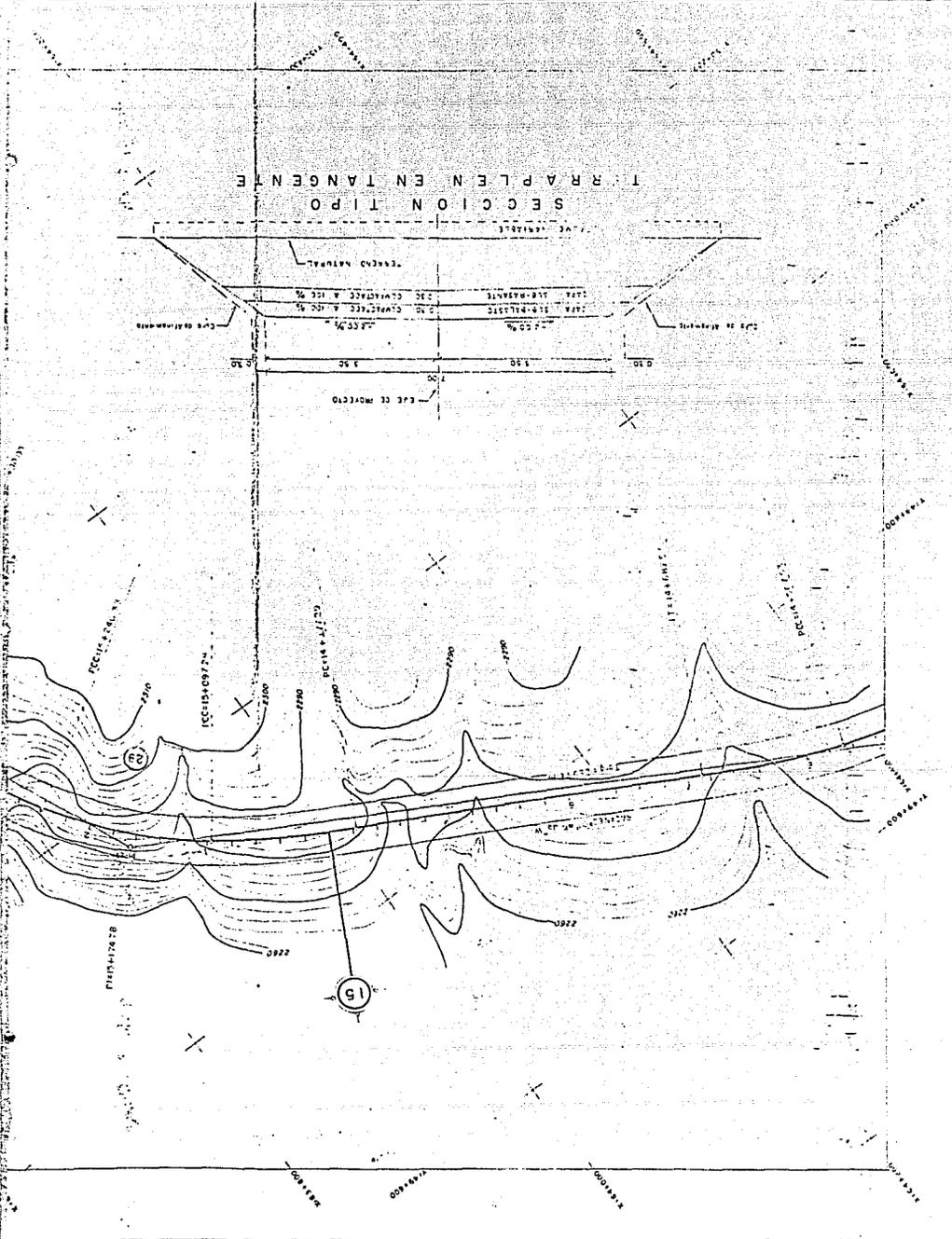
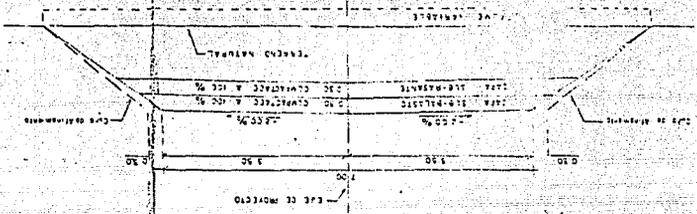
19-227  
PM-5/5.1251

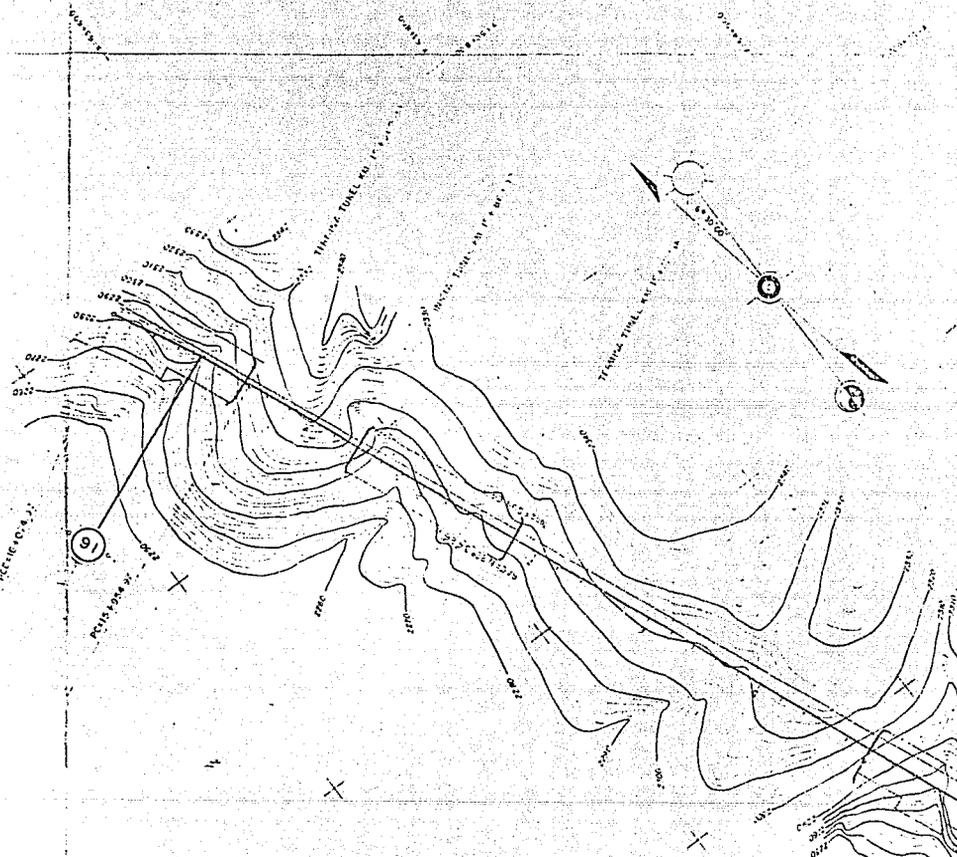
E664000  
E664200  
E664400  
E664600

2270  
2280  
2290  
2300  
2310  
2320  
2330  
2340  
2350  
2360  
2370  
2380  
2390  
2400  
2410  
2420  
2430  
2440  
2450  
2460  
2470  
2480  
2490  
2500  
2510  
2520  
2530  
2540  
2550  
2560  
2570  
2580  
2590  
2600  
2610  
2620  
2630  
2640  
2650  
2660  
2670  
2680  
2690  
2700  
2710  
2720  
2730  
2740  
2750  
2760  
2770  
2780  
2790  
2800  
2810  
2820  
2830  
2840  
2850  
2860  
2870  
2880  
2890  
2900  
2910  
2920  
2930  
2940  
2950  
2960  
2970  
2980  
2990  
3000  
3010  
3020  
3030  
3040  
3050  
3060  
3070  
3080  
3090  
3100  
3110  
3120  
3130  
3140  
3150  
3160  
3170  
3180  
3190  
3200  
3210  
3220  
3230  
3240  
3250  
3260  
3270  
3280  
3290  
3300  
3310  
3320  
3330  
3340  
3350  
3360  
3370  
3380  
3390  
3400  
3410  
3420  
3430  
3440  
3450  
3460  
3470  
3480  
3490  
3500  
3510  
3520  
3530  
3540  
3550  
3560  
3570  
3580  
3590  
3600  
3610  
3620  
3630  
3640  
3650  
3660  
3670  
3680  
3690  
3700  
3710  
3720  
3730  
3740  
3750  
3760  
3770  
3780  
3790  
3800  
3810  
3820  
3830  
3840  
3850  
3860  
3870  
3880  
3890  
3900  
3910  
3920  
3930  
3940  
3950  
3960  
3970  
3980  
3990  
4000  
4010  
4020  
4030  
4040  
4050  
4060  
4070  
4080  
4090  
4100  
4110  
4120  
4130  
4140  
4150  
4160  
4170  
4180  
4190  
4200  
4210  
4220  
4230  
4240  
4250  
4260  
4270  
4280  
4290  
4300  
4310  
4320  
4330  
4340  
4350  
4360  
4370  
4380  
4390  
4400  
4410  
4420  
4430  
4440  
4450  
4460  
4470  
4480  
4490  
4500  
4510  
4520  
4530  
4540  
4550  
4560  
4570  
4580  
4590  
4600  
4610  
4620  
4630  
4640  
4650  
4660  
4670  
4680  
4690  
4700  
4710  
4720  
4730  
4740  
4750  
4760  
4770  
4780  
4790  
4800  
4810  
4820  
4830  
4840  
4850  
4860  
4870  
4880  
4890  
4900  
4910  
4920  
4930  
4940  
4950  
4960  
4970  
4980  
4990  
5000  
5010  
5020  
5030  
5040  
5050  
5060  
5070  
5080  
5090  
5100  
5110  
5120  
5130  
5140  
5150  
5160  
5170  
5180  
5190  
5200  
5210  
5220  
5230  
5240  
5250  
5260  
5270  
5280  
5290  
5300  
5310  
5320  
5330  
5340  
5350  
5360  
5370  
5380  
5390  
5400  
5410  
5420  
5430  
5440  
5450  
5460  
5470  
5480  
5490  
5500  
5510  
5520  
5530  
5540  
5550  
5560  
5570  
5580  
5590  
5600  
5610  
5620  
5630  
5640  
5650  
5660  
5670  
5680  
5690  
5700  
5710  
5720  
5730  
5740  
5750  
5760  
5770  
5780  
5790  
5800  
5810  
5820  
5830  
5840  
5850  
5860  
5870  
5880  
5890  
5900  
5910  
5920  
5930  
5940  
5950  
5960  
5970  
5980  
5990  
6000  
6010  
6020  
6030  
6040  
6050  
6060  
6070  
6080  
6090  
6100  
6110  
6120  
6130  
6140  
6150  
6160  
6170  
6180  
6190  
6200  
6210  
6220  
6230  
6240  
6250  
6260  
6270  
6280  
6290  
6300  
6310  
6320  
6330  
6340  
6350  
6360  
6370  
6380  
6390  
6400  
6410  
6420  
6430  
6440  
6450  
6460  
6470  
6480  
6490  
6500  
6510  
6520  
6530  
6540  
6550  
6560  
6570  
6580  
6590  
6600  
6610  
6620  
6630  
6640  
6650  
6660  
6670  
6680  
6690  
6700  
6710  
6720  
6730  
6740  
6750  
6760  
6770  
6780  
6790  
6800  
6810  
6820  
6830  
6840  
6850  
6860  
6870  
6880  
6890  
6900  
6910  
6920  
6930  
6940  
6950  
6960  
6970  
6980  
6990  
7000  
7010  
7020  
7030  
7040  
7050  
7060  
7070  
7080  
7090  
7100  
7110  
7120  
7130  
7140  
7150  
7160  
7170  
7180  
7190  
7200  
7210  
7220  
7230  
7240  
7250  
7260  
7270  
7280  
7290  
7300  
7310  
7320  
7330  
7340  
7350  
7360  
7370  
7380  
7390  
7400  
7410  
7420  
7430  
7440  
7450  
7460  
7470  
7480  
7490  
7500  
7510  
7520  
7530  
7540  
7550  
7560  
7570  
7580  
7590  
7600  
7610  
7620  
7630  
7640  
7650  
7660  
7670  
7680  
7690  
7700  
7710  
7720  
7730  
7740  
7750  
7760  
7770  
7780  
7790  
7800  
7810  
7820  
7830  
7840  
7850  
7860  
7870  
7880  
7890  
7900  
7910  
7920  
7930  
7940  
7950  
7960  
7970  
7980  
7990  
8000  
8010  
8020  
8030  
8040  
8050  
8060  
8070  
8080  
8090  
8100  
8110  
8120  
8130  
8140  
8150  
8160  
8170  
8180  
8190  
8200  
8210  
8220  
8230  
8240  
8250  
8260  
8270  
8280  
8290  
8300  
8310  
8320  
8330  
8340  
8350  
8360  
8370  
8380  
8390  
8400  
8410  
8420  
8430  
8440  
8450  
8460  
8470  
8480  
8490  
8500  
8510  
8520  
8530  
8540  
8550  
8560  
8570  
8580  
8590  
8600  
8610  
8620  
8630  
8640  
8650  
8660  
8670  
8680  
8690  
8700  
8710  
8720  
8730  
8740  
8750  
8760  
8770  
8780  
8790  
8800  
8810  
8820  
8830  
8840  
8850  
8860  
8870  
8880  
8890  
8900  
8910  
8920  
8930  
8940  
8950  
8960  
8970  
8980  
8990  
9000  
9010  
9020  
9030  
9040  
9050  
9060  
9070  
9080  
9090  
9100  
9110  
9120  
9130  
9140  
9150  
9160  
9170  
9180  
9190  
9200  
9210  
9220  
9230  
9240  
9250  
9260  
9270  
9280  
9290  
9300  
9310  
9320  
9330  
9340  
9350  
9360  
9370  
9380  
9390  
9400  
9410  
9420  
9430  
9440  
9450  
9460  
9470  
9480  
9490  
9500  
9510  
9520  
9530  
9540  
9550  
9560  
9570  
9580  
9590  
9600  
9610  
9620  
9630  
9640  
9650  
9660  
9670  
9680  
9690  
9700  
9710  
9720  
9730  
9740  
9750  
9760  
9770  
9780  
9790  
9800  
9810  
9820  
9830  
9840  
9850  
9860  
9870  
9880  
9890  
9900  
9910  
9920  
9930  
9940  
9950  
9960  
9970  
9980  
9990  
10000

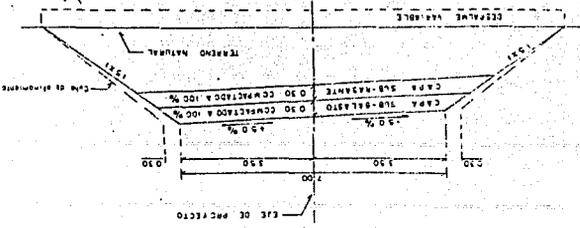
N49200  
E66400  
E66600  
E66800  
E66400  
E664200  
E664400  
E664600  
E664800  
E66500  
E665200  
E665400  
E665600  
E665800  
E66600  
E666200  
E666400  
E666600  
E666800  
E66700  
E667200  
E667400  
E667600  
E667800  
E66800  
E668200  
E668400  
E668600  
E668800  
E66900

SECCION TIPO  
T. RAPLEN EN TANGENTE

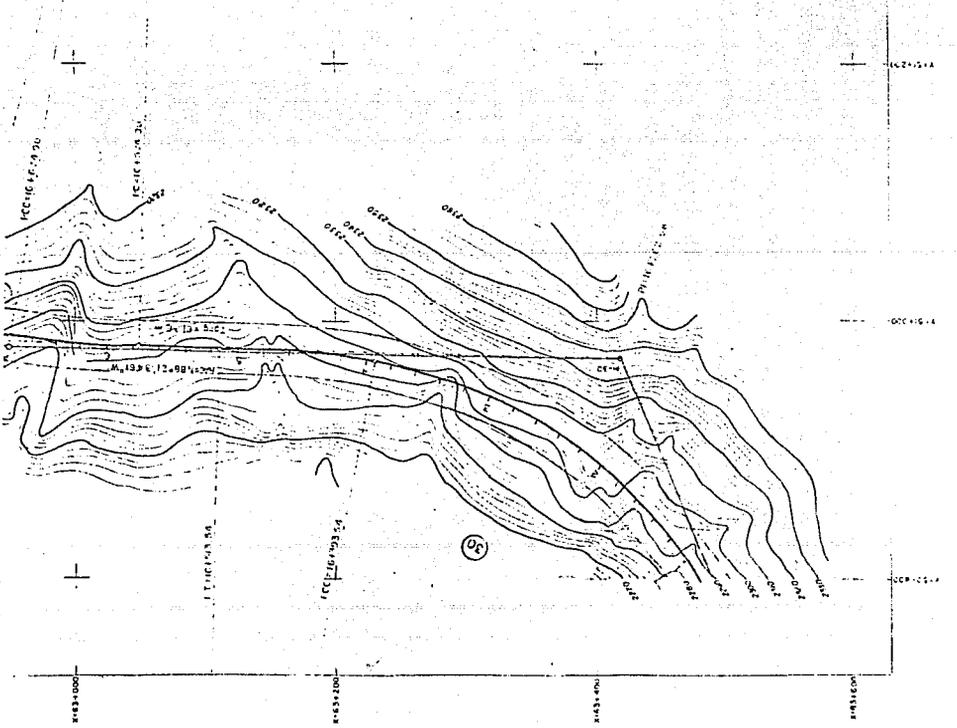




SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN CURVA

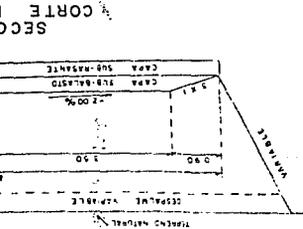
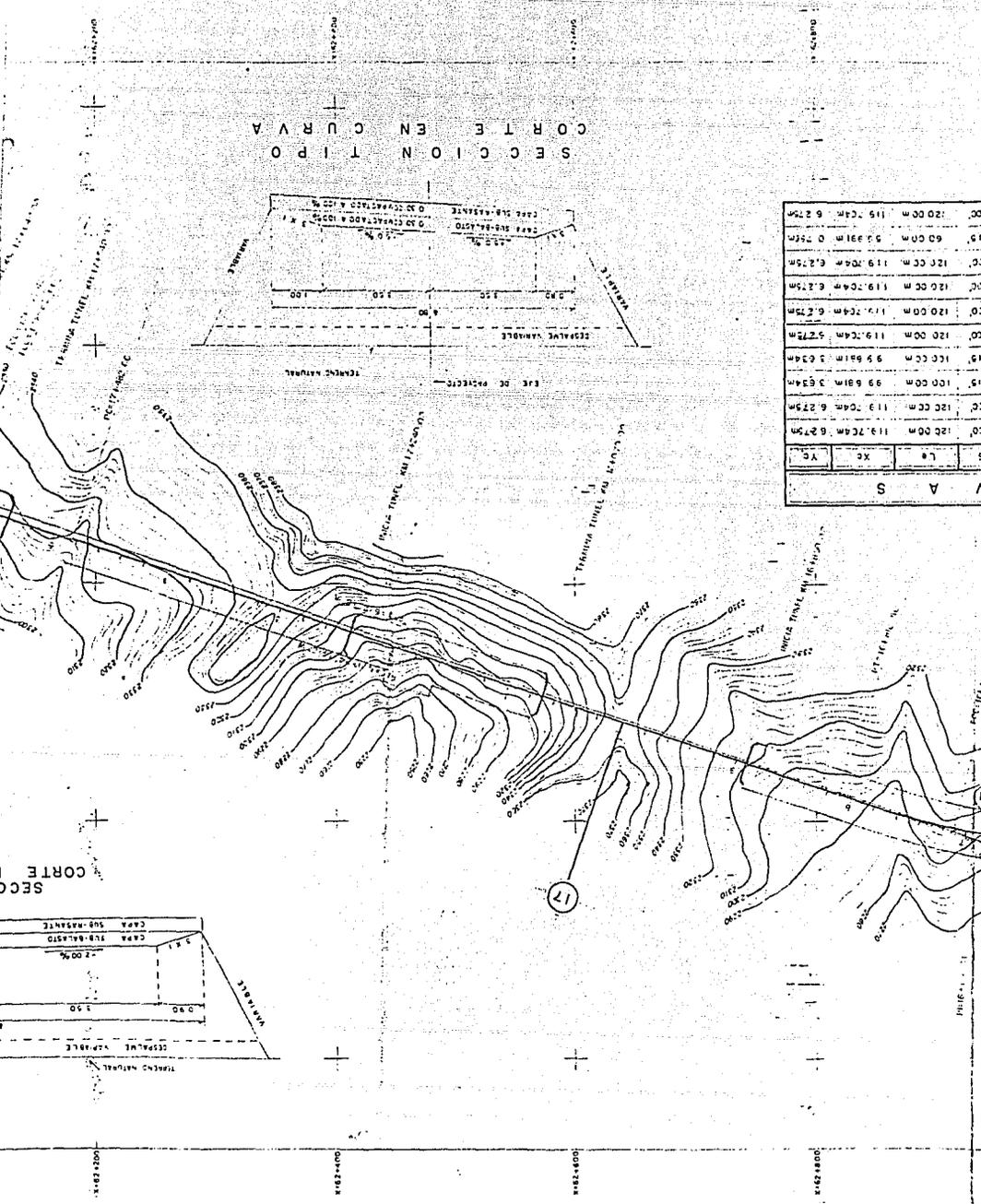
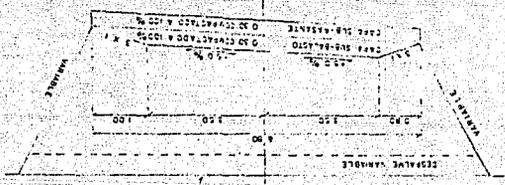


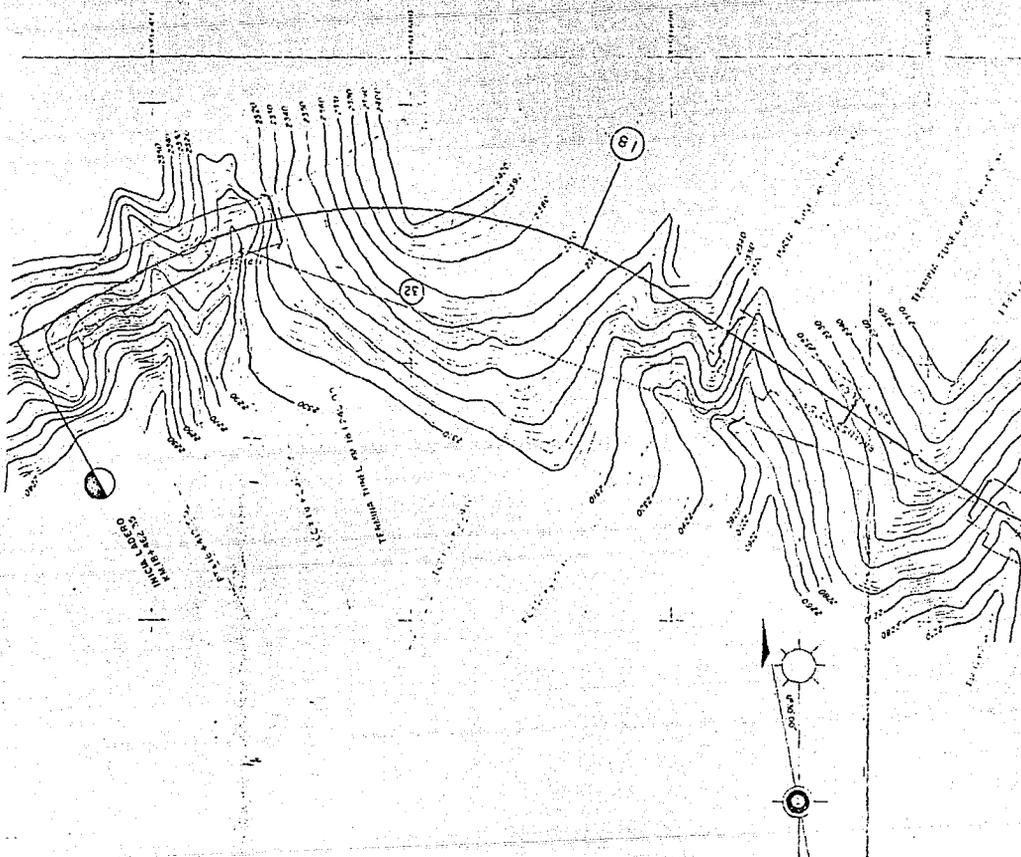
D A T O S										
DUR	PI	CO	EN	DA	DC	ST	LC	RC	Vor	TST
29	18+174.78	1+89956.134	1+89956.134	21+2719.98	3+00.00	143.03m	381.973m	00+15.00	39+2719.98D	197.483m
30	18+269.98	1+89956.134	1+89956.134	47+4708.61	3+00.00	318.571m	381.973m	00+15.00	05+4708.61I	358.008m
31	18+693.31	1+89956.134	1+89956.134	47+2659.73	2+30.00	55.593m	455.568m	00+15.00	16+5937.5D	118.414m
31	17+590.44	1+89956.134	1+89956.134	45+02.87	2+30.00	14.57m	456.568m	00+15.00	14+2040.87D	107.775m
32	18+168.00	1+89956.134	1+89956.134	44+4617.19	3+00.00	298.476m	381.973m	00+15.00	02+4617.19I	293.938m
33	18+270.71	1+89956.134	1+89956.134	43+5000.35	3+00.00	113.124m	381.973m	00+15.00	34+5000.35D	180.702m
34	19+259.12	1+89956.134	1+89956.134	43+1845.71	3+00.00	266.791m	381.973m	00+15.00	61+1845.71I	282.287m
35	19+669.10	1+89956.134	1+89956.134	37+55.67	3+00.00	150.881m	381.973m	00+15.00	37+3755.67I	190.639m
36	19+261.34	1+89956.134	1+89956.134	20+48.56	1+30.00	41.976m	763.947m	00+15.00	70+2548.56I	81.068m
37	20+256.19	1+89956.134	1+89956.134	12.00	3+00.00	46.012m	381.973m	00+15.00	22+12.00I	145.885m



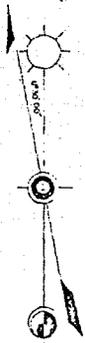
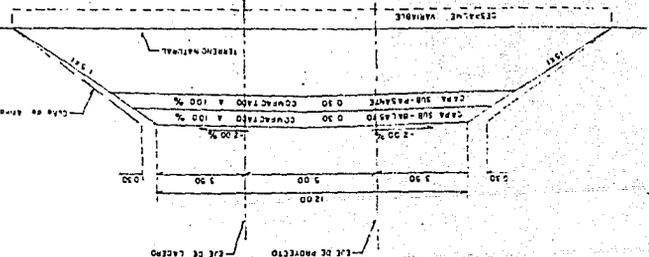
# SECCION TIPO CORTE EN CURVA

V A S		La	Xc	Yc
00'	120.00m	119.764m	6.275m	
05'	100.00m	99.681m	3.634m	
10'	80.00m	79.598m	0.993m	
15'	60.00m	59.515m	-1.648m	
20'	40.00m	39.432m	-4.297m	
25'	20.00m	19.349m	-6.946m	
30'	0.00m	-0.737m	-9.595m	

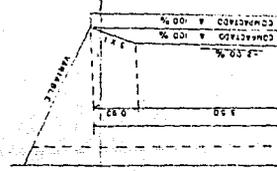




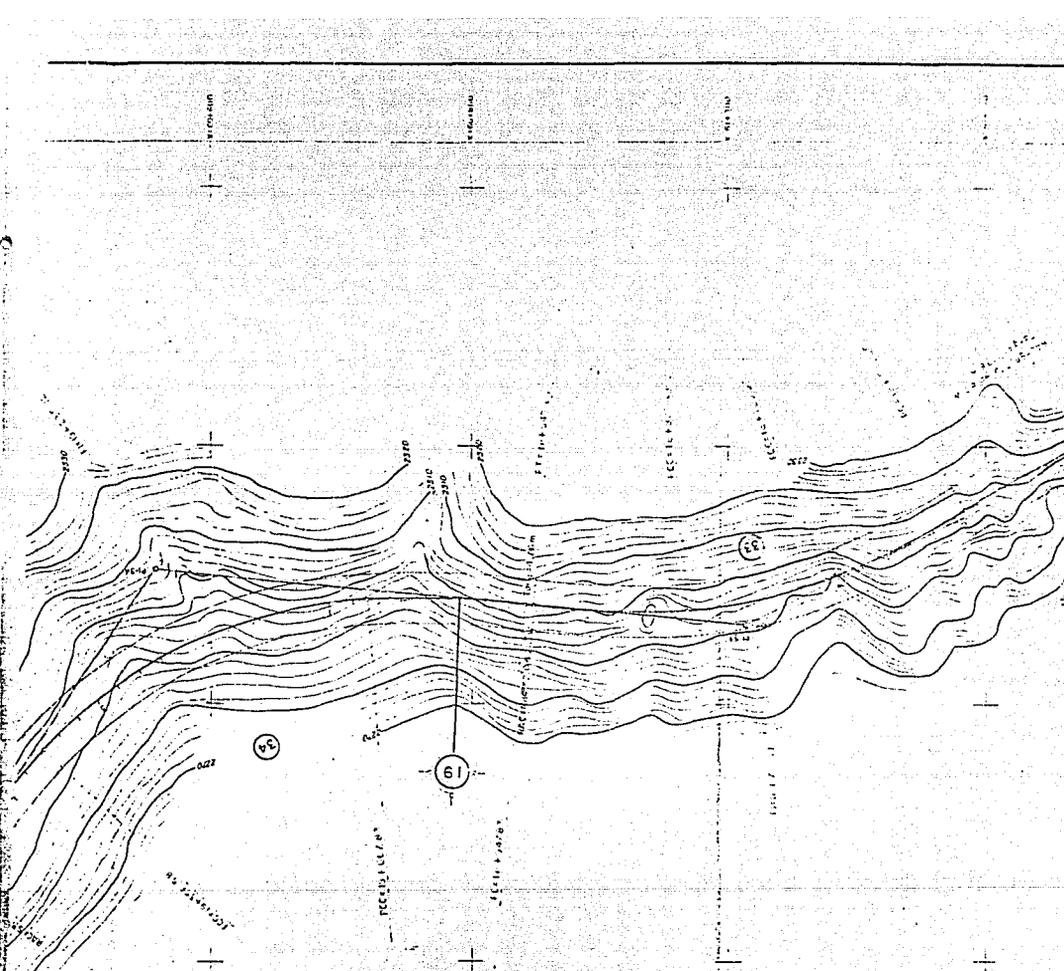
SECCION TIPO  
TERRAPLEN CON LADERO EN CURVA Y TANGENTE



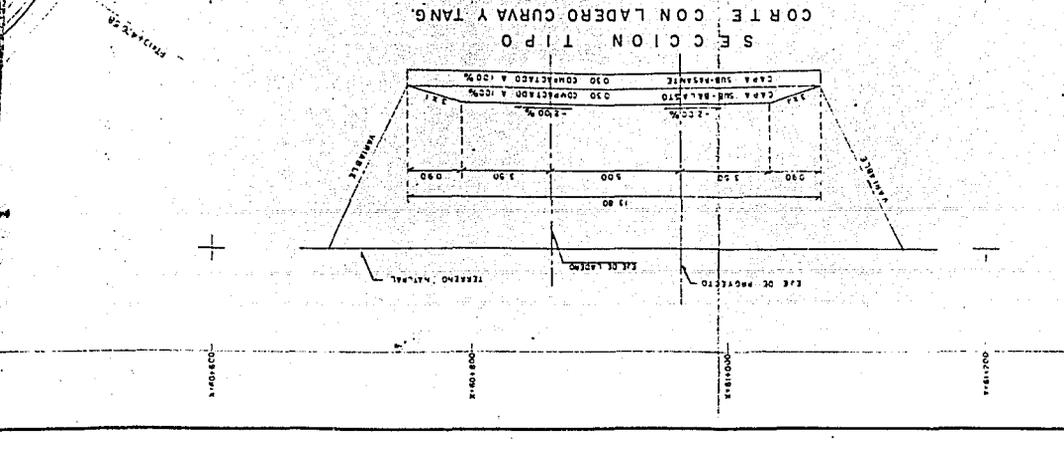
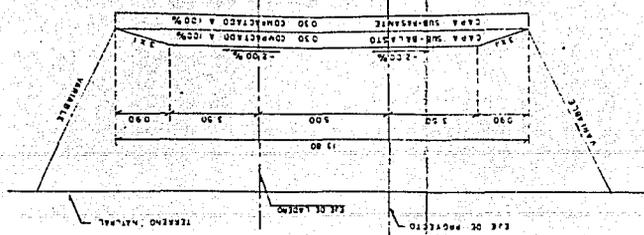
TANGENTE  
TIPO

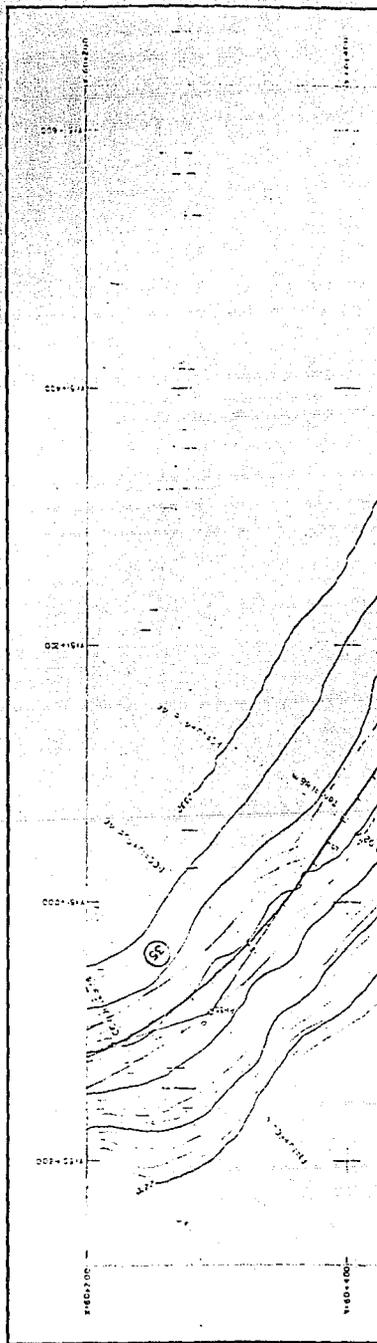
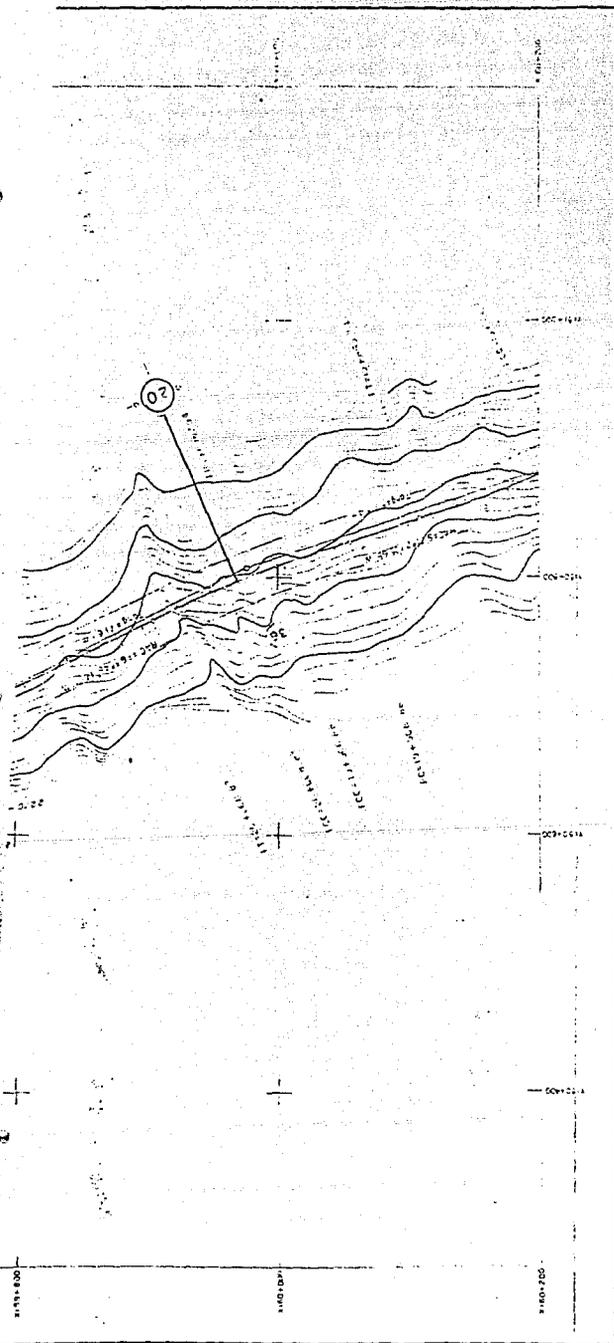


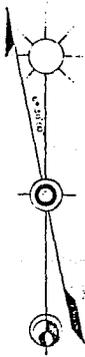
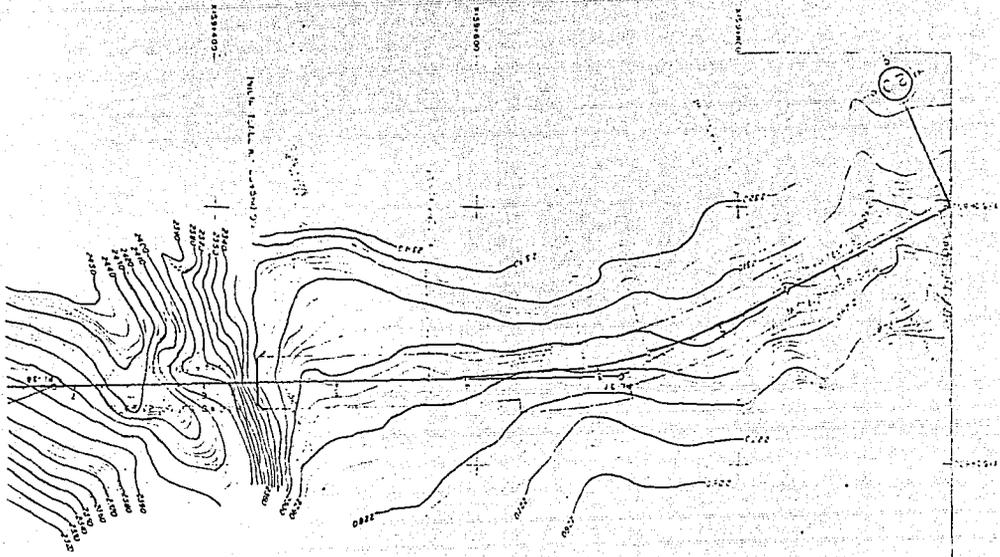
00071824\*  
00071814\*  
00071814\*  
00071814\*



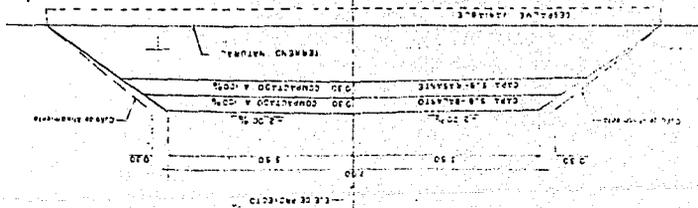
SECCION TIPO  
CORTE CON LADERO CURVA Y TANG.







SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN TANGENTE

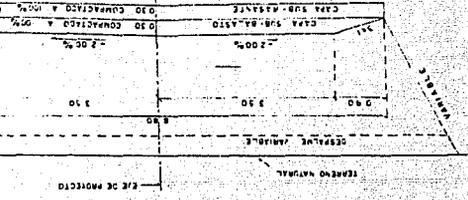


000+46.00

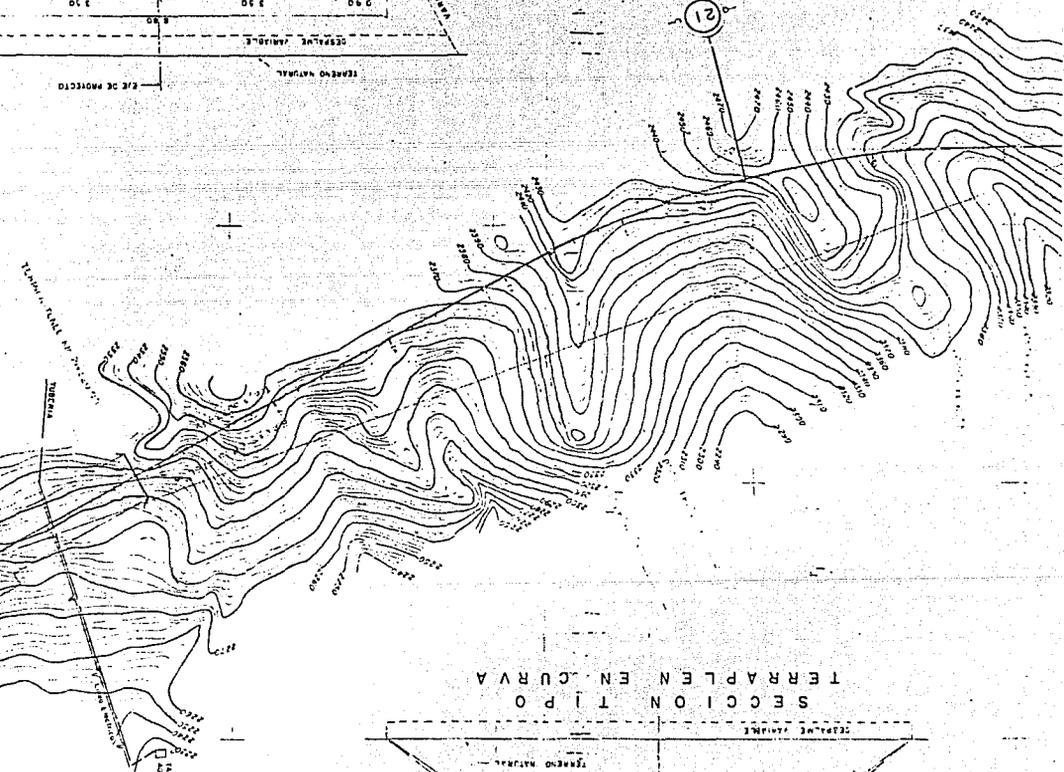
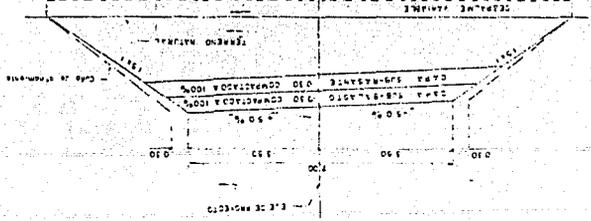
000+50.00

000+54.00

SECCION TIPO  
CORTE EN TANGENTE



SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN CURVA



INDICAR PARA  
MÁS INFORMACIÓN

TUBERIA

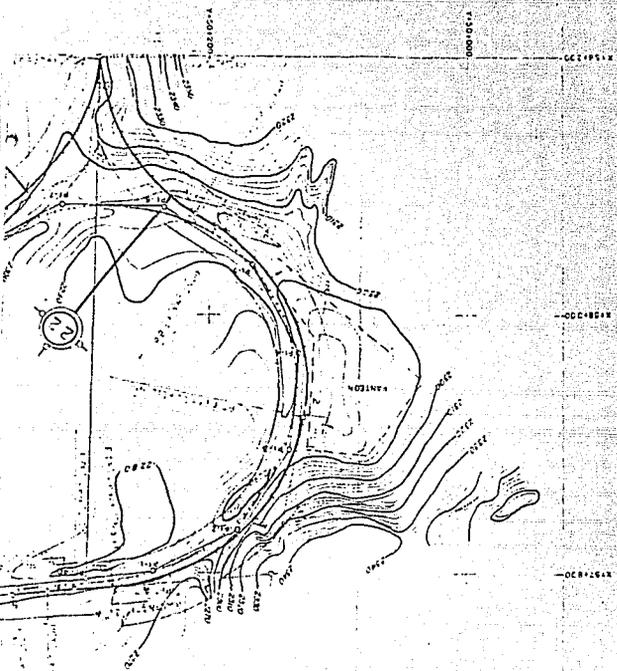
INDICAR PARA  
MÁS INFORMACIÓN

1:5000

1:5000

1:5000

1:5000



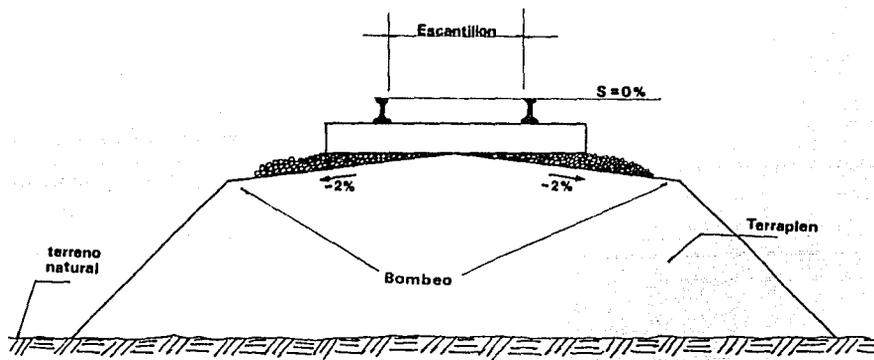
CUILTUM HICHA  
VALLEJO

CURVA	PI	COGRENADOS	ALC	GC	ST	LC	RC
17	20+255.19	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"
18	21+237.79	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"
19	21+222.10	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"
20	21+455.72	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"
21	21+553.42	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"
22	22+145.15	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"
23	22+242.27	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"
24	22+444.91	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"
25	22+434.65	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"
26	22+502.96	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"
27	21+956.82	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"
28	22+203.68	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"
29	22+240.31	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"	15° 25' 00"





esto, se deben establecer previamente algunos elementos de base, como por ejemplo, el concepto de bombeo, el cual se refiere a las pendientes transversales que se dan al ancho de corona, a partir del centro de línea, con el fin de facilitar el drenaje de los escurrimientos pluviales, como se muestra en la figura (4.13).



(FIG. 4.13)

No obstante la pendiente de este bombeo, la pendiente transversal de la vía es del 0 % en tangentes, sin embargo, esta varía conforme se entra a una curva y lo hace hasta obtener la sobreelevación máxima, como se analizó anteriormente.

El inciso 10-3.5. del Manual de Especificaciones Generales para Proyecto Geométrico, establece que las nuevas vías ferreas deberán sujetarse al escantillon (distancia entre los costados interiores de los hongos de los rieles, medida normalmente al eje de la vía) de 1435 mm.

Se sabe que para el caso analizado, la máxima sobreelevación de la curva número 2, es de 14.7 cm, a partir de la cual se obtiene la máxima pendiente transversal, como se indica a continuación:

$$S_o = \frac{\text{Sobreelevación}}{\text{Escantillon}} = \frac{0.147}{1.435} = 10.24 \%$$

El paso gradual de la sobreelevación de 0 a 10.24%, se logra mediante la variación del bombeo, la cual comienza desde la tangente misma, es decir, desde una distancia "N" antes del PC y después del PT, elevando gradualmente el riel exterior con el fin de entrar a la curva con una cierta sobreelevación.

A esta sobreelevación en la tangente, se le conoce como "Remate de la espiral" y se hace con el fin de no ocasionar desconfort a los pasajeros. De esta forma, la pendiente transversal varía de forma gradual, como se muestra en la figura (4.14).

La longitud de la tangente a partir de la cual comienza la sobreelevación, se denota como "N" y se calcula a través de una simple regla de correspondencia:

$$\frac{N}{2.5} = \frac{L_c}{S_o} \quad \text{donde } L_c = 100 \text{ m}$$

sustituyendo:

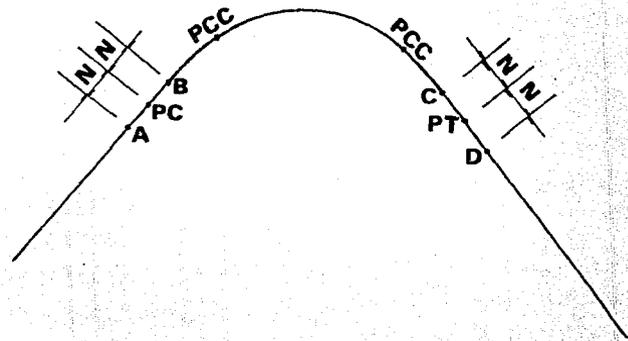
$$\frac{N}{2.5} = \frac{100 (2)}{10.24} = 19.51 \text{ m}$$

Esta longitud "N" es la misma a la cual se igualan las pendientes de bombeo, a partir de la cual se alcanza el 10.24% de pendiente máxima.

Longitud	Pendientes	Punto
	$\xi$	
N	2%      2%	<b>A</b>
	0%      2%	<b>PC</b>
N	2%      2%	<b>B</b>
	10.24%      10.24%	<b>PCC</b>
LC	10.24%      10.24%	<b>PCC</b>
N	2%      2%	<b>C</b>
	0%      2%	<b>PT</b>
N	2%      2%	<b>D</b>

*le* {

*le* {



(FIG. 4.14)

(FIG. 4.15)

PUNTO	LONGITUD	KM	CALCULO DE SOPRELEVACION	SOBRELEVACIONES	
				IZQUIERDA	DERECHA
A		0+119,380			
	10,62	0+130,000	$(10.62 \times 0.035\%) - 2\%$	-1.1%	-2%
	10,00	0+140,000	$(10.00 \times 0.085\%) - 1.1\%$	-0.25%	-2%
PC	2,82	0+142,820	$(2.82 \times 0.08\%) - 0.25\%$	0.0%	-2%
	7,18	0+150,000	$(7.18 \times 0.085\%) + 0\%$	+0.61%	-2%
	10,00	0+160,000	$(10 \times 0.085\%) + 0.61\%$	+1.46%	-2%
B	6,25	0+166,260	$(6.26 \times 0.085\%) + 1.46\%$	+2.0%	-2%
	3,74	0+170,000	$(3.74 \times 0.085\%) + 2.0\%$	+2.32%	-2.32%
	10,00	0+180,000	$(10.00 \times 0.085\%) + 2.32\%$	+3.17%	-3.17%
	10,00	0+190,000	$(10.00 \times 0.085\%) + 3.77\%$	+4.03%	-4.03%
	10,00	0+200,000	$(10.00 \times 0.085\%) + 4.03\%$	+4.88%	-4.88%
	10,00	0+210,000	$(10.00 \times 0.085\%) + 4.88\%$	+5.74%	+5.74%
	10,00	0+220,000	$(10.00 \times 0.085\%) + 5.74\%$	+6.59%	-6.59%
	10,00	0+230,000	$(10.00 \times 0.085\%) + 6.59\%$	+7.44%	-7.44%
	10,00	0+240,000	$(10.00 \times 0.085\%) + 7.44\%$	+8.29%	-8.29%
	10,00	0+250,000	$(10.00 \times 0.085\%) + 8.29\%$	+9.15%	-9.15%
	10,000	0+260,000	$(10.00 \times 0.085\%) + 9.15\%$	+10.00%	-10.00%
PCC	2,820	0+262,820	$(2.82 \times 0.085\%) + 10.00\%$	+10.24%	-10.24%
	10,00	0+272,820		+10.24%	-10.24%
	10,00	0+282,870		+10.24%	-10.24%
	10,00	0+292,820		"	"
	10,00	0+302,820		"	"
	10,00	0+312,820		"	"
	10,00	0+322,820		"	"
	10,00	0+332,820		"	"
	10,00	0+342,820		"	"
	Punto de Encuentro	2,311	0+345,131		"
10,00		0+355,131		"	"
10,00		0+365,131		"	"
10,00		0+375,131		"	"
10,00		0+385,131		"	"
10,00		0+395,131		"	"
10,00		0+405,131		"	"
10,00		0+415,131		"	"
10,00		0+425,131		+10.24%	-10.24%
PCC		4,869	0+430,00	$(4.869 \times 0.085) - 10.24$	+9.83%
	10,00	0+440,00	$(10.00 \times 0.085) - 9.83$	+9.98%	-9.98%
	10,00	0+450,00	$(10.00 \times 0.085) - 8.98$	+9.13%	-8.13%
	10,00	0+460,00	$(10.00 \times 0.085) - 8.13$	+7.27%	-7.27%
	10,00	0+470,00	$(10.00 \times 0.085) - 7.27$	+5.42%	-5.42%
	10,00	0+480,00	$(10.00 \times 0.085) - 6.42$	+5.56%	-5.56%
	10,00	0+490,00	$(10.00 \times 0.085) - 5.56$	+4.71%	-4.71%
	10,20	0+500,00	$(10.00 \times 0.085) - 4.71$	+3.86%	-3.86%
	10,00	0+510,00	$(10.00 \times 0.085) - 3.86$	+3.00%	-3.00%
	10,00	0+520,00	$(10.00 \times 0.085) - 3.00$	+2.15%	-2.15%
C	1,691	0+521,691	$(1.691 \times 0.085) - 2.15$	+2.00%	-2.00%
	8,309	0+530,00	$(8.309 \times 0.085) - 2.00$	+1.29%	-2.00%
	10,00	0+540,00	$(10.00 \times 0.085) - 1.29$	+0.44%	-2.00%
PT	5,131	0+545,131	$(5.131 \times 0.085) - 0.44$	0.00%	-2.00%
	4,869	0+550,00	$(4.869 \times 0.085) - 0.00\%$	-0.42%	-2.00%
D	10,00	0+560,00	$(10.00 \times 0.085) + 0.42$	-1.27%	-2.00%
	8,71	0+568,571	$(8.71 \times 0.085) + 1.27\%$	-2.00%	-2.00%

Con estos conocimientos y los elementos calculados de las espirales, se obtiene un registro en campo de las sobreelevaciones, donde el Ingeniero Topografo elabora el calculo a cada 10m, coincidiendo con las cuerdas de la espiral, mediante el proceso siguiente.

Se sabe que el PC de la curva numero 2 se encuentra localizado en el km 0+142.820 del trazo y tambien que la longitud del remate de la espiral, es de 23.44m por lo que se comienza con el calculo, a partir de ese punto.

$$\begin{array}{r} 142.820 \\ + 23.44 \\ \hline 166.260 \end{array}$$

Con el fin de conocer la pendiente transversal en cada punto del trazo, se obtiene la variacion de la pendiente unitaria (1 m), a partir de los valores totales:

$$\frac{Sc}{Lc} = \frac{10.24}{120} = 0.085 \text{ \% / m}$$

De esta manera se calcula el registro de campo que aparece en la figura (4.15).

La forma en como se obtienen los kilometrajes del punto C y D, es similar a la obtencion de los puntos A y B, es decir:

-	Km FT	0 + 545.137.
	N	<u>23.440</u>
	Km C	0 + 521.697.
+	2N	<u>46.880</u>
	Km D	0 + 568.577.

Con la union de los datos obtenidos en la tabla de deflexiones y la anterior de sobreelevaciones, obtenida en campo, se completa el trazo de la clotoide o curva de transicion sobre el terreno, de una manera segura y confortable, para el trafico de carga y pasajeros.

Desgraciadamente, en obvio de espacio, no se muestran las tablas de calculo de deflexiones y sobreelevaciones para cada una de las curvas de este estudio, sin embargo, se asienta el proceso de calculo en campo para dichas espirales.

#### 4.2.3. Curvas Verticales.

Economicamente, es imposible construir un ferrocarril con pendiente uniforme, como en el caso de una fotogrametria al elaborar trazos en linea

recta. En planta, es indispensable enlazar con curvas los tramos rectos, mientras que en un perfil es muy conveniente enlazar con curvas verticales las distintas pendientes, con objeto de pasar insensiblemente una pendiente a la otra. Esto elimina los choques o tirones bruscos entre carros, o entre estos y la locomotora, además del desconfort a pasajeros.

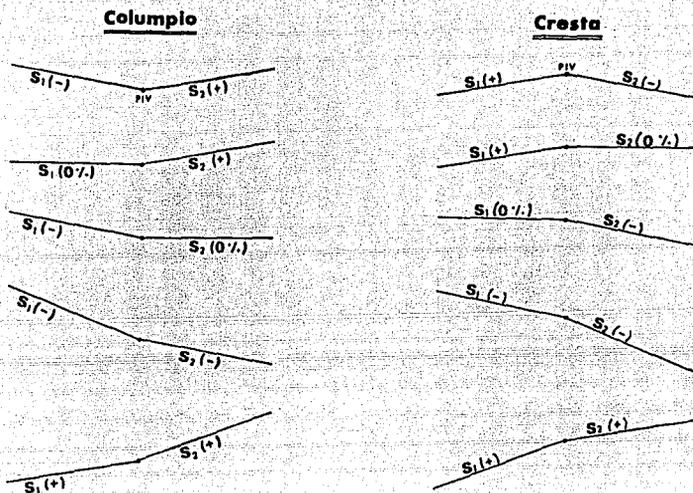
La vía igualmente, sufre mucho si no hay curva vertical de transición. Mientras mayor desarrollo tenga la curva vertical, menos sufriran el equipo y la vía; pero en general, mayor será la cantidad de las terracerías y por lo tanto, mayor será el costo de construcción de la misma.

Basicamente hay dos casos a considerar en lo que a curvas verticales se refiere: 1o. Cuando el punto de intersección de las pendientes está hacia abajo, lo cual se conoce con el nombre de "Columpios". 2o. Cuando dicho punto de intersección está hacia arriba, recibiendo el nombre de "Cimas". Aun dentro de estas dos grandes clasificaciones, se tienen algunas variantes, que se muestran en la figura (4.16).

Para la unión de las dos pendientes, se utilizan curvas parabólicas, por ser similares a la trayectoria del tiro parabólico de un proyectil, el cual a semejanza del tren está sujeto a la acción de 2 fuerzas simultáneas: su propulsión y la acción de la gravedad (Togno, M., 1982)

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

$$X^2 = 2py$$



(FIG. 4.16)

La longitud de las curvas parabolicas, depende de la diferencia algebraica de las pendientes por enlazar y de la variacion unitaria de la pendiente que se especifique, la cual es funcion de los trenes.

Esta variacion se hace en base a las caracteristicas de cada uno de los tipos de tren, es decir, los de clase "A", "B", "C" y "D", cuyas especificaciones son dictaminadas por la American Railway Engineering Association (AREA) y se reproducen en el Manual de Especificaciones Generales para Proyecto Geometrico de los F.N.M. (ver anexos). De hecho, las ecuaciones y valores que en adelante describe el procedimiento de calculo de las curvas, son emanados de dichos manuales.

Nuevamente y con el fin de facilitar la tarea en campo, sin que ello represente una flata de exactitud en el trazo, se especifica que para el trazo de estas curvas se empleen cuerdas de 20m.

Para cuerdas iguales de una parábola, las pendientes contiguas varían según una magnitud constante, denominada "  $\gamma$  "; la mitad de esta variación (  $\frac{1}{2} \gamma$  ) representará la variación de pendiente entre la primera tangente y la primera cuerda, así como entre la última cuerda y la última tangente (PC y PT).

Esta ley de variación es resultado de un complicado proceso de deducción de geometría analítica que parte, como ya se mencionó, de la fórmula del tiro parabólico  $X^2 = 2py$  y que concluye en los valores que especifica el AREA en su manual de 1973.

En vías	{	En vías clase A	$y^2 = 400,000 y$
		En vías clase B y C	$y^2 = 200,000 y$
		En vías clase D	$y^2 = 100,000 y$
En "	{	En vías clase A	$y^2 = 121,920 y$
		En vías clase B y C	$y^2 = 60,960 y$
		En vías clase D	$y^2 = 30,480 y$

Se ha establecido que se deben emplear en el trazo cuerdas de 20m, con lo que a partir de las últimas tres leyes de variación y teniendo en cuenta que las variaciones de 0.05, 0.10 y 0.20% adoptadas por el AREA no se deducen en este estudio por consideraciones rigurosamente matemáticas. Se recomienda, con objeto de simplificar las operaciones numéricas, usar

en cuerdas de 20m, las siguientes variaciones que se aproximan a las obtenidas por el calculo:

<u>VIAS</u>	<u>EN CIMA</u>	<u>EN COLUMPIO</u>
Clase A	0.10 p/v	0.05 p/v
Clase B	0.10 p/v	0.05 p/v
Clase C	0.20 p/v	0.10 p/v
Clase D	segun lo indica el proyecto ----- figura (4.17)	

El signo p/v indica pendiente por veinte.

Habiendo fijado las variaciones de pendiente por 20 unidades ( m ), deben transformarse las pendientes de las tangentes por enlazar, que se expresan en "tanto por ciento", en "pendientes por veinte" con el objeto de hacer homogeneos los datos, durante el proceso de calculo.

Esto se logra dividiendo las pendientes por ciento entre 5 es decir:

$$( 100/5 = 20), \text{ o multiplicandose por } 0.2 ( 100 \times 0.2 = 20 ).$$

Una vez definido el trazo definitivo del proyecto en planta, se procede a elaborar un perfil a detalle del mismo, en base a los lineamientos ya establecidos anteriormente. Este debera elaborarse preferentemente en escala horizontal 1:2000 y vertical de 1:200, con el fin de detallar las condiciones reales del campo, como se muestra en la figura (4.18.); la cual muestra el perfil del trazo en estudio.

Se observa que la primera pendiente tiene un valor aproximado de 1.985% en sentido negaivo, mientras que la segunda, con la cual se enlaza, tiene un valor aproximado de 0.17% en el mismo sentido que la anterior; por lo que

se tiene una curva vertical en columpio.

Como ya se menciona, el procedimiento empleado por los F.N.M. para el calculo de curvas verticales, es el definido por el AREA y principia por transformar las pendientes por ciento que se enlazan, en pendientes por veinte:

$$S_1 = - 1.985 \% = - 0.397 \text{ p/v}$$

$$S_2 = - 0.170 \% = - 0.034 \text{ p/v}$$

Tambien se menciona, la necesidad de obtener la diferencia algebraica de ambas pendientes, con el fin de obtener el coeficiente de variacion.

$$\begin{array}{r} (-)0.397 \text{ p/v} \\ - \\ (-)0.034 \text{ p/v} \\ \hline - 0.363 \text{ p/v} \end{array}$$

en este caso, como ambas pendientes son del mismo signo se indica que las cuerdas van aumentando o disminuyendo constantemente. No sucede lo mismo cuando las tangentes tienen pendientes de signo contrario. En ese caso se debe tener cuidado con el signo del resultado de cada operacion, para saber si la siguiente debe ser suma o resta.

Obtenida la diferencia de pendientes, se define el coeficiente de variacion a partir de la tabla de la figura (4.17) y que para este estudio que es de una via de clase A (como ya se ha establecido), es de 0.05 p/v.

Con estos datos se obtiene el numero de estaciones o cuerdas de 20m, necesarias para pasar de una pendiente a otra con la seguridad o comodidad que esto implica.

Esto se obtiene directamente, con el cociente de la diferencia de pendientes entre el coeficiente de variación.

$$\frac{0.363}{0.05} = 7.26 \text{ estaciones o cuerdas de } 20 \text{ m}$$

Si el cociente es entero y par y el PIV (Punto de inflexión vertical) se localiza en estación completa, el cociente obtenido representará el número de cuerdas de 20 m que debe tener la parábola y " $\mathcal{V}$ " la variación definitiva; pero si es impar o fraccionaria, como en el caso de estudio, se tomará el número par inmediato y volverá a efectuarse la división con la diferencia de pendientes.

Cabe mencionar que el número de estaciones así definido, solo es la mitad de la trayectoria en dicha curva vertical, por lo que el total del recorrido está definido en realidad, por el doble de este número.

- Número de estaciones en la mitad del recorrido: 7.26
- Aproximación al número par inmediato superior: 8.00
- Número de estaciones en el recorrido total:  $(8.00) \times (2) = 16.00$  est.
- Variación definitiva entre pendientes:  $0.363/16 = 0.0227$
- Semivariación:  $1/2 \mathcal{V} = (0.0227/2) = 0.01135$

A la pendiente de la tangente de entrada se le suma o resta, el valor de la semivariación según sea el caso y se continúa. Posteriormente, el valor de la variación se suma o se resta al valor así obtenido, con el fin de obtener

- Pendiente por veinte de la 1a. tangente	0.39700		Altura del punto de enlace
- Semivariación	0.01135	2 055.4010	Tangente-Curva
	0.38565	0.3857	
- Variación	0.02270	2 055.0153	Altura 1a. Estaca (1a. Est.)
	0.36295	0.3630	
- Variación	0.02270	2 054.6523	Altura 2a. Estaca (2a. Est.)
	0.34025	0.34025	
- Variación	0.02270	2 054.31205	3a. Est.
	0.31755	0.31755	
- Variación	0.02270	2 053.99450	4a. Est.
	0.29489	0.29489	
- Variación	0.02270	2 053.69961	5a. Est.
	0.27215	0.27215	
- Variación	0.02270	2 053.42746	6a. Est.
	0.24945	0.24945	
- Variación	0.02270	2 053.17801	7a. Est.
	0.22675	0.22675	
- Variación	0.02270	2 052.95126	8a. Est.
	0.20405	0.20405	
- Variación	0.02270	2 052.74721	9a. Est.
	0.18135	0.18135	
- Variación	0.02270	2 052.56586	10a. Est.
	0.15865	0.15865	
- Variación	0.02270	2 052.40721	11a. Est.
	0.13595	0.13595	
- Variación	0.02270	2 052.27126	12a. Est.
	0.11325	0.11325	
- Variación	0.02270	2 052.15801	13a. Est.
	0.09055	0.09055	
- Variación	0.02270	2 052.06746	14a. Est.
	0.06785	0.06785	
- Variación	0.02270	2 051.99961	15a. Est.
	0.04515	0.04515	
- Semivariación	0.01135	2 051.95446	16a. Est.
- P/V 2a. Tangente	0.03380±0.034	0.03580	
		2 051.9206	Altura inicio tangente

las correspondientes pendientes y valores de las alturas, en los puntos del terreno donde se ubicaran las estacas.

El proceso se repite sucesivamente hasta llegar a la ultima cuerda, donde se sumara o restara el valor de la semivariacion,debiendose encontrar, a manera de comprobacion, la pendiente de la ultima tangente.

Cabe recordar, que la pendiente es una variacion en altura del terreno a lo largo de una longitud determinada, por lo que los valores obtenidos con el procedimiento anterior, son variaciones de altura en tramos de 20m. De esta manera, si se suman o restan (segun sea el caso) estos al valor de las alturas reales del terreno, se obtiene el valor de las alturas de los estacamientos, con lo que queda conformada la curva vertical, como a continuacion se realizo para la primera curva vertical en el km 0+030.000.

Estos datos van construyendo el perfil de la construccion de la via, lo caul servira para la obtencion de la curva masa, ademas de su construccion fisica.

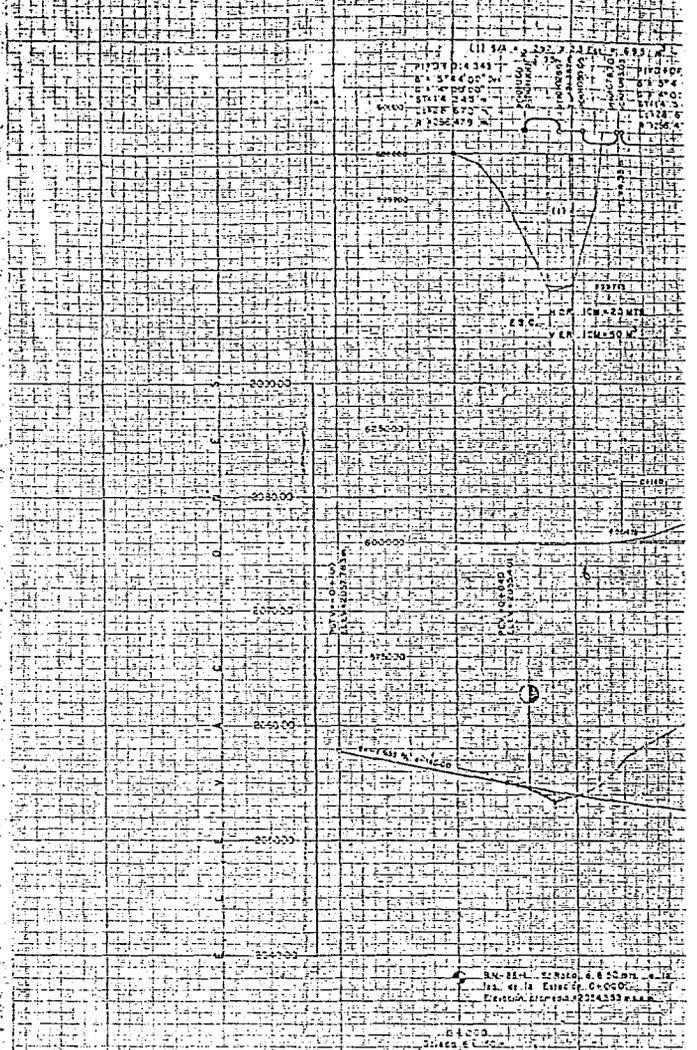
Este laborioso proceso se continuo a lo largo de los 22km, obteniendose el perfil que aparece en la figura (4.18).

#### *4.3. Trazo definitivo en campo.*

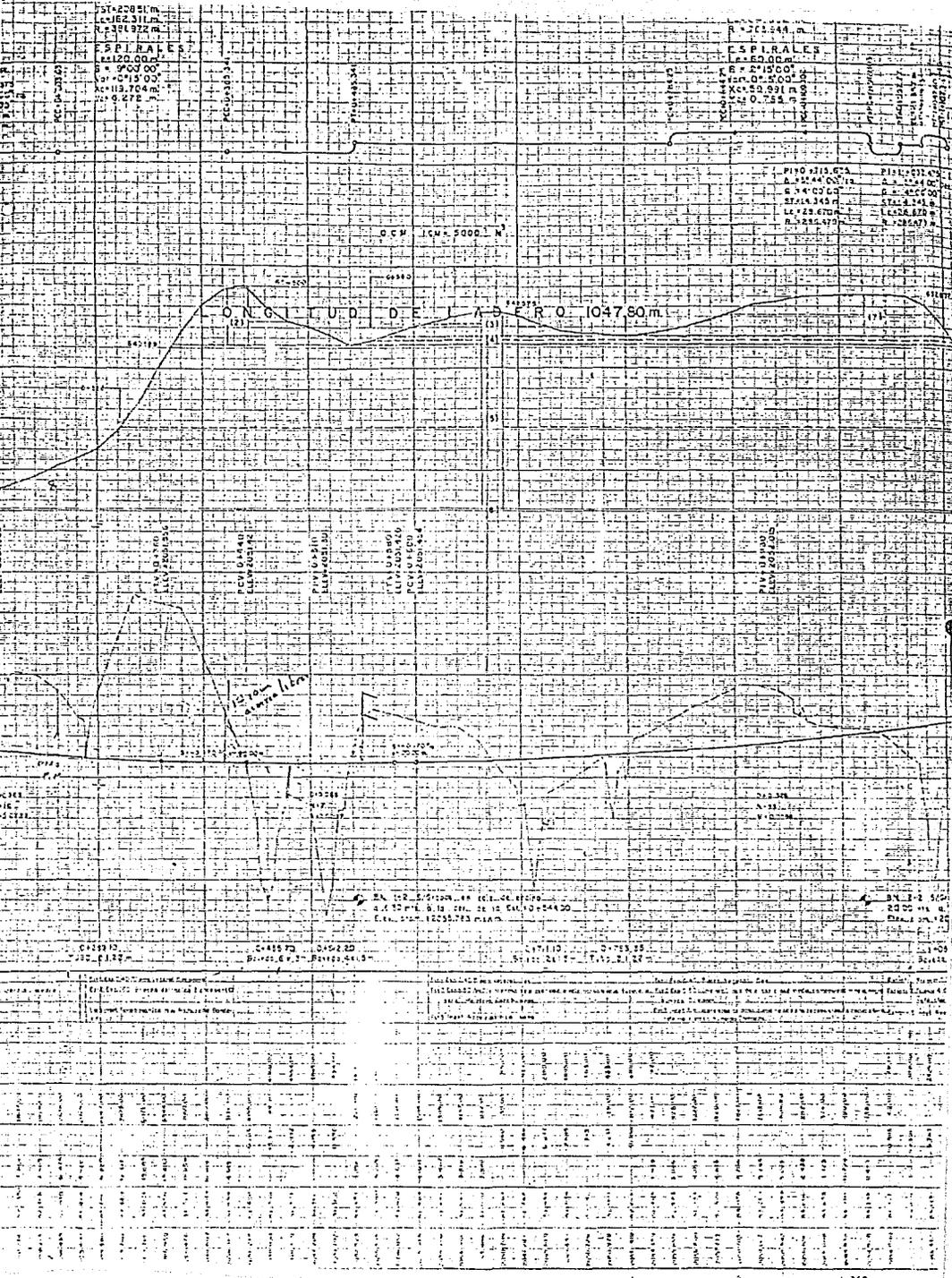
Como se ha podido observar, la compleja matematizacion del trazo definitivo, es el resultado de analizar el eje de la via a traves de las condiciones naturales del terreno, ajustandose a las especificaciones que sobre proyecto geometrico dicta el Manual de Especificaciones de los F.N.M., aunado al criterio y experiencia personal del Ingeniero Proyectista, en busca del optimo.

CANTIDADES DE OBRA	
TERRACERIAS	
Km. 0+000	A Km. 5+000
EXCAVACIONES GEOMETRICAS EN EXCAVACIONES	
DESPALME	10,861 m <sup>3</sup>
TECHADO	18,580 m <sup>3</sup>
TOTAL	29,441 m <sup>3</sup>
TERRAPLENES	
FORMACION	95 % 121,959 m <sup>3</sup>
Y	
COMPACTACION	100 % 100,228 m <sup>3</sup>
PRESTAMOS GEOMETRICOS EN EXCAVACIONES	
DESPALME	10,861 m <sup>3</sup>
TECHADO	18,580 m <sup>3</sup>
TOTAL	29,441 m <sup>3</sup>
CARREROS	
PRODUCTO DE LOS PRODUCTOS DE LOS CORTES	100,228 m <sup>3</sup>
TOTAL	100,228 m <sup>3</sup>

OBRAS DE ARTE	
EXCAVACIONES	
TOTAL	2,936.44 m <sup>3</sup>
MAMPOSTERIA	
DESPALME	7,923.38 m <sup>3</sup>
TECHADO	4,224.80 m <sup>3</sup>
TOTAL	12,148.18 m <sup>3</sup>
CONCRETO	
DESPALME	141.89 m <sup>3</sup>
TECHADO	18.11 m <sup>3</sup>
TOTAL	160.00 m <sup>3</sup>
FIERRO DE REFUERZO	
TOTAL	3,913.33 m <sup>3</sup>
ACERO ESTRUCTURAL	
TOTAL	7,300 m <sup>3</sup>



TERRACERIAS	CLASIFICACION GEOLOGICA	
	VARIABILIDAD VOLUMETRICA	
	VOLUMENES TERRAPLEN	
	GEOMETRICOS C.C.E.T.E.	
LLEVOS	TERRAPLEN	
	CORTES	
	SUB-ASEANTE	
TOTAL	TERRACERIAS	



ST=22051 m  
 C=162.311 m  
 R=394.932 m

**ESPIRALES**  
 R=120.000 m  
 C=1903.000 m  
 Δ=15.000°  
 Xc=113.704 m  
 Yc=9.276 m

R=303.844 m  
 C=2000.000 m  
 Δ=15.000°  
 Xc=59.500 m  
 Yc=0.254 m

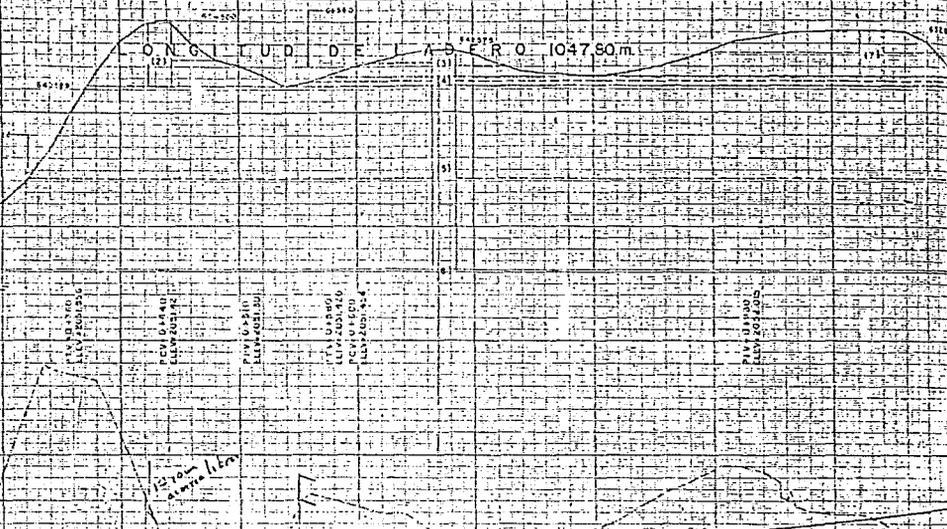
**ESPIRALES**  
 R=60.000 m  
 C=1000.000 m  
 Δ=15.000°  
 Xc=59.591 m  
 Yc=0.254 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2132.470  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

CCW 1CM=5000 N

ONGITUD DE LA R O 1047.80m



PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

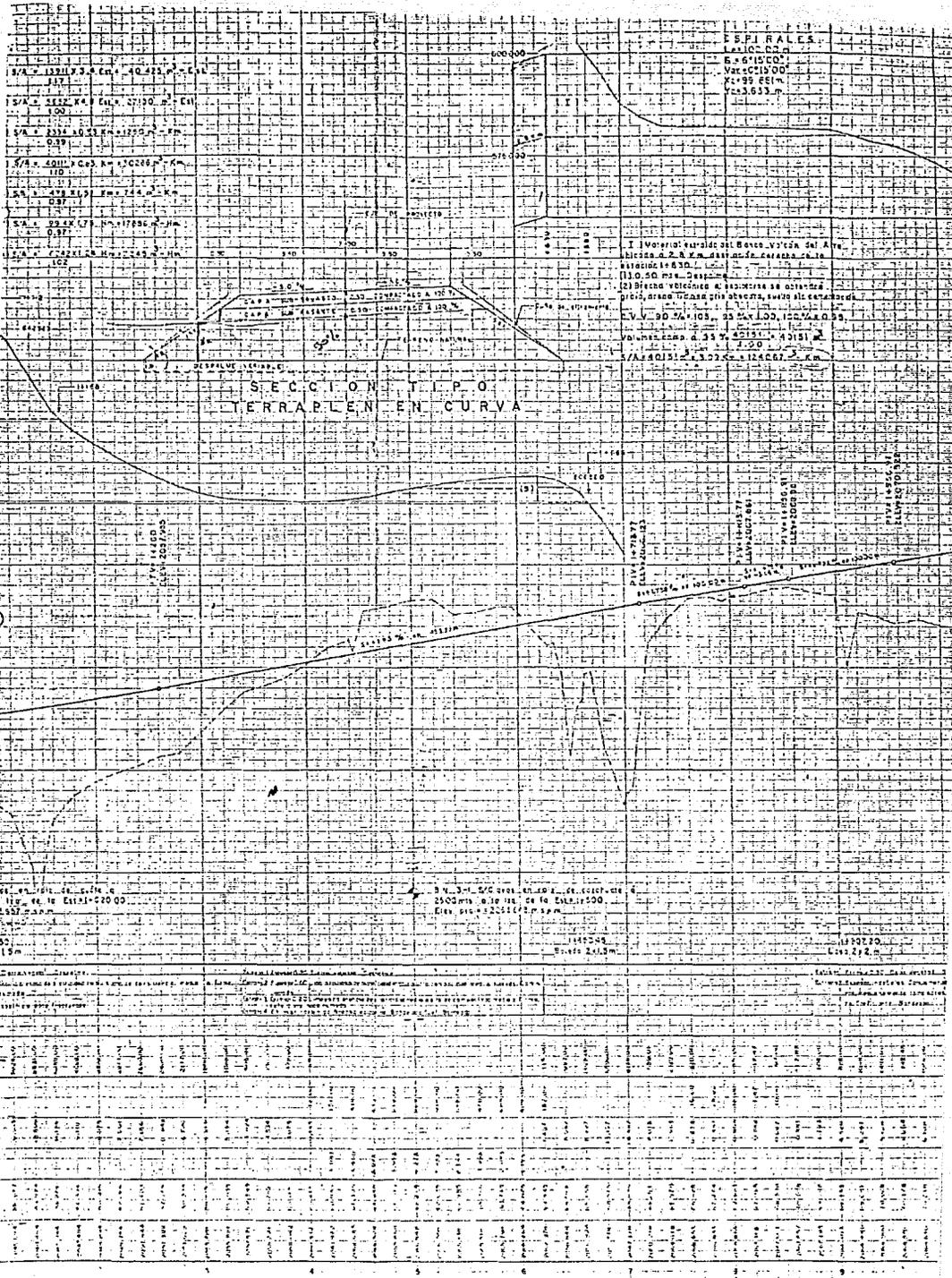
PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m

PIV=2115.624  
 R=15.4400013  
 Δ=15.00000  
 SF=14.343 m  
 L=128.620 m  
 R=226.979 m



ESPIRALES  
 R=6.1500  
 L=100.00  
 V=2.95  
 K=1.95  
 V=2.95  
 K=1.95

A/A = 1321.93.6 Cm. Q=21.4 m. E=11.1  
 S/A = 2332.84.9 Cm. Q=21.90 m. E=11.1  
 S/A = 2334.80.33 Cm. Q=22.00 m. E=11.1  
 S/A = 4011.70.83 Cm. Q=22.60 m. E=11.1  
 S/A = 478.81.63 Cm. Q=22.60 m. E=11.1  
 S/A = 2342.77.9 Cm. Q=22.60 m. E=11.1  
 S/A = 2342.77.9 Cm. Q=22.60 m. E=11.1

SECCION TIPO  
 TERRAPLEN EN CURVA

T. Material: extralido de Benca. V. 1.25 m. del R.  
 altura de 2.8 m. del nivel de la cota de la  
 base de la curva.  
 (1) Bordo exterior a 1.00 m. de la cota de la  
 base de la curva.  
 (2) Bordo interior a 1.00 m. de la cota de la  
 base de la curva.  
 V. V. 90 m. de 1.05 m. de 1.05 m. de 1.05 m. de 1.05 m.  
 V. V. 90 m. de 1.05 m. de 1.05 m. de 1.05 m. de 1.05 m.  
 S/A = 4011.70.83 Cm. Q=22.60 m. E=11.1

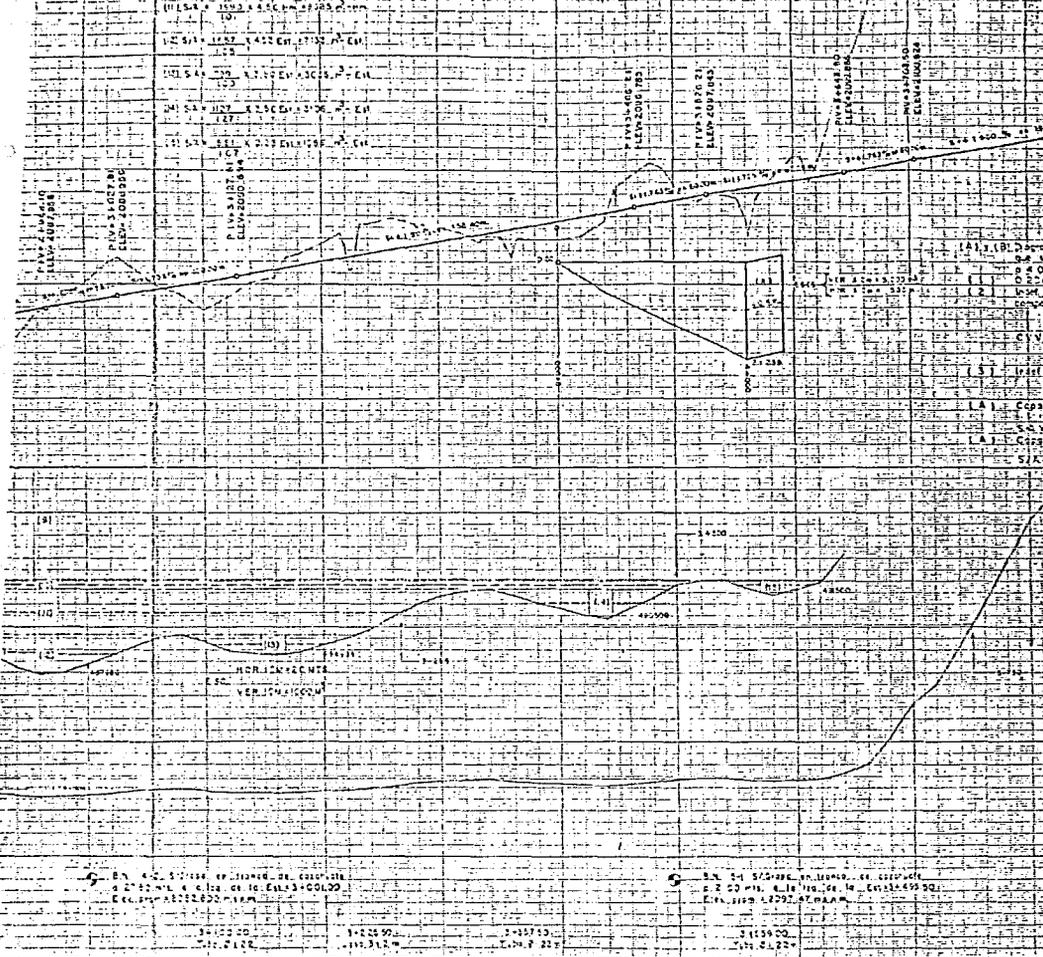
S/A = 3.1. S/C. Q=22.60 m. E=11.1  
 2500 mts. a 10 mts. de la cota de 1.500.  
 E=11.1 m. Q=22.60 m. E=11.1

Item	Quantity	Unit	Value
1	1	m	1.00
2	1	m	1.00
3	1	m	1.00
4	1	m	1.00
5	1	m	1.00
6	1	m	1.00
7	1	m	1.00
8	1	m	1.00
9	1	m	1.00



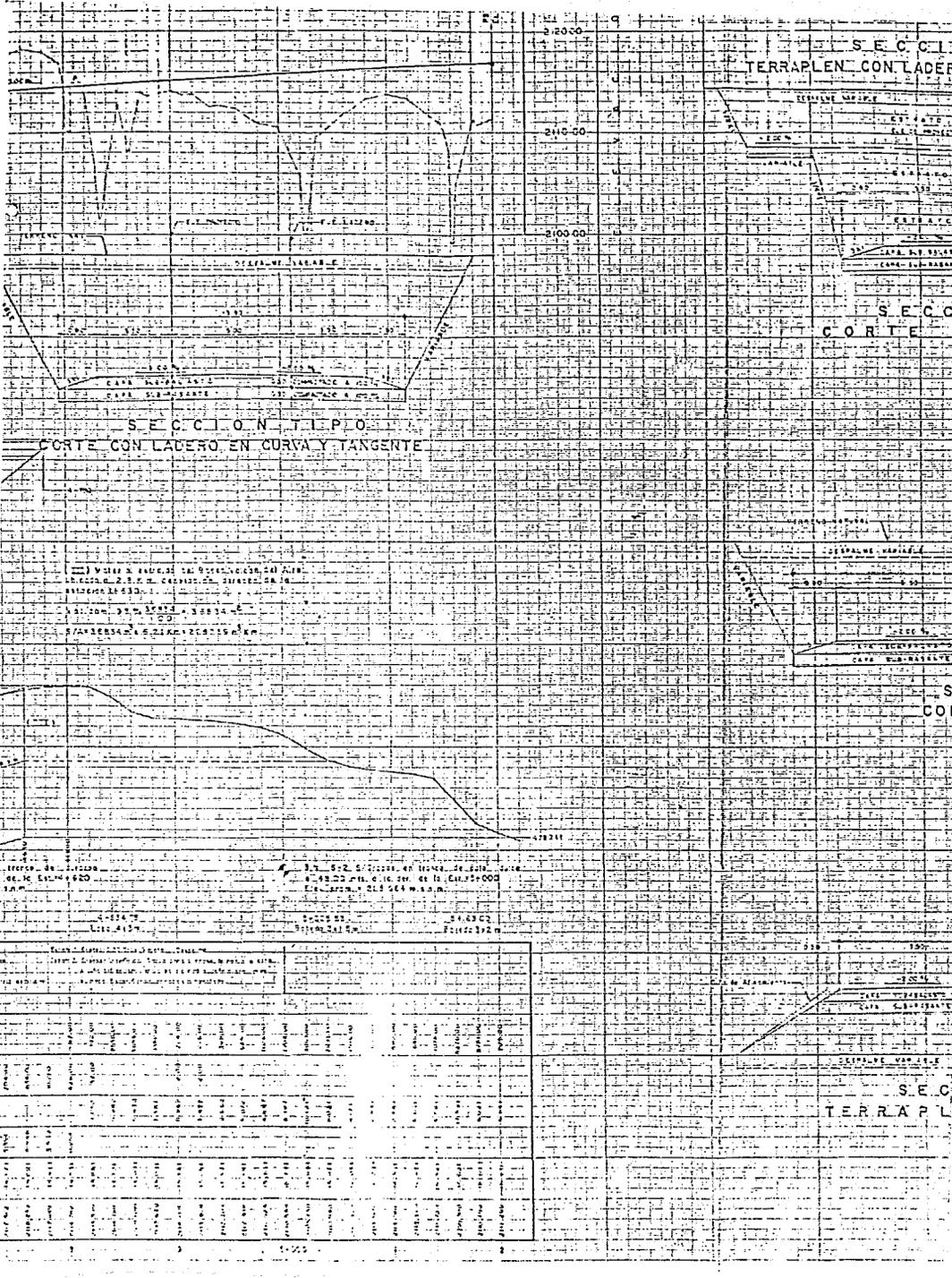
**ESPIRALES**  
E = 6519'00"  
N = 3115'00"  
X = 33881 m  
Y = 1.525 m

**LSP. HKA**  
L = 26'00"  
B = 215'00"  
W = 15'00"  
X = 59391 m  
Y = 0.785 m



Station	Elevation	Distance	Remarks
1	49,000	0	Start of profile
2	49,100	50	Small rise
3	49,200	100	Valley floor
4	49,300	150	Peak
5	49,400	200	Peak
6	49,500	250	Peak
7	49,600	300	End of profile





### CANTIDADES DE OBRA

#### TERRACERINOS

Km. 5+000 A Km. 11+200

#### EXCAVACIONES

SEGUIMIENTO EN EXCAVACIONES

DESPALVE	13312
EXCAVACION	13553
EXCAVACION	174928
<b>TOTAL</b>	<b>192593</b>

#### TERRAPLENES

FORMACION

COMPACTACION

PRESTAMOS

10	154632
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	

#### ACARRIROS

PROCESADO DE LOS PRODUCTOS DE LAS OCASIONES

73323	149129	45728	830177
-------	--------	-------	--------

### OBRAS DE ARTE

#### EXCAVACIONES

TOTAL 132507

#### MANTECOSTERIA

6251.38
2124.80
161.73

#### CONCRETO

250	18.58
200	

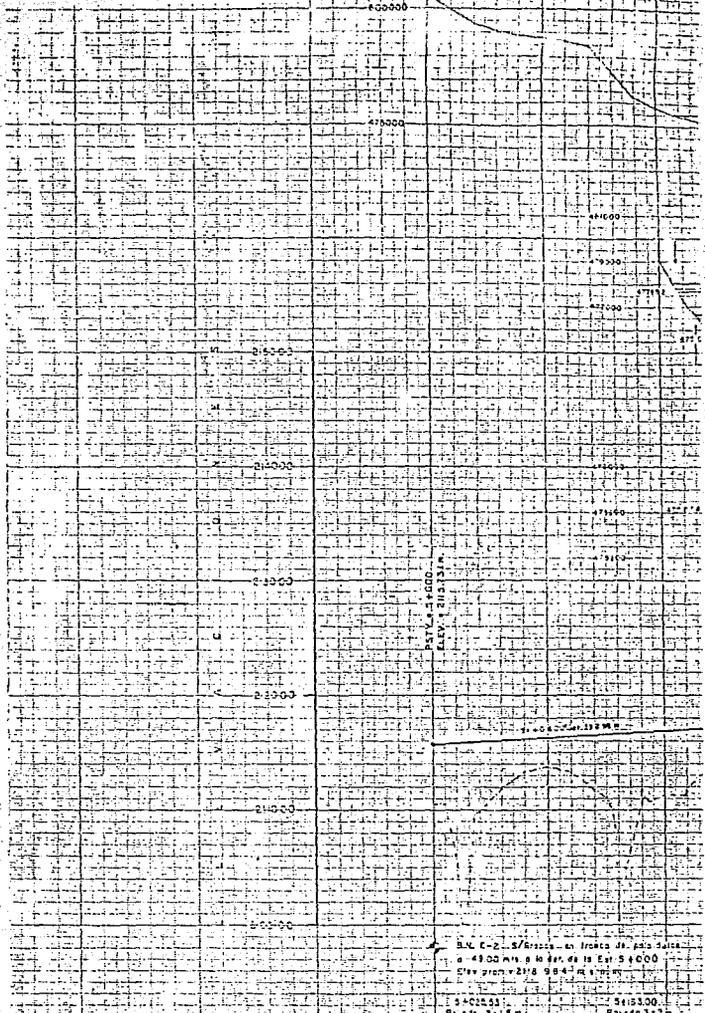
#### PIEDRAS DE BARRIZO

TOTAL 22159

#### BARRO ESTABILIZADO

2.50

22873  
161945

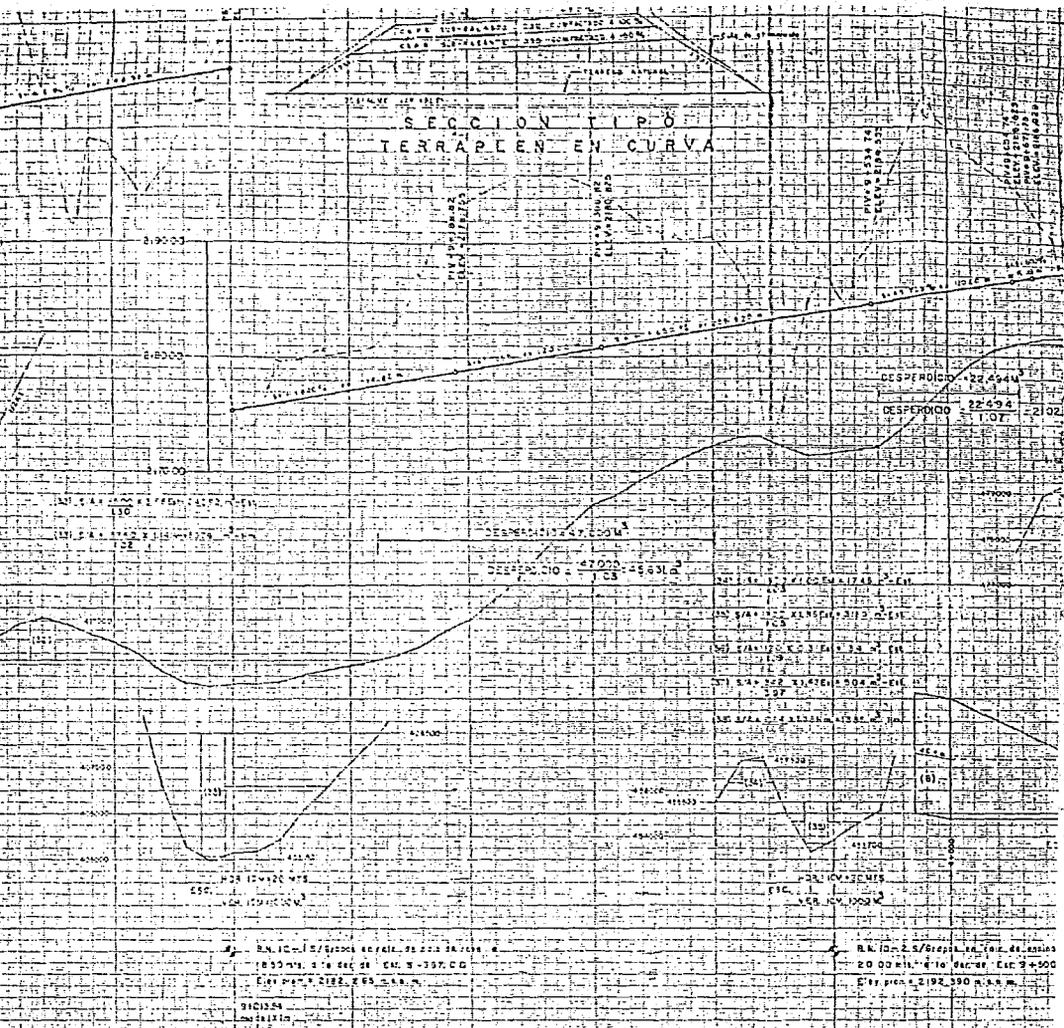


B.N. C-2-3/Brasos en travesa de pda Salca  
a 4900 mts a lo der. de la Est. 5+600  
C/Max prom = 278 984 m<sup>2</sup> m<sup>2</sup> m<sup>2</sup>  
C/Max prom = 278 984 m<sup>2</sup> m<sup>2</sup> m<sup>2</sup>  
5+02555: 5+15300: 5+15300:  
Banco de R.L.S.M.L. Banco de R.L.S.M.L.

TERRACERINOS	CLASIFICACION GEOLOGICA		VARIABILIDAD VOLUMETRICA	
	VOLUMENES TERRAPLEN		GEOMETRICOS COARRIL	
	TERRAPLEN		COARRIL	
	COARRIL		COARRIL	



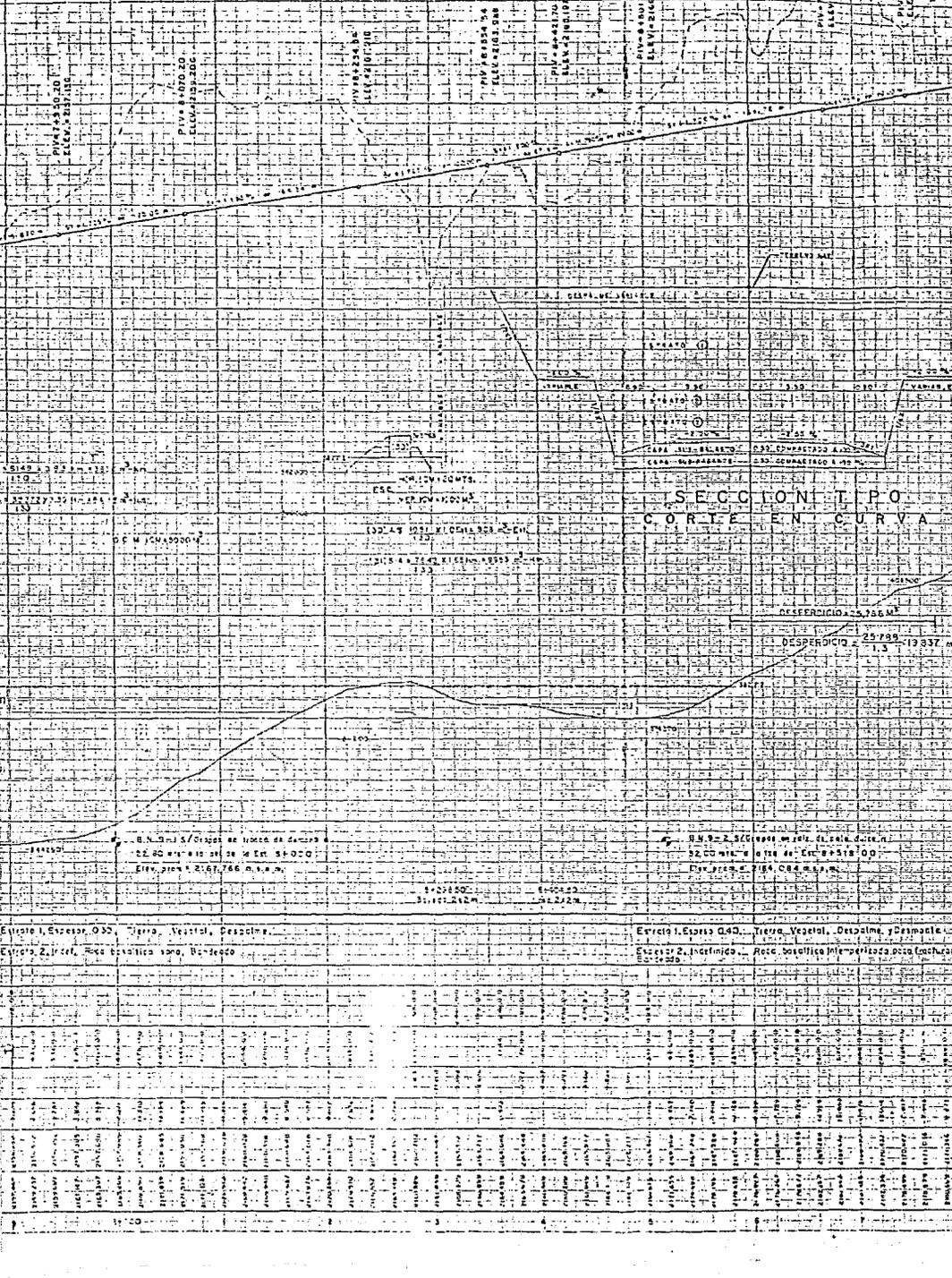
# SECCION TIPO TERRAPIEN EN CURVA



R.N. 10-2-5/61004 en el km. 22+23.34 (100 m)  
 1830 m. s. n. m. en el C.M. N-337.00  
 Elev. p. m. 2182.665 m. s. n. m.  
 3101354  
 2001410

R.N. 10-2-5/61004 en el km. 22+23.34 (100 m)  
 20 00 m. s. n. m. en el C.M. N-337.00  
 Elev. p. m. 2192.390 m. s. n. m.

ESTRUCTURA	TIPO	ANCHO	ALTO	PROFUNDIDAD	LONGITUD	COORDENADAS	OTROS DATOS
1	...	...	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...	...	...
5	...	...	...	...	...	...	...
6	...	...	...	...	...	...	...



### SECCION TIPO CORTE EN CURVA

DESERCIÓN 25 789  
DIFERENCIA - 1,3 - 19 837

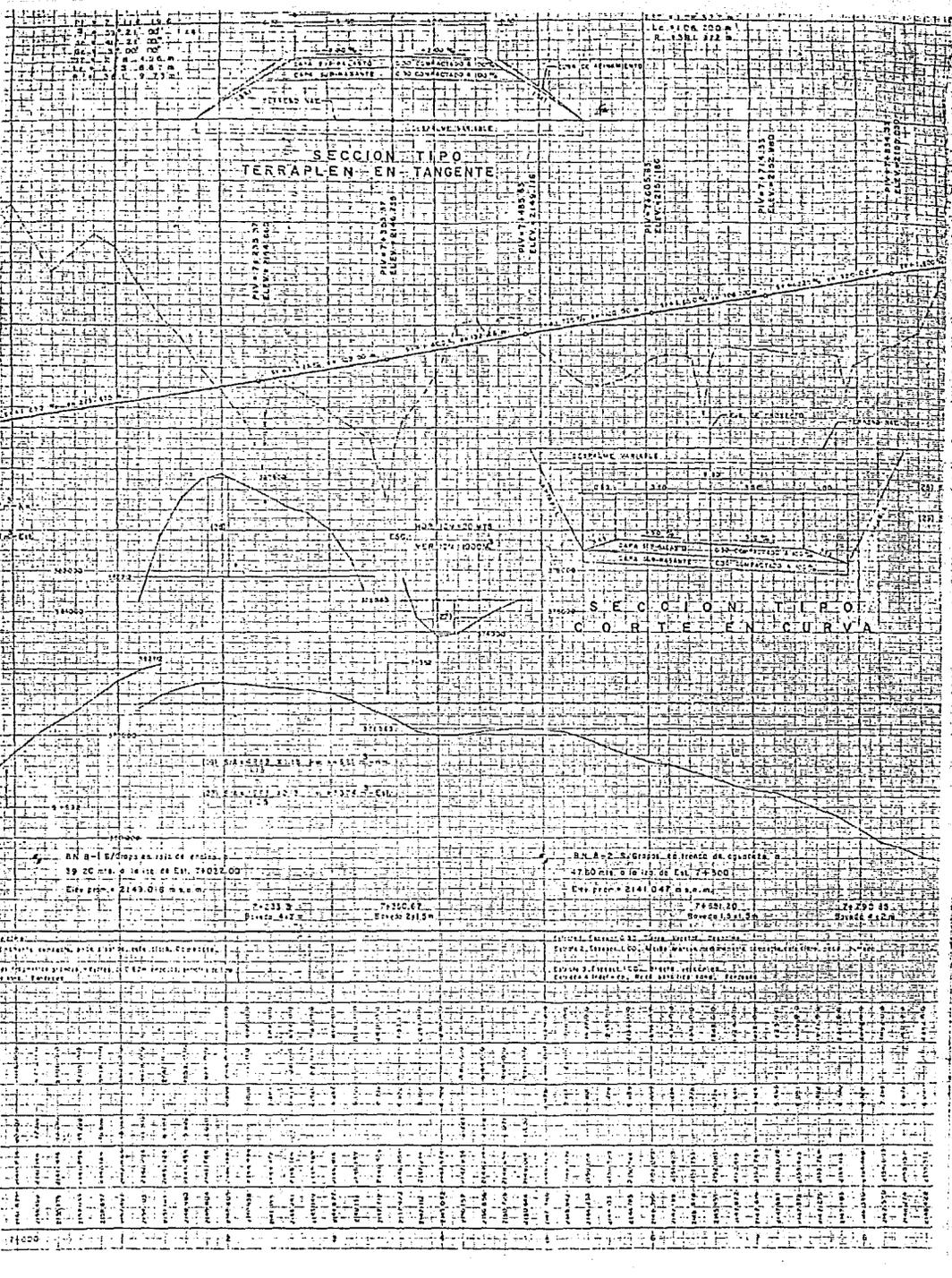
B.N. 301 S/O Grupos de trabajo de trabajo  
02.00 mts. + 10 mts. de M. Est. 58-000  
Elev. aprox. 2.677,66 M. s. n. m.

5-02150  
31.101.212M

B.N. 301 S/O Grupos de trabajo de trabajo  
02.00 mts. + 10 mts. de M. Est. 58-000  
Elev. aprox. 2.677,66 M. s. n. m.

Estrato 1, Estrato Q40. Tierra, Vegetal, Despalme, y Destapado.  
Estrato 2, Inca. Resc. botánico Infructifera para anali...

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----



SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN TANGENTE

SECCION TIPO  
CORTE EN CURVA

BN B-1/2000 en radio de curvas  
19 20 mts. a la vez de Est. 7402.00  
Elev. prof. = 2143.010 m.s.n.m.

BN B-2/2000 en radio de curvas  
47 80 mts. a la vez de Est. 7430.00  
Elev. prof. = 2141.040 m.s.n.m.

7433.00  
Elev. 4.47 m

7430.00  
Elev. 2.15 m

7430.00  
Elev. 1.21 m

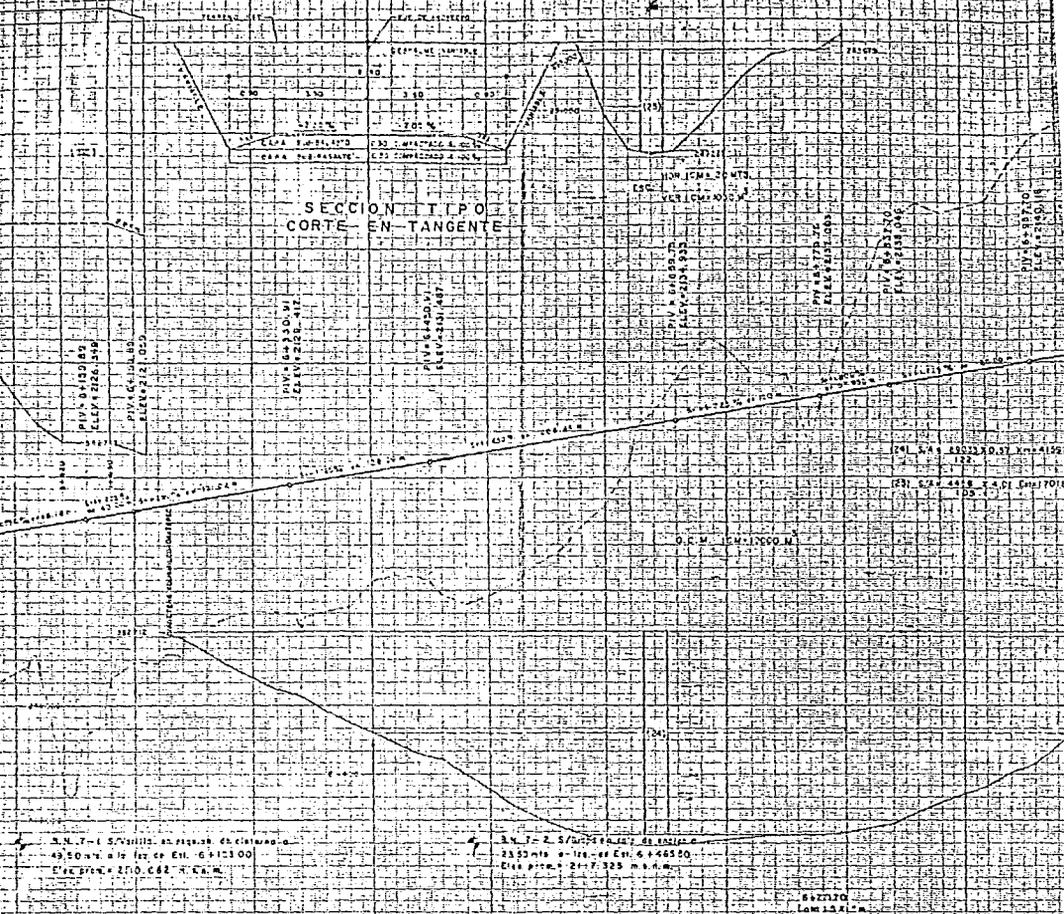
7430.00  
Elev. 6.2 m

SECCION TIPO DE...  
SECCION TIPO DE...  
SECCION TIPO DE...

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...
5	...	...	...	...	...
6	...	...	...	...	...
7	...	...	...	...	...
8	...	...	...	...	...
9	...	...	...	...	...
10	...	...	...	...	...
11	...	...	...	...	...
12	...	...	...	...	...
13	...	...	...	...	...
14	...	...	...	...	...
15	...	...	...	...	...
16	...	...	...	...	...
17	...	...	...	...	...
18	...	...	...	...	...
19	...	...	...	...	...
20	...	...	...	...	...
21	...	...	...	...	...
22	...	...	...	...	...
23	...	...	...	...	...
24	...	...	...	...	...
25	...	...	...	...	...
26	...	...	...	...	...
27	...	...	...	...	...
28	...	...	...	...	...
29	...	...	...	...	...
30	...	...	...	...	...
31	...	...	...	...	...
32	...	...	...	...	...
33	...	...	...	...	...
34	...	...	...	...	...
35	...	...	...	...	...
36	...	...	...	...	...
37	...	...	...	...	...
38	...	...	...	...	...
39	...	...	...	...	...
40	...	...	...	...	...
41	...	...	...	...	...
42	...	...	...	...	...
43	...	...	...	...	...
44	...	...	...	...	...
45	...	...	...	...	...
46	...	...	...	...	...
47	...	...	...	...	...
48	...	...	...	...	...
49	...	...	...	...	...
50	...	...	...	...	...
51	...	...	...	...	...
52	...	...	...	...	...
53	...	...	...	...	...
54	...	...	...	...	...
55	...	...	...	...	...
56	...	...	...	...	...
57	...	...	...	...	...
58	...	...	...	...	...
59	...	...	...	...	...
60	...	...	...	...	...
61	...	...	...	...	...
62	...	...	...	...	...
63	...	...	...	...	...
64	...	...	...	...	...
65	...	...	...	...	...
66	...	...	...	...	...
67	...	...	...	...	...
68	...	...	...	...	...
69	...	...	...	...	...
70	...	...	...	...	...
71	...	...	...	...	...
72	...	...	...	...	...
73	...	...	...	...	...
74	...	...	...	...	...
75	...	...	...	...	...
76	...	...	...	...	...
77	...	...	...	...	...
78	...	...	...	...	...
79	...	...	...	...	...
80	...	...	...	...	...
81	...	...	...	...	...
82	...	...	...	...	...
83	...	...	...	...	...
84	...	...	...	...	...
85	...	...	...	...	...
86	...	...	...	...	...
87	...	...	...	...	...
88	...	...	...	...	...
89	...	...	...	...	...
90	...	...	...	...	...
91	...	...	...	...	...
92	...	...	...	...	...
93	...	...	...	...	...
94	...	...	...	...	...
95	...	...	...	...	...
96	...	...	...	...	...
97	...	...	...	...	...
98	...	...	...	...	...
99	...	...	...	...	...
100	...	...	...	...	...

N. 1. - 226, 55 m  
 H. 7. - 100, 05 m  
 P. 2. - 24, 55 m  
 H. 8. - 29, 15 m  
 H. 9. - 116, 518 m

N. 1. - 271, 35 m  
 H. 7. - 112, 35 m  
 P. 2. - 34, 00 m  
 H. 8. - 34, 00 m  
 H. 9. - 26, 943 m  
 H. 10. - 24, 975 m



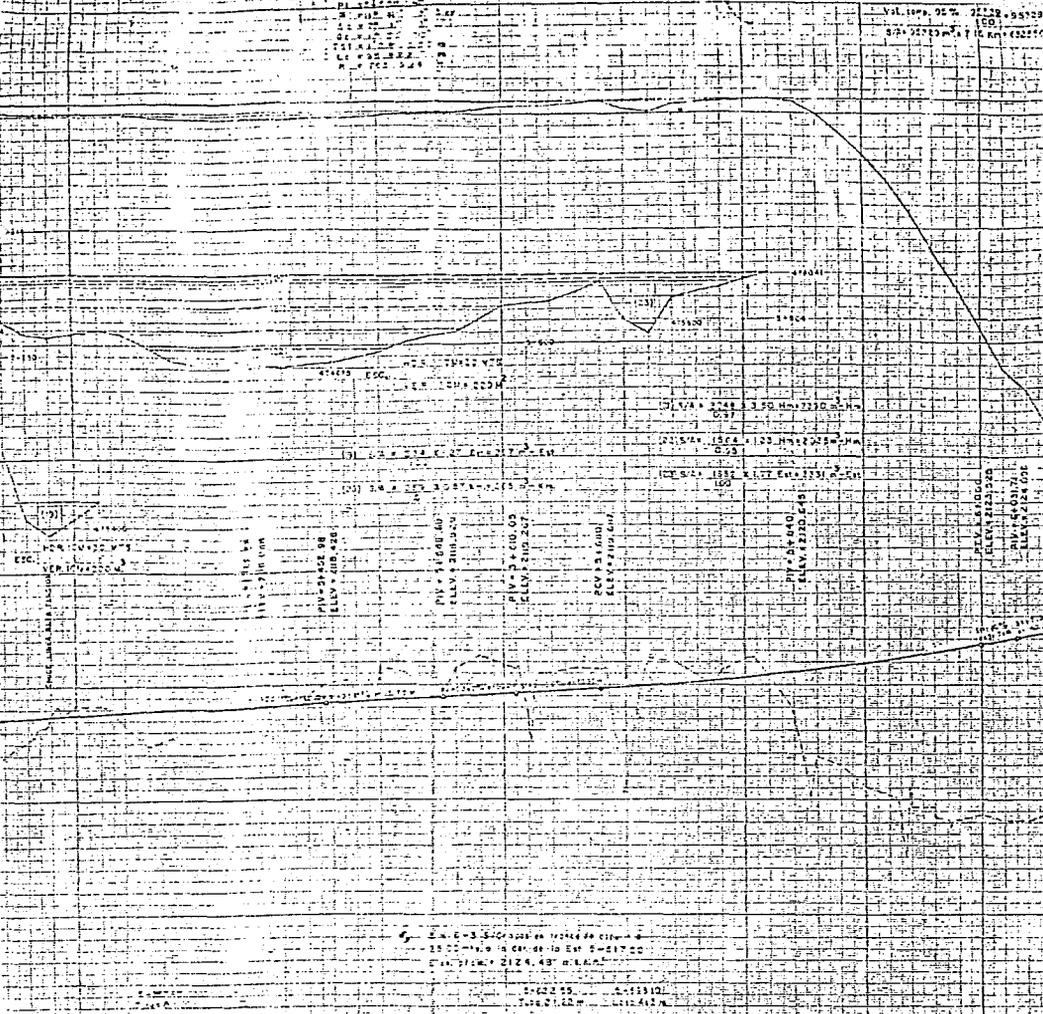
N. 7. - 1. 5. Perfil en seccion de clasimo a  
 49,50 m a la lat de Est. 631-100  
 Pto. elev. 270, 682 m n.m.s.

N. 7. - 2. 5. Perfil en seccion de clasimo a  
 23,55 m a la lat de Est. 646-150  
 Pto. elev. 247, 385 m n.m.s.

N. 7. - 3. 5. Perfil en seccion de clasimo a  
 21,45 m a la lat de Est. 651-200  
 Pto. elev. 247, 385 m n.m.s.

Dist.	Elev. (m n.m.s.)	Observaciones
0	110, 00	Punto de partida
10	115, 00	Perfil de terreno
20	120, 00	Perfil de terreno
30	125, 00	Perfil de terreno
40	130, 00	Perfil de terreno
50	135, 00	Perfil de terreno
60	140, 00	Perfil de terreno
70	145, 00	Perfil de terreno
80	150, 00	Perfil de terreno
90	155, 00	Perfil de terreno
100	160, 00	Perfil de terreno
110	165, 00	Perfil de terreno
120	170, 00	Perfil de terreno
130	175, 00	Perfil de terreno
140	180, 00	Perfil de terreno
150	185, 00	Perfil de terreno
160	190, 00	Perfil de terreno
170	195, 00	Perfil de terreno
180	200, 00	Perfil de terreno
190	205, 00	Perfil de terreno
200	210, 00	Perfil de terreno
210	215, 00	Perfil de terreno
220	220, 00	Perfil de terreno
230	225, 00	Perfil de terreno
240	230, 00	Perfil de terreno
250	235, 00	Perfil de terreno
260	240, 00	Perfil de terreno
270	245, 00	Perfil de terreno
280	250, 00	Perfil de terreno
290	255, 00	Perfil de terreno
300	260, 00	Perfil de terreno
310	265, 00	Perfil de terreno
320	270, 00	Perfil de terreno
330	275, 00	Perfil de terreno
340	280, 00	Perfil de terreno
350	285, 00	Perfil de terreno
360	290, 00	Perfil de terreno
370	295, 00	Perfil de terreno
380	300, 00	Perfil de terreno
390	305, 00	Perfil de terreno
400	310, 00	Perfil de terreno
410	315, 00	Perfil de terreno
420	320, 00	Perfil de terreno
430	325, 00	Perfil de terreno
440	330, 00	Perfil de terreno
450	335, 00	Perfil de terreno
460	340, 00	Perfil de terreno
470	345, 00	Perfil de terreno
480	350, 00	Perfil de terreno
490	355, 00	Perfil de terreno
500	360, 00	Perfil de terreno
510	365, 00	Perfil de terreno
520	370, 00	Perfil de terreno
530	375, 00	Perfil de terreno
540	380, 00	Perfil de terreno
550	385, 00	Perfil de terreno
560	390, 00	Perfil de terreno
570	395, 00	Perfil de terreno
580	400, 00	Perfil de terreno
590	405, 00	Perfil de terreno
600	410, 00	Perfil de terreno
610	415, 00	Perfil de terreno
620	420, 00	Perfil de terreno
630	425, 00	Perfil de terreno
640	430, 00	Perfil de terreno
650	435, 00	Perfil de terreno
660	440, 00	Perfil de terreno
670	445, 00	Perfil de terreno
680	450, 00	Perfil de terreno
690	455, 00	Perfil de terreno
700	460, 00	Perfil de terreno
710	465, 00	Perfil de terreno
720	470, 00	Perfil de terreno
730	475, 00	Perfil de terreno
740	480, 00	Perfil de terreno
750	485, 00	Perfil de terreno
760	490, 00	Perfil de terreno
770	495, 00	Perfil de terreno
780	500, 00	Perfil de terreno
790	505, 00	Perfil de terreno
800	510, 00	Perfil de terreno
810	515, 00	Perfil de terreno
820	520, 00	Perfil de terreno
830	525, 00	Perfil de terreno
840	530, 00	Perfil de terreno
850	535, 00	Perfil de terreno
860	540, 00	Perfil de terreno
870	545, 00	Perfil de terreno
880	550, 00	Perfil de terreno
890	555, 00	Perfil de terreno
900	560, 00	Perfil de terreno
910	565, 00	Perfil de terreno
920	570, 00	Perfil de terreno
930	575, 00	Perfil de terreno
940	580, 00	Perfil de terreno
950	585, 00	Perfil de terreno
960	590, 00	Perfil de terreno
970	595, 00	Perfil de terreno
980	600, 00	Perfil de terreno
990	605, 00	Perfil de terreno
1000	610, 00	Punto de llegada

PL. 199, 02%  
 2128, 95829  
 160,  
 22-2223-3-16 Km 452277



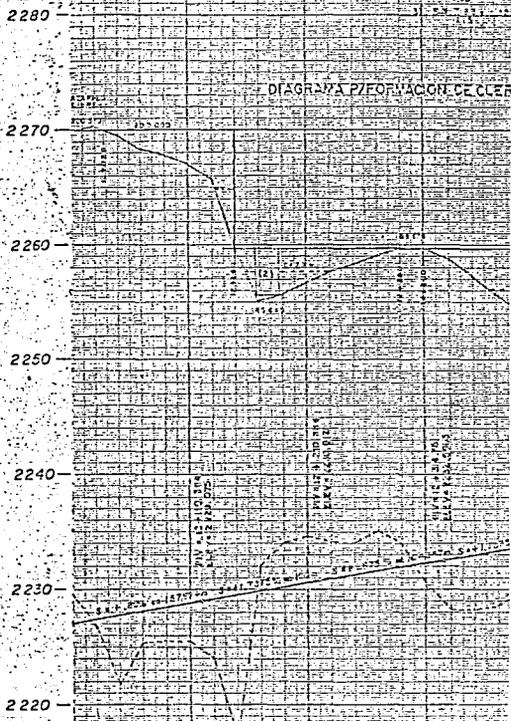
Station	Point	Elevation	Notes
1	1	2126.48	m.E.A.M.
2	2	2126.48	m.E.A.M.
3	3	2126.48	m.E.A.M.
4	4	2126.48	m.E.A.M.
5	5	2126.48	m.E.A.M.
6	6	2126.48	m.E.A.M.
7	7	2126.48	m.E.A.M.
8	8	2126.48	m.E.A.M.
9	9	2126.48	m.E.A.M.
10	10	2126.48	m.E.A.M.
11	11	2126.48	m.E.A.M.
12	12	2126.48	m.E.A.M.
13	13	2126.48	m.E.A.M.
14	14	2126.48	m.E.A.M.
15	15	2126.48	m.E.A.M.
16	16	2126.48	m.E.A.M.
17	17	2126.48	m.E.A.M.
18	18	2126.48	m.E.A.M.
19	19	2126.48	m.E.A.M.
20	20	2126.48	m.E.A.M.
21	21	2126.48	m.E.A.M.
22	22	2126.48	m.E.A.M.
23	23	2126.48	m.E.A.M.
24	24	2126.48	m.E.A.M.
25	25	2126.48	m.E.A.M.
26	26	2126.48	m.E.A.M.
27	27	2126.48	m.E.A.M.
28	28	2126.48	m.E.A.M.
29	29	2126.48	m.E.A.M.
30	30	2126.48	m.E.A.M.
31	31	2126.48	m.E.A.M.
32	32	2126.48	m.E.A.M.
33	33	2126.48	m.E.A.M.
34	34	2126.48	m.E.A.M.
35	35	2126.48	m.E.A.M.
36	36	2126.48	m.E.A.M.
37	37	2126.48	m.E.A.M.
38	38	2126.48	m.E.A.M.
39	39	2126.48	m.E.A.M.
40	40	2126.48	m.E.A.M.
41	41	2126.48	m.E.A.M.
42	42	2126.48	m.E.A.M.
43	43	2126.48	m.E.A.M.
44	44	2126.48	m.E.A.M.
45	45	2126.48	m.E.A.M.
46	46	2126.48	m.E.A.M.
47	47	2126.48	m.E.A.M.
48	48	2126.48	m.E.A.M.
49	49	2126.48	m.E.A.M.
50	50	2126.48	m.E.A.M.
51	51	2126.48	m.E.A.M.
52	52	2126.48	m.E.A.M.
53	53	2126.48	m.E.A.M.
54	54	2126.48	m.E.A.M.
55	55	2126.48	m.E.A.M.
56	56	2126.48	m.E.A.M.
57	57	2126.48	m.E.A.M.
58	58	2126.48	m.E.A.M.
59	59	2126.48	m.E.A.M.
60	60	2126.48	m.E.A.M.
61	61	2126.48	m.E.A.M.
62	62	2126.48	m.E.A.M.
63	63	2126.48	m.E.A.M.
64	64	2126.48	m.E.A.M.
65	65	2126.48	m.E.A.M.
66	66	2126.48	m.E.A.M.
67	67	2126.48	m.E.A.M.
68	68	2126.48	m.E.A.M.
69	69	2126.48	m.E.A.M.
70	70	2126.48	m.E.A.M.
71	71	2126.48	m.E.A.M.
72	72	2126.48	m.E.A.M.
73	73	2126.48	m.E.A.M.
74	74	2126.48	m.E.A.M.
75	75	2126.48	m.E.A.M.
76	76	2126.48	m.E.A.M.
77	77	2126.48	m.E.A.M.
78	78	2126.48	m.E.A.M.
79	79	2126.48	m.E.A.M.
80	80	2126.48	m.E.A.M.
81	81	2126.48	m.E.A.M.
82	82	2126.48	m.E.A.M.
83	83	2126.48	m.E.A.M.
84	84	2126.48	m.E.A.M.
85	85	2126.48	m.E.A.M.
86	86	2126.48	m.E.A.M.
87	87	2126.48	m.E.A.M.
88	88	2126.48	m.E.A.M.
89	89	2126.48	m.E.A.M.
90	90	2126.48	m.E.A.M.
91	91	2126.48	m.E.A.M.
92	92	2126.48	m.E.A.M.
93	93	2126.48	m.E.A.M.
94	94	2126.48	m.E.A.M.
95	95	2126.48	m.E.A.M.
96	96	2126.48	m.E.A.M.
97	97	2126.48	m.E.A.M.
98	98	2126.48	m.E.A.M.
99	99	2126.48	m.E.A.M.
100	100	2126.48	m.E.A.M.

TERRAPLENES		MAT. DESP.	2220.44 m <sup>3</sup>
FORMACION	A 95 %	533.58 m <sup>3</sup>	
	A 100 %	59.44 m <sup>3</sup>	
Y COMPACTACION	A 100 %	62.45 m <sup>3</sup>	
	BANDEADO	_____ m <sup>3</sup>	
PRESTAMOS			
GEOMETRICO EN EL PRESTAMO			
LATERALES DENTRO DE LA FAJA DE	DE BANCO		
20 m	_____ m <sup>3</sup>	722.4 m <sup>3</sup>	
40 m	_____ m <sup>3</sup>		
60 m	_____ m <sup>3</sup>		
80 m	_____ m <sup>3</sup>		
100 m	_____ m <sup>3</sup>		
A CARREOS			
PRODUCTO DE LOS CORTES		PRODUCTO DE LOS PRESTAMOS	
m <sup>3</sup> Est.	m <sup>3</sup> Nm.	m <sup>3</sup> Km.	m <sup>3</sup> Km.
43237	1189244		122044

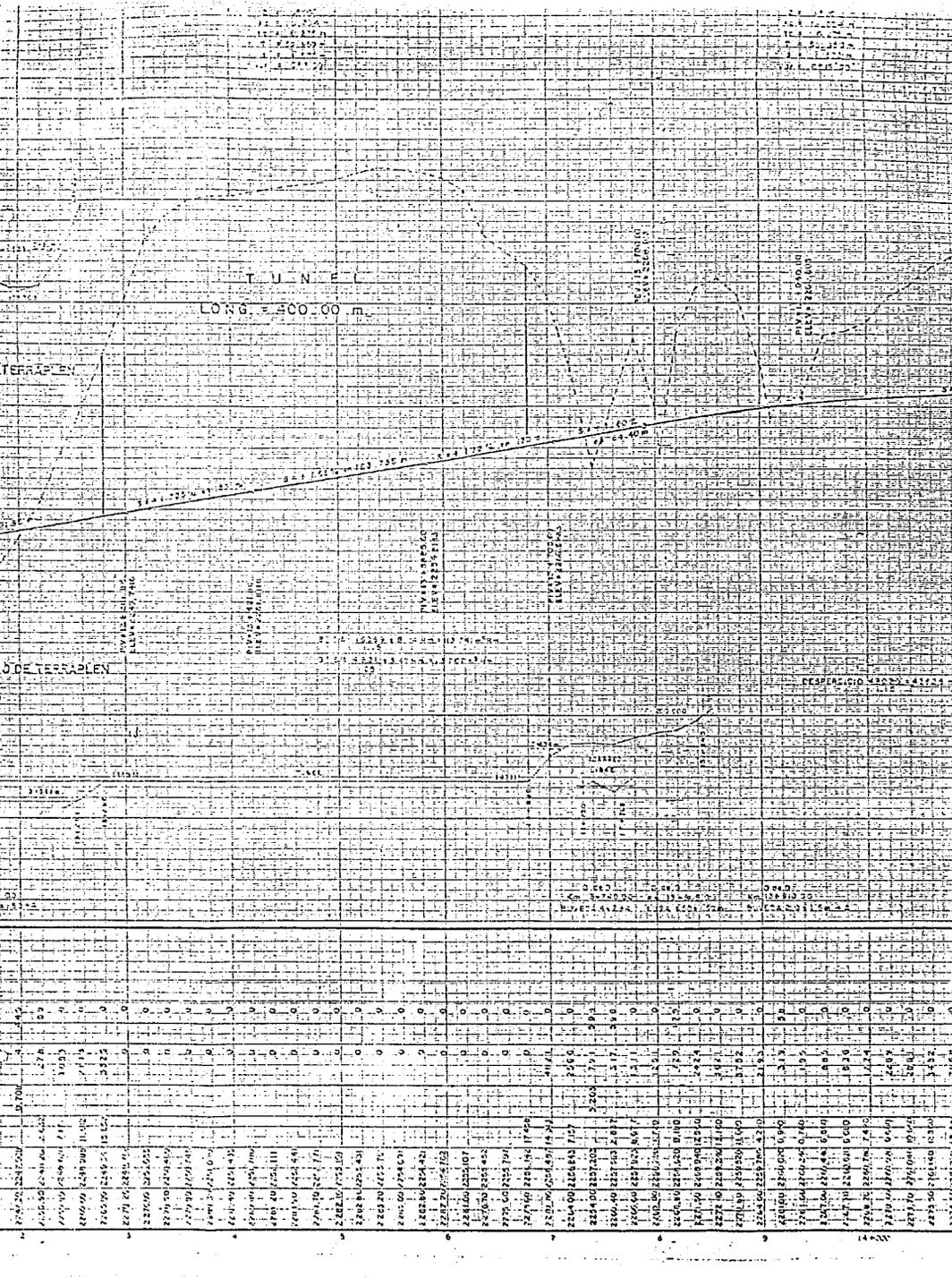
OBRAS DE ARTE		
EXCAVACIONES		
TOTAL	_____ m <sup>3</sup>	
MAMPOSTERIA		
DE	_____ m <sup>3</sup>	
DE	_____ m <sup>3</sup>	
ZAMPEADO	_____ m <sup>3</sup>	
CONCRETO		
Fc	Kgf/cm <sup>2</sup>	_____ m <sup>3</sup>
Fc	Kgf/cm <sup>2</sup>	_____ m <sup>3</sup>
Fc	Kgf/cm <sup>2</sup>	_____ m <sup>3</sup>
CIQUEADO	_____ m <sup>3</sup>	
FIERRO DE REFUERZO		
TOTAL	_____ Kgf.	
ACERO ESTRUCTURAL		
TOTAL	_____ Kgf.	
TUBOS		
DE	_____ m	
DE	_____ m	
DE	_____ m	

SUB - BALASTO	
DEL BANCO N-	55.75 m <sup>3</sup>
S/A CARRO	20120 m <sup>3</sup> Km
DEL BANCO N-	_____ m <sup>3</sup> Km
S/A CARRO	_____ m <sup>3</sup> Km

TERRACERIAS	CLASIFICACION GEOLOGICA			
	CLASIF PARA PRESUPUESTO			
	VARIABILIDAD VOLUMETRICA			
	VOLUMENES	TERRAPLEN		
	GEOMETRICOS	CORTE		
	ELEVACIONES ESPESORES	TERRAPLEN		
		CORTE		
		SUB - RASANTE		
		TERRENO		
	2220.50	2227.00	4.50	
2220.70	2227.00	0.30		
2221.00	2227.00	6.00		
2221.30	2227.00	5.70		
2221.60	2227.00	5.40		
2221.90	2227.00	5.10		
2222.20	2227.00	4.80		
2222.50	2227.00	4.50		
2222.80	2227.00	4.20		
2223.10	2227.00	3.90		
2223.40	2227.00	3.60		
2223.70	2227.00	3.30		
2224.00	2227.00	3.00		
2224.30	2227.00	2.70		
2224.60	2227.00	2.40		
2224.90	2227.00	2.10		
2225.20	2227.00	1.80		
2225.50	2227.00	1.50		
2225.80	2227.00	1.20		
2226.10	2227.00	0.90		
2226.40	2227.00	0.60		
2226.70	2227.00	0.30		
2227.00	2227.00	0.00		







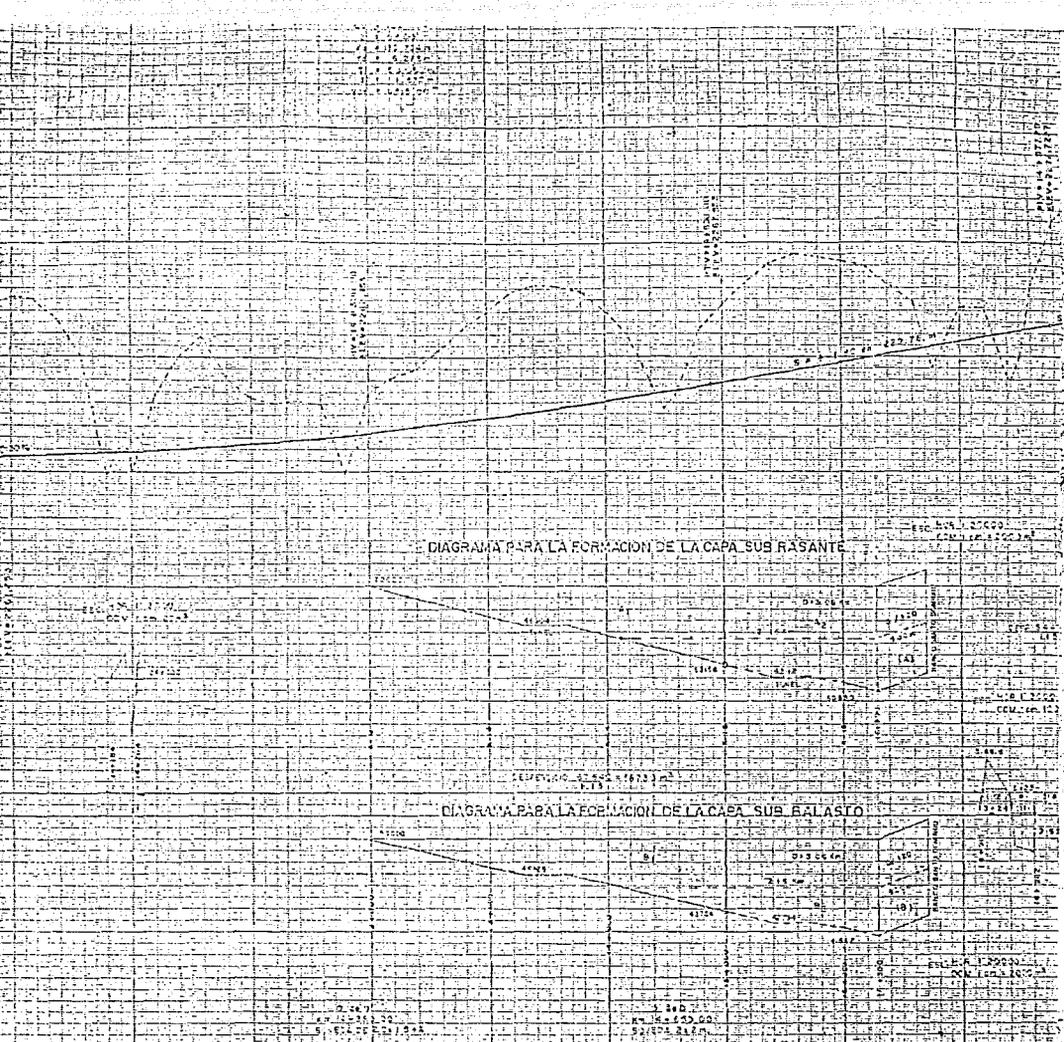
TUNEL  
LONG. = 400.00 m

TERREPLEIN

DEPARTAGE

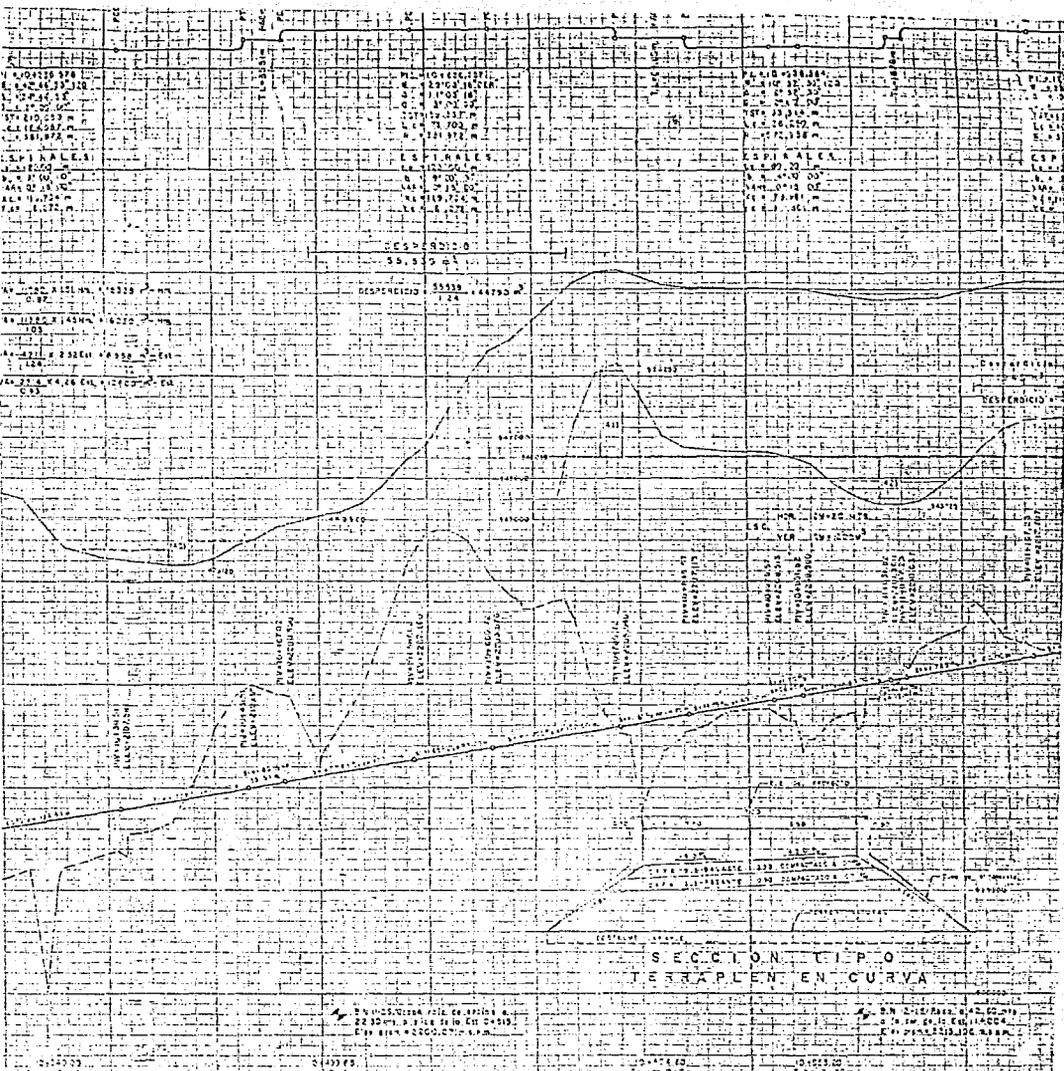
DEPARTAGE

Point	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z
1	100	0	0	100	0	0	100	0	0
2	100	10	0	100	10	0	100	10	0
3	100	20	0	100	20	0	100	20	0
4	100	30	0	100	30	0	100	30	0
5	100	40	0	100	40	0	100	40	0
6	100	50	0	100	50	0	100	50	0
7	100	60	0	100	60	0	100	60	0
8	100	70	0	100	70	0	100	70	0
9	100	80	0	100	80	0	100	80	0
10	100	90	0	100	90	0	100	90	0
11	100	100	0	100	100	0	100	100	0
12	110	0	0	110	0	0	110	0	0
13	110	10	0	110	10	0	110	10	0
14	110	20	0	110	20	0	110	20	0
15	110	30	0	110	30	0	110	30	0
16	110	40	0	110	40	0	110	40	0
17	110	50	0	110	50	0	110	50	0
18	110	60	0	110	60	0	110	60	0
19	110	70	0	110	70	0	110	70	0
20	110	80	0	110	80	0	110	80	0
21	110	90	0	110	90	0	110	90	0
22	110	100	0	110	100	0	110	100	0
23	120	0	0	120	0	0	120	0	0
24	120	10	0	120	10	0	120	10	0
25	120	20	0	120	20	0	120	20	0
26	120	30	0	120	30	0	120	30	0
27	120	40	0	120	40	0	120	40	0
28	120	50	0	120	50	0	120	50	0
29	120	60	0	120	60	0	120	60	0
30	120	70	0	120	70	0	120	70	0
31	120	80	0	120	80	0	120	80	0
32	120	90	0	120	90	0	120	90	0
33	120	100	0	120	100	0	120	100	0
34	130	0	0	130	0	0	130	0	0
35	130	10	0	130	10	0	130	10	0
36	130	20	0	130	20	0	130	20	0
37	130	30	0	130	30	0	130	30	0
38	130	40	0	130	40	0	130	40	0
39	130	50	0	130	50	0	130	50	0
40	130	60	0	130	60	0	130	60	0
41	130	70	0	130	70	0	130	70	0
42	130	80	0	130	80	0	130	80	0
43	130	90	0	130	90	0	130	90	0
44	130	100	0	130	100	0	130	100	0
45	140	0	0	140	0	0	140	0	0
46	140	10	0	140	10	0	140	10	0
47	140	20	0	140	20	0	140	20	0
48	140	30	0	140	30	0	140	30	0
49	140	40	0	140	40	0	140	40	0
50	140	50	0	140	50	0	140	50	0
51	140	60	0	140	60	0	140	60	0
52	140	70	0	140	70	0	140	70	0
53	140	80	0	140	80	0	140	80	0
54	140	90	0	140	90	0	140	90	0
55	140	100	0	140	100	0	140	100	0
56	150	0	0	150	0	0	150	0	0
57	150	10	0	150	10	0	150	10	0
58	150	20	0	150	20	0	150	20	0
59	150	30	0	150	30	0	150	30	0
60	150	40	0	150	40	0	150	40	0
61	150	50	0	150	50	0	150	50	0
62	150	60	0	150	60	0	150	60	0
63	150	70	0	150	70	0	150	70	0
64	150	80	0	150	80	0	150	80	0
65	150	90	0	150	90	0	150	90	0
66	150	100	0	150	100	0	150	100	0
67	160	0	0	160	0	0	160	0	0
68	160	10	0	160	10	0	160	10	0
69	160	20	0	160	20	0	160	20	0
70	160	30	0	160	30	0	160	30	0
71	160	40	0	160	40	0	160	40	0
72	160	50	0	160	50	0	160	50	0
73	160	60	0	160	60	0	160	60	0
74	160	70	0	160	70	0	160	70	0
75	160	80	0	160	80	0	160	80	0
76	160	90	0	160	90	0	160	90	0
77	160	100	0	160	100	0	160	100	0
78	170	0	0	170	0	0	170	0	0
79	170	10	0	170	10	0	170	10	0
80	170	20	0	170	20	0	170	20	0
81	170	30	0	170	30	0	170	30	0
82	170	40	0	170	40	0	170	40	0
83	170	50	0	170	50	0	170	50	0
84	170	60	0	170	60	0	170	60	0
85	170	70	0	170	70	0	170	70	0
86	170	80	0	170	80	0	170	80	0
87	170	90	0	170	90	0	170	90	0
88	170	100	0	170	100	0	170	100	0
89	180	0	0	180	0	0	180	0	0
90	180	10	0	180	10	0	180	10	0
91	180	20	0	180	20	0	180	20	0
92	180	30	0	180	30	0	180	30	0
93	180	40	0	180	40	0	180	40	0
94	180	50	0	180	50	0	180	50	0
95	180	60	0	180	60	0	180	60	0
96	180	70	0	180	70	0	180	70	0
97	180	80	0	180	80	0	180	80	0
98	180	90	0	180	90	0	180	90	0
99	180	100	0	180	100	0	180	100	0
100	190	0	0	190	0	0	190	0	0



222.00	224.20	226.40	228.60	230.80	233.00	235.20	237.40	239.60	241.80	244.00	246.20	248.40	250.60	252.80	255.00	257.20	259.40	261.60	263.80	266.00	268.20	270.40	272.60	274.80	277.00	279.20	281.40	283.60	285.80	288.00	290.20	292.40	294.60	296.80	299.00	301.20	303.40	305.60	307.80	310.00	312.20	314.40	316.60	318.80	321.00	323.20	325.40	327.60	329.80	332.00	334.20	336.40	338.60	340.80	343.00	345.20	347.40	349.60	351.80	354.00	356.20	358.40	360.60	362.80	365.00	367.20	369.40	371.60	373.80	376.00	378.20	380.40	382.60	384.80	387.00	389.20	391.40	393.60	395.80	398.00	400.20	402.40	404.60	406.80	409.00	411.20	413.40	415.60	417.80	420.00	422.20	424.40	426.60	428.80	431.00	433.20	435.40	437.60	439.80	442.00	444.20	446.40	448.60	450.80	453.00	455.20	457.40	459.60	461.80	464.00	466.20	468.40	470.60	472.80	475.00	477.20	479.40	481.60	483.80	486.00	488.20	490.40	492.60	494.80	497.00	499.20	501.40	503.60	505.80	508.00	510.20	512.40	514.60	516.80	519.00	521.20	523.40	525.60	527.80	530.00	532.20	534.40	536.60	538.80	541.00	543.20	545.40	547.60	549.80	552.00	554.20	556.40	558.60	560.80	563.00	565.20	567.40	569.60	571.80	574.00	576.20	578.40	580.60	582.80	585.00	587.20	589.40	591.60	593.80	596.00	598.20	600.40	602.60	604.80	607.00	609.20	611.40	613.60	615.80	618.00	620.20	622.40	624.60	626.80	629.00	631.20	633.40	635.60	637.80	640.00	642.20	644.40	646.60	648.80	651.00	653.20	655.40	657.60	659.80	662.00	664.20	666.40	668.60	670.80	673.00	675.20	677.40	679.60	681.80	684.00	686.20	688.40	690.60	692.80	695.00	697.20	699.40	701.60	703.80	706.00	708.20	710.40	712.60	714.80	717.00	719.20	721.40	723.60	725.80	728.00	730.20	732.40	734.60	736.80	739.00	741.20	743.40	745.60	747.80	750.00	752.20	754.40	756.60	758.80	761.00	763.20	765.40	767.60	769.80	772.00	774.20	776.40	778.60	780.80	783.00	785.20	787.40	789.60	791.80	794.00	796.20	798.40	800.60	802.80	805.00	807.20	809.40	811.60	813.80	816.00	818.20	820.40	822.60	824.80	827.00	829.20	831.40	833.60	835.80	838.00	840.20	842.40	844.60	846.80	849.00	851.20	853.40	855.60	857.80	860.00	862.20	864.40	866.60	868.80	871.00	873.20	875.40	877.60	879.80	882.00	884.20	886.40	888.60	890.80	893.00	895.20	897.40	899.60	901.80	904.00	906.20	908.40	910.60	912.80	915.00	917.20	919.40	921.60	923.80	926.00	928.20	930.40	932.60	934.80	937.00	939.20	941.40	943.60	945.80	948.00	950.20	952.40	954.60	956.80	959.00	961.20	963.40	965.60	967.80	970.00	972.20	974.40	976.60	978.80	981.00	983.20	985.40	987.60	989.80	992.00	994.20	996.40	998.60	1000.80
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------





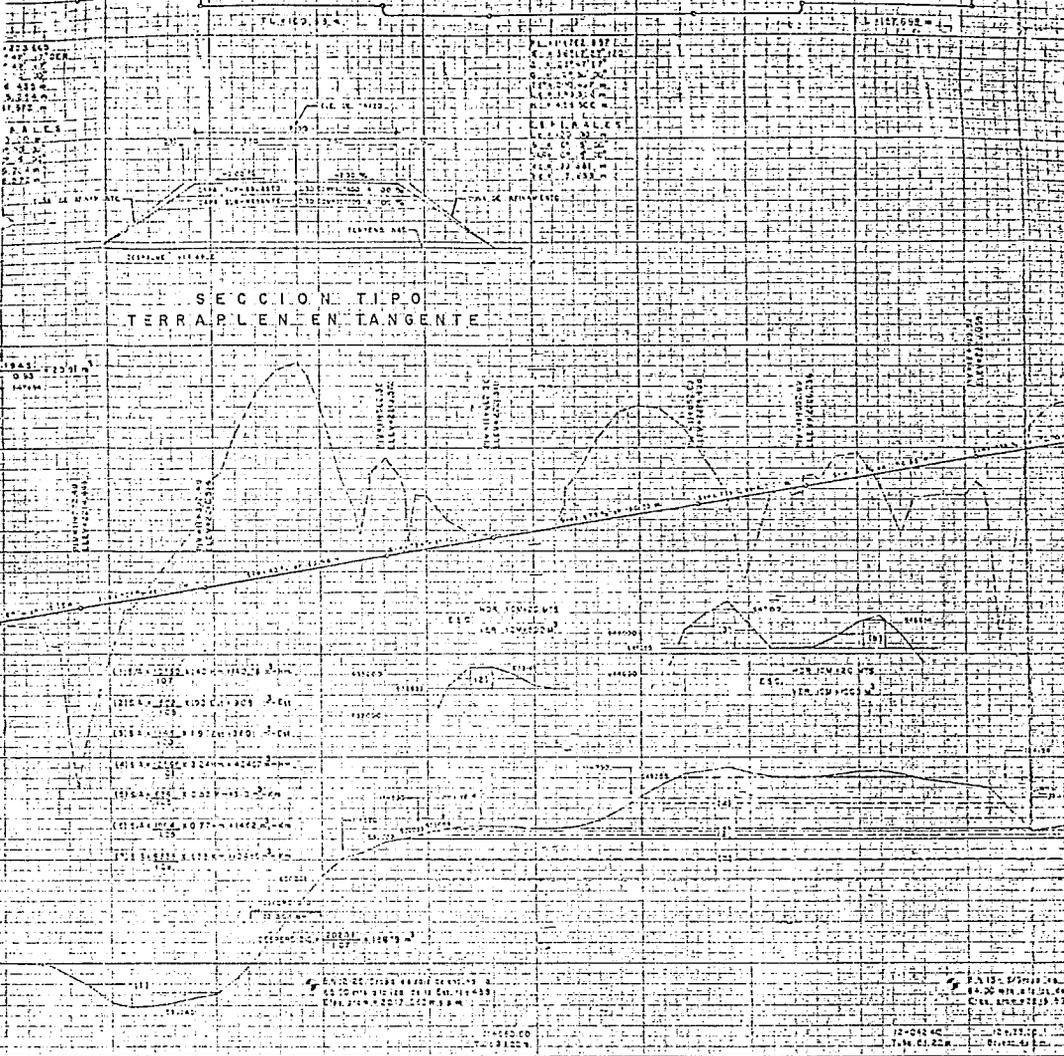
**SECCION TIPO  
TERRAPLEN EN CURVA**

2+000000  
 2+000000  
 2+000000  
 2+000000

2+000000  
 2+000000  
 2+000000  
 2+000000

ESTACION		ELEVACION		TIPO DE TERRENO		USOS	
1	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
2	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
3	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
4	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
5	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
6	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
7	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
8	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
9	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
10	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
11	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
12	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
13	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
14	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
15	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
16	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
17	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
18	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
19	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
20	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
21	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
22	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
23	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
24	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
25	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
26	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
27	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
28	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
29	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
30	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
31	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
32	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
33	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
34	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
35	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
36	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
37	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
38	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
39	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
40	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
41	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
42	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
43	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
44	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
45	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
46	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
47	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
48	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
49	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano
50	2+000000	1500	1500	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano	Terreno plano

# SECCION TIPO TERRAPLEN EN TANGENTE



ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
1	VEGETACION	1000	M <sup>2</sup>	0.10	100.00
2	VEGETACION	1000	M <sup>2</sup>	0.10	100.00
3	VEGETACION	1000	M <sup>2</sup>	0.10	100.00
4	VEGETACION	1000	M <sup>2</sup>	0.10	100.00
5	VEGETACION	1000	M <sup>2</sup>	0.10	100.00
6	VEGETACION	1000	M <sup>2</sup>	0.10	100.00
7	VEGETACION	1000	M <sup>2</sup>	0.10	100.00
8	VEGETACION	1000	M <sup>2</sup>	0.10	100.00
9	VEGETACION	1000	M <sup>2</sup>	0.10	100.00
10	VEGETACION	1000	M <sup>2</sup>	0.10	100.00



TOTAL TERRAPLENES		M <sup>3</sup> DEB		124570		M <sup>3</sup>	
FORMACION	A	%	4237	M <sup>3</sup>			
	A	%	11342	M <sup>3</sup>			
Y	A	%	11039	M <sup>3</sup>			
	A	%	11039	M <sup>3</sup>			
COMPACTACION	BANCAZO		M <sup>3</sup>				
	BANCAZO		M <sup>3</sup>				
PRESTAMOS GEOMETRICO EN EL PRESTAMO							
LATERALES DENTRO DE LA FAJA DE							
0 m	DE BANCO		M <sup>3</sup>				
0 m	DE BANCO		12456		M <sup>3</sup>		
0 m	DE BANCO		M <sup>3</sup>				
0 m	DE BANCO		M <sup>3</sup>				
0 m	DE BANCO		M <sup>3</sup>				

ACARREOS							
PRODUCTO DE LOS CORTES				PRODUCTO DE LOS PRESTAMOS			
Est.	m <sup>3</sup>	km	m <sup>3</sup>	km	m <sup>3</sup>	km	m <sup>3</sup>
59							144570

OBRAS DE ARTE							
EXCAVACIONES							
TOTAL				M <sup>3</sup>			
MAMPOSTERIA							
1	m <sup>3</sup>			M <sup>3</sup>			
2	m <sup>3</sup>			M <sup>3</sup>			
3	m <sup>3</sup>			M <sup>3</sup>			
4	m <sup>3</sup>			M <sup>3</sup>			
5	m <sup>3</sup>			M <sup>3</sup>			

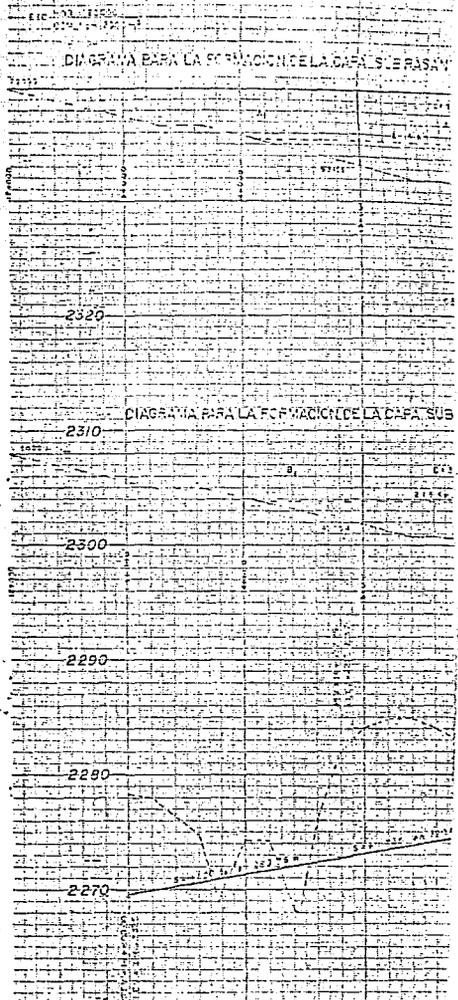
CONCRETO							
1	m <sup>3</sup>			M <sup>3</sup>			
2	m <sup>3</sup>			M <sup>3</sup>			
3	m <sup>3</sup>			M <sup>3</sup>			
4	m <sup>3</sup>			M <sup>3</sup>			
5	m <sup>3</sup>			M <sup>3</sup>			

FIERRO DE REFUERZO							
TOTAL				Kgr.			

ACERO ESTRUCTURAL							
TOTAL				Kgr.			

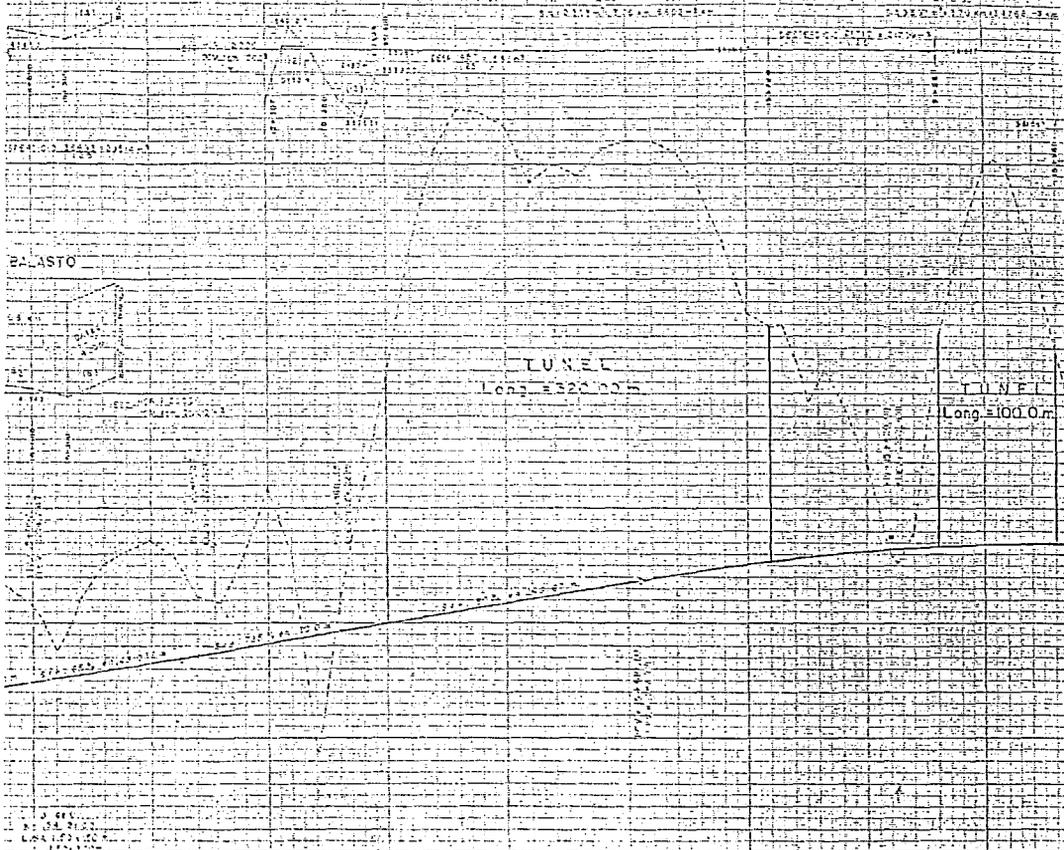
TUBOS							
1	m			M			
2	m			M			
3	m			M			

SUB - BALASTO							
1	m <sup>3</sup>	11622		M <sup>3</sup>			
2	m <sup>3</sup>	41570		M <sup>3</sup>		km	
3	m <sup>3</sup>			M <sup>3</sup>		km	



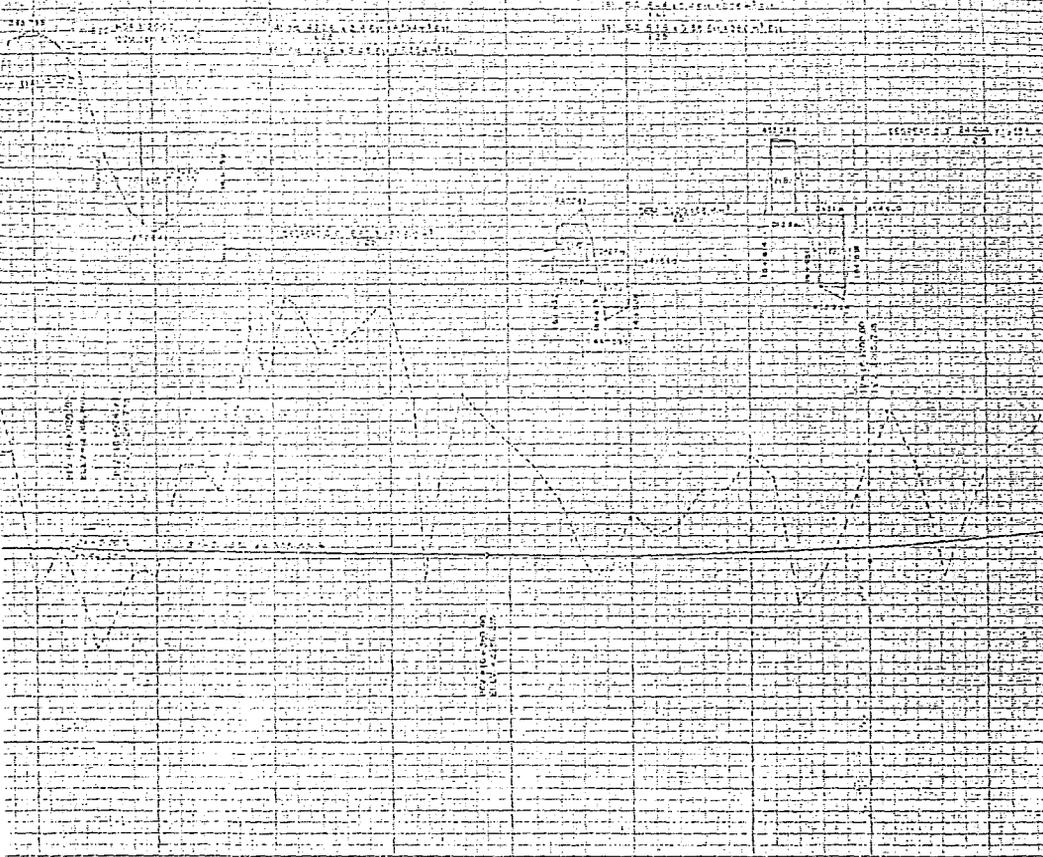
TERRACERIAS	CLASIFICACION GEOLOGICA		CLASIF PARA PRESUPUESTO																			
	VARIABLES VOLUMETRICAS																					
	VOLUMENES		TERRAPLEN																			
	GEOMETRICOS		CORTE																			
	ELEVACIONES	TERRAPLEN																				
		CORTE																				
		SUB - RASANTE																				
		TERRENO																				

DIAGRAMA DE FORMACION DE QUEVEDO DE TETRAPILEN

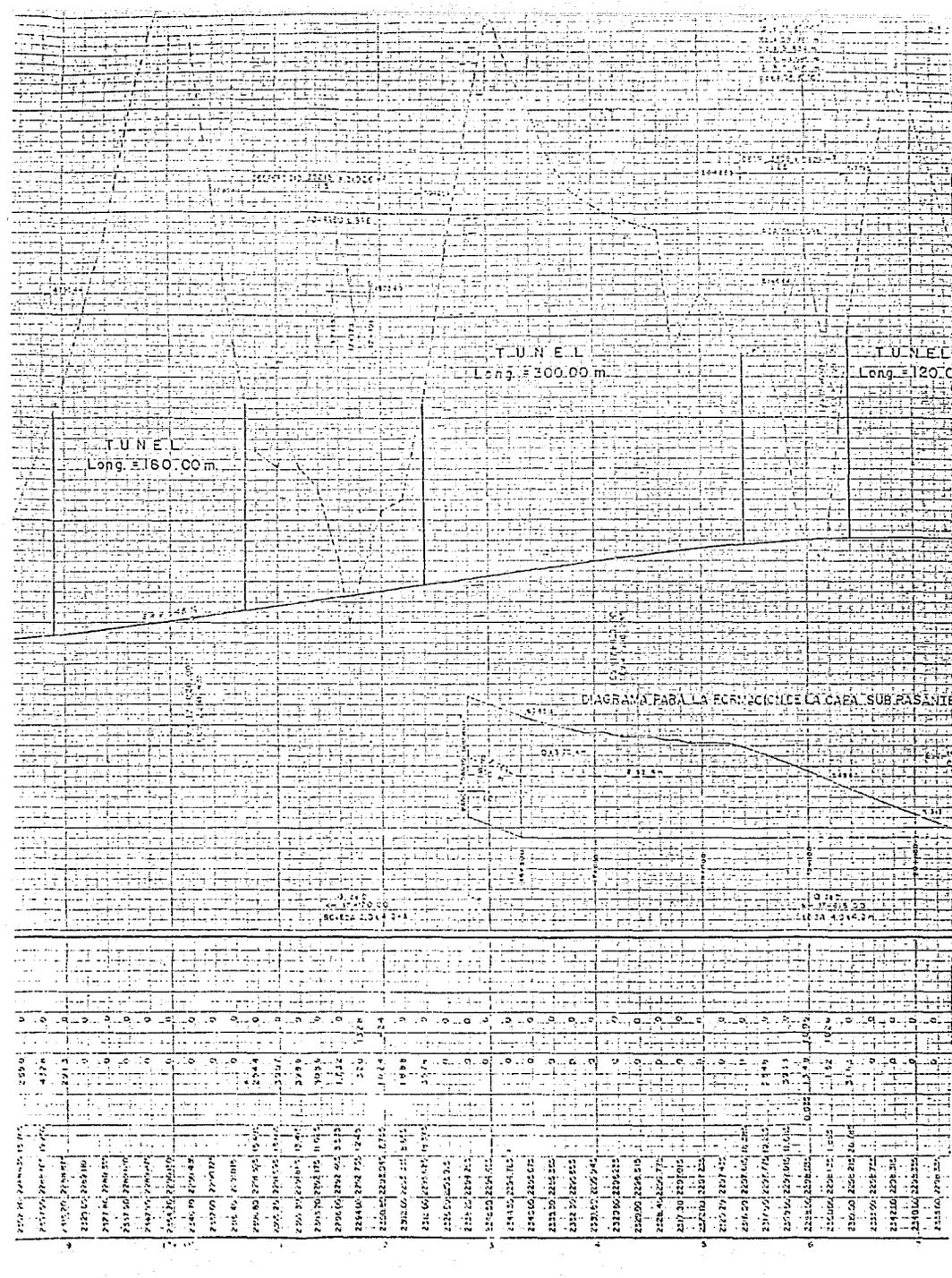


2200	0	
2205	0	
2210	17.5	
2215	0	
2220	17.5	
2225	0	
2230	7.7	
2235	0	
2240	17.7	
2245	0	
2250	2.5	
2255	0	
2260	2.5	
2265	0	
2270	2.5	
2275	0	
2280	2.5	
2285	0	
2290	2.5	
2295	0	
2300	2.5	
2305	0	
2310	2.5	
2315	0	
2320	2.5	
2325	0	
2330	2.5	
2335	0	
2340	2.5	
2345	0	
2350	2.5	
2355	0	
2360	2.5	
2365	0	
2370	2.5	
2375	0	
2380	2.5	
2385	0	
2390	2.5	
2395	0	
2400	2.5	
2405	0	
2410	2.5	
2415	0	
2420	2.5	
2425	0	
2430	2.5	
2435	0	
2440	2.5	
2445	0	
2450	2.5	
2455	0	
2460	2.5	
2465	0	
2470	2.5	
2475	0	
2480	2.5	
2485	0	
2490	2.5	
2495	0	
2500	2.5	
2505	0	
2510	2.5	
2515	0	
2520	2.5	
2525	0	
2530	2.5	
2535	0	
2540	2.5	
2545	0	
2550	2.5	
2555	0	
2560	2.5	
2565	0	
2570	2.5	
2575	0	
2580	2.5	
2585	0	
2590	2.5	
2595	0	
2600	2.5	
2605	0	
2610	2.5	
2615	0	
2620	2.5	
2625	0	
2630	2.5	
2635	0	
2640	2.5	
2645	0	
2650	2.5	
2655	0	
2660	2.5	
2665	0	
2670	2.5	
2675	0	
2680	2.5	
2685	0	
2690	2.5	
2695	0	
2700	2.5	
2705	0	
2710	2.5	
2715	0	
2720	2.5	
2725	0	
2730	2.5	
2735	0	
2740	2.5	
2745	0	
2750	2.5	
2755	0	
2760	2.5	
2765	0	
2770	2.5	
2775	0	
2780	2.5	
2785	0	
2790	2.5	
2795	0	
2800	2.5	
2805	0	
2810	2.5	
2815	0	
2820	2.5	
2825	0	
2830	2.5	
2835	0	
2840	2.5	
2845	0	
2850	2.5	
2855	0	
2860	2.5	
2865	0	
2870	2.5	
2875	0	
2880	2.5	
2885	0	
2890	2.5	
2895	0	
2900	2.5	
2905	0	
2910	2.5	
2915	0	
2920	2.5	
2925	0	
2930	2.5	
2935	0	
2940	2.5	
2945	0	
2950	2.5	
2955	0	
2960	2.5	
2965	0	
2970	2.5	
2975	0	
2980	2.5	
2985	0	
2990	2.5	
2995	0	
3000	2.5	
3005	0	
3010	2.5	
3015	0	
3020	2.5	
3025	0	
3030	2.5	
3035	0	
3040	2.5	
3045	0	
3050	2.5	
3055	0	
3060	2.5	
3065	0	
3070	2.5	
3075	0	
3080	2.5	
3085	0	
3090	2.5	
3095	0	
3100	2.5	
3105	0	
3110	2.5	
3115	0	
3120	2.5	
3125	0	
3130	2.5	
3135	0	
3140	2.5	
3145	0	
3150	2.5	
3155	0	
3160	2.5	
3165	0	
3170	2.5	
3175	0	
3180	2.5	
3185	0	
3190	2.5	
3195	0	
3200	2.5	
3205	0	
3210	2.5	
3215	0	
3220	2.5	
3225	0	
3230	2.5	
3235	0	
3240	2.5	
3245	0	
3250	2.5	
3255	0	
3260	2.5	
3265	0	
3270	2.5	
3275	0	
3280	2.5	
3285	0	
3290	2.5	
3295	0	
3300	2.5	
3305	0	
3310	2.5	
3315	0	
3320	2.5	
3325	0	
3330	2.5	
3335	0	
3340	2.5	
3345	0	
3350	2.5	
3355	0	
3360	2.5	
3365	0	
3370	2.5	
3375	0	
3380	2.5	
3385	0	
3390	2.5	
3395	0	
3400	2.5	
3405	0	
3410	2.5	
3415	0	
3420	2.5	
3425	0	
3430	2.5	
3435	0	
3440	2.5	
3445	0	
3450	2.5	
3455	0	
3460	2.5	
3465	0	
3470	2.5	
3475	0	
3480	2.5	
3485	0	
3490	2.5	
3495	0	
3500	2.5	
3505	0	
3510	2.5	
3515	0	
3520	2.5	
3525	0	
3530	2.5	
3535	0	
3540	2.5	
3545	0	
3550	2.5	
3555	0	
3560	2.5	
3565	0	
3570	2.5	
3575	0	
3580	2.5	
3585	0	
3590	2.5	
3595	0	
3600	2.5	
3605	0	
3610	2.5	
3615	0	
3620	2.5	
3625	0	
3630	2.5	
3635	0	
3640	2.5	
3645	0	
3650	2.5	
3655	0	
3660	2.5	
3665	0	
3670	2.5	
3675	0	
3680	2.5	
3685	0	
3690	2.5	
3695	0	
3700	2.5	
3705	0	
3710	2.5	
3715	0	
3720	2.5	
3725	0	
3730	2.5	
3735	0	
3740	2.5	
3745	0	
3750	2.5	
3755	0	
3760	2.5	
3765	0	
3770	2.5	
3775	0	
3780	2.5	
3785	0	
3790	2.5	
3795	0	
3800	2.5	
3805	0	
3810	2.5	
3815	0	
3820	2.5	
3825	0	
3830	2.5	
3835	0	
3840	2.5	
3845	0	
3850	2.5	
3855	0	
3860	2.5	
3865	0	
3870	2.5	
3875	0	
3880	2.5	
3885	0	
3890	2.5	
3895	0	
3900	2.5	
3905	0	
3910	2.5	
3915	0	
3920	2.5	
3925	0	
3930	2.5	
3935	0	
3940	2.5	
3945	0	
3950	2.5	
3955	0	
3960	2.5	
3965	0	
3970	2.5	
3975	0	
3980	2.5	
3985	0	
3990	2.5	
3995	0	
4000	2.5	

DIAGRAMA DE FORMACION DE CUERPO DE TIERRA EN



ESTACION	X	Y	Z	DESCRIPCION
1	1000	1000	1000	ESTACION 1
2	1000	1000	1000	ESTACION 2
3	1000	1000	1000	ESTACION 3
4	1000	1000	1000	ESTACION 4
5	1000	1000	1000	ESTACION 5
6	1000	1000	1000	ESTACION 6
7	1000	1000	1000	ESTACION 7
8	1000	1000	1000	ESTACION 8
9	1000	1000	1000	ESTACION 9
10	1000	1000	1000	ESTACION 10
11	1000	1000	1000	ESTACION 11
12	1000	1000	1000	ESTACION 12
13	1000	1000	1000	ESTACION 13
14	1000	1000	1000	ESTACION 14
15	1000	1000	1000	ESTACION 15
16	1000	1000	1000	ESTACION 16
17	1000	1000	1000	ESTACION 17
18	1000	1000	1000	ESTACION 18
19	1000	1000	1000	ESTACION 19
20	1000	1000	1000	ESTACION 20
21	1000	1000	1000	ESTACION 21
22	1000	1000	1000	ESTACION 22
23	1000	1000	1000	ESTACION 23
24	1000	1000	1000	ESTACION 24
25	1000	1000	1000	ESTACION 25
26	1000	1000	1000	ESTACION 26
27	1000	1000	1000	ESTACION 27
28	1000	1000	1000	ESTACION 28
29	1000	1000	1000	ESTACION 29
30	1000	1000	1000	ESTACION 30
31	1000	1000	1000	ESTACION 31
32	1000	1000	1000	ESTACION 32
33	1000	1000	1000	ESTACION 33
34	1000	1000	1000	ESTACION 34
35	1000	1000	1000	ESTACION 35
36	1000	1000	1000	ESTACION 36
37	1000	1000	1000	ESTACION 37
38	1000	1000	1000	ESTACION 38
39	1000	1000	1000	ESTACION 39
40	1000	1000	1000	ESTACION 40
41	1000	1000	1000	ESTACION 41
42	1000	1000	1000	ESTACION 42
43	1000	1000	1000	ESTACION 43
44	1000	1000	1000	ESTACION 44
45	1000	1000	1000	ESTACION 45
46	1000	1000	1000	ESTACION 46
47	1000	1000	1000	ESTACION 47
48	1000	1000	1000	ESTACION 48
49	1000	1000	1000	ESTACION 49
50	1000	1000	1000	ESTACION 50



T U N E L  
 Long. = 370.00 m.

DIAGRAMA PARA LA FORMACION DE LA CAPA  
 SUS BALASTO

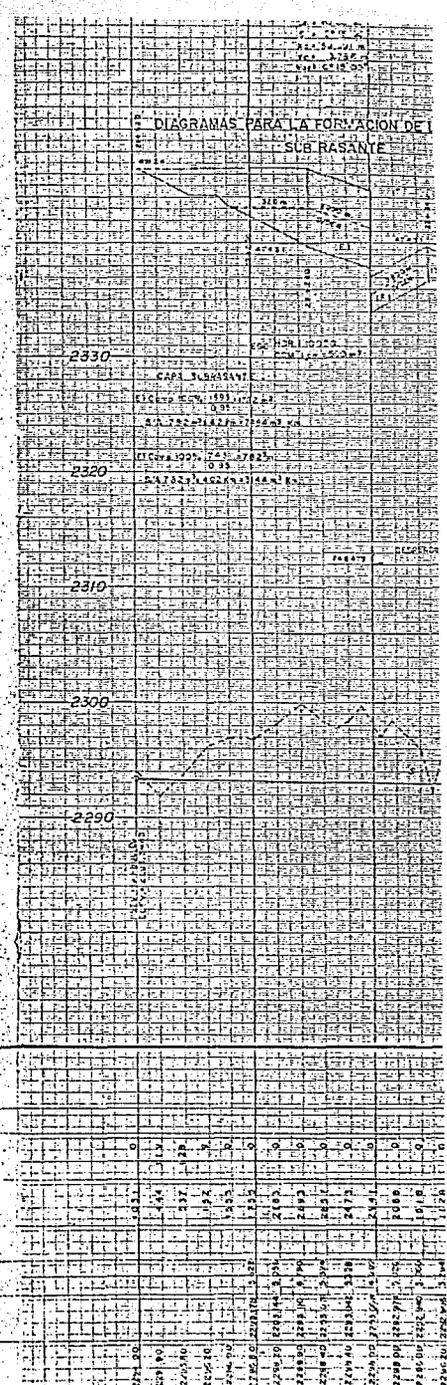
ESTACION	PLANO	ALTIMETRIA	OTROS DATOS
230.00	230.270	21.55	
232.00	232.270	21.55	
234.00	234.270	21.55	
236.00	236.270	21.55	
238.00	238.270	21.55	
240.00	240.270	21.55	
242.00	242.270	21.55	
244.00	244.270	21.55	
246.00	246.270	21.55	
248.00	248.270	21.55	
250.00	250.270	21.55	
252.00	252.270	21.55	
254.00	254.270	21.55	
256.00	256.270	21.55	
258.00	258.270	21.55	
260.00	260.270	21.55	
262.00	262.270	21.55	
264.00	264.270	21.55	
266.00	266.270	21.55	
268.00	268.270	21.55	
270.00	270.270	21.55	
272.00	272.270	21.55	
274.00	274.270	21.55	
276.00	276.270	21.55	
278.00	278.270	21.55	
280.00	280.270	21.55	
282.00	282.270	21.55	
284.00	284.270	21.55	
286.00	286.270	21.55	
288.00	288.270	21.55	
290.00	290.270	21.55	
292.00	292.270	21.55	
294.00	294.270	21.55	
296.00	296.270	21.55	
298.00	298.270	21.55	
300.00	300.270	21.55	
302.00	302.270	21.55	
304.00	304.270	21.55	
306.00	306.270	21.55	
308.00	308.270	21.55	
310.00	310.270	21.55	
312.00	312.270	21.55	
314.00	314.270	21.55	
316.00	316.270	21.55	
318.00	318.270	21.55	
320.00	320.270	21.55	
322.00	322.270	21.55	
324.00	324.270	21.55	
326.00	326.270	21.55	
328.00	328.270	21.55	
330.00	330.270	21.55	
332.00	332.270	21.55	
334.00	334.270	21.55	
336.00	336.270	21.55	
338.00	338.270	21.55	
340.00	340.270	21.55	
342.00	342.270	21.55	
344.00	344.270	21.55	
346.00	346.270	21.55	
348.00	348.270	21.55	
350.00	350.270	21.55	
352.00	352.270	21.55	
354.00	354.270	21.55	
356.00	356.270	21.55	
358.00	358.270	21.55	
360.00	360.270	21.55	
362.00	362.270	21.55	
364.00	364.270	21.55	
366.00	366.270	21.55	
368.00	368.270	21.55	
370.00	370.270	21.55	



TOTAL $10,455$ $m^3$		MAT. DESP. $10,455$ $m^3$	
TERRAPLENES			
FORMACION	A	%	$2880$ $m^3$
			$16$
Y	A	%	$4405$ $m^3$
			$17.5$
COMPACTACION	A	%	$4233$ $m^3$
			$7.5$
BANDEAZO $m^3$			
PRESTAMOS			
GEOMETRICO EN EL PRESTAMO			
LATERALES DENTRO DE LA FAJA DE		DE BANCO	
20 m	$m^3$		
40 m	$m^3$		$58.15$ $m^3$
60 m	$m^3$		
80 m	$m^3$		
100 m	$m^3$		
A CARREOS			
PRODUCTO DE LOS CORTES		PRODUCTO DE LOS PRESTAMOS	
$m^3$ Est.	$m^3$ Nm.	$m^3$ Km.	$m^3$ Km.
$21533$	$20334$		$2175$

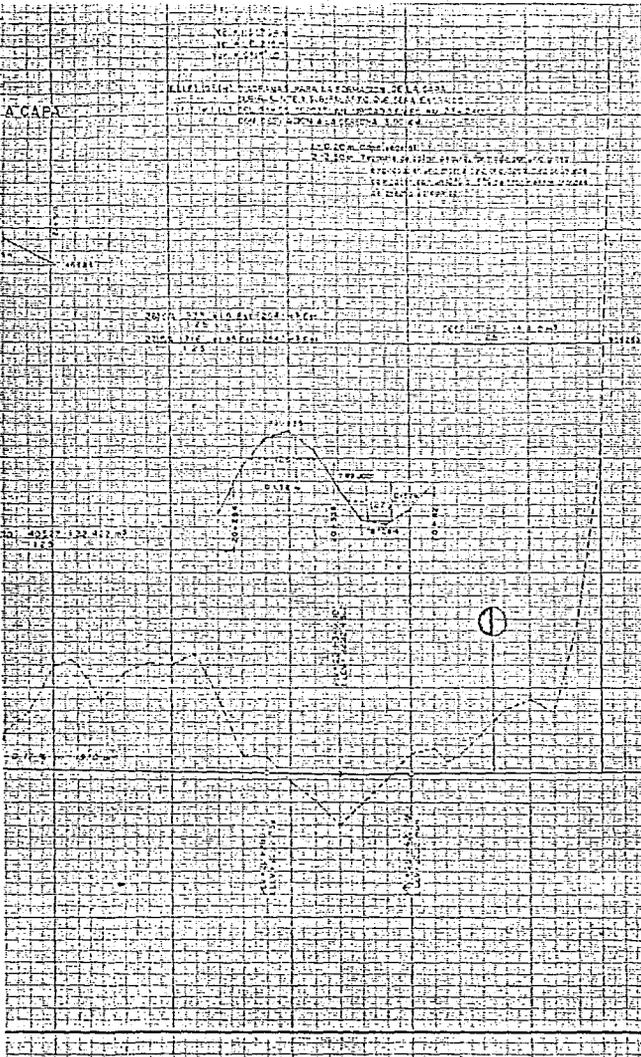
OBRAS DE ARTE	
EXCAVACIONES	
TOTAL	$m^3$
MAMPOSTERIA	
DE $2^o$	$m^3$
DE $3^o$	$m^3$
CAMPEAZO	$m^3$
CONCRETO	
FC $^o$	$m^3$
FC $^o$	$m^3$
FC $^o$	$m^3$
COLOPEO	$m^3$
FIERRO DE REFUERZO	
TOTAL	Kgs
ACERO ESTRUCTURAL	
TOTAL	Kgs
TUBOS	
DE	$m$
DE	$m$
DE	$m$

SUB - BALASTO	
DEL BANCO N $^o$	$2178$ $m^3$
S. AZARRO	$8058$ $m^3$
DEL BANCO N $^o$	$4159$ $m^3$
S. AZARRO	$12203$ $m^3$



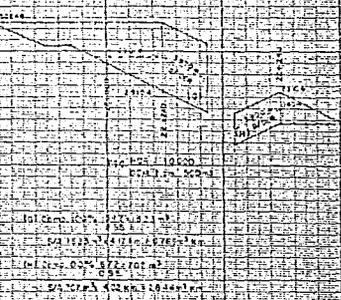
TERRACERIAS	CLASIFICACION GEOLOGICA		
	CLASIF PARA PRESUPUESTO		
	VARIABLES VOLUMETRICAS		
	VOLUMENES	TERRAPLEN	
		CORTE	
	GEOMETRICOS	TERRAPLEN	
		CORTE	
	ELEVACIONES ESPECIFICAS	TERRAPLEN	
		CORTE	
		SUB - RASANTE	
TERRENO			

A CAPA



8184000282872	02	1564	0	0	0
818100181930	042	2027	0	0	0
8182200258180	042	3142	0	0	0
823840025270	042	2420	0	0	0
840030020570	044	2114	0	0	0
840420020770	046	3352	0	0	0
840600020770	047	3472	0	0	0
841000020770	048	3617	0	0	0
841400020770	049	3772	0	0	0
841800020770	050	3937	0	0	0
842200020770	051	4112	0	0	0
842600020770	052	4297	0	0	0
843000020770	053	4492	0	0	0
843400020770	054	4697	0	0	0
843800020770	055	4912	0	0	0
844200020770	056	5137	0	0	0
844600020770	057	5372	0	0	0
845000020770	058	5617	0	0	0
845400020770	059	5872	0	0	0
845800020770	060	6137	0	0	0
846200020770	061	6412	0	0	0
846600020770	062	6697	0	0	0
847000020770	063	7002	0	0	0
847400020770	064	7327	0	0	0
847800020770	065	7672	0	0	0
848200020770	066	8037	0	0	0
848600020770	067	8422	0	0	0
849000020770	068	8827	0	0	0
849400020770	069	9252	0	0	0
849800020770	070	9697	0	0	0
850200020770	071	10162	0	0	0
850600020770	072	10647	0	0	0
851000020770	073	11152	0	0	0
851400020770	074	11677	0	0	0
851800020770	075	12222	0	0	0
852200020770	076	12787	0	0	0
852600020770	077	13372	0	0	0
853000020770	078	13977	0	0	0
853400020770	079	14602	0	0	0
853800020770	080	15247	0	0	0
854200020770	081	15912	0	0	0
854600020770	082	16597	0	0	0
855000020770	083	17302	0	0	0
855400020770	084	18027	0	0	0
855800020770	085	18772	0	0	0
856200020770	086	19537	0	0	0
856600020770	087	20322	0	0	0
857000020770	088	21127	0	0	0
857400020770	089	21952	0	0	0
857800020770	090	22797	0	0	0
858200020770	091	23662	0	0	0
858600020770	092	24547	0	0	0
859000020770	093	25452	0	0	0
859400020770	094	26377	0	0	0
859800020770	095	27322	0	0	0
860200020770	096	28287	0	0	0
860600020770	097	29272	0	0	0
861000020770	098	30277	0	0	0
861400020770	099	31302	0	0	0
861800020770	100	32347	0	0	0

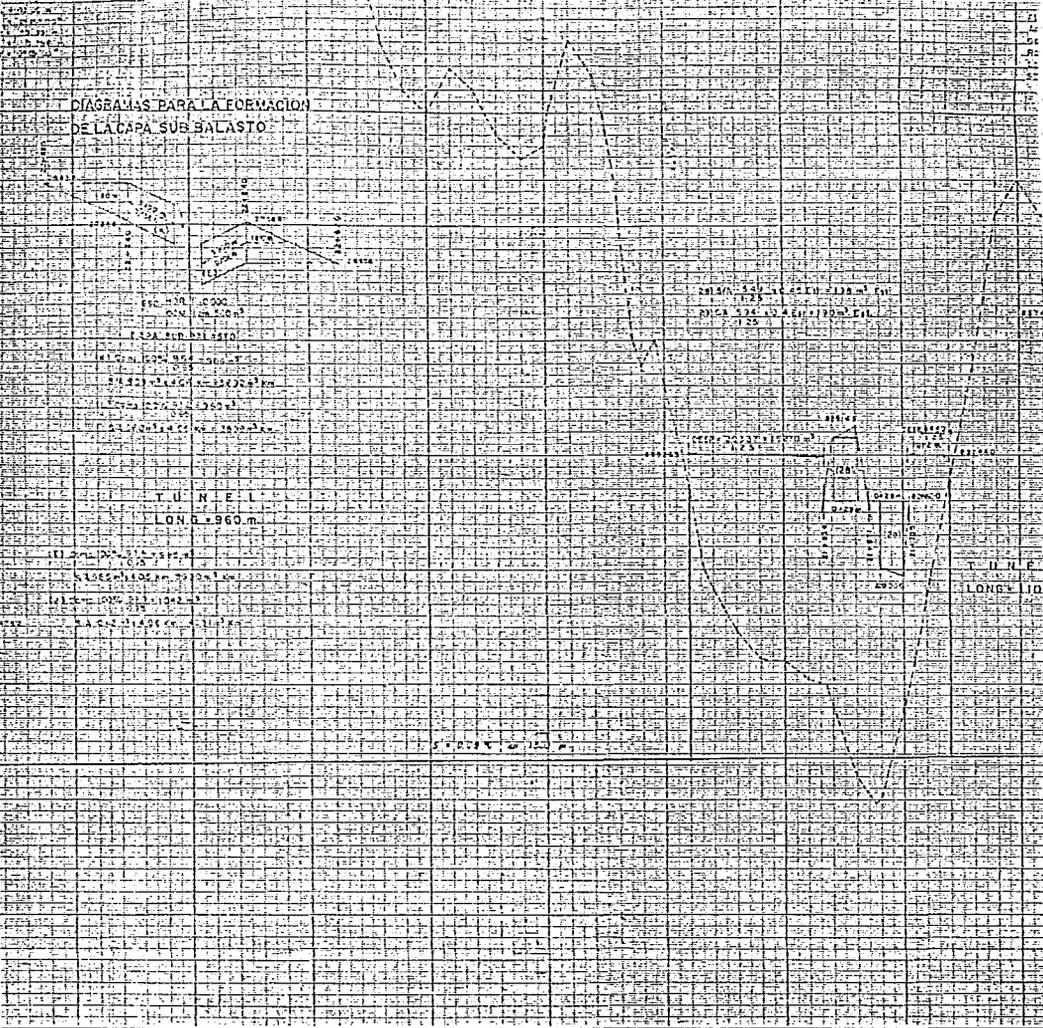
DIAGRAMAS PARA LA FORMACION DE LA CAPA SUB BALASTO



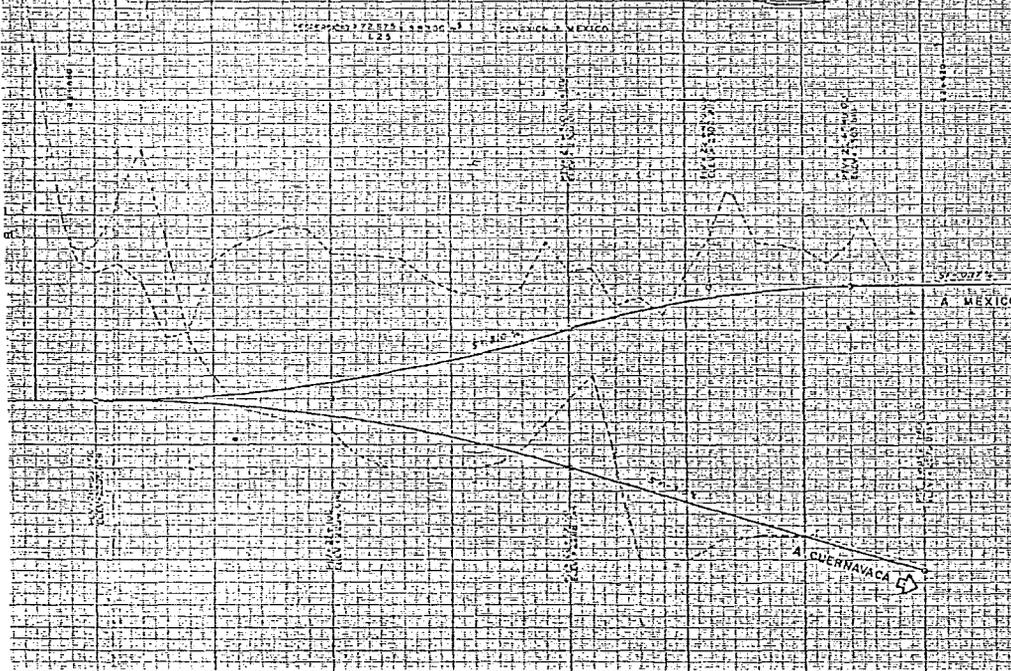
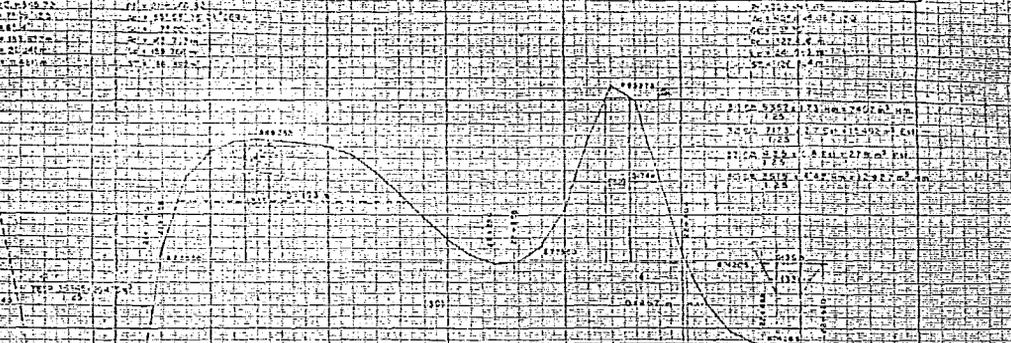
DIAGRAMAS PARA LA FORMACION DE LA CAPA SUB RASANTE



**DIAGRAMAS PARA LA FORMACION DE LA CAPA SUB BALASTO**



ESTACION	TIPO DE MATERIAL	CANTIDAD (m <sup>3</sup> )	COMentarios
1	Grava	10.00	
2	Grava	10.00	
3	Grava	10.00	
4	Grava	10.00	
5	Grava	10.00	
6	Grava	10.00	
7	Grava	10.00	
8	Grava	10.00	
9	Grava	10.00	
10	Grava	10.00	
11	Grava	10.00	
12	Grava	10.00	
13	Grava	10.00	
14	Grava	10.00	
15	Grava	10.00	
16	Grava	10.00	
17	Grava	10.00	
18	Grava	10.00	
19	Grava	10.00	
20	Grava	10.00	
21	Grava	10.00	
22	Grava	10.00	
23	Grava	10.00	
24	Grava	10.00	
25	Grava	10.00	
26	Grava	10.00	
27	Grava	10.00	
28	Grava	10.00	
29	Grava	10.00	
30	Grava	10.00	
31	Grava	10.00	
32	Grava	10.00	
33	Grava	10.00	
34	Grava	10.00	
35	Grava	10.00	
36	Grava	10.00	
37	Grava	10.00	
38	Grava	10.00	
39	Grava	10.00	
40	Grava	10.00	
41	Grava	10.00	
42	Grava	10.00	
43	Grava	10.00	
44	Grava	10.00	
45	Grava	10.00	
46	Grava	10.00	
47	Grava	10.00	
48	Grava	10.00	
49	Grava	10.00	
50	Grava	10.00	
51	Grava	10.00	
52	Grava	10.00	
53	Grava	10.00	
54	Grava	10.00	
55	Grava	10.00	
56	Grava	10.00	
57	Grava	10.00	
58	Grava	10.00	
59	Grava	10.00	
60	Grava	10.00	
61	Grava	10.00	
62	Grava	10.00	
63	Grava	10.00	
64	Grava	10.00	
65	Grava	10.00	
66	Grava	10.00	
67	Grava	10.00	
68	Grava	10.00	
69	Grava	10.00	
70	Grava	10.00	
71	Grava	10.00	
72	Grava	10.00	
73	Grava	10.00	
74	Grava	10.00	
75	Grava	10.00	
76	Grava	10.00	
77	Grava	10.00	
78	Grava	10.00	
79	Grava	10.00	
80	Grava	10.00	
81	Grava	10.00	
82	Grava	10.00	
83	Grava	10.00	
84	Grava	10.00	
85	Grava	10.00	
86	Grava	10.00	
87	Grava	10.00	
88	Grava	10.00	
89	Grava	10.00	
90	Grava	10.00	
91	Grava	10.00	
92	Grava	10.00	
93	Grava	10.00	
94	Grava	10.00	
95	Grava	10.00	
96	Grava	10.00	
97	Grava	10.00	
98	Grava	10.00	
99	Grava	10.00	
100	Grava	10.00	



2331.00	2322.00	2313.00	2304.00	2295.00	2286.00	2277.00	2268.00	2259.00	2250.00	2241.00	2232.00	2223.00	2214.00	2205.00	2196.00	2187.00	2178.00	2169.00	2160.00	2151.00	2142.00	2133.00	2124.00	2115.00	2106.00	2097.00	2088.00	2079.00	2070.00	2061.00	2052.00	2043.00	2034.00	2025.00	2016.00	2007.00	1998.00	1989.00	1980.00	1971.00	1962.00	1953.00	1944.00	1935.00	1926.00	1917.00	1908.00	1899.00	1890.00	1881.00	1872.00	1863.00	1854.00	1845.00	1836.00	1827.00	1818.00	1809.00	1800.00	1791.00	1782.00	1773.00	1764.00	1755.00	1746.00	1737.00	1728.00	1719.00	1710.00	1701.00	1692.00	1683.00	1674.00	1665.00	1656.00	1647.00	1638.00	1629.00	1620.00	1611.00	1602.00	1593.00	1584.00	1575.00	1566.00	1557.00	1548.00	1539.00	1530.00	1521.00	1512.00	1503.00	1494.00	1485.00	1476.00	1467.00	1458.00	1449.00	1440.00	1431.00	1422.00	1413.00	1404.00	1395.00	1386.00	1377.00	1368.00	1359.00	1350.00	1341.00	1332.00	1323.00	1314.00	1305.00	1296.00	1287.00	1278.00	1269.00	1260.00	1251.00	1242.00	1233.00	1224.00	1215.00	1206.00	1197.00	1188.00	1179.00	1170.00	1161.00	1152.00	1143.00	1134.00	1125.00	1116.00	1107.00	1098.00	1089.00	1080.00	1071.00	1062.00	1053.00	1044.00	1035.00	1026.00	1017.00	1008.00	999.00	990.00	981.00	972.00	963.00	954.00	945.00	936.00	927.00	918.00	909.00	900.00	891.00	882.00	873.00	864.00	855.00	846.00	837.00	828.00	819.00	810.00	801.00	792.00	783.00	774.00	765.00	756.00	747.00	738.00	729.00	720.00	711.00	702.00	693.00	684.00	675.00	666.00	657.00	648.00	639.00	630.00	621.00	612.00	603.00	594.00	585.00	576.00	567.00	558.00	549.00	540.00	531.00	522.00	513.00	504.00	495.00	486.00	477.00	468.00	459.00	450.00	441.00	432.00	423.00	414.00	405.00	396.00	387.00	378.00	369.00	360.00	351.00	342.00	333.00	324.00	315.00	306.00	297.00	288.00	279.00	270.00	261.00	252.00	243.00	234.00	225.00	216.00	207.00	198.00	189.00	180.00	171.00	162.00	153.00	144.00	135.00	126.00	117.00	108.00	99.00	90.00	81.00	72.00	63.00	54.00	45.00	36.00	27.00	18.00	9.00	0.00
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------

De esta manera, el resultado conocido como proyecto definitivo, es el que garantiza a través de cada una de las tangentes y curvas que constituyen los 22km de trazo, la velocidad óptima con un elevado rango de seguridad a un costo mínimo.

Esto define casi por completo la construcción de la vía en cuestión, sin embargo, al llevar este trazo de proyecto al campo, nuevamente es sujeto de una revisión final.

Se recordará que el proyecto definitivo, fue resultado de un análisis matemático a partir de un trazo preliminar en campo llevado a los planos, por lo que es importante que la línea definitiva se proyecte sobre dichos planos preliminares efectuando ligas angulares y lineales entre ambos trazos, de manera que se pueda localizar la línea definitiva sobre la ya trazada en campo.

De no utilizar ligas angulares, es factible la referenciación de los puntos mediante ordenadas, esto permitiría identificar y ubicar balizas que produzcan un alineamiento ajustable en campo para marcar las tangentes.

Los ángulos de deflexión de las curvas en campo, deben ajustarse a las calculadas en proyecto, con errores menores a los aceptables por los polígonos cerrados con la preliminar.

El personal que integra las brigadas, así como los elementos de los que se valen para el trazo definitivo en campo, son los mismos que se emplearon para el trazo preliminar, de hecho, la metodología es idéntica, solo que ahora el Ingeniero trazador se apoya en la línea preliminar y fija en el punto de arranque, la dirección de la primera tangente.

Efectuado lo anterior se empieza a cadenear con estaciones a cada 20m, hasta llegar al kilometraje correspondiente al primer PI, lo cual permitirá

definir en adelante todos los elementos que definen la curva, con cuerdas a cada 20m.

En este caso, las estacas testigo se marcan con crayon de color (preferentemente azul), para diferenciar este kilometraje con el de la ultima preeliminar.

Ademas de la ubicacion de dicho trazo, debera nivelarse este en base a los procedimientos ya descritos, referenciandose nuevamente y en todo momento, puntos de posicion fija tales como: bancos de nivel, raices de arboles, casas, salientes rocosas, etc. De estos resultados depende la ultima oportunidad para afinar el proyecto y obtener economias de construccion no despreciables.

Como en el trazo preeliminar, al final del dia, el Ingeniero trazador debe comprobar su trazo calculando el cierre del trazo definitivo, con respecto de la linea preeliminar.

Nuevamente se hace presente la experiencia del Ingeniero trazador, al desplazar la linea de proyecto hacia afuera o hacia adentro, sin subir o bajar la rasante, motivado por el excesivo desperdicio, prestamos de grandes terraplenes, muros limites o drenaje insuficiente.

Esto se logra, seccionando dichos tramos y dibujandolos en escala 1:100 (seccion transversal), usando un patron de la seccion en papel o mica transparente, con el fin de encontrar una mayor economia aun durante la etapa de construccion.

De hecho, aun en el campo y durante la ubicacion del trazo definitivo, se pueden variar ligeramente los grados de curvatura en pos de la economia antes mencionada. Si esta se logra por ejemplo, al corregir el trazo con  $G=1^{\circ} 55'$  o  $G=2^{\circ} 07'$  en lugar de  $G=2^{\circ} 00'$ , es aceptable ya que no hay

especificacion que limite el empleo de grados de curvatura con aproximacion a 1, sobretodo cuando estos refinamientos son en extremo dificiles de visualizar en planos aproximados a la escala 1:2000.

Esto confirma y facilita la correccion del proyecto, redundando en una mayor economia, sobretodo en terreno de lomerio.

Un trabajo a detalle, como lo constituye el trazo definitivo en campo, representa un costo elevado, el cual se inflaria aun mas, si despues de algun tiempo se tuviera que volver a elaborar, debido a la perdida de las estacas. Esto da una gran importancia al hecho de que se deberan instalar mojoneras de concreto con el fin de referenciar a futuro; aunado a la ubicacion del trazo con respecto a puntos fijos.

Todos los cambios que sufra el trazo deberan asentarse en un plano final del trazo real, para la construccion y tendido de via bajo condiciones optimas . En este plano, deberan aparecer tambien los puntos de referenciancion antes mencionados.

#### *4.4. Levantamiento del perfil definitivo.*

Conforme avanza el trazo definitivo en el campo, debera elaborarse simultaneamente, la nivelacion de dicho trazo, para lo cual se debe contar dentro de la brigada topografica con un Ingeniero Nivelador.

Esta nivelacion se elabora de igual manera que en la nivelacion preliminar, es decir, se efectua la nivelacion del perfil de ida y se comprueba y ajusta con la de regreso. Esto requiere de fijar bancos de nivel a por lo menos cada 500m y se ubican fuera de lo que se considera el

derecho de via, con el fin de que no sean destruidos u ocultos durante la construccion de la misma.

En el gabinete, el Nivelador despues de calcular y comprobar su nivelacion, dibuja a lapiz en papel milimetrico transparente, en escala horizontal 1:2000 y escala vertical 1:200, el perfil de dicho trazo, apoyandose en los elementos calculados para cada una de las curvas verticales.

El levantamiento correcto asi obtenido del perfil definitivo, es de gran importancia debido a que la comparacion del perfil del trazo con respecto del terreno natural, definira de inmediato las alturas de corte y terraplen que deberan de efectuarse durante la construccion y esto redundara, en una mayor economia al disminuir acarrees, como se analizara en lo correspondiente a la curva masa.

El correcto analisis y definicion de esta curva masa depende, ademas de los volumenes de terreno por cortar o rellenar, de la calidad del material que constituye dichos terrenos; con el fin de poder identificar el material que por sus caracteristicas, puede formar parte de alguna de las etapas que constituyen la construccion del cuerpo del terraplen.

Es asi como la obtencion del perfil definitivo, provee de un excelente plan de trabajo a los Ingenieros en mecanica de suelos, los cuales elaboran un reconocimiento de la zona de estudio y en particular, una exploracion y muestreo sobre la linea de trazo, asi como de los posibles bancos de prestamo.

Estos analisis, reciben un mayor enfasis en las zonas donde se requiere y que como ya se menciono, son las que representan cortes o terraplenes excesivos.

La intencion de estos analisis, es proveer de la informacion necesaria para obtener una mayor economia y seguridad en la construccion de la via. Gracias a esto, se obtienen datos como:

- a) La utilizacion probable de los materiales de acuerdo a su calidad.
- b) El tratamiento mas recomendable tanto para su utilizacion, como para su extraccion.
- c) Su coeficiente de varaibilidad volumetrica.
- d) Su clasificacion para presupuesto.
- e) Los taludes recomendados tanto para corte como para terraplen y
- f) Sus caracteristicas en general.

Habiendo obtenido el perfil definitivo del trazo en estudio, se procede a la elaboracion de la curva masa, apoyandose en las observaciones y recomendaciones de la mecanica de suelos, como resultado de un sinumero de analisis propios de la materia y que por escapar al objetivo principal de este trabajo, en lo que a proyecto geometrico se refiere, solo se mencionaran los resultados de estos analisis.

Como se puede observar en la figura (4.18) donde aparece el perfil definitivo, el terreno recibe varias clasificaciones, ya sea del tipo A, B, C, D, etc., lo cual abrevia las caracteristicas generales que a continuacion se presentan y que son resultado, de los analisis de mecanica de suelos antes mencionados.

- A) Material que por sus caracteristicas de calidad no debe de utilizarse en el cuerpo del terraplen, sino unicamente en el arroje de los mismos.
- B) Material que por sus caracteristicas de calidad puede utilizarse unicamente en la formacion del cuerpo del terraplen. En cortes y

terraplenes formados en este material, se debera proyectar capa de subrasante de 0.30m, compactada al 100% y construida con material de los cortes anteriores y posteriores al tramo.

C) Material que por sus características de calidad puede utilizarse en la formación del metro superior del cuerpo del terraplen. Si el corte hecho en este material es mayor o igual que 2.50m, se colocara a partir de la cama del corte, la capa del sub-balasto de 0.30m de espesor; si el corte es menor que 2.50m se proyectara desde la capa subrasante de 0.30m de espesor, compactandola al 100% previa escarificación y compactación al 95% de la superficie descubierta por el corte en los 0.15m superiores.

D) Material que por sus características de calidad puede utilizarse en la formación del cuerpo del terraplen y capa subrasante.

E) Material que por sus características de calidad puede utilizarse en la formación del cuerpo del terraplen, capa subrasante y capa de sub-balasto.

G) En cortes formados en este material, se escarificara y bandeara la superficie descubierta; y se proyectara desde la capa de sub-balasto de 0.30m de espesor, construida con material de préstamo del banco más cercano.

H) En cortes realizados en este material se verificara la superficie descubierta en toda su longitud para detectar posibles fallas o fracturas que ocasionen la incrustación del balasto, ocasionando problemas a la superestructura; en caso de que se detecten fracturas, se deberan cortar 0.30m adicionales y se le dara un tratamiento adicional a la superficie descubierta, construyendo capa de sub-balasto de 0.30m.

Si por el contrario, no se detectan fallas ni fracturas, se proyectara

unicamente la capa de balasto de 0.30m de espesor, con material de prestamo del banco mas cercano.

l) Si la cama del corte se ubica en ese material, se colocara unicamente la capa de balasto de 0.30m de espesor y se construira con material de prestamo de el banco mas cercano.

Esto obliga a seguir las siguiente observaciones generales para todo el tramo:

1. Los trabajos se iniciaran con el desmonte, desenraice y limpieza general del area en donde quedara alojado el cuerpo de la via ferrea de acuerdo a lo indicado en el proyecto.

2. El despalme se hara hasta la profundidad indicada en las hojas de datos geotecnicos y de manera conveniente para eliminar el material correspondiente al primer estrato.

3. Los terraplenes desplantados en un terreno con pendiente natural igual o mayor al 25%, se anclara al terreno natural mediante escalones de liga a partir de los ceros de los mismos; el ancho de huella de cada escalon en material tipo A y B sera de 4m y en material de tipo C sera de 2m, la altura en ambos casos sera de 1.20 y 2.0m respectivamente. La separacion sera la necesaria dependiendo de la topografia.

4. En todos los casos el cuerpo del terraplen se compactara al 90% o se bandeara segun sea el caso, excepto en el metro superior ya que este se compactara al 95% de su peso volumetrico seco maximo; las capas subrasante y de sub-balasto se compactaran al 100%; los grados de compactacion indicados son con respecto de la prueba Proctor Estandar o Porter, dependiendo de la granulometria del material.

5. Se debera evitar rocas o boleos sueltos en los taludes de los cortes, asi

como material susceptible de provocar caídas que invadan la vía.

6. Los taludes de los terraplenes se deberán arropar con el material producto del despalme.

7. Se debe propiciar la forestación de taludes, tanto en cortes, como en terraplenes, mediante vegetación para evitar la erosión de los mismos.

8. Previo inicio de la construcción de las terracerías se deberán construir las obras de drenaje en todos los cauces que así lo requieran, una vez terminadas tales obras, deberán protegerse de manera que durante la construcción del terraplenes no se dañen.

9. Las cunetas y lavaderos colocados a lo largo del tramo deberán revestirse con concreto hidráulico con un  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$  con un espesor de 0.08m.

10. Los lavaderos y bajadas deberán ir conectadas hasta los cerros del terraplen, para evitar que descargen directamente sobre el talud, provocando erosión del mismo.

11. Los taludes de proyecto para cortes serán los siguientes:

MATERIAL	ALTURAS ( m )	TALUD
Arcillas y limos arenosos	$0.0 \leq h \leq 5.0$	Combinado: 1/4:1 en la parte inferior y 3/4:1 en los 2.0 m superiores
	$5.0 \leq h \leq 10.0$	Combinado: 1/2:1 en la parte inferior y 1:1 en los 3.0 m superiores
Conglomerado *	hasta 5 m	1/2:1 en toda la altura
	mayor de 5 m	Combinado: 1/2:1 en la parte inferior 1:1 en las 2.0 m superiores
Brecha volcánica **	Cualquiera	1:1
Roca basáltica fracturada *	hasta 5 m	1/2:1
	mayor de 5 m	3/4:1
Roca basáltica sana	cualquiera	1/4:1

\* En caso de existir boleos sueltos una vez terminado el corte, se debera realizar un amacize, eliminando todos estos boleos.

\*\* Si el espesor del estrato es mayor de 5m y se encuentra a una altura mayor de 5m con respecto a la super estructura, se debera hacer un analisis de la estabilidad una vez terminado el corte y se propondra en su caso la solucion conveniente.

Pudiendo existir combinaciones de estos taludes en un mismo corte y con diferentes materiales.

12. Los taludes de proyecto a considerar para terraplenes, son las siguientes:

ALTURAS	TALUD
$0 \geq h \leq 4m$	1.0:1
$4 \geq h \leq 6m$	1.2:1
$6 \geq h \leq 8m$	1.3:1
$8 \geq h \leq 10m$	1.4:1
$h > 10m$	1.5:1

13. Cuando se indique como tratamiento probable "escarificado y compactado", se tratara de esta manera a un espesor de suelo igual al de la siguiente tabla; para todos los casos el grado de compactacion sera igual al 95% de su P.V.S.M.

ALTURA DE TERRAPLEN (m)	ESPESOR (m)
0 - 1	0.30
1 - 2	0.15
mayor de 2	0.00

14. En los tramos de corte en los que existan bajadas de agua importantes, se debiera construir un "sifon" para evitar que el agua sature la estructura de la via y provoque erosion y/o contaminacion por finos.
15. Se recomienda que para lograr un mayor avance en los trabajos de compactacion se utilice un equipo WT-10 de 11 toneladas o similar.

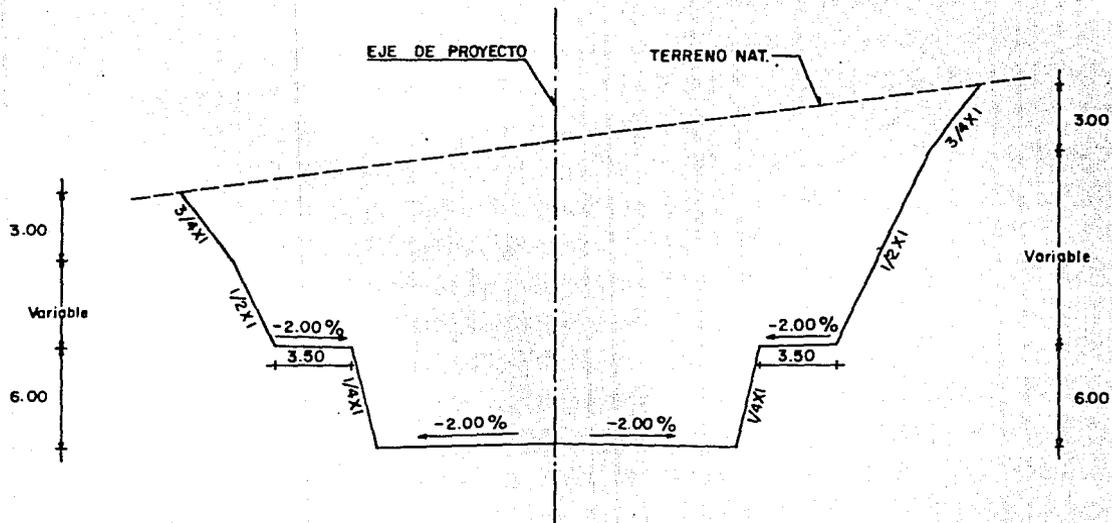
A pesar de que las recomendaciones de taludes en cortes indiquen lo contrario, a continuacion se recomienda una seccion en cortes de mas de 6m (ver figura 4.19).

Se propone una berma de 3.5m de ancho a 6m de altura respecto a la rasante.

Se considera conveniente la berma ya que permitira recibir las caidas del talud arriba de ella. El ancho escogido corresponde al minimo en que cabe un tractor D-7. La altura se escogio debido a que, si despues de la excavacion se observa que el talud comprendido entre ella y la rasante esta en mal estado, su estabilizacion sea sencilla aun despues de haber puesto en operacion la via.

El talud de 1/2:1, arriba de la berma se escogio con objeto de disminuir a un minimo razonable, durante la vida util de la obra, las caidas sobre la berma, mismos que deberan ser iluminados por los trabajos de conservacion normales.

Finalmente, el talud 3/4:1 en los 3m superiores se ha recomendado debido a la observacion efectuada en otras obras similares, en el sentido de que el suelo superficial siempre tiene caidas si la indicacion del talud es mas cercana a la vertical.



TALUDES EN CORTES DE  
ALTURA MAYOR QUE 6.00 mts.

(FIG. 4.19)

#### 4.5. Curva masa.

El analisis del tramo a traves del cual corre la via en estudio, se ha elaborado buscando las opciones que puedan brindar la mayor eficiencia durante el recorrido del tren, a un costo minimo.

Dentro de este ultimo punto, parte importante de la economia del proyecto lo constituye la construccion de la curva masa, definiendose esta como: "un diagrama de los volumenes acumulativos por estaciones, donde los cortes se consideran con signo positivo y los volumenes de terraplen, con signo negativo, de tal modo que en cualquier lugar puede conocerse el balance entre ambas cuentas." (Togno, M.,1982,pp.98)

De esta definicion, se desprende precisamente su importancia, debido a que el costo de mayor impacto en la construccion de la via (como se analiza en el siguiente capitulo), es el que representa el movimiento de tierras, ya sea para efectuar grandes cortes o para los tendidos de terraplen.

Se trata pues, de aprovechar el material producto de un corte en la construccion del terraplen, de acuerdo a las caracteristicas especificas de cada material; con el fin de ocasionar los menos acarrees posibles. Debido a que durante la construccion de la via, el contratista cobra acarrees de  $m^3$  por estacion,  $m^3$  por hectometro y  $m^3$  por km, con costos que varian de menos a mas respectivamente.

Es aqui donde se hacen valiosas las observaciones, que sobre las caracteristicas del terreno dictamina el estudio de mecanica de suelos de las paginas anteriores, ya que en ellas se encuentra contenida la probable utilizacion del material de corte en la construccion de terraplenes y el procedimiento adecuado para lograrla; asi como los taludes de corte y

tratamientos, con el fin de evitar desbordamientos.

La curva masa se construye a partir del perfil definitivo de proyecto, como el que aparece en la figura (4.18) y generalmente se elabora, en la parte superior del mismo, como se puede observar.

Es decir, que la elevación de cierto tramo de la curva masa señala un corte donde la ordenada parcial de cada estación, representa su volumen en cifras abundadas; mientras que el descenso de la misma curva masa, representa el relleno o terraplen necesarios para mantener la rasante de proyecto, donde al igual que en el corte, las ordenadas representan dichos volúmenes.

El perfil natural del terreno con respecto de la rasante de proyecto, va definiendo los tramos donde se hace necesario un corte o un terraplen y la curva se va construyendo al graficar estos volúmenes.

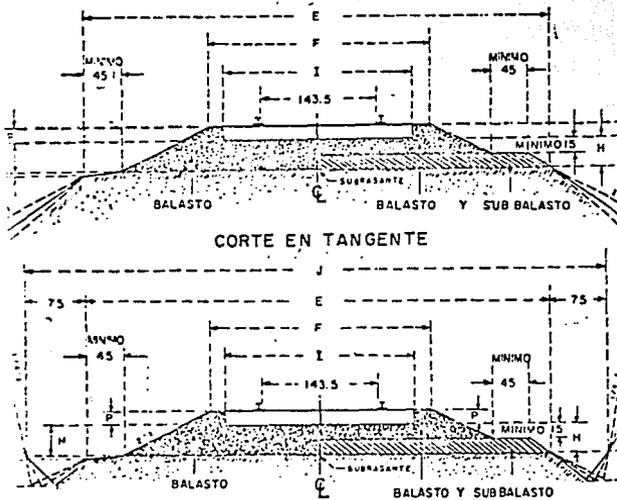
Se grafica la curva masa, con valores en las estaciones a cada 20m y con los datos de elevaciones, proporcionados por el cálculo de curvas verticales, así como las del terreno natural, con el fin de obtener la diferencia de alturas entre estos.

Por otra parte, el ancho del corte o relleno, se determina por las secciones de corte o terraplen necesarias para el buen funcionamiento mecánico de los materiales empleados, así como el ancho mínimo requerido para el tendido de vía y cuyas secciones mínimas, se encuentran especificadas en el Manual de Especificaciones Generales para Proyecto Geométrico de Vías Ferreas y que se reproducen en la figura (4.20).

De esta manera, se van obteniendo los diferentes volúmenes, a partir de la multiplicación de la sección tipo correspondiente, por los 20m de la estación y por la diferencia de alturas, entre el terreno natural y la

(FIG. 4.20)

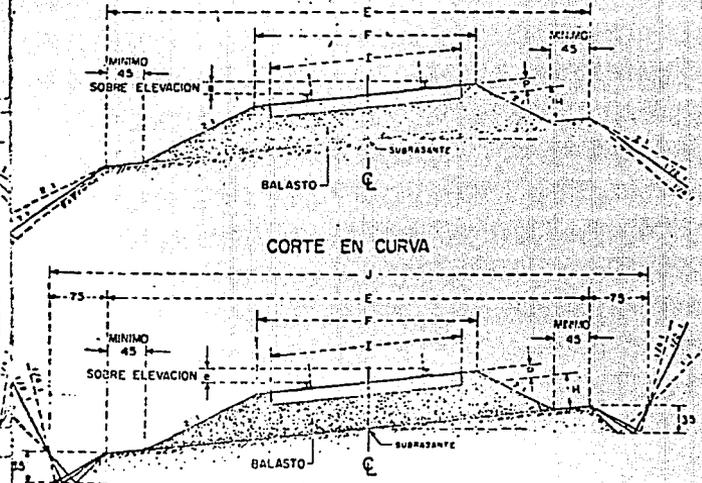
## TERRAPLEN EN TANGENTE



VIAS FERREAS	E	F	H	I	J	P
CLASE A	550 o 700	290	20 o 60	260	700 o 850	20
" B	550 o 660	280	20 o 50	244	700 o 810	20
" C	500 o 620	280	15 o 40	244	650 o 770	18
" D	500 o 560	280	15 o 30	244	650 o 710	18

EN VÍAS CON SEÑALIZACIÓN ELÉCTRICA LA CORONA DEL BALASTO DEBE QUE  
 QUAJE 5 CM. ABAJO DE LA CARA SUPERIOR DEL DURMIENTE.  
 TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN CENTÍMETROS.

## TERRAPLEN EN CURVA



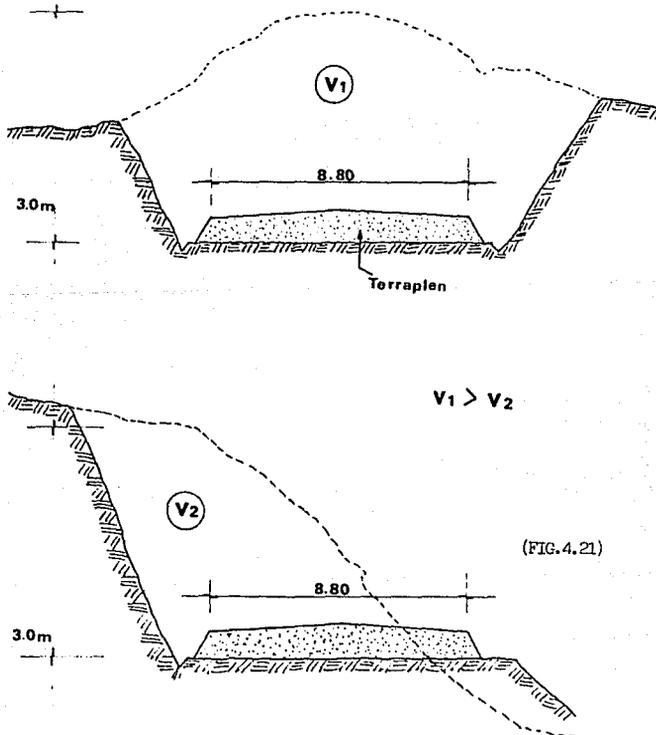
VIAS FERREAS	E	F	H	I	J	P
CLASE A	550 o 710	290	20 o 60	260	700 o 860	20
" B	550 o 660	280	20 o 50	244	700 o 810	20
" C	510 o 620	280	15 o 40	244	660 o 770	18
" D	510 o 570	280	15 o 30	244	660 o 720	18

DETERMINADOS  $\theta$ , F, H, Y LOS TALUDES DE LA TERRACERIA, PROYECTESE LA SECCION CON BERMAS DE IGUAL ANCHO EN AMBOS LADOS, MANTENIENDO PARA  
 LA LA CORONA DE LA TERRACERIA A LA DEL BALASTO Y EL SUB-BALASTO.  
 EN VÍAS CON SEÑALIZACIÓN ELÉCTRICA LA CORONA DEL BALASTO DEBE QUE  
 DAR 5 CM. ABAJO DE LA CARA SUPERIOR DEL DURMIENTE.  
 TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN CENTÍMETROS.

rasante de proyecto.

Con el fin de poder identificar, la seccion tipo a emplear, se recomienda que se trace en la parte superior de la curva masa, una linea de identificacion de curvas horizontales.

No obstante, el volumen mas aproximado es el obtenido en campo por el Ingeniero trazador, debido a que el volumen de corte o relleno producto del perfil transversal del terreno natural, no siempre se ajusta al ancho de la seccion especificada, ya que, por ejemplo, un corte puede atravesar una colina por el centro, o bordearla por las afueras; en cuyo caso el volumen variara no obstante se trate de la misma seccion, como se muestra en la figura (4.2.1).



Lo anterior es motivo para que la curva masa se construya en base a los datos obtenidos en campo, incluso sus volúmenes geométricos, los cuales se van vaciando en la parte inferior del plano del perfil definitivo, para llevar un control de acuerdo al kilometraje del trazo.

De esta manera, por ejemplo, en el km 0+120 del proyecto, se tiene una elevación del terreno de 2054.783m y una elevación de rasante de 2053.598m. Esta diferencia de alturas es de 1.185m .

Al observar en la parte superior del diagrama de curvas horizontales se distingue que este corte corre a través de una curva, esto nos conduce a la sección tipo de corte en curva. Esto indica que se debe lograr un corte de 8.80m mínimo de ancho.

El volumen de corte se obtiene entonces, al multiplicar (1.185m ) de profundidad por (8.80m) de ancho por (20.0m) de largo de la estación. Esto da un resultado de 208.56m<sup>3</sup> y que al revisar los resultados de mecánica de suelos, se tiene que su coeficiente de abudamiento es de 1.1, por lo que el volumen de corte de proyecto es de 229.42m<sup>3</sup>.

Sin embargo, el volumen especificado en la curva masa es de 184.0m<sup>3</sup>, es decir, 45.42m<sup>3</sup> menos que los calculados. Esto indica, que existe una variación en la sección de corte natural del terreno, diferente a la supuesta por las secciones tipo.

Esto hace necesario el dibujo de la sección transversal de cada una de las secciones de la cama de corte, con el fin de facilitar en el futuro el cálculo de volúmenes, para trabajos tales como: la reducción del grado de curvatura, la construcción de escapes, la construcción de pasos a desnivel, o simplemente para su mantenimiento, sin tener que efectuar nuevamente los estudios ya mencionados.

En obvio de espacio, se omiten dichas secciones en el presente estudio, ya que estas se dibujan en cada una de las estaciones (a cada 20m), lo que representa 1110 secciones. Debido a esto, solo se desarrollara el calculo en base a los volumenes de corte o terraplen, resultado de las observaciones en campo y que aparecen en la parte inferior de la figura (4.18), donde aparece tambien la curva masa en cuestion.

En la siguiente estacion 0+140 se tiene que el nivel del terreno natural es de 2056.949 m y el de la subrasante es de 2053.303m, por lo que el espesor de corte es de 3.646m y su volumen de  $3.646\text{m} \times 8.80\text{m}$  (se trata de una seccion de corte en curva) y  $\times 20\text{m}$ .

Esto da como resultado  $641.696\text{m}^3$ , teniendo un coeficiente de abundamiento de 1.1. El resultado final es  $641.696 \times 1.1\text{m}^3 = 705.8656$ ; sin embargo se observa que el volumen vuelve a variar, es decir, el volumen de corta calculado en campo es de  $511.0\text{m}^3$ .

Para graficar este valor en la curva masa, se suma (acumula) al valor de corte de la estacion anterior de  $184.0\text{m}^3$ , por lo que el punto en la curva para la estacion 0+140 sera de  $511.0\text{m}^3 + 184.0\text{m}^3 = 695\text{m}^3$ . Este proceso resulta demasiado util a fin de identificar los volumenes totales de corte o relleno en cada estacion, con lo cual se conocen los valores de acarrees de los mismos, asi como su posible utilizacion en la construccion de la via.

En lo que se refiere a los coeficientes de abundamiento, de los materiales producto de corte, el Departamento General de Construccion de Nuevas Vias de la Subdireccion General de Construccion de F.N.M., considera:

- Roca fija           coef.1.4
- Roca suelta       coef.1.2
- Tierra             coef. 1.1

estos valores son tomados salvo lo dictado específicamente por la mecánica de suelos, para algún tramo en particular.

Por otra parte, cuando los terraplenes son formados con material producto de corte, también sufren una variación volumétrica, resultado de la compactación de la que es sujeto.

Esto conduce, al empleo de coeficientes de variación volumétrica por compactación, los cuales varían para un mismo material, de acuerdo al grado de compactación solicitada, para alguna capa constitutiva del terraplen.

De esta manera, un mismo material tiene 3 diferentes coeficientes de variación volumétrica (cvv) por compactación, por ejemplo, un material puede tener un  $cvv=1.00$  para una compactación al 90% de la prueba Proctor, un  $cvv=0.95$  para un 95% y un  $cvv=0.90$  para un 100% de compactación de la misma prueba.

Estos coeficientes son dictados por los análisis de mecánica de suelos para cada material que constituye el trazo del terreno. De hecho, las hojas de resultado de estos análisis, deben contener para cualquier tramo de la línea de trazo en cuestión, los siguientes datos:

1. El kilometraje del tramo de estudio en cuestión.
2. La cantidad y espesor de los estratos de estudio.
3. La clasificación del suelo que conforma dichos estratos.
4. El tratamiento probable durante la construcción de la vía.

5. El coeficiente de variación volumétrica para un 90%, 95% y 100% de compactación de la prueba Proctor.
6. La clasificación según el presupuesto para fines de pago según su dureza (A, B, o C).
7. En caso de que sea factible la utilización del material en la construcción de la vía, las alturas máximas de corte o terraplen, así como los taludes recomendados y las observaciones que para su tratamiento se sugieren. Estas aparecen al final del tema anterior.

El conocimiento de las características del suelo, sienta la base del uso específico de ellos, el cual, en el caso menos favorable, es acarreado y desechado. Esto obliga a la designación de lugares de depósito de material no empleado. Este material de desecho, generalmente es el producto de los despalmes y los lugares para su depósito, no siempre se encuentran cerca del lugar de corte, por lo que el acarreo genera también un costo.

El análisis de los volúmenes y características del suelo a lo largo del trazo en el cálculo de la curva masa, presupone una gran labor en la cual se puede perder el proyectista, por lo que se emplea para su correcto cálculo, un registro como el que aparece en la figura (4.22), para el tramo comprendido entre el km 0+100 y el km 0+200.

Obtenida la gráfica de la curva masa a través de este laborioso proceso, se debe procurar que los volúmenes que definen la parte ascendente de la curva (cimas o campanas), como la definida entre el km 0+390 y el km 0+480, sean iguales a los de los sectores cóncavos (columpios o cubetas), como la definida en el tramo contiguo entre el km 0+480 al km 0+610.

Esto evita el pago por acarreos de material a grandes distancias. Sin embargo, el obtener el equilibrio entre cimas y columpios, es una tarea

### REGISTRO DE CURVA MASA

Est.	Elevacion		Especies		Areas Transversales				Dis/2	Coef.		Volum. Reales	Ordenada
	Terreno	Rasante	Corte	Terraplen	Corte	Terraplen	Corte	Terraplen		Abto	Com		
0+100	2 053.878	2 053.915	—	—	6.19	—							
0+120	2 054.783	2 053.598	1.185	—	7.96	—	14.150	—	10.0	1.1	—	184.0	600 294
0+140	2 056.949	2 053.303	3.646	—	4.78	—	12.740	—	10.0	1.1	—	511.0	600 478
0+160	2 058.413	2 053.030	5.383	—	12.36	—	17.140	—	10.0	1.1	—	1015.0	601 493
0+180	2 050.374	2 052.781	6.593	—	6.93	—	19.240	—	10.0	1.1	—	1395.0	602 888
0+200	2 059.759	2 052.554	7.265	—	19.72	—	26.600	—	10.0	1.1	—	2126.0	605 014

(FIG. 4.22)

demasiado difícil de lograr a primera vista. Esto hace necesario el auxilio de una línea compensadora que parte de dichas cimas y columpios de manera horizontal, con el fin de procurar el mencionado equilibrio.

La ubicación de esta línea compensadora, es de carácter puramente económico, debido a que depende de los volúmenes y distancias por acarrear.

De esta manera, el Manual de Especificaciones Generales de Construcción de F.N.M., establece en su inciso N-A-1-9.1.B) el concepto de acarreo libre, el cual dice: "Acarreo libre: es aquel cuyo costo se encuentra incluido en los precios unitarios de los conceptos de trabajo que así lo consideran y en consecuencia no es motivo de pago por separado.

Cuando el acarreo sea ejecutado por camión o motoescrpa, la distancia de acarreo libre será de 1 km; cuando el acarreo sea ejecutado con carretilla, parihuela, tarima o tractor, o bien cuando las excavaciones se ejecuten con draga o con pala, será de una estación de 20m. La distancia de acarreo libre será la comprendida a partir de alguna, algunas o todas las líneas perimetrales exteriores de intersección de los planos de las excavaciones con la superficie del terreno y las líneas paralelas a ellas distantes 20m."

Por otra parte, en el inciso N-A-1-9.1.C) se establece el concepto de sobreacarreo: "es aquel que se lleva a cabo a una distancia excedente a la fijada por el acarreo libre. "

Según el catálogo de conceptos del concurso SC-FCNM-SGC-05-91 que corresponde a la construcción de la vía motivo de este estudio, los conceptos relativos a cortes y acarreos de los diferentes tipos de suelo que constituyen el terreno natural, se determinan los siguientes precios:

<u>CONCEPTO</u>	<u>P.U.</u>
- Cortes en terracerias, material tipo A, cuando este se utilice en la construccion de terraplenes.....	5 677.35/m3
- Cortes en terracerias, material tipo B, cuando este se utilice en la construccion de terraplenes.....	6 224.70/m3
- Cortes en terracerias, material tipo A, cuando el material se desperdicie.....	5 677.35/m3
- Cortes en terracerias, material tipo B, cuando este material se desperdicie.....	6 224.70/m3
- Excavaciones de prestamo del banco Sto. Domingo ubicado a 900 m desviacion izquierda de la estacion 16+300 para formacion de terraplenes.....	6 224.70/m3
- Acarreos para terracerias, sobre acarreo de los materiales en distancias hasta de 5 estaciones.....	729.15/m3/est
- Acarreos para terracerias, sobre acarreo de los materiales en distancias hasta de 5 Hm.....	1 002.86/m3/Hm
- Acarreos para terracerias, sobre acarreo de los materiales en distancias de mas de 5 Hm.....	1 004.50/m3/Km

Es aqui donde destaca la habilidad del calculista, debido a que la intencion de la curva masa, es obtener las cantidades globales por tramo de via, de los volumenes de corte, terraplen, material aprovechable, material desaprovechable, prestamos y acarreo ya sea laterales o de bancos. Esto con el fin de obtener el presupuesto mas economico para la construccion de la via, de manera que si esta resulta demasiado cara, se tiene la necesidad de reubicar el trazo para eliminar grandes prestamos producto de grandes terraplenes innecesarios.

La habilidad radica en lograr que un proyecto que salva todos los

inconvenientes topograficos, resulte lo mas economico posible al equilibrar adecuadamente los conceptos de acarreo, prestamos y desperdicios.

Por ejemplo, la excavacion en corte de material tipo A y acarreo libre de una estacion es de 5.677.35 m3 y el sobre acarreo del mismo material es de 729.15/m3/est., por lo que si se analiza el corte efectuado en la estacion 0+360m, cuyo producto es necesrio acarrear hasta la 0+440 (4 est.), para la formacion de terraplenes, se tiene que el costo de esta operacion es:

Sobre acarreo 4 estaciones - 1 Libre	= 3 X 729.15 = 2 187.45
+ Corte con acarreo libre	= 5 677.35
	-----
Precio Total	= 7 864.85

Por otra parte el banco de prestamo mas cercano a dicha estacion, es el llamado Volcan del Aire, ubicado a 2.8 km desviacion derecha de la estacion 1+630, es decir a 4 km de la estacion 0+440, por lo que el costo de terraplener en estacion con material de banco seria:

Sobreacarreo 4 km - 1 libre desde Banco	= 3 X 1004.50 = 3 013.50
+ Corte con acarreo libre desde Banco	= 6 224.70
	-----
Precio Total	= 9 238.20

De esta manera, resulta mas economico utilizar en el terraplen el material producto del corte, en lugar del de Banco. De hecho, el precio del acarreo del material de Banco para esa distancia en particular indica que el sobreacarreo maximo, con el fin de igualar costos con material producto de corte es en general:

$$\text{Estacion (N)} = \left( \frac{\text{Costo Prestamo (\$)}}{\text{Costo sobre acarreo (\$SA)}} \right) + (\text{Acarreo libre})$$

en otras palabras:

$$N = (9\ 238.20/729.15) + 1 = 12 + 1 = 13 \text{ estaciones}$$

es decir, que para que el material de prestamo represente la opcion mas favorable, se necesita acarrear 14 estaciones hasta la 0+440 con material producto de corte.

Cabe mencionar, que en la operacion para obtener el sobre-acarreo maximo economico, no interviene el costo relativo a la excavacion en corte, debido a que no importa de donde se acarree el material, el corte se tiene que hacer como lo indica la propia rasante.

Este analisis de costos en acarreos, se realiza a lo largo de todo el trazo y con apoyo de la ubicacion de los Bancos que aparecen en el cuadro de la figura (4.23).

Se encuentra asi, que una de las finalidades de la curva masa en conjunto con la experiencia del Ingeniero Proyectista, es la de tener el acierto de definir la direccion que habra de tomar el acarreo del material producto de corte, asi como la distancia que habra de recorrer antes de ser necesario el pago de un material de prestamo, como se puede apreciar en el perfil y curva masa de la figura (4.18).

De ahí se desprenden los siguientes volúmenes totales:

- Despalme en corte.....	70 969.0 m3
- Despalme en terraplenes.....	48 368.0 m3
- Material aprovechable, producto de corte.....	427 884.0 m3
- Material desaprovechable, producto de corte.....	759 326.0 m3

- Formacion de terraplenes al 95%.....	350 237.0 m3
- Formacion de terraplenes al 100%.....	54 541.0 m3
- Formacion de terraplenes, bandeado.....	352 047.0 m3
- Prestamo de Bancos.....	273 156.0 m3
- Acarreos m3/est. en cortes.....	262 404.0 m3
- Acarreos m3/Hm en cortes.....	391 636.0 m3
- Acarreos m3/Km en cortes.....	144 775.0 m3
- Acarreos m3/Km de prestamo.....	1' 573 985.0 m3

Multiplicando estos volúmenes por su costo, se obtiene el presupuesto correspondiente a los movimientos de tierra por contratar.

Este, como es común, no es de ninguna manera el presupuesto exacto, pero sí el más aproximado; partiendo de que siempre existen variaciones en campo dictadas por la propia naturaleza.

Sin embargo, deberá servir como patrón a cumplir, en la estricta supervisión del Ingeniero residente al contratista, indicándole el destino que deberán tener los productos de corte y la estricta vigilancia del número y distancia de los acarreos.

La acertada elaboración de la curva masa, es el punto final en la elaboración del proyecto geométrico de una vía ferroviaria. Esto permite el análisis de la economía del movimiento de tierras del proyecto definitivo, el cual, como se ha podido observar, es el resultado de las especificaciones dictadas en pos de una mayor eficiencia en los trenes, con un índice máximo de seguridad.

Solo resta analizar si estas especificaciones geométricas, además de estar dictadas hacia un grado máximo de seguridad, también logran la economía deseada, punto de análisis del siguiente capítulo.

BANCO	UBICACION	VOLUMEN APROVECHABLE	USO
La Calera	A un costado Yautepec a 34km del km 11 + 500	288 000 m3	Sub-balasto-Balasto
Tepoztlán	A 2.5 km poblado San Juan	20 000 m3	Terraplén-Subrrasante-Sub-balasto
Santa Bárbara	A 4.2 km del km 3+750	30 000 m3	Terraplén-Subrrasante
Libramiento	A 21.7 km del km 3+125.00	96 000 m3	Terraplén-Subrrasante-Sub-balasto
San Juan	Km 21+340 sobre la línea de trazo	40 000 m3	Terraplén
Santo Domingo	A 300 m del km 16+250	37 000 m3	Terraplén-Subrrasante-Sub-balasto
Los Laureles	A 8.5 Km del km 10+040	68 000 m3	Terraplén-Subrrasante-Sub-balasto.
Volcán del aire	A 2.6 km del km 1+220	115 000 m3	Terraplén-Subrrasante-Sub-balasto

(FIG. 4.23)

## CAPITULO 5

### COSTOS

Durante el desarrollo del proyecto geometrico, se tuvo presente el concepto de condiciones optimas para su elaboracion, estas se traducen en economia y seguridad; medidas que se logran con la observacion de las especificaciones y recomendaciones que dictan los F.N.M.

De esta manera, una vez terminado el proyecto geometrico, corresponde la elaboracion del presupuesto para su construccion; donde se procuran incluir todos los conceptos que forman parte de los procesos constructivos de la vía.

Este presupuesto se realiza con los volúmenes producto de la optimización de la vía, consecuencia de la acertada elaboracion de la curva masa.

Esto permite obtener una evaluacion del acertado empleo de las especificaciones geometricas y del costo de construccion por kilometro de vía.

Esta ultima, es de extrema importancia económica, debido a que el costo es el de 1 km de via óptima, lo cual repercute directamente en el desarrollo de nuevas vías y el mantenimiento de las ya existentes.

La elaboración de este presupuesto es fundamental, dada la necesidad de concursar públicamente su construcción, cuya evaluación de las cotizaciones presentadas por las diferentes compañías, dependerá de la comparación con el asi obtenido.

En obvio de espacio y por escaparse al objetivo principal de este estudio, se presenta el costo por unidad de longitud de las partidas constituidas por un gran número de conceptos; es decir, se provee únicamente de los elementos necesarios para la evaluación antes mencionada.

En este sentido, se analiza el tramo comprendido entre el km 11 + 230 al km 17+ 100. Esto se debe a que en él se encuentran comprendidos la construcción de pasos superiores, pasos inferiores, puentes y túneles, lo que dá una idea más aproximada del costo de construir la vía a través de un terreno de lomerío suave.

### *5.1. Terracerías.*

Las terracerías están constituídas por los materiales que componen la infraestructura o elementos de apoyo de la estructura (la vía).

De esta manera, el concepto de terracerías alberga la construcción de terraplenes constituídos por una serie de capas de material por un lado y cortes en el terreno natural por el otro.

Como elementos estructurales, las capas que conforman las terracerías distribuyen las presiones transmitidas por la carga viva a través de los rieles, durmientes y balasto. Para lograr esas cualidades, se emplean dos procesos diferentes, que dan lugar a 2 tipos de capas: a) La capa de subrasante como capa de mejoramiento de las terracerías y de la capa de sub-balasto.

Además de la transmisión de esfuerzos, se pretende que con esta estructura se logre la estabilidad de la vía, constituyendo ésta una cimentación. Sin embargo, en los cortes se prescinde de un terraplen, debido a que durante el corte se elimina la capa de terreno intemperizado y se llega al terreno sano o estable, suficiente para soportar los esfuerzos antes mencionados, sin ocasionar un probable desnivel de la vía a futuro.

Esto no es una regla, ya que no obstante la realización del corte, se

deben efectuar pruebas de mecánica de suelos para definir su resistencia a los esfuerzos de que será sujeto y en caso de necesitarlos, se propondrá la construcción de terraplenes.

La capa subrasante se forma con el mismo material de las terracerías, al cual se le dá un tratamiento especial que las mejora. Este mejoramiento se obtiene en algunos casos, agregando antes de compactar el material, otra clase de materiales que modifiquen favorablemente su granulometría; en otros casos, dándole únicamente un mayor grado de compactación que al resto de las terracerías.

El espesor de la capa subrasante varía de 30 a 50 cms y se construye como apoyo del sub-balasto, en terracerías de materiales poco resistentes y en la parte superior de la sub-estructura, cuando se considera innecesaria la capa de sub-balasto.

Estos espesores, así como sus talúdes, son definidos por las características mecánicas del material a emplear, dictadas por lo tanto por los estudios de mecánica de suelos respectivos.

Por último, como parte superior de la sub-estructura se encuentra la capa denominada sub-balasto, la cual está constituida por materiales procedentes de suelos, depositos naturales o rocas alteradas, generalmente sin ningún tratamiento previo a su utilización.

Además de las funciones estructurales y de drenaje que proporciona a la capa inmediata de balasto, esta capa debe impedir la incrustación del material, al que sirve de apoyo. Esta también lleva la función de afinar las terracerías, por lo que constituye una superficie que limita a la sub-estructura y su perfil, que será una línea paralela a la rasante. Esta línea debe ser la base para el proyecto y construcción de terracerías.

Todo esto, presupone el empleo de materiales mejor graduados y de

mejores condiciones mecánicas, en la construcción de esta capa.

De manera similar que en las otras capas, los estudios de mecánica de suelos determinan el espesor y grado de compactación necesarias para lograr sus condiciones óptimas.

Se observa, que cuando la capa subrasante esta formada por gravas o arenas mas o menos bien graduadas, o mezcladas con otro material que favorezca su comportamiento, no se necesita de la capa de sub-balasto.

De esta manera, los procesos constructivos a emplear buscan lograr las condiciones de servicio de cada una de las capas mencionadas y podrán variar, dependiendo del tipo de maquinaria y materiales a emplear; pero siempre garantizando los resultados solicitados por la mecánica de suelos y que habrán de apoyarse durante su ejecución, en el Manual de Especificaciones Generales de Construcción de F.N.M., tanto en cortes como en terracerías.

Este procedimiento da como resultado la obtención de los costos unitarios de \$1 441' 896 907.00/km construido de terraplen y de \$1 688' 511 114.00/km de corte. Sin embargo, se debe recordar que tanto terraplenes como cortes cuentan con una gran variedad de espesores, dictados por el terreno natural; por lo que a fin de obtener un costo unitario por m<sup>3</sup>, se procede a tomar los datos de espesores en cada estación de 20m, obteniendo con ello el promedio de altura.

De esta manera, el espesor promedio de los terraplenes tendidos en el tramo que comprende entre el km 11 + 230 al km 17 + 100, es de 4.43m y el de los cortes de 8.092 m, obtenidos a partir de los datos que aparecen en el perfil definitivo y curva masa de la figura (4.18).

En este mismo perfil aparecen las secciones tipo de terraplen y corte, observándose que en los talúdes de terracerías se especifica un

afinamiento de 1.5 X 1 y un ancho de corona de 7 m, mientras que para los cortes el afinamiento es de 1/4 X 1 y 8.80 m de basamento, por lo que conociendo su altura se sabrá el área de la sección transversal promedio. Esta área es de 60.45m<sup>2</sup> para terraplenes y de 87.60m<sup>2</sup> para cortes.

Con estos datos, se obtiene que 1m de terraplen promedio tiene 60.45m<sup>3</sup> de material, mientras que para los cortes se tiene que su volumen promedio de corte es de 87.60m<sup>3</sup> por cada m.

Estos datos comparados con el costo unitario de \$1' 441 896.91/m de terraplen y \$ 1' 688 311.11/m de corte ofrecen así el costo por m<sup>3</sup> de estructura construída, es decir:

Terraplen: ( \$ 1' 441 896.91 ) / (60.45 m<sup>3</sup>) = \$23 852.72/m<sup>3</sup>

Corte: ( \$ 1' 688 311.11 ) / (87.60 m<sup>3</sup>) = \$19 272.96/m<sup>3</sup>

Los costos así obtenidos además de ser de gran utilidad en la obtención rápida y aproximada de presupuestos de vías en condiciones similares, permitirán elaborar una adecuada evaluación entre el sistema de terracerías-cortes y el de puentes-túneles, como se analiza adelante.

## 5.2. Obras de Drenaje.

La construcción de obras de drenaje a lo largo de la vía, es de extrema importancia para la conservación y buen funcionamiento de la estructura de la misma. Tal importancia radica, en que dichas obras tienen como finalidad el desalojo del agua superficial o sub-superficial.

El agua superficial procede de la lluvia que cae directamente en el lecho de la vía, así como las aguas que llegan a la misma procedentes del terreno adyacente. Mientras que las aguas subterráneas son las

procedentes del nivel freático.

Las alcantarillas y puentes, resuelven el paso por abajo de las vías, de las aguas superficiales de los arroyos y ríos cruzados por la vía férrea; mientras que las aguas pluviales, requieren a su vez de canales, cunetas y contracunetas para drenar la vía.

Las aguas subterráneas generalmente aparecen en los grandes cortes hechos en lomeríos y se resuelven a través de subdrenes que abaten el nivel freático por abajo del efecto de ascenso por capilaridad, característico de cada suelo.

La ubicación y diseño de cualquier estructura de drenaje depende del análisis de los resultados de los estudios hidrológicos realizados en el lugar, por un Ingeniero especializado y con el fin de conocer el gasto y tirantes máximos por drenar.

Generalmente, las cunetas se construyen (como en el caso estudiado) semidescubiertas de mampostería o concreto, como encauzadoras del agua hacia las alcantarillas correspondientes. Por su parte, las alcantarillas son construídas con tubos galvanizados, tubos de concreto reforzado o cajas de concreto reforzado con marcos rígidos, con alturas o diámetros de hasta 6m como máximo.

La construcción de estas obras de drenaje a lo largo del tramo ya mencionado, considera los múltiples procesos necesarios para su correcta ejecución, como son: excavaciones para su alojamiento, rellenos para su protección, mamposterías, zampeados, concreto y acero de refuerzo, tuberías de concreto reforzado, guarniciones, cunetas y contracunetas de concreto hidráulico y lavaderos de concreto hidráulico.

Las dimensiones de estas estructuras son tan variables como los gastos y sus tirantes, por lo que resulta difícil una modulación con el fin de

obtener un costo unitario.

Lo que se puede afirmar, es que la construcción de las obras de drenaje necesarias para la estabilidad mecánica de la vía construída entre el km 11+230 y el km 17+100, es de \$3 235' 442 291.55.

Esto proporciona una idea aproximada del costo por m de las obras de drenaje construídas en una vía a través de un terreno de lomerío:

$$(\$ 3\ 235' 442\ 291.55) / (5\ 870\ m) = \$ 551\ 182.67/m$$

El cual debe tenerse como un dato en porcentaje, del costo que por este concepto se pagará, por m construído de vía.

### 5.3. Sub-balasto.

La capa correspondiente al sub-balasto, es la última o superior de la infraestructura de la vía, motivo por el cual fue mencionada en el tema correspondiente a terracerías, donde fueron expuestas sus características y funcionamiento. Sin embargo, es motivo de una partida por separado para fines de presupuesto, debido a que ésta es una capa compuesta por materiales seleccionados, para un mejor comportamiento mecánico de la capa.

Este comportamiento es favorecido además, por una mejor compactación con respecto al resto de las capas y cuya especificación es del 100% de su P. V. S. M. AASHTO STANDARD.

La partida correspondiente a sub-balasto, considera la formación y compactación de dicha capa con material de banco, dadas las características del mismo.

Nuevamente, para el tramo escogido de análisis de costos, esta capa fue

formada con material acarreado del banco Santo Domingo, ubicado a 900m de la desviación que parte del km 16+300.

La capa fue construída a lo largo de los 5.87km que componen este tramo, con 11 513.0 m<sup>3</sup> de material del banco en cuestión. El costo total de este material, incluidos los acarreos correspondientes, fue de \$ 283' 193 727.18 con lo que se obtiene un costo unitario por m<sup>3</sup> de:

$$$/m^3 \text{ sub-balasto} = (\$ 283' 193 727.18) / (11 513.0 m^3) = \$24 597.74/m^3$$

#### *5.4. Caminos de acceso.*

El proceso constructivo de la vía crea por sí solo, la necesidad de construir caminos que permitan el acceso del transporte encargado de suministrar los materiales, que integran tanto la infraestructura como el tendido de la vía misma, por una parte; así como el desalojo del material producto de cortes y despalmes, por la otra.

Muy frecuentemente, sobre todo en largos tramos de vía a través de terreno montañoso, como el aquí estudiado, el tendido de la capa de sub-balasto se recomienda solo un poco antes del tendido de vía, para evitar su deterioro con el tránsito del equipo de construcción; sin embargo, ello no impide que sirva de superficie de rodamiento a los vehículos de aprovisionamiento y supervisión.

En las fases anterior y posterior al tendido de balasto se hacen necesarios los caminos de acceso, debido a que si las terracerías se toman como tales, a la larga se modifican las condiciones mecánicas para las que fue proyectado, como consecuencia del intemperismo.

Los terraplenes que forman parte de estos caminos, deben construirse tanto como sea práctico, a partir del material excavado en obra al abrir brecha y con las condiciones que permitan hacer de éste un buen camino.

No obstante la finalidad de no hacer de estos caminos rutas de primer orden, se debe pensar que estarán sometidos a un tráfico intenso durante por lo menos, el tiempo que dure la construcción de la vía. El tiempo considerado para la construcción del tramo aquí estudiado es el determinado por el Programa de Obra del concurso antes mencionado y que es por un espacio mínimo de 19 meses.

Las especificaciones de diseño y construcción de estos caminos, escapan al objetivo principal de este estudio, por lo que sólo se menciona el costo total de la partida, que incluye los procedimientos necesarios para la adecuada ejecución de los trabajos que garanticen el funcionamiento antes descrito.

De esta manera, la partida alberga conceptos tales como: desmonte, cortes en terraceiras, formación y compactación de terraplenes, obras de drenaje, rellenos, mamposterías y pavimentos de algunos tramos de gran tránsito. El costo total de esta partida para el citado tramo de estudio es de \$ 1 489' 482 050.95.

Resulta difícil tratar de obtener un costo unitario por este concepto, debido a que no es una variable que dependa del tipo de terreno y proceso constructivo de la vía, ni afecta este concepto el adecuado desarrollo de la misma; sino que únicamente, se considera como un parámetro global del presupuesto que indica nuevamente el peso en porcentaje, que tiene el desarrollo de estos caminos en la construcción de una vía con características similares a la de este análisis.

### 5.5. Pasos Superiores y Pasos Inferiores.

Durante el desarrollo de la construcción de la vía férrea, se llegan a atravesar vías de comunicación entre poblaciones, sobre todo en vías ferreas de gran longitud; lo cual hace necesario, la construcción de estructuras gracias a las cuales permiten el tránsito simultáneo entre ellas.

Estas estructuras están definidas por las características del terreno, la importancia y magnitud del camino que se atraviesa. Por ejemplo, no será lo mismo tratar de librar el cruce con un río a través de un puente, que el libramiento de una carretera o un simple camino vecinal.

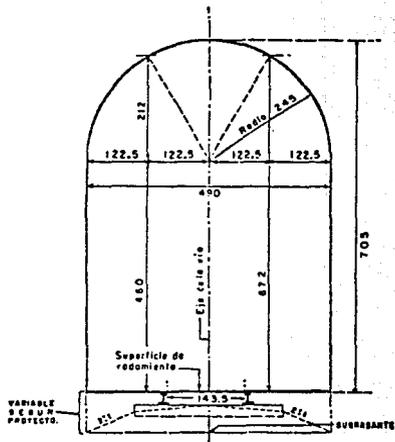
En lo que se refiere a las características del terreno, la diferencia de niveles de la vía con respecto a la del camino en cuestión, obliga a tener 2 tipos de cruzamiento, sin que se interrumpa el flujo de tránsito entre ellos.

El primer tipo de cruzamiento, es aquel mediante el cual la vía férrea pasa sobre otra vía terrestre y recibe el nombre de Paso Superior.

El segundo tipo de cruzamiento es aquel mediante el cual la vía férrea pasa por abajo de otra vía terrestre y recibe el nombre Paso Inferior.

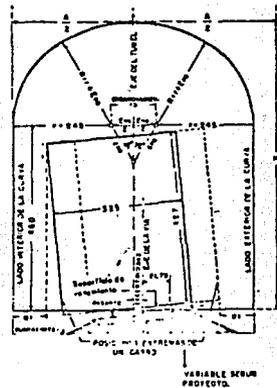
Entre el km 11+230 y el km 17+100 se atraviesan 3 caminos vecinales de poca importancia. En los km 11+453, 12+100 y 12+652, la diferencia de niveles en los terrenos hacen necesaria la construcción de un paso superior en el km 12+100 y 2 pasos inferiores en los kms 11+453 y 12+652. Estos están contruídos por bóvedas de concreto reforzado para atravesar el cuerpo del terraplen; estas bóvedas tienen un ancho de 12m y una longitud de 22m aproximadamente para el paso superior y de 5 m de ancho por 33m aproximadamente de longitud, en cada uno de los pasos

### GALIBO PARA TUNELES EN TANGENTE



DIMENSIONES EN CENTIMETROS

### GALIBO DE TUNEL EN CURVA



N	Eje	Eje	M	A
01	0	0	240	240
11	4	14	270	305
21	7	20	290	320
31	10	25	300	330
41	14	30	310	340
51	17	35	320	350
61	20	40	330	360
71	24	45	340	370
81	27	50	350	380
91	30	55	360	390
101	34	60	370	400
111	37	65	380	410
121	40	70	390	420
131	44	75	400	430
141	47	80	410	440
151	50	85	420	450
161	54	90	430	460
171	57	95	440	470
181	60	100	450	480
191	64	105	460	490
201	67	110	470	500

S = GRADO DE CURVATURA  
 EJC = EJE CENTRADO  
 EJC+CH = ANCHAMIENTO  
 M = ALTURA  
 A = ANCHURA

DIMENSIONES EN CENTIMETROS

(FIG. 5.1)

inferiores.

Estas estructuras quedan cubiertas por el cuerpo del terraplen, por lo que para la partida de pasos superiores se incluyen los costos correspondientes al concreto reforzado para la construcción de estas bóvedas, la excavación, reforzamiento y rellenos correspondientes.

Estos 22m aproximados de longitud de paso superior tienen un costo de \$ 142' 796 442.10.

En lo que se refiere a pasos inferiores, además del ya mencionado concreto reforzado, se incluyen los conceptos de excavaciones, reforzamiento, terracerías necesarias para el cuerpo del terraplen y las obras necesarias de drenaje. Esto tiene un costo de \$852'842172.74 para los casi 66m de longitud de los 2 pasos inferiores (arriba mencionados).

Cabe mencionar, que la altura de Galibo para los pasos inferiores es de 7.05m, igual a la que aparece en la figura (5.1), utilizado para túneles. De hecho, podría decirse que un paso superior es un pequeño viaducto y un paso inferior es un pequeño túnel, ya que se construyen bajo las mismas especificaciones geométricas.

### *5.6. Puentes.*

Cuando el trazo de la vía se realiza en terreno de lomerío, ya sea escarpado o suave, es frecuente encontrar este tipo de estructuras llamadas puentes, gracias a los cuales se puede mantener el mismo nivel de rasante no obstante cambios drásticos de nivel (depressiones) en el terreno natural, sin que esto requiera la construcción de grandes terraplenes.

El diseño de éstos considera un gran número de variables que influyen directamente en su estabilidad y servicio, como son: el peso de los convoys cargados, la presión del viento, el empuje del agua con gasto máximo, el frenaje de las cargas rodantes, los empujes de tierras, los sismos y naturalmente su peso propio. Mientras que las dimensiones están definidas por la altura de la rasante, la topografía del lugar y la sección hidráulica en el cruce, así como su perfil.

La estructura de un puente se integra en su conjunto por:

- a) Infraestructura o cimentación: formada por los elementos de apoyo de la subestructura, como apoyos de base, pilotes y cajones o cilindros.
- b) Subestructura: constituida por los elementos de apoyo de la superestructura, tales como bancos, estribos, pilas y caballetes.
- c) Superestructura: es la parte del puente que cubre los claros de apoyo y sobre la cual transita la carga rodante. Dicha superficie se proporciona a través de traveses de concreto reforzado, pre-esforzado o postensado, o traveses de acero estructural con o sin pre-esfuerzo.

Existe una gran cantidad de tipos de puentes, en cuanto al diseño y materiales de construcción, sin embargo, es conveniente considerar la importancia (clase) de la vía a transitar, su vida económica y los materiales disponibles en la región.

De manera general y siguiendo un criterio económico, se recomienda en puentes cuyos claros sean menores de 35 m una estructura elaborada a base de concreto reforzado, pre-esforzado o postensado. En claros mayores a 35 m y menores de 100 m, armaduras de acero estructural remachado o soldado de paso superior, en las que se sustenta un sistema de piso a base de piezas de puente (elementos transversales) y largueros conectados a dichas piezas.

Cuando el puente está obligado a claros mayores de 100m y si los estribos quedan cimentados en material resistente, la estructura en arco de paso superior con sistema de piso para el primer caso, apoyado en montantes o suspendido de colgantes.

En el caso de claros muy grandes, pueden utilizarse sistemas de piso suspendidos de cables de acero de diámetro apreciable, los que a su vez se apoyan en torres de altura conveniente. (Togno, M. 1982 )

De manera más específica, se puede elaborar un rápido criterio con la gráfica de costos que aparece en la figura (5.2).

En el tramo de estudio comprendido entre el km 11+230 y el km 17+100, se hace necesaria la construcción de 2 puentes, en los km 12+865 y el km 14+230, los cuales tienen una longitud aproximada de 48m y 80m, con claros de 24m y 27m respectivamente.

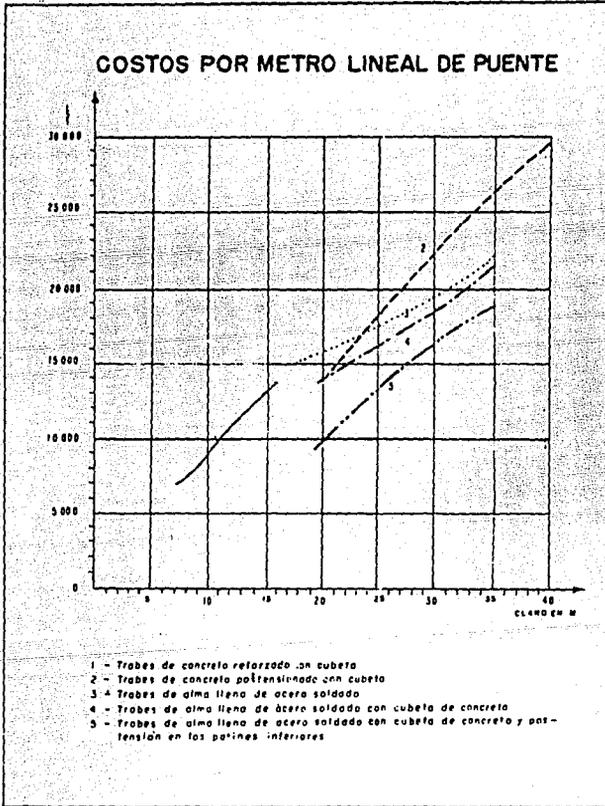
Estas longitudes, además de las variables ya mencionadas, sugieren la utilización de puentes a base de trabes de concreto postensionado.

La construcción de ambos, incluye conceptos para su construcción tales como: excavaciones para la infraestructura, concreto hidráulico reforzado en sus diferentes resistencias y con diferentes diámetros de acero de refuerzo, juntas metálicas de acero estructural, acero de pre-esfuerzo, cables de acero, drenes de pvc, apoyos integrales de neopreno y parapetos metálicos.

De esta manera, los 128 m de puente tienen un costo de construcción de \$1 616' 046 176.42.

Las alturas de estos puentes son tan variables como la diferencia entre la rasante de proyecto y el terreno natural. Sin embargo, la obtención de un promedio de ellas da como resultado, que el costo de construcción de 1 m lineal de puente de este tipo con una altura apromedio de 7.55 m sea

(FIG. 5.2)



de \$12' 625 360.75/m, lo cual es de gran utilidad en la evaluación correspondiente con respecto de la construcción de un gran terraplen con la misma altura y longitud.

### *5.7. Túneles.*

Otra de las estructuras frecuentes de localizar en un trazo de vía a través de un terreno de lomerío, son los túneles, necesarios económicamente al hablar de ellos como una solución más barata a grandes cortes o la construcción de más kms de vía, con el fin de bordear los montes que representan el obstáculo.

Existen varios métodos para la perforación de túneles, cuya selección para un caso en particular depende de múltiples factores, como son el tipo de suelo o roca, su resistencia y humedad, las dimensiones e importancia de la obra, el equipo disponible, el tiempo programado para la realización del túnel y de la obra en conjunto, etc.

Según el Ing. Francisco M. Togno en su libro " Ferrocarriles" (1982), los tres métodos mas empleados para perforación de túneles en los Ferrocarriles Mexicanos son: el método de sección completa, el cual demanda barrenar con "Jumbo", rezagar con pala y dumptor y ademar con perfiles de acero estructural; además de retacar con madera a gran escala.

El método de Galería, en el cual se considera ampliar la bóveda y 2 banqueos con un mínimo de equipo y avances reducidos, éste en particular resulta ser el más económico. Por ultimo esta el método de Bóveda y banqueo, que permite avances intermedios aceptables con costos moderados.

Estos métodos tienen costos diferentes, debido a que la sección completa requiere de alta mecanización en tanto que el método de Galería y Banqueros, utilizan un máximo de obra, sin embargo cada uno de ellos considera condiciones de terreno diferente, que en ciertos casos pueden presentar requerimientos específicos por lo tocante a derrumbes y su tiempo mínimo característico de cada tipo de roca o suelo.

La evaluación de las condiciones existentes entre el km 11+230 al km 17+100 para la construcción de 4 túneles, que por requerimiento del trazo se proyectaron en los km 13+280 al 13+680 (400m), km 15+400 al 15+720 (320m), 15+860 al 15+960 (100m) y km 16+890 al 17+070 (180m), arrojó la decisión de emplear el método de Bóveda y banqueo.

Las dimensiones de la perforación de estos túneles están dictadas por los gálipos especificados por el Manual de Especificaciones Generales para Proyecto Geométrico de Vías Férreas de la S.C.T. y que se reproducen en la figura (5.1); entendiéndose por gálipo, según este manual, a la sección mínima adoptada transversal al eje de la vía, que debe estar libre de obstáculos para permitir el paso de un tren.

La construcción del túnel se divide en dos grandes pasos: la excavación y el revestimiento. Dentro de la etapa de excavación se cuenta con varios procesos que consisten a grandes rasgos, en las maniobras de barrenar, cargar y detonar, ventilar, rezaga, maniobras y varios.

En lo que se refiere al revestimiento, este incluye todo el proceso necesario para la construcción de muros y bóveda propios para soportar las cargas verticales y empujes laterales, además de su peso propio.

Estos revestimientos generalmente se contruyen de muros de mampostería con trabes y castillos de concreto como una opción y enteramente de concreto, como otra opción.

La primera opción produce menores costos de revestimiento, que deben usarse cuando el concreto reforzado no es requerido estructuralmente y el factor tiempo lo permite.

Cuando la importancia de la vía (como el caso en estudio) y su tiempo de construcción lo requiere, se necesita de un factor de seguridad aunado al revestimiento definitivo, a fin de evitar derrumbes en la bóveda, producto del intemperismo. Este factor está dado por el empleo de una capa de revestimiento con mortero cemento, aplicado con bomba y aditivos que eviten el rebote del material al ser lanzado contra la superficie cubierta con una malla metálica, la cual se auxilia además, de varillas de anclaje para evitar empujes laterales contra un muro y las cuales en este caso son de 1" de diámetro y con una longitud de entre 1 y 3 m.

Los múltiples procesos constructivos, descritos brevemente para la construcción de los aproximadamente 1000m de túnel, compuesto por los ya ubicados en los km 13+680, 15+400, 15+860 y 16+890, incluyen además dentro de los costos de dicha partida, elementos como excavaciones, marcos de acero estructural, madera para ademar y retacar, drenes para drenaje, concreto y acero estructural y los consabidos acarrees.

Este proceso tiene un importe de \$ 20 137' 929 156.58 y que dividido en los ya mencionados 1000m de longitud dá un costo de \$20' 137 929.16/ml de túnel construido; esto proporciona una excelente base de análisis contra el hecho de efectuar cortes, en la evaluación correspondiente.

### *5.8. Obras de Mitigación de impacto ambiental.*

El trazo y construcción de las líneas férreas, generalmente se hace a través de terrenos en condiciones completamente naturales, como bosques o zonas consideradas como reservas naturales. Esto sugiere una gran preocupación por la afectación que en dicho medio pudiera ser el tránsito del ferrocarril.

Este argumento obliga al Ingeniero proyectista a considerar obras que contribuyan a la menor afectación del medio ambiente, ante la inminente necesidad de la construcción de la vía.

Como en toda vía construida en terrenos de lomerío, se visualiza la necesidad de cortes y terraplenes a lo largo de la misma, ello representa la afectación del terreno en una sección transversal de por lo menos lo correspondiente al derecho de vía.

Tanto los cortes como los terraplenes, afectan de manera definitiva las condiciones naturales, sin embargo las obras de mitigación de impacto ambiental van dirigidas a frenar cualquier posible deterioro gradual de su entorno, sobre todo en una zona como la que atraviesa la vía, es decir, el Cerro y Parque Nacional del Tepozteco, motivo suficiente para otorgar la importancia que merece este rubro.

De esta manera, se tuvo la necesidad de especificar la construcción de muros de revestimiento, de retención, concreto lanzado, alambre de púas y postes de concreto.

Los muros de revestimiento tienen la función de evitar la caída de tierras que permanecen en su yacimiento hasta el momento de un deslave, por la acción erosionante de los elementos naturales o vibraciones producidas por el tráfico continuo de los trenes.

Los muros de contención tienen la finalidad de resistir las presiones de tierra u otro material de relleno que se deposita tras de él después de su construcción, con el fin de proporcionar la estabilidad demandada por los terraplenes.

Cuando los taludes están formados sobre un material cuya erosionabilidad es mas retardada por la consistencia mecánica propia, se recomienda únicamente el empleo de una capa de concreto lanzado sobre una malla metálica.

Dada su importancia estructural, los muros de revestimiento están contruídos con mampostería y los de retención con concreto reforzado.

Con el empleo de estos tres métodos en las laderas de cortes y terraplenes, pueden cumplirse dos grandes objetivos: evitar la gradual erosión de las laderas y con ello restringir el impacto ambiental del tren, únicamente dentro del derecho de via por una parte y prevenir cualquier tipo de accidente emanado de la obstrucción de material, producto de los desbordamientos sobre la vía.

La colocación de los postes de concreto y el alambre de púas, tiene también dos finalidades: delimitar exactamente el derecho de vía y prevenir en la medida de lo posible el paso de la fauna del lugar y los asentamientos humanos.

El costo de la partida, correspondiente a las obras de mitigación de impacto ambiental, incluye los costos correspondientes a los conceptos necesarios para su correcta elaboración, como son: las excavaciones para su cimentación, los rellenos, la piedra para la mampostería, mortero, concreto, acero para el concreto, tubos para drenes, malla metálica, anclas para muros, postes de concreto y alambre de púas.

El costo total correspondiente a esta partida es de \$8 924' 523 217.95, a

lo largo de los 5.87 km que comprenden el tramo en estudio.

Sin embargo, el costo total de esta partida, puede ser dividido en dos grandes rubros: las obras necesarias para la mitigación del impacto ambiental en los cortes y las propias de los terraplenes.

De esta manera, el costo de las obras necesarias para la construcción de 1.23km de terraplen es de \$6 652' 462 490.00. Esto representa un costo de \$5' 408 506.99 / m de este concepto.

Por otra parte, el costo de las obras necesarias para los 3.52 km de corte es de \$2 272' 060 727.00 obteniéndose así, un costo unitario por este concepto de \$645 471.80/m.

### *5.9. Evaluación.*

Se han descrito a lo largo de este trabajo, las condiciones y especificaciones que deberán cumplir todos aquellos proyectos geométricos que van encaminados a buscar la agilización del tráfico, reduciendo los tiempos de recorrido con un alto factor de seguridad.

De esta manera, se han enumerado una gran cantidad de especificaciones geométricas, entre las que destacan la reducción al máximo del grado de curvatura y de la pendiente; las cuales además de obtener una economía, al reducir los costos de operación de las máquinas y desgaste en el equipo y la vía misma, la obtienen al reducir la longitud de la vía por construir.

Desde el punto de vista geométrico, todas estas consideraciones poseen un alto grado de confiabilidad, debido a que como se mencionó en su momento, son resultados de múltiples consideraciones matemáticas, pero sobretodo, las emanadas de la experiencia misma.

Sin embargo, desde el punto de vista económico, resulta conveniente un análisis del costo de construcción de cortes y terraplenes con respecto de los de túneles y puentes, con el fin de establecer la conveniencia de emplear uno u otro desde este punto de vista. Esto con el fin de satisfacer las especificaciones de los incisos (p), y (q) del punto 11-4.4 del Manual de Especificaciones Generales para Proyecto Geométrico de Vías Férreas de la S.C.T., las cuales mencionan : " 11-4.4. En el alineamiento vertical deberá procurarse que:...

... p) El espesor máximo de un terraplen se limite en función del costo, por unidad de longitud, del puente correspondiente.

q) El espesor máximo de un corte se limite en función del costo por unidad de longitud, del túnel correspondiente. "

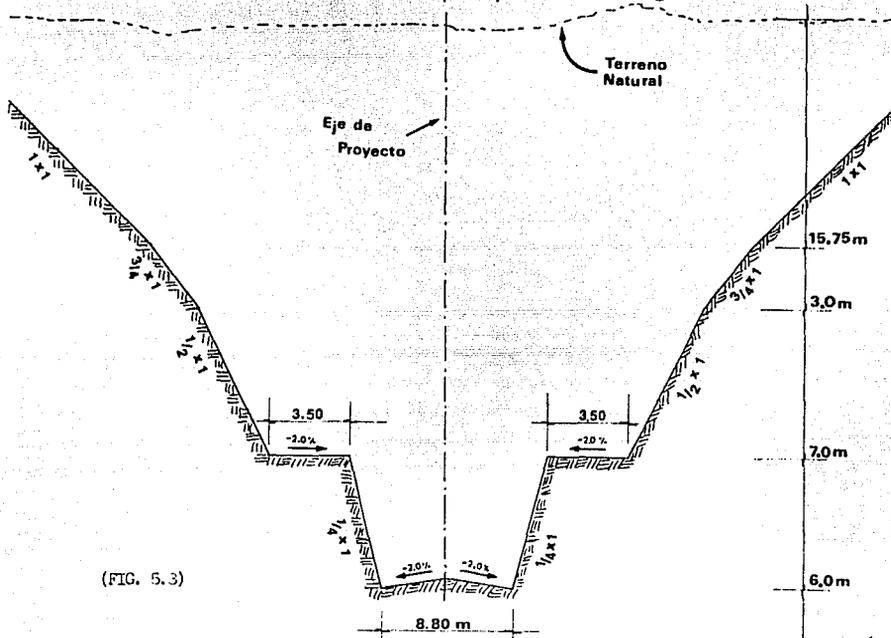
Como condición previa de carácter geométrico, dicho manual recomienda que para cortes mayores de 30 m se preferirá la construcción de un túnel, mientras que para terraplenes mayores de 20m, se deberá considerar la construcción de un puente como mejor solución.

Como se analizó en su momento, el tramo que comprende del km 11+230 al km17+100, cuenta con 4 túneles cuya longitud suma en total 1000m aproximadamente y cuyo costo por m lineal construido es de \$20' 137 929.16.

Si en lugar de la construcción de túneles, se consideraran los cortes necesarios para el paso de la vía, se tendrían que analizar las diferencias de nivel entre la rasante del proyecto y el terreno natural; esto dá cortes de una altura promedio de 31.57 m, considerando los 4 túneles ya establecidos.

Esta altura, aunada a las consideraciones geométricas en taludes que sobre cortes recomiendan los análisis de mecánica de suelos, dan una

sección transversal de corte como la que aparece en la figura (5.3).



(FIG. 5.3)

El análisis de esta sección transversal de corte, proporciona un área de 1016.25 m<sup>2</sup>, lo cual en una longitud unitaria de 1 m, da como resultado un volumen de corte de 1016.25 m<sup>3</sup>.

Como se observó en su momento, el costo por m<sup>3</sup> de corte es de \$19 272.96/m<sup>3</sup>, al que habrá que agregarle el costo por obras de mitigación de impacto ambiental, el cual se divide como ya se mencionó en 2 rubros.

El primero se refiere a la estabilización de taludes de 8.09 m de altura con un costo de \$645 471.80/m, es decir  $(31.75\text{m})/(8.09\text{m}) = 3.92$ . Este factor multiplicado por el costo unitario de este concepto da:  $(3.92) \times (\$645 471.80) = \$2' 530 249.45$ .

El segundo se refiere a la construcción de muros de contención, drenaje

y señalización del derecho de vía para terraplenes.

De esta manera, se obtiene el siguiente análisis de costos:

Corte= (1016.25 m<sup>3</sup>)X(\$19 272.96)= \$19' 586 145.60

Estabilización= (3.92)X(\$645 471.80)= \$ 2' 530 249.45

Total = \$22' 116 395.05/m

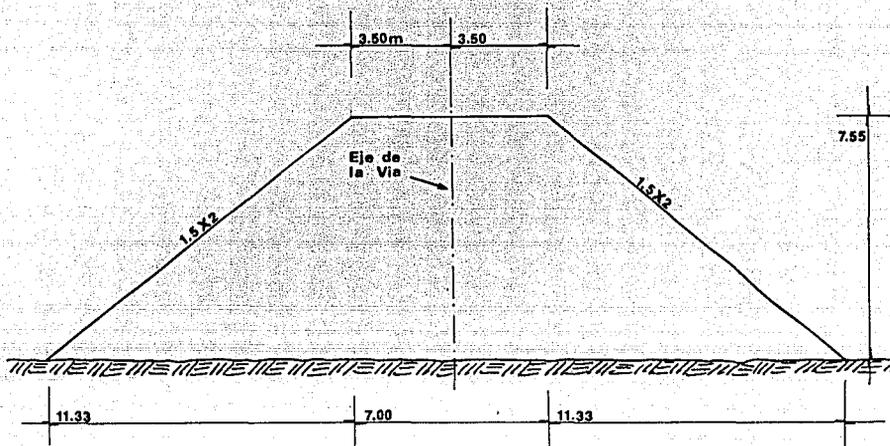
Si se compara el costo de cortar 1 m de cerro contra la elaboración de 1 m de túnel, resulta más caro elaborar un corte que la construcción de un túnel.

De la misma manera, pero siguiendo un proceso inverso y tomando como base el costo unitario del túnel \$20' 137 929.00/ml, equivale a cortar el terreno hasta una altura de 29.29m con el mismo costo. Esto da como cierta la observación de un límite de 30m para la elaboración de un corte antes que la construcción de un túnel.

Sin embargo, no obstante el límite de 30m, deberá regir el criterio del proyectista sobre el impacto ambiental que representa el cortar de tajo un cerro, ya que esto trae como consecuencia, un desequilibrio en la flora y fauna del lugar; mientras que la construcción de un túnel afecta el entorno ecológico, solamente en los portales de entrada, maxime en una zona considerada como reserva natural y que es la del cerro del Tepozteco.

Por otra parte, con anterioridad se describió que en el mencionado tramo de análisis, se cuenta con 2 puentes cuya longitud sumada es de 128m, lo que equivale a un costo unitario de \$12' 625 360.75/m.

Siguiendo un proceso análogo al de los túneles el promedio de profundidad librado por estos puentes es de 7.55 m. Por otra parte, el librar estos accidentes mediante la construcción de terraplenes obliga al empleo de una sección transversal semejante a la que se muestra en la figura (5.4), resultado de las especificaciones dictadas por los análisis de



(FIG. 5.4)

mecánicas de suelos ya mencionados.

Esta sección promedio, tiene en una longitud unitaria, un volumen de tierra de 138.39m<sup>3</sup>, los cuales tienen un costo de \$23 852.72/m<sup>3</sup>. Esto da como resultado un costo por formación de terraplen de \$3' 300 977.92; a este habrá que sumarle el costo de las obras descritas en el inciso correspondiente a obras de mitigación ambiental y que es de \$5' 408 506.09, para terraplenes de 4.43m de altura en promedio.

Obteniéndose así el siguiente análisis de costos:

Terracerías:  $(138.39 \text{ m}^3) \times (\$23\,852.72) = \$\ 3'\ 300\ 977.92$

Obras de Mitigación

de impacto ambiental:  $(7.55\text{m}/4.43\text{m}) \times (\$5'408\ 506.09) = \$\ 9'\ 217\ 657.11$

Total = \$ 12' 518 635.03

De manera analoga se encuentra que el costo de construir 1 m de puente representa casi 8m de terraplen. Para este estudio en particular, este análisis representa la recomendación de construir un terraplen de 8m de altura antes que un puente.

Sin embargo, aquí también rige el criterio del proyectista, ya que en terminos generales un puente impacta en menor medida el entorno ecológico y permite el paso de un afluente hidráulico ya sea permanente o periódico.

Por otra parte, a lo largo de los 22.508 km del tramo en estudio, se observa el cumplimiento de estas normas lo que se traduce en un proyecto seguro dentro de los parámetros de economía aceptables.

Finalmente, se concentran los costos de las partidas que se involucran en la construcción de la vía en el tramo comprendido entre el km 11+230 y el km 17+100:

- Terracerías	\$ 7 717' 414 350.51
- Obras de drenaje	\$ 3 235' 442 291.55
- Sub-balasto	\$ 283' 193 727.18
- Caminos de acceso	\$ 1 489' 482 050.95
- Pasos inferiores y superiores	\$ 968' 638 614.80
- Puentes	\$ 1 616' 046 176.42
- Túneles	\$20137' 929 156.58
- Obras de mitigación de impacto amb.	\$ 8 924' 523 217.95

TOTAL = \$44 372' 669 585.94

Resultando un costo por km de:

$$(\$44\ 372'\ 669\ 585.94)/(5.870\ \text{km}) = \$7\ 559'\ 228\ 210.00/\text{km}$$

Se observa que estos costos son los correspondientes a la construcción de la subestructura de la vía, dejando de lado la superestructura. Esto debido a que la subestructura es una variable dependiente del proyecto

CONCEPTO	CANTIDAD	UNID	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
Hiel de 115 lbs/yda (39' largo)	114.10	Ton	\$1 536 363.00	\$175 299 086.80
Durmiente Impregnado(7"X8"X8')	2 029.00	Pza	55 944.55	113 455 547.40
Placa de asiento	4 056.00	Pza	21 818.20	88 494 619.20
Clavo de vía (5/8" X 6")	8 112.00	Pza	900.00	7 300 800.00
Planchuela de cordón	338.00	Pza	45 454.50	15 363 621.00
Tornillo de vía (1"X5.5")	676.00	Pza	6 680.90	4 516 288.40
Roldana de Presión (1-1/8" diam)	676.00	Pza	727.25	491 621.00
Ancla de vía	2 028.00	Pza	3 379.00	6 852 612.00
Balasto de piedra triturada	1 279.00	M3	17 360.00	22 203 440.00
Mano de obra y maquinaria	1 Lote/km		22 700 000.00	22 700 000.00
			TOTAL =	\$456 677 635.80

(FIG. 5.5)

geométrico de cada suelo en particular, es decir, los volúmenes arrojados por la curva masa, difieren para cada tipo de terreno en particular.

Por otra parte, la superestructura es una variable completamente independiente, ya que no obstante el tipo de terreno, la subestructura siempre proporciona el nivel de rasante necesaria para el tendido de la superestructura, cuyas especificaciones y medidas están completamente establecidas.

De esta manera, solo se presentan los costos y cantidades necesarias para el tendido de 1 km de vía clásica, clavada con riel de 39' emplanchuelado. Los cuales están definidos por la Subdirección General de Vía y Telecomunicaciones de F.N.M.. Estos costos son los que aparecen en la figura (5.5).

Se tiene así que:

- Costo/km Subestructura	=	\$ 7 559' 228 210.00/km
- Costo/km Superestructura	=	\$ 456' 677 635.80/km
 Costo Total	 =	 \$ 8 015' 905 846.00/km

Se concluye que el costo de construir 1 km de vía nueva en lomerío suave y con características similares al proyecto en estudio, tiene un costo en el mes de Mayo de 1991 de \$8 015' 905 846.00/km, lo cual resulta de mucha ayuda debido a que este costo aunado a la probable construcción de una nueva vía en otro lugar, proporciona de manera inmediata y bastante aproximada, el importe de su construcción. El presupuesto así obtenido en comparación con el considerado para tal fin dará la aprobación para el inicio de los trabajos del proyecto geométrico en el lugar probable de construcción.

## CONCLUSIONES

Una correcta inversión para el gobierno federal en materia ferroviaria, se logra aplicando simples principios de sana economía que permitan producir costos mínimos para el diseño, operación y conservación de las vías y equipos; sin perder su tráfico y pudiéndose utilizar esas obras, durante una larga vida útil, con velocidades óptimas.

Se han sentado aquí, los principios y especificaciones que deberán satisfacer los proyectos actuales de diseño geométrico, en pos del cumplimiento de estas bases económicas. Esto aunado a la metodología mas recomendable y empleada en la elaboración de los mismos.

Se ha podido observar que el proyecto geométrico, es una tarea titánica donde intervienen un gran número de profesionales, cuyas actividades dan por resultado un gran banco de datos; base para la elaboración de un adecuado proyecto, donde fácilmente se puede perder el profesional carente de dicha metodología.

La importancia de manejar adecuadamente las normas de proyecto emanadas del análisis de la experiencia, redundan en una mejor economía. Esto se comprueba al observar los costos de construir cortes y terraplenes, cuyas alturas promedio están por debajo del costo de construir túneles y puentes.

A este respecto, se concretó la gran necesidad de elaborar un análisis de costos al término del proyecto, con el fin de verificar las alturas proyectadas para cortes y terraplenes y cuyo limite estará dado, en función del costo por unidad de longitud del túnel o puente.

Se concluye también, que los montos más representativos en la construcción de una vía tipo A en lomerío suave, son los correspondientes a la construcción de túneles y obras de mitigación de impacto ambiental.

A este respecto, una evaluación de la línea en estudio con respecto a las dos alternativas que se manejaron en un inicio, dá la aprobación de ésta sobre las desechadas; pues como se observó en su oportunidad, la primera consideraba correr a través de algunos poblados y campos de cultivo, lo cual implica grandes costos por concepto de obras de mitigación de impacto ambiental y seguridad vial. La segunda, consideraba la construcción de un gran número de puentes y túneles por lo accidentado del terreno.

Por lo tanto, se puede considerar que la línea en estudio y el desarrollo del proyecto geométrico es la opción más económica.

Por otra parte, se justifica el por que del deterioro y mal estado de la industria ferroviaria en nuestro país, al concebir la complejidad que representa la planeación y proyecto de una nueva vía de condiciones óptimas, ya que como se mencionó en un inicio, el 80% de las vías que conforman el sistema ferroviario, fueron construidas durante la época del Porfiriato, en condiciones de operación totalmente diferentes a las actuales.

Debido al gran costo que esto implica, el reacondicionamiento y revisión de cada uno de los diseños de estas vías, aunado a la extrema lentitud que ello implica, hacen actualmente de este medio de transporte, una opción poco atractiva.

Sin embargo, los bajos costos de operación en comparación con los grandes volúmenes transportados, ofrecen una mayor rentabilidad del servicio del ferrocarril con respecto a otros medios, lo cual permitirá

hacer de éste el principal medio de transporte de carga, sólo si se logra incrementar el tráfico, reduciendo los costos de mantenimiento y construcción de la vía.

En general, la parte topográfica de la localización debe considerarse sólo como una parte pequeña del gran complejo de técnicas necesarias para afrontar esta tarea, que representa la decisión más trascendental del éxito, del fracaso o de la mediocridad de un ferrocarril ante una realidad donde la operación bajo el régimen de libre competencia es el único juez de esta labor netamente ingenieril y económica.

## ANEXOS

## TELEMETROS

Los telescopios binoculares que tienen base estereoscópica (usando 4 espejos) determinan DISTANCIAS por la simple lectura de la graduación, al lograrse sobreponer o coincidir las imágenes de un mismo objeto.

Estos aparatos de origen topográfico militar, son de gran utilidad en terrenos de escasa vegetación.

En ocasiones, el reconocimiento debe realizarse mediante un levantamiento con TRANSITO y ESTADIA no sólo para levantar la poligonal del recorrido, sino para efectuar la topografía de una amplia faja de terreno ambos lados del polígono.

## TELUROMETROS Y GEODIMETRO

El telurómetro (MRA) consta de un transmisor que emite micro-ondas de radio que capta otro aparato receptor el cual regresa o rebota la onda al transmisor, donde se ajusta y mide el tiempo de viaje (aproximando al millonésimo de segundo) y tras de una serie de observaciones (10) el tiempo PROMEDIO, es la base del cálculo de la DISTANCIA, la cual se mide con una precisión 1:300,000, o sea 5 a 6 veces más precisa que una medida ordinaria con cinta de acero.

Estas distancias (inclinadas) se reducen a la horizontal, mediante el ángulo vertical ( $a$ ) que se mide con 10 segundos de aproximación.

$$D_h = D_i \cos(a)$$

La precisión (tanto en distancia como ángulo vertical) permiten obtener desniveles, con aproximación mayor que el método tradicional usando nivel y estadal.

El telurómetro puede usarse para medir lados entre 1/2 km y 25 kilómetros.

El GEODIMETRO transmite onda LUMINOSA que refleja la subestación receptora, con lo cual puede medirse 1 a 2 kilómetros (diurno) y 10 hasta 15 usando luces nocturnas; o sea que el geodímetro permite trazar apoyo poligonal y el telurómetro resuelve levantamientos de mayor magnitud, que antaño requerían bases de precisión y cadenas de triángulos y cuadriláteros.

## VIAS FERREAS CLASE A

Características	Unidades	Terreno plano y lomerío suave	Terreno montañoso y lomerío fuerte	Terreno montañoso muy escarpado
Tráfico mínimo de carga anual.....	millones de toneladas	5	5	5
Velocidad mínima de operación en trenes de carga.....	km/h	75	60	55
Velocidad mínima de operación en trenes de pasajeros.....	km/h	100	80	70
Ancho de corona en tangentes.....	m	5.5 a 7.0	5.5 a 7.0	5.5 a 7.0
Ancho de cama en tangentes.....	m	7.0 a 8.5	7.0 a 8.5	7.0 a 8.5
Espesor del balasto o del conjunto balasto y sub-balasto.....	cm	20 a 60	20 a 60	20 a 60
Calibre mínimo del riel.....	kg/m	55	60	65
Curvatura máxima.....	"	2	3	4
Pendiente gobernadora máxima compensada.....	%	0.6	0.7	1.0

TABLA N.º 2  
VIAS FERREAS CLASE B

Características	Unidades	Terreno plano y lomerío suave	Terreno montañoso y lomerío fuerte	Terreno montañoso muy escarpado
Tráfico de carga anual.....	millones de toneladas	2 a 5	2 a 5	2 a 5
Velocidad de operación en trenes de carga.....	km/h	55 a 75	45 a 60	40 a 55
Velocidad de operación en trenes de pasajeros.....	km/h	80 a 100	65 a 80	55 a 70
Ancho de corona en tangentes.....	m	5.5 a 6.6	5.5 a 6.6	5.5 a 6.6
Ancho de cama en tangentes.....	m	7.0 a 8.1	7.0 a 8.1	7.0 a 8.1
Espesor del balasto o del conjunto balasto y sub-balasto.....	cm	20 a 50	20 a 50	20 a 50
Calibre mínimo del riel.....	kg/m	45	50	55
Curvatura máxima.....	"	3	4.5	6
Pendiente gobernadora máxima compensada.....	%	0.7	1.0	1.5

TABLA N° 3  
VIAS FERREAS CLASE C

Características	Unidades	Terreno plano y lomerío suave	Terreno montañoso y lomerío fuerte	Terreno montañoso muy escarpado
Tráfico de carga anual.....	millones de toneladas	0.5 a 2	0.5 a 2	0.5 a 2
Velocidad de operación en trenes de carga.....	km/h	35 a 55	30 a 45	25 a 40
Velocidad de operación en trenes de pasajeros.....	km/h	60 a 80	50 a 65	40 a 55
Ancho de corona en tangentes.....	m	5.0 a 6.2	5.0 a 6.2	5.0 a 6.2
Ancho de cama en tangentes.....	m	6.5 a 7.7	6.5 a 7.7	6.5 a 7.7
Espesor del balasto o del conjunto balasto y sub-balasto.....	cm	15 a 40	15 a 40	15 a 40
Calibre mínimo del riel.....	kg/m	40	45	50
Curvatura máxima.....	°	4	6	8
Pendiente gobernadora máxima compensada.....	%	1	1.5	2

TABLA N° 4  
VIAS FERREAS CLASE D

Características	Unidades	Terreno plano y lomerío suave	Terreno montañoso y lomerío fuerte	Terreno montañoso muy escarpado
Tráfico máximo de carga anual.....	millones de toneladas	0.5	0.5	0.5
Velocidad máxima de operación en trenes de carga.....	km/h	35	30	25
Velocidad máxima de operación en trenes de pasajeros.....	km/h	60	50	40
Ancho de corona en tangentes.....	m	5.0 a 5.6	5.0 a 5.6	5.0 a 5.6
Ancho de cama en tangentes.....	m	6.5 a 7.1	6.5 a 7.1	6.5 a 7.1
Espesor del balasto o del conjunto balasto y sub-balasto.....	cm	15 a 30	15 a 30	15 a 30
Calibre mínimo del riel.....	kg/m	40	40	40
Curvatura máxima.....	°	6	8	10
Pendiente gobernadora máxima compensada.....	%	1.5	2.0	2.5

- a) Angulo de deflexión,  $\Sigma$ , que es la suma de los ángulos centrales de sus curvas circulares y de sus espirales y se calcula con la fórmula:

$$\Sigma = [\Delta] + [\theta]$$

donde [ ] indica suma.

- b) Longitud, que es la suma de las longitudes de sus curvas circulares y de sus espirales.

- c) Subtangentes,  $TST$ , que se calculan con las fórmulas respectivas a cada caso, según se indica a continuación:

- 1) Con espirales de entrada, intermedia y de salida, Figura N° 5

$$TST_1 = \overline{CB} + \overline{BI}$$

$$\overline{CB} = l_1 + D_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2} - (d_1 - d_c) \csc \Sigma_1$$

$$\overline{BI} = \frac{\overline{BF}}{\operatorname{sen} \Sigma} \operatorname{sen} \Sigma_1$$

$$\overline{BF} = \overline{BN} + \overline{NF}$$

$$\overline{BN} = l_c + D_c \tan \frac{\Sigma_1}{2} + (d_1 - d_c) \csc \Sigma_1$$

$$\overline{NF} = R_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2} + d_1 \csc \Sigma_1$$

$$TST_1 = \overline{IF} + \overline{FT}$$

$$\overline{IF} = \frac{\overline{BF}}{\operatorname{sen} \Sigma} \operatorname{sen} \Sigma_1$$

$$\overline{FT} = l_1 + D_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2} - d_1 \csc \Sigma_1$$

$$\Sigma_1 = a + j$$

$$\Sigma_1 = b - j$$

$$\Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2 = a + b$$

$$D_c = R_1 + d_c$$

$$d_2 = R_1 - R_2 - l_c \cot j$$

$$l_c = (R_2 - R_1 - d_c) \operatorname{sen} j$$

$$\overline{EJ} = \overline{MN} = \frac{l_c}{2}$$

$$j = \frac{G_1 l_c}{40}$$

$d_1 = d$  para una espiral de curvatura  $G_1 = G_2$ .

- 2) Con espirales de entrada y de salida, únicamente, Figura N° 6

$$TST_1 = \overline{CB} + \overline{BI}$$

$$\overline{CB} = l_1 + D_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2} - d_1 \csc \Sigma_1$$

$$\overline{BI} = \frac{\overline{BF}}{\operatorname{sen} \Sigma} \operatorname{sen} \Sigma_1$$

$$\overline{BF} = \overline{BN} + \overline{NF}$$

$$\overline{BN} = R_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2} + d_1 \csc \Sigma_1$$

$$\overline{NF} = R_2 \tan \frac{\Sigma_1}{2} + d_1 \csc \Sigma_1$$

$$TST_1 = \overline{IF} + \overline{FT}$$

$$\overline{IF} = \frac{\overline{BF}}{\operatorname{sen} \Sigma} \operatorname{sen} \Sigma_1$$

$$\overline{FT} = l_1 + D_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2} - d_1 \csc \Sigma_1$$

- 3) Con espiral de entrada o de salida e intermedia, Figura N° 7

$$TST_1 = \overline{CB} + \overline{BI}$$

$$\overline{CB} = l_1 + D_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2} - (d_1 - d_c) \csc \Sigma_1$$

$$\overline{BI} = \frac{\overline{BF}}{\operatorname{sen} \Sigma} \operatorname{sen} \Sigma_1$$

$$\overline{BF} = \overline{BN} + \overline{NF}$$

$$\overline{BN} = t_0 + D_0 \tan \frac{\Sigma_1}{2} + (d_1 - d_c) \operatorname{csc} \Sigma_1$$

$$\overline{NF} = R_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2}$$

$$TST_1 = \overline{IF} + \overline{FT}$$

$$\overline{IF} = \frac{\overline{BF}}{\operatorname{sen} \Sigma} \operatorname{sen} \Sigma_1$$

$$\overline{FT} = R_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2}$$

$$\Sigma_1 = a + j$$

$$\Sigma_2 = b - j$$

$$\Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2 = a + b$$

$$D_c = R_1 + d_0$$

$$d_c = R_1 - R_1 - t_c \cot j$$

$$t_c = (R_1 - R_1 - d_r) \operatorname{sen} j$$

$$\overline{EF} = \overline{MN} = \frac{l_c}{2}$$

$$j = \frac{G_1 l_0}{40}$$

$d_r = d$  para una espiral de curvatura  $G_1 - G_2$ .

- 4) Con espiral de entrada o de salida, únicamente,  
Figura N° 8

$$TST_1 = \overline{CB} + \overline{BI}$$

$$\overline{CB} = l_1 + D_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2} - d_1 \operatorname{csc} \Sigma_1$$

$$\overline{BI} = \frac{\overline{BF}}{\operatorname{sen} \Sigma} \operatorname{sen} \Sigma_1$$

$$\overline{BF} = \overline{BN} + \overline{NF}$$

$$\overline{BN} = R_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2} + d_1 \operatorname{csc} \Sigma_1$$

$$\overline{NF} = R_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2}$$

$$TST_1 = \overline{IF} + \overline{FT}$$

$$\overline{IF} = \frac{\overline{BF}}{\operatorname{sen} \Sigma} \operatorname{sen} \Sigma_1$$

$$\overline{FT} = R_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2}$$

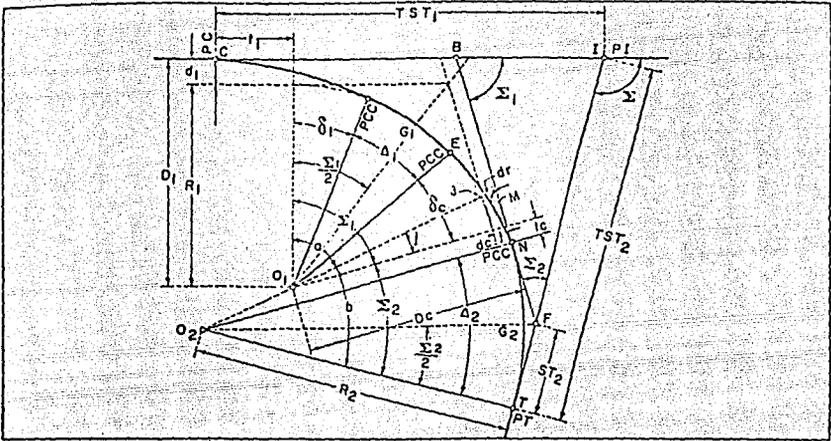


FIGURA N° 7

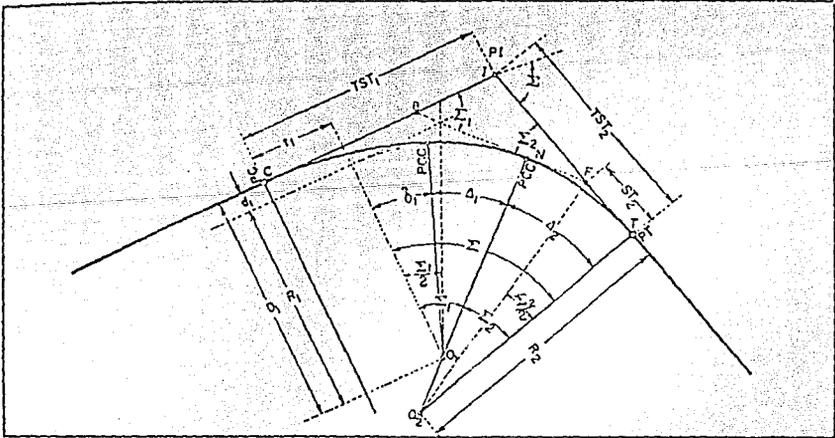


FIGURA N° 8

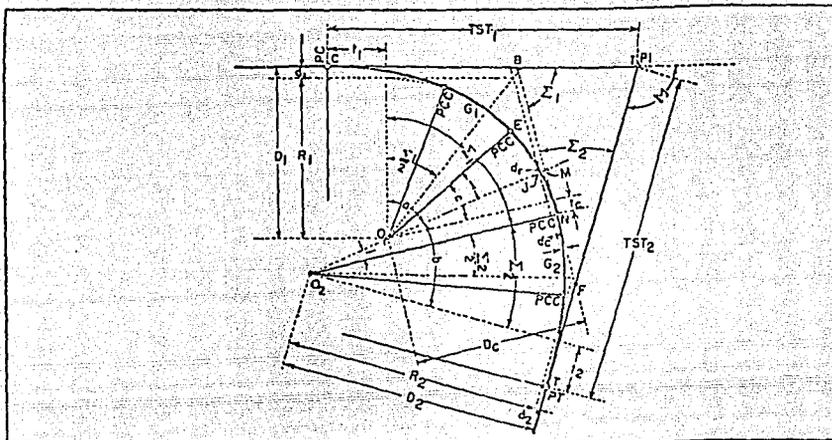


FIGURA N° 5

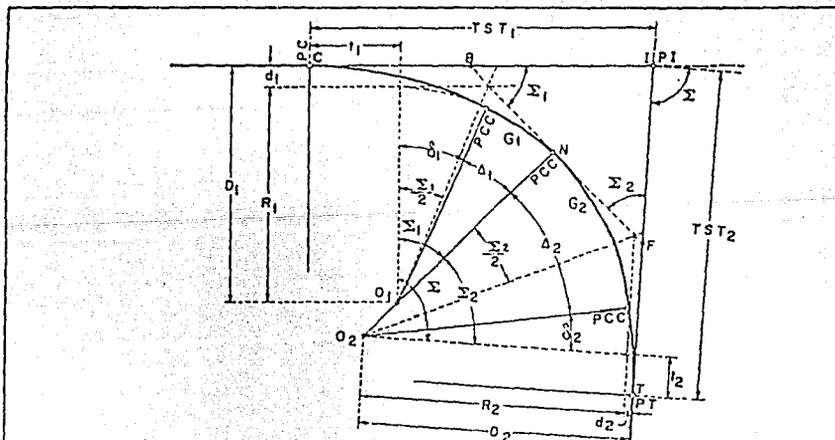


FIGURA N° 6

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE VIAS FERREAS  
 DEPTO. DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
 OFICINA DE PROYECTOS

VARIACION 0°01'00"  
 CUERDAS DE 10 M  
 LONGITUD DE ESPIRAL 300 M

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL

A	B	LA	I	E	T	E	T	TL	TC	D
G M	MTS	MTS	G M	G MTS	MTS	MTS	MTS	MTS	MTS	MTS
0	13	0001 001	100 000	0 16 0	0 000	10 000	100 000	0 000	100 000	100 000

ESTACION EN PUNTO DEPARTO	I N S T R U M E N T O										C O L O C A D O										E M P U N T O										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0





ELEMENTOS DE LA ESPIRAL

R	R	LA	3	4	T	T	TL	TC	D			
M	MIS	MIS	M S	MIS	MIS	MIS	MIS	MIS	MIS			
0	15	4541.960	40.000	0 22 30	0 035	30.000	40.000	0.131	10.000	20.000	40.000	4543.961
0	30	2281.831	18.000	1 30 0	0.282	38.998	118.992	1.047	80.000	60.000	118.998	2282.098
0	45	1871.877	120.000	3 22 30	0.483	88.998	178.988	3.533	120.000	60.000	178.978	1872.771
1	0	1161.918	40.000	8 0 0	0.704	118.958	239.737	6.371	160.000	80.000	239.681	1164.028

VISANDO AL PUNTO NUMERO	INSTRUMENTO COLOCADO EN EL PUNTO																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



ELEMENTOS DE LA ESPIRAL

VARIACION 0° 03' 45"  
CURVAS DE 10 M  
LONGITUD DE ESPIRAL 240 M

M	R	L	d	e	T	E	T	TL	TC	C	D			
M	MIS	MIS	M	M	MIS	MIS	MIS	MIS	MIS	MIS	MIS			
8	15	4583.680	48.000	0	18	8	0.018	20.000	40.000	0.036	24.887	13.333	46.000	4363.812
0	30	2291.939	80.000	1	0	0	0.118	40.000	78.999	0.463	53.336	28.887	78.999	2296.947
0	45	1527.887	120.000	2	15	0	0.233	59.997	119.942	1.371	40.006	40.006	119.942	1528.820
1	0	1143.916	80.000	4	0	0	0.331	78.997	139.932	3.782	106.694	33.538	159.943	1148.848
1	15	818.732	200.000	8	16	0	1.617	85.990	168.782	7.868	135.419	66.432	168.804	818.890
1	30	765.944	240.000	8	0	0	3.139	118.990	236.407	12.844	160.208	60.188	236.736	767.692

VIAJANDO AL PUNTO NUMERO	INSTRUMENTO COLOCADO EN EL PUNTO																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
5	0	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
6	0	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
7	0	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
8	0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
9	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	0	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
11	0	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
12	0	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
13	0	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
17	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
18	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
19	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
20	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
21	2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
22	2	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
23	2	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
24	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE VIAS FERREAS  
 DEPTO. DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
 OFICINA DE PROYECTOS

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL

VARIACION 0° 05' 00"  
 CUERDAS DE 10 M  
 LONGITUD DE ESPIRAL 240 M

N.	E.	L.A.	I.	T.	E.	T.	TL.	TC.	C.	S.
M	MIS	M	M	M	MIS	MIS	MIS	MIS	MIS	MIS
0	15	4343	140	30	000	0	11	15	0	008
0	30	2231	431	40	000	0	43	0	0	043
0	45	1247	477	-90	000	-	1	41	15	0
1	0	1145	918	112	000	3	0	0	0	274
1	15	114	730	150	000	4	41	15	1	022
1	30	743	544	180	000	6	45	0	1	744
2	0	317	938	210	000	12	0	0	4	182

VISANDO AL PUNTO NUMERO	INSTRUMENTO COLOCADO EN EL PUNTO																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	3	3	0	4	4	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	6	6	0	7	7	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	10	10	0	11	11	0	11	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	15	15	0	16	16	0	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	20	20	0	22	22	0	22	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	26	26	0	29	29	0	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	33	33	0	36	36	0	37	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	41	41	0	43	43	0	46	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	50	50	0	54	54	0	56	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	0	1	4	4	1	7	7	1	7	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	10	10	1	15	15	1	17	17	1	19	19	1	18	18	1	16	16	1	12	12	1	7	7	1
14	1	21	21	1	26	26	1	30	30	1	31	31	1	28	28	1	21	21	1	15	15	1	6	6	1
15	1	33	33	1	39	39	1	42	42	1	45	45	1	44	44	1	41	41	1	36	36	1	3	3	1
16	1	46	46	1	52	52	1	56	56	1	59	59	1	57	57	1	54	54	1	50	50	1	4	4	1
17	2	0	2	6	6	2	11	11	2	14	14	2	15	15	2	12	12	2	10	10	2	8	8	2	5
18	2	15	15	2	21	21	2	26	26	2	30	30	2	28	28	2	24	24	2	19	19	2	13	13	2
19	2	30	30	2	37	37	2	42	42	2	46	46	2	44	44	2	41	41	2	36	36	2	24	24	2
20	2	46	46	2	54	54	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2
21	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
22	3	21	21	3	30	30	3	36	36	3	41	41	3	38	38	3	34	34	3	28	28	3	18	18	3
23	3	40	40	3	49	49	3	56	56	3	64	64	3	61	61	3	57	57	3	48	48	3	30	30	3
24	4	0	4	9	9	4	16	16	4	22	22	4	26	26	4	24	24	4	20	20	4	14	14	4	9

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL

VARIACION 0° 07' 3"  
 CUERDAS DE 10  
 LONGITUD DE ESPIRAL 20X

G.		R.	L.	δ		J.	T.	X	Y.	TL.	TC.	D.		
G	M	MTS.	MTS.	G	M	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.		
0	15	4583.660	20.000	0	7	30	0.004	10.000	20.000	0.015	13.333	6.667	20.000	4583.660
0	30	2291.831	40.000	0	50	30	0.029	20.000	40.000	0.116	26.667	3.333	40.000	2291.860
0	45	1527.887	60.000	1	7	30	0.098	30.000	59.998	0.393	40.001	20.001	59.999	1527.925
1	G	1145.316	80.000	2	0	0	0.233	39.998	79.990	0.331	53.337	26.670	79.998	1145.148
1	15	916.732	100.000	3	7	30	0.454	49.995	99.970	1.818	66.677	33.343	99.987	917.187
1	30	763.944	120.000	4	30	0	0.785	59.988	119.926	3.140	80.026	40.024	119.967	764.723
2	0	372.958	160.000	8	0	0	1.850	79.981	159.748	7.734	106.775	51.453	159.861	374.810
2	15	509.298	180.000	10	7	30	2.648	89.905	179.437	10.579	120.019	60.179	179.749	511.945
2	30	458.368	200.000	12	30	0	3.830	99.837	199.046	14.495	133.863	66.970	199.573	461.296

VISANDO AL PUNTO NUMERO	INSTRUMENTO COLOCADO EN EL PUNTO																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S
0	0	0	0	1	5	0	5	0	11	15	0	20	0	31	15	0	41	15	0	52	0
1	0	037	0	0	0	1	3	7	0	8	45	0	16	52	0	27	30	0	35	37	4
2	0	230	0	230	0	0	0	5	0	12	30	0	22	30	0	35	0	50	0	1	2
3	0	537	0	615	0	422	0	0	0	6	52	0	16	15	0	28	7	0	42	30	0
4	0	110	0	1115	0	10	0	0	6	15	0	0	0	8	45	0	20	0	0	33	45
5	0	1537	0	1730	0	1652	0	13	45	0	8	7	0	0	10	37	0	23	45	0	39
6	0	2230	0	225	0	0	25	0	0	22	30	0	17	30	0	10	4	0	12	30	0
7	0	3037	0	33	45	0	34	22	0	32	30	0	20	7	0	21	15	0	11	52	0
8	0	40	0	0	43	45	0	43	45	0	40	0	0	33	45	0	25	0	0	13	45
9	0	5037	0	55	0	0	56	52	0	56	15	0	53	7	0	47	30	0	39	22	0
10	1	2	30	1	7	30	1	10	0	1	10	0	1	7	30	1	2	30	0	55	0
11	1	1537	1	21	15	1	24	22	1	25	0	1	23	7	1	18	45	1	11	52	1
12	1	130	0	1	36	15	1	40	0	1	41	15	1	40	0	1	36	15	1	30	0
13	1	1537	1	52	30	1	56	52	1	58	7	1	55	0	1	49	22	1	41	15	1
14	2	2	30	2	10	0	2	17	30	2	17	30	2	15	0	2	2	30	2	10	0
15	2	2037	2	28	45	2	34	22	2	37	30	2	36	7	2	36	15	2	31	52	2
16	2	40	0	2	48	45	2	55	0	2	58	45	3	0	0	2	58	45	3	0	0
17	3	037	3	10	0	3	16	52	3	21	15	3	23	7	3	22	30	3	19	22	3
18	3	230	3	32	30	3	40	0	3	45	0	3	47	30	3	47	30	3	45	0	3
19	3	4537	3	56	15	4	42	4	4	13	7	4	13	45	4	11	52	4	7	30	4
20	4	10	0	4	21	15	4	30	0	4	36	15	4	40	0	4	41	15	4	40	0



SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE VIAS FERREAS  
 OPTO. DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
 OFICINA DE PROYECTOS

VARIACION 0° 15'  
 CUERDAS DE 10  
 LONGITUD DE ESPIRAL 16

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL

0.	R.	Le.	2	4	T.	X	Y.	TL.	TC.	C.	D.
0 M	MTS.	MTS.	0 M	S	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.
0 15	4583.660	10.000	0 3	45	0.001	5.000	10.000	0.004	6.667	3.333	10.000
0 30	2291.831	20.000	0 3	45	0.002	10.000	20.000	0.009	13.333	6.667	20.000
0 45	1527.887	30.000	0 3	45	0.003	15.000	30.000	0.015	20.000	10.000	30.000
1 0	1145.916	40.000	1 0	30	0	20.000	39.998	0.033	26.667	13.334	39.998
1 15	916.732	50.000	1 33	45	0.114	54.999	49.998	0.434	33.333	18.888	49.998
1 30	783.846	60.000	1 15	0	0	60.000	59.991	0.784	40.000	19.998	59.998
2 0	572.958	80.000	4 0	0	0	80.000	79.991	1.861	53.333	26.667	79.993
2 15	509.298	90.000	5 3	0	0.662	84.998	80.000	2.949	60.000	30.000	80.000
2 30	458.368	10.000	6 0	0	0.908	88.980	83.981	3.333	66.667	33.331	83.984
3 0	381.972	20.000	9 10	0	1.589	89.950	119.704	6.272	80.103	40.054	119.868
3 30	327.404	40.000	12 15	0	2.490	89.881	138.339	9.945	93.555	48.871	139.713
4 0	286.479	60.000	16 0	0	3.713	79.784	156.748	14.611	107.097	57.333	159.437

VISANDO AL PUNTO NUMERO	INSTRUMENTO COLOCADO EN EL PUNTO																																																						
	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16																						
	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S																
0	0	0	0	0	2	30	0	10	0	0	22	30	0	40	0	1	2	30	1	30	0	2	2	30	2	40	0	3	22	30	4	10	0	5	2	30	6	0	0	7	2	30	8	10	0	9	22	30	10	4	0				
1	0	1	15	0	0	0	0	6	15	0	17	30	0	33	45	0	55	0	1	21	15	1	52	30	2	28	45	3	10	0	3	56	15	4	47	30	5	43	45	6	45	0	7	51	15	8	9	2	30	10	1	0			
2	0	5	0	0	5	0	0	0	0	0	10	0	0	25	0	0	45	0	1	10	0	1	40	0	2	15	0	2	55	0	3	40	0	4	30	0	5	25	0	6	25	0	7	30	0	8	40	0	9	40	0	9	5	0	
3	0	11	15	0	12	30	0	8	45	0	0	0	0	13	45	0	32	30	0	56	15	1	25	0	1	58	45	2	37	30	3	21	15	4	4	0	5	3	45	6	2	30	7	6	15	8	15	0	9	2	0				
4	0	20	0	0	22	30	0	20	0	0	12	30	0	0	0	0	17	30	0	40	0	1	7	30	1	40	0	2	7	30	3	0	0	3	47	30	4	40	0	5	37	30	6	40	0	7	47	30	8	9	2	30	9	0	0
5	0	31	15	0	35	0	0	33	45	0	27	30	0	16	15	0	0	0	0	21	15	0	47	30	1	18	45	1	55	0	2	36	15	3	22	30	4	13	45	5	10	0	6	11	15	7	17	30	8	0	0				
6	0	45	0	0	50	0	0	50	0	0	45	0	0	35	0	0	20	0	0	0	0	0	25	0	0	55	0	1	30	0	2	10	0	2	55	0	3	45	0	4	40	0	5	40	0	6	45	0	7	5	0				
7	1	15	0	7	30	0	1	8	45	1	5	0	5	56	15	0	42	30	0	23	45	0	0	0	0	28	45	1	2	30	1	41	15	2	25	0	3	13	45	4	7	30	5	6	15	6	10	0							
8	1	20	0	1	27	30	1	1	30	0	1	27	30	1	20	0	1	7	30	0	50	0	0	27	30	0	6	0	1	32	30	1	10	0	1	52	30	2	40	0	3	32	30	4	30	0	5	32	30						
9	1	41	15	1	50	0	1	53	45	1	52	30	1	46	15	1	35	0	1	18	45	0	57	30	0	31	15	0	0	0	0	36	15	1	17	30	2	3	45	2	55	0	3	51	15	4	2	30	5	5	0				
10	2	5	0	2	15	0	2	20	0	2	20	0	2	15	0	2	5	0	1	50	0	1	30	0	1	5	0	0	35	0	0	0	0	0	40	0	0	40	0	1	25	0	2	15	0	3	10	0	4	10	0				
11	2	31	15	2	42	30	2	48	45	2	50	0	2	46	15	2	37	30	2	23	45	2	5	0	1	41	15	1	12	30	0	38	45	0	0	0	0	43	45	1	32	30	2	26	15	3	25	0							
12	3	0	0	3	12	30	3	20	0	3	22	30	3	20	0	3	12	30	3	0	0	2	42	30	2	20	0	1	52	30	1	20	0	0	42	30	0	0	0	0	47	30	1	40	0	2	37	30							
13	3	31	15	3	45	0	3	53	45	3	57	30	3	56	15	3	50	0	3	38	45	3	22	30	3	1	15	2	35	0	2	3	45	1	27	30	0	46	15	0	0	0	0	51	15	1	47	30							
14	4	5	0	4	20	0	4	30	0	4	35	0	4	35	0	4	30	0	4	20	0	4	5	0	3	45	0	3	20	0	2	50	0	2	15	0	1	35	0	0	50	0	0	0	0	0	55	0							
15	4	41	15	4	57	30	5	8	45	5	15	0	5	16	15	5	12	30	5	3	45	4	50	0	4	31	15	4	7	30	3	38	45	3	5	0	2	26	15	1	42	30	0	53	45	0	0	0							
16	5	20	0	5	37	30	5	50	0	5	57	30	6	0	0	5	57	30	5	50	0	5	37	30	5	20	0	4	57	30	4	30	0	3	57	30	3	20	0	2	37	30	1	50	0	0	57	30							

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE VIAS FERREAS  
 DEPTO. DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
 OFICINA DE PROYECTOS

VARIACION 0° 30' 00"  
 CUERDAS DE 10 M  
 LONGITUD DE ESPIRAL 100 M

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL

G.		R.		L.		δ			d.		T.		X.		Y.		TL.		TC.		C.		D.	
G	M	MTS.	MTS.	G	M	S	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.
0	30	2291.831	10.000	0	7	30	0.002	5.000	10.000	0.007	6.667	3.333	10.000	2291.833										
1	0	1145.916	20.000	0	30	0	0.015	10.000	20.000	0.058	13.333	6.667	20.000	1145.930										
1	30	763.944	30.000	1	7	30	0.049	15.000	29.999	0.196	20.000	10.000	29.999	763.993										
2	0	572.958	40.000	2	0	0	0.116	19.999	39.995	0.465	26.668	13.335	39.998	573.074										
2	30	458.366	50.000	3	7	30	0.227	24.998	49.986	0.909	33.339	16.671	49.993	458.593										
3	0	381.972	60.000	4	30	0	0.393	29.994	59.963	1.570	40.013	20.012	59.984	382.364										
3	30	327.404	70.000	6	7	30	0.623	34.987	39.920	2.492	46.696	23.359	69.964	328.028										
4	0	286.479	80.000	8	0	0	0.950	39.974	79.844	3.718	53.388	26.716	79.930	287.409										
4	30	254.648	90.000	10	7	30	1.324	44.952	89.719	5.290	60.098	30.090	89.874	255.972										
5	0	229.183	100.000	12	30	0	1.815	49.919	99.523	7.248	66.832	33.485	99.787	230.998										

VISANDO AL PUNTO NUMERO	INSTRUMENTO COLOCADO EN EL PUNTO																																
	0			1			2			3			4			5			6			7			8			9			10		
	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S
0	0	0	0	0	5	0	0	20	0	0	45	0	1	20	0	2	5	0	3	0	0	4	5	0	5	20	0	6	45	0	8	20	0
1	0	2	30	0	0	0	0	12	30	0	35	0	1	7	30	1	50	0	2	42	30	3	45	0	4	57	30	6	20	0	7	52	30
2	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	50	0	1	30	0	2	20	0	3	20	0	4	30	0	5	50	0	7	20	0
3	0	22	30	0	25	0	0	17	30	0	0	0	0	27	30	1	5	0	1	52	30	2	50	0	3	57	30	5	15	0	6	42	30
4	0	40	0	0	45	0	0	40	0	0	25	0	0	0	0	0	35	0	1	20	0	2	15	0	3	20	0	4	35	0	6	0	0
5	1	2	30	1	10	0	1	7	30	0	55	0	0	32	30	0	0	0	0	42	30	1	35	0	2	37	30	3	50	0	5	12	30
6	1	30	0	1	40	0	1	40	0	1	30	0	1	10	0	0	40	0	0	0	0	0	50	0	1	50	0	3	0	0	4	20	0
7	2	2	30	2	15	0	2	17	30	2	10	0	1	52	30	1	25	0	0	47	30	0	0	0	0	57	30	2	5	0	3	22	30
8	2	40	0	2	55	0	3	0	0	2	55	0	2	40	0	2	15	0	1	40	0	0	55	0	0	0	0	1	5	0	2	20	0
9	3	22	30	3	40	0	3	47	30	3	45	0	3	32	30	3	10	0	2	37	30	1	55	0	1	2	30	0	0	0	1	2	30
10	4	10	0	4	30	0	4	40	0	4	40	0	4	30	0	4	10	0	3	40	0	3	0	0	2	10	0	1	10	0	0	0	0

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE VIAS FERREAS  
 DEPTO DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
 OFICINA DE PROYECTOS

VARIACION 0°45'00"  
 CUERDAS DE 10 M  
 LONGITUD DE ESPIRAL 80 M

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL

G.	R.	Ls.	δ			I.	X.	Y.	TL	TC.	C.	D.		
			G	M	S									
0	M	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.		
0	45	1527.847	10.000	0	11	15	0.003	5.000	10.000	0.011	6.667	3.333	10.000	1527.890
1	30	763.944	20.000	0	45	0	0.022	10.000	20.000	0.087	13.333	6.667	20.000	763.965
2	15	509.296	30.000	1	41	15	0.074	15.000	29.997	0.295	20.001	10.001	29.999	509.369
3	0	381.972	40.000	3	0	0	0.175	19.998	39.989	0.698	26.670	13.337	39.995	382.146
4	30	254.648	60.000	6	45	0	0.589	29.986	59.917	2.354	40.029	20.026	59.963	255.237
6	0	190.986	80.000	12	0	0	1.394	39.940	79.648	5.568	53.455	26.779	79.843	192.380

VISANDO AL PUNTO NUMERO	INSTRUMENTO COLOCADO EN EL PUNTO																										
	0			1			2			3			4			5			6			7			8		
	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S
0	0	0	0	0	7	30	0	30	0	1	7	30	2	0	0	3	7	30	4	30	0	6	7	30	3	0	0
1	0	3	45	0	0	0	0	18	45	0	52	30	1	41	15	2	45	0	4	3	45	5	37	30	7	26	15
2	0	15	0	0	15	0	0	0	0	0	30	0	1	15	0	2	15	0	3	30	0	5	0	0	6	45	0
3	0	33	45	0	37	30	0	26	15	0	0	0	0	41	15	1	37	30	2	48	45	4	15	0	5	56	15
4	1	0	0	1	7	30	1	0	0	0	37	30	0	0	0	0	52	30	2	0	0	3	22	30	5	0	0
5	1	33	45	1	45	0	1	41	15	1	22	30	0	48	45	0	0	0	1	3	45	2	22	30	3	56	15
6	2	15	0	2	30	0	2	30	0	2	15	0	1	45	0	1	0	0	0	0	0	1	15	0	2	45	0
7	3	3	45	3	22	30	3	26	15	3	15	0	2	48	45	2	7	30	1	11	15	0	0	0	1	2	15
8	4	0	0	4	22	30	4	30	0	4	22	30	4	0	0	3	22	30	2	30	0	1	22	30	0	0	0

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE VIAS FERREAS  
 DEPTO. DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
 OFICINA DE PROYECTOS

VARIACION 1° 00' 00"  
 CUERDAS DE 10 M  
 LONGITUD DE ESPIRAL 90 M

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL

G.		R.	L.	J			d.	T.	X.	Y.	TL.	TC.	C.	D.
G	M	MTS.	MTS.	G	M	S	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.
1	0	1145.916	10.000	0	15	0	0.004	5.000	10.000	0.015	6.667	3.333	10.000	1145.919
2	0	572.958	20.000	1	0	0	0.029	10.000	19.999	0.116	13.334	6.667	20.000	572.987
3	0	381.972	30.000	2	15	0	0.098	14.999	29.995	0.393	20.002	10.001	29.998	382.070
4	0	286.479	40.000	4	0	0	0.233	19.997	39.981	0.931	26.673	13.340	39.991	286.711
5	0	229.183	50.000	6	15	0	0.454	24.990	49.940	1.817	33.354	16.686	49.973	229.637
6	0	190.986	60.000	9	0	0	0.785	29.975	59.852	3.136	40.051	20.047	59.934	191.771
7	0	163.702	70.000	12	15	0	1.245	34.945	69.679	4.972	46.778	23.435	69.657	164.947
8	0	143.239	80.000	16	0	0	1.857	39.892	79.374	7.405	53.548	26.866	79.719	145.956
9	0	127.324	90.000	20	15	0	2.639	44.800	88.869	10.509	60.384	30.362	89.488	129.963

VISANDO AL PUNTO NUMERO	INSTRUMENTO COLOCADO EN EL PUNTO																													
	0			1			2			3			4			5			6			7			8			9		
	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S
0	0	0	0	0	10	0	0	40	0	1	30	0	2	40	0	4	10	0	6	0	0	8	10	0	10	40	0	13	30	0
1	0	5	0	0	0	0	0	25	0	1	10	0	2	15	0	3	40	0	5	25	0	7	30	0	9	55	0	12	40	0
2	0	20	0	0	20	0	0	0	0	0	40	0	1	40	0	3	0	0	4	40	0	6	40	0	9	0	0	11	40	0
3	0	45	0	0	50	0	0	35	0	0	0	0	0	55	0	2	10	0	3	45	0	5	40	0	7	55	0	10	30	0
4	1	20	0	1	30	0	1	20	0	0	50	0	0	0	0	1	10	0	2	40	0	4	30	0	6	40	0	9	10	0
5	2	5	0	2	20	0	2	15	0	1	50	0	1	5	0	0	0	0	1	25	0	3	10	0	5	15	0	7	40	0
6	3	0	0	3	20	0	3	20	0	3	0	0	2	20	0	1	20	0	0	0	0	1	40	0	3	40	0	6	0	0
7	4	5	0	4	30	0	4	35	0	4	20	0	3	45	0	2	50	0	1	35	0	0	0	0	1	55	0	4	10	0
8	5	20	0	5	50	0	6	0	0	5	50	0	5	20	0	4	30	0	3	20	0	1	50	0	0	0	0	2	1	0
9	6	45	0	7	20	0	7	35	0	7	30	0	7	5	0	6	20	0	5	15	0	3	50	0	2	5	0	0	0	0

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE VIAS FERREAS  
 DEPTO. DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
 OFICINA DE PROYECTOS

VARIACION 1° 30' 00"  
 CUERDAS DE 10 M  
 LONGITUD DE ESPIRAL 60 M

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL

G	M	R.	Ls.	δ			d.	T.	X.	Y.	TL	TC.	C.	D.
		MTS.	MTS.	G	M	S	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.	MTS.
1	30	763.944	10.000	0	22	30	0.005	5.000	10.000	0.022	6.667	3.333	10.000	763.949
3	0	381.972	20.000	1	30	0	0.044	10.000	19.999	0.175	13.334	6.667	19.999	382.015
6	30	254.648	30.000	3	22	30	0.147	14.998	29.990	0.589	20.004	10.003	29.995	254.755
6	0	190.986	40.000	6	0	0	0.349	19.993	39.956	1.395	26.682	13.347	39.980	191.335
9	0	127.324	60.000	13	30	0	1.178	29.943	59.656	4.694	40.115	20.106	59.650	128.500

VISANDO AL PUNTO NUMERO	INSTRUMENTO COLOCADO EN EL PUNTO																				
	0			1			2			3			4			5			6		
	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S
0	0	0	0	0	15	0	1	0	0	2	15	0	4	0	0	6	15	0	9	0	0
1	0	7	30	0	0	0	0	37	30	1	45	0	3	22	30	5	30	0	8	7	30
2	0	30	0	0	30	0	0	0	0	1	0	0	2	30	0	4	30	0	7	0	0
3	1	7	30	1	15	0	0	52	30	0	0	0	1	22	30	3	15	0	5	37	30
4	2	0	0	2	15	0	2	0	0	1	15	0	0	0	0	1	45	0	4	0	0
5	3	7	30	3	30	0	3	22	30	2	45	0	1	37	30	0	0	0	2	7	30
6	4	30	0	5	0	0	5	0	0	4	30	0	3	30	0	2	0	0	0	0	0

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE VIAS FERREAS  
 DEPTO. DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
 OFICINA DE PROYECTOS

VARIACION 2° 00' 00"  
 CUERDAS DE 10 M  
 LONGITUD DE ESPIRAL 50 M

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL

G	M	R.	Ls.	J			d.	T.	X.	Y.	TL	TC.	C.	D.
		MTS.	MTS.	G	M	S	MTS.	MTS.	MTS	MTS	MTS	MTS.	MTS.	MTS.
2	0	572.958	10.000	0	30	0	0.007	5.000	10.000	0.029	6.667	3.333	10.000	572.965
4	0	286.479	20.000	2	0	0	0.058	10.000	19.998	0.235	13.334	6.667	19.999	286.537
6	0	190.986	30.000	4	30	0	0.198	14.997	29.981	0.786	20.006	10.006	29.992	191.182
8	0	143.239	40.000	8	0	0	0.465	19.987	39.922	1.859	26.694	13.358	39.965	143.705
10	0	114.592	50.000	12	30	0	0.907	24.959	49.761	3.624	33.416	16.743	49.893	115.499

VISANDO AL PUNTO NUMERO	INSTRUMENTO COLOCADO EN EL PUNTO																	
	0			1			2			3			4			5		
	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S
0	0	0	0	0	20	0	1	20	0	3	0	0	5	20	0	8	20	0
1	0	10	0	0	0	0	0	50	0	2	20	0	4	30	0	7	20	0
2	0	40	0	0	40	0	0	0	0	1	20	0	3	20	0	6	0	0
3	1	30	0	1	40	0	1	10	0	0	0	0	1	50	0	4	20	0
4	2	40	0	3	0	0	2	40	0	1	40	0	0	0	0	2	20	0
5	4	10	0	4	40	0	4	30	0	3	40	0	2	10	0	0	0	0

## BIBLIOGRAFIA

- Carrasco, Matias. (1963) Vía. Instituto de capacitacion ferrocarrilera, Mexico, D.F.
- Castillo, Juan. (1990) Documento inedito. Mexico D.F.
- Definicion de terminos. (1991) Documento inedito. Mexico, D.F.
- Garcia, Rocha G. (1987) La geotecnia aplicada a las vias ferreas. Articulo publicado por la D.G.V.F. de la S.C.T. Mexico, D.F.
- Gerencia de contratacion y programacion S.G.C. de F.N.M. (1991) Presupuesto para concurso #S.C.- FCNM-SGC-05-91. Mexico, D.F.
- Gerencia de Sistemas F.N.M. (1990) Series estadisticas. F.N.M. Mexico, D.F.
- Merrit, S. Frederick. (1986) Manual del Ingeniero Civil. Mc. Graw Hill, Mexico, D.F.
- Oliveros, Rivas Fernando. (1980) Tratado de Ferrocarriles. Ed. Rueda, Madrid, Espana.
- Subdireccion General de construccion F.N.M. (1990) Resultados de mecanica de suelos para el tramo km 11+230 al km 17+100 tramo Npopualco-San Juan Tlacotenco de la nueva linea ferrea Mexico-Cuernavaca. Mexico, D.F.
- Togno, M. Francisco (1982) Ferrocarriles. Ed. Representaciones y servicios de Ingenieria S.A. Mexico, D.F.
- Urias, Beatriz (1987) Los Ferrocarriles de Mexico. F.N.M. Mexico, D.F.
- Varios (1985) Manual de Especificaciones Generales para Proyecto Geometrico, S.C.T., Mexico, D.F.

- Varios (1973) Manual for Railway Engineering. American Railway Engineering Association. E.U.A.
- Varios (1970) Monografía de los Ferrocarriles Mexicanos. S.C.T., Mexico, D.F.
- Varios (1967) Reglamento de conservación de vía y estructuras para los Ferrocarriles Mexicanos. Ed. Rabasa. Mexico, D.F.
- Zamarripa, M. Francisco (1981) Manual de Especificaciones Generales de Construcción. F.N.M. Mexico, D.F.