

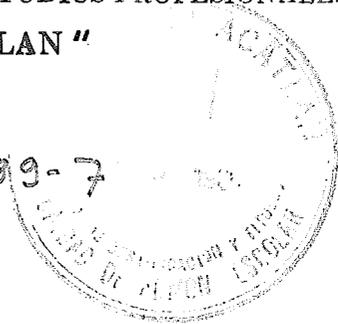


# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

"ACATLAN"

720 7289-7



**Proyecto Geométrico del Metropolitano de la Ciudad de México en Vía Elevada, Línea 4.**

**TRAMO: MORELOS-CANDELARIA.**

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
BENIGNO ESPINAL GARCIA

M- 0028785



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

A MIS PADRES:

SR. ANTONIO ESPINAL RAMOS

SRA. LILIA GARCIA DE ESPINAL

A MI ESPOSA:

SRA. LETICIA GOMEZ SANCHEZ

A MI HIJA:

VERONICA ADRIANA ESPINAL GOMEZ

A MIS HERMANOS Y FAMILIARES



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA.

CAI-C-119/82.

SR. BENIGNO ESPINAL GARCIA  
Alumno de la Carrera de Ingenieria Civil,  
P r e s e n t e.

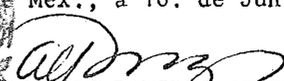
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 27 de Noviembre de 1981, me complace notificarle -- que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Proyecto Geométrico del Metropolitano de la Cd. de México en Vía Elevada Linaea 4 Tramo Morelos-Candelaria", el cual se desarrollará como sigue:

- I.- Aspectos generales
  - II.- Dimensionamiento de la plataforma
  - III.- Proyectos de trazo
  - IV.- Proyecto de perfil
  - V.- Distribución de columnas
  - VI.- Implantación de vía
- Lista de nomenclatura  
Glosario y bibliografía

Asímismo fué designado como Asesor de Tesis el Señor Ing. Ismael González Tecuatl, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento - de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

Atentamente  
"POR MI PAZ HABLARA EL ESPIRITU"  
Acatlán, Méx., a 10. de Junio de 1982.



ING. ALEJANDRO RAMIREZ SECEÑA  
Coordinador del Programa  
de Ingenieria.  
ENEP - ACATLAN  
COORDINACION DE  
INGENIERIA Y ACTUARIA

PROYECTO GEOMETRICO DEL METROPOLITANO  
DE LA CIUDAD DE MEXICO EN VIA  
ELEVADA, LINEA 4 TRAMO  
MORELOS - CANDELARIA

C O N T E N I D O

INTRODUCCION. . . . .	V
RESUMEN . . . . .	VIII
1.- ASPECTOS GENERALES . . . . .	1
2.- DIMENSIONAMIENTO DE LA PLATAFORMA. . . . .	7
2.1. Características y dimensiones generales de la vía. . . . .	7
2.1.1 Características generales del material rodante. . . . .	13
2.2 Gálibo horizontal para entrevía de 3.15 mts. . . . .	19
2.2.1 En tramo tangente. . . . .	19
2.2.2 En zona de curva . . . . .	22
2.3 Gálibos en zona de estación. . . . .	22
2.3.1 En estación elevada . . . . .	22
2.3.2 En estación superficial . . . . .	26
3.- PROYECTO DE TRAZO. . . . .	31
3.1 Estudio de factibilidad . . . . .	31
3.2 Anteproyecto de Trazo . . . . .	33
3.2.1 Levantamientos topográficos . . . . .	38
3.2.2 Instalaciones municipales . . . . .	39
3.3 Proyecto definitivo . . . . .	41
3.3.1 Trabajos preliminares . . . . .	44
3.3.2 Cálculo de curvas horizontales. . . . .	45
3.3.2.a La clotoide . . . . .	46
3.3.2.b La circular . . . . .	51
3.3.3 Referenciación del trazo. . . . .	59
4.- PROYECTO DE PERFIL. . . . .	68
4.1 Anteproyecto . . . . .	69
4.2 Proyecto definitivo . . . . .	69
4.2.1 Trabajos preliminares . . . . .	71
4.2.2 Cálculo de curvas verticales. . . . .	72
4.2.3 Cálculo del nivel de subrasante . . . . .	74
5.- DISTRIBUCION DE COLUMNAS . . . . .	79
5.1 Localización de columnas . . . . .	81
5.2 Referenciación de columnas . . . . .	86
6.- IMPLANTACION DE VIA . . . . .	88
6.1 Trazo . . . . .	88
6.2 Perfil . . . . .	92
6.3 Sobreelevaciones . . . . .	92
6.4 Fijación de vía . . . . .	101
6.4.1 Distribución de durmientes. . . . .	103
6.4.2 Aparatos de dilatación. . . . .	108
6.4.3 Soldaduras y anclajes . . . . .	108

6,4,4 Juntas aislantes . . . . .	109
6,4,5 Aparatos de vía . . . . .	111
Apéndice "A" . . . . .	114
Apéndice "B" . . . . .	118
Apéndice "C" . . . . .	125
Lista de nomenclatura . . . . .	137
Glosario de términos . . . . .	139
Conclusiones . . . . .	141
Bibliografía . . . . .	142

# *INTRODUCCION*

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

El intenso crecimiento demográfico en la Ciudad de México se inició en los años treinta y cuarenta, a partir del proceso de sustitución, de importaciones y de la coyuntura de la Segunda Guerra Mundial que permitió iniciar en forma significativa el desarrollo de las ciudades industriales.

La ciudad de México fue centro de este proceso aprovechando la magnitud de su población, sus funciones políticas y comerciales ya existentes, así como la presencia de fuerza de trabajo capacitada.

De esa época hasta nuestros días, se ha mantenido una tasa de crecimiento arriba del 5% anual, lo que ha provocado que el área urbana del valle tenga 15.400 millones de habitantes, de los cuales casi 10 millones viven en el Distrito Federal.

Las estadísticas sobre población estiman que para el año 2,000 habitarán en la zona metropolitana alrededor de 30 millones de individuos, a los cuales habrá que dotar de servicios municipales, empleo, educación y vivienda, entre otros. Así el problema urbano que la ciudad de México plantea, tiene como origen el rápido crecimiento demográfico, el desempleo y la consiguiente pauperización de una gran parte de la población.

El hacinamiento, el crecimiento irregular sin control, el incremento en el tiempo de traslado al trabajo y el desorden en el funcionamiento de los servicios públicos son algunos de los aspectos más característicos en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Dentro de esta problemática destaca la importancia que tienen los aspectos de la vialidad y el transporte, renglones cuya notable deficiencia ha provocado uno de los más agudos problemas como es el del transporte urbano de pasajeros en la Ciudad de México.

Con una superficie aproximada a los 2000 Km<sup>2</sup>; México es la quinta ciudad más grande de la tierra y el 20% de la población total del país vive dentro de su perímetro.

## DIAGNOSTICO DE VIALIDAD Y TRANSPORTE EN 1980

En el Distrito Federal se generan 20 millones de viajes/persona/día con un mayor porcentaje de viajes origen-destino en las zonas Oriente de Ciudad Netzahualcoyotl; al Norte y al Poniente de la Ciudad y en los parques industriales de Naucalpan, Atizapán de Zaragoza y Tlalnepantla, en el Estado de México.

Circulan en sus calles cerca de 2 300 000 vehículos de todo tipo que consumen un tercio de la producción nacional de

gasolina y el total de viajes/persona/día, efectuados en --- 1980, el 51% corresponde a autobuses urbanos y sólo el 11% - se realiza en el Metro.

Las estimaciones para finales de 1982 indican que el -- porcentaje de viajes en el Metro se incrementará a solo un - 26% mientras que el uso de autobuses mantendrá el nivel de - 1980.

Del total de vehículos en circulación sólo el 3% son de uso colectivo y transportan diariamente el 79% de los usua-- rios, los automóviles suman el 97% del total y transportan - el 21% de la población.

El promedio de ocupación de los automóviles privados es de 1.2 pasajeros por unidad y las proyecciones señalan que - dentro de seis años la población del Distrito Federal y zo-- nas conurbadas llegará a 18.7 millones de viajes/persona/día, demanda que sólo podrá ser atendida mediante un crecimiento global y ordenado de los medios de transporte público.

El gobierno del Distrito Federal en su afán de mejorar el servicio de transporte sobre superficie, ha implementado una serie de medidas encaminadas a mejorar la vialidad y el transporte en la ciudad, así se tiene:

#### RESPECTO A LA VIALIDAD:

- Dar continuidad a la traza de la ciudad en forma ordenada.
- Jerarquizar la estructura vial (vialidades locales, - secundarias y de acceso controlado.
- Controlar el estacionamiento en las principales avenidas.

#### RESPECTO AL TRANSPORTE URBANO:

- Implementar rutas de transporte colectivo, en función de estudios de origen - destino.
- Reducción de rutas, evitando la multiplicidad de lí-- neas de transporte sobre una misma arteria.
- Eliminar terminales de autobuses en la vía pública.
- Municipalización de autobuses urbanos.
- Puesta en marcha de la ampliación del Metro siguiendo un plan previamente establecido, de manera que su ex-- tensión esté de acuerdo con las dimensiones de la ciu-- dad.

El Metro Mexicano que actualmente cuenta con cinco lí--

neas en servicio, seguirá creciendo, ya que se tiene proyectado en el Plan Maestro que para el año 2000 se cuente con un total de 19 líneas.

A finales de 1981 el Sistema de Transporte Colectivo moviliza casi tres millones y medio de pasajeros y para el año 2000 cuando la población de la zona metropolitana sea superior a los 30 millones de habitantes, la capacidad de este será de 26.3 millones de pasajeros al día.

Hasta principios de 1981 el Metro cuenta con una longitud total de 67.3 kilómetros de líneas y para fines de 1982 esa longitud de 41.6 km. sirviendo a un millón quinientos mil usuarios al día.

Al terminar el sexenio, el Metro habría crecido físicamente en un 169% mientras su capacidad de transportación de pasajeros se habría desarrollado en un 333 %. Durante el año de 1983 se sigue trabajando en la construcción de línea - 6, línea - 7, prolongación de la línea - 1 al Oriente y la prolongación de la línea - 2 hacia el Municipio de Naucalpan, además de que se ha concluido totalmente la prolongación de la línea - 3 hacia el sur.

Para el año 2000 el Metro de la Ciudad de México será el sistema total de transporte masivo de pasajeros debido a que recorrerá a la capital de la República, con una amplia red que estará interconectada con el sistema de tren suburbano del Valle de México.

En estas fechas el país ya producirá sus propios carros y se podrá satisfacer la demanda de transporte, las 19 líneas serán recorridas por un total de 882 convoyes de nueve carros, actualmente el servicio lo prestan 882 carros. La actual red de 67.3 km. será de 444.9 km para esa época.

Dentro de estas perspectivas de desarrollo del sistema es necesario resaltar la labor de los técnicos y profesionales mexicanos, sin los cuales no hubiese sido posible el avance hasta hoy logrado, como es la construcción de más de dos km. de línea por mes, lo cual constituye un récord mundial.

Este trabajo pretende mostrar la labor realizada para la terminación de un proyecto y la construcción de una línea del Metro, aplicando los conocimientos adquiridos a través de los años en la vida profesional del Ingeniero Civil.

# *RESUMEN*

## R E S U M E N

El primer capítulo se refiere a los aspectos generales de la Línea - 4, en el se encuentran detalladas las características más importantes del Metro tal como es la longitud de la Línea, origen y destino del recorrido, número de estaciones, correspondencia con otras Líneas, núcleos urbanos -- afectados y obras inducidas, entre otros aspectos técnicos -- relacionados con la red.

El capítulo dos está enfocado al estudio del espacio -- vertical y horizontal necesario para el buen funcionamiento del sistema, en él encontramos las características y dimensiones del material de rodamiento, en este caso se presenta el equipo de procedencia francesa y canadiense que es el utilizado hasta el momento en todas las Líneas del Metro de la Ciudad de México.

Las dimensiones del viaducto son resultado de un estudio detallado en el que es necesario considerar los requerimientos de seguridad y de operación del convoy, además de -- las instalaciones para alojar motores de aparatos de cambio de vía, charolas para cables, elementos de señalización, anclador de seguridad y muretes para contención de balasto.

El capítulo tres es una descripción detallada de cada -- uno de los pasos que se siguen para conseguir un proyecto de trazo definitivo, con el auxilio de dos curvas horizontales: la circular y la clotoide.

El perfil de la Línea es resultado del estudio del terreno natural y de la adecuación de este a las necesidades -- de operación del sistema. El capítulo cuatro al igual que el anterior nos brinda la oportunidad de conocer el trabajo realizado en gabinete, en el capítulo cuatro trabajaremos con -- curvas parabólicas, durante el desarrollo del proyecto.

El capítulo cinco se refiere a la distribución de columnas a lo largo del recorrido del tren, distribución que es -- resultado del análisis de cada uno de los obstáculos por salvar sobre el trazo de la ruta, entre otros tenemos: redes de agua potable, líneas de energía eléctrica, gasoductos, ejes viales y ferrocarriles.

Nos auxiliamos de propiedades de las curvas circulares para la ubicación de las columnas en zona de curva.

En el capítulo seis se expone el proceso de revisión -- del proyecto una vez que se ha concluido la obra civil, la -- revisión se lleva a efecto en el trazo y en el perfil, así -- mismo se dan a conocer las medidas correctivas que se toman en el caso de no coincidir proyecto y construcción. Se realiza el cálculo de sobreelevaciones para las curvas horizontales y se comenta la importancia de su implantación en zona -- de curva.

Los durmientes, rieles, pista de rodamiento, barra guía y otros elementos de la vía se distribuyen de acuerdo a normas y especificaciones, en este capítulo se expone la manera como se lleva a cabo dicha distribución.

# *CAPITULO I*

# C A P I T U L O 1

## ASPECTOS GENERALES

La construcción de la línea cuatro del Metro corresponde, dentro de el plan general de desarrollo de este sistema a la segunda etapa de ampliación, su construcción se inició en el año de 1978 y para el año de 1982 se encontraba totalmente concluido.

Para la tercera etapa de ampliación se tiene proyectado que se continúe por la calzada De La Viga y Miramontes hasta el Anillo Periférico, para terminar en Xochimilco.

La característica que la distingue de las otras líneas es que está construida en elevado y corre casi en línea recta a través de una gran parte de la metrópoli, inicia su recorrido en la zona norte, en la Colonia Martín Carrera sobre la Avenida Ferrocarril Hidalgo, continúa por Avenida Inguarán, Sastrería, Imprenta, Francisco Morazán, para terminar en la Calzada De La Viga a la altura del cruce con la Avenida Plutarco Elías Calles.

Con la elección de ésta ruta se han unido, zonas del Distrito Federal con alta densidad de población, del orden por ejemplo de 400 hab/ha. solo comparable con la densidad poblacional de Ciudad Nezahualcoyotl.

Para que fuera posible la construcción con la vía elevada, fue condición necesaria contar con avenidas de un ancho, tal que, además de alojar la estructura del Metro permitiera plantear una solución vial paralela a la línea, características que cumplen la mayoría de las avenidas sobre las cuales corre actualmente el Metro y el eje vial dos Oriente.

Las necesidades de la ruta obligaron a ejecutar afectaciones en las siguientes avenidas:

- FFCC Hidalgo ..... Zona de entronque de Av. Inguarán y la Av. Hidalgo.
- Colonia Morelos..... Entre Calzada Circunvalación y Av. del Trabajo, el paramento Poniente de la Calle Imprenta.
- Barrio de Sta. Anita.. Desde el Viaducto Miguel Alemán hasta la Avenida Plutarco Elías Calles.

Aunque un criterio de diseño es el de efectuar el menor número de afectaciones, se tuvieron que realizar a lo largo de la ruta, tomando en consideración que con ello se lograba en la mayoría de los casos, beneficiar a los habitantes, saneando el ambiente de la zona, transformando la arquitectura urbana y elevando su nivel de vida, entre otros.

La longitud de la línea es de 10747.065 metros, en el -- cual se han distribuido estratégicamente 10 estaciones, dos - de ellas superficiales.

La distribución de los tramos interestaciones es la si-- guiente(véase Figura 1.1):

Cola Martín Carrera - Martín Carrera....	603.789 metros
Martín Carrera - Talismán.....	1279.184 metros
Talismán - Bondojito.....	1108.500 metros
Bondojito - Consulado.....	795.000 metros
Consulado - Canal del Norte.....	1033.638 metros
Canal del Norte - Morelos.....	1060.000 metros
Morelos - Candelaria.....	1212.202 metros
Candelaria - Fray Servando.....	783.052 metros
Fray Servando - Jamaica.....	1183.451 metros
Jamaica - Santa Anita.....	908.305 metros
Santa Anita - Cola Santa Anita.....	780.000 metros

De lo anterior observamos que se tiene una distancia pro medio entre estaciones de 1043.370 metros, que está cerca a - los 750.000 metros, es la recomendable para un aprovechamien- to óptimo del sistema, es evidente que por razones de espacio físico la distancia interestaciones no es constante.

La estación Martín Carrera fue proyectada como estación terminal superficial y es del tipo de andén central, atendien- do a las recomendaciones hechas por expertos se le ha provis- to de un área considerable de paraderos para autobuses y cajo nes para estacionamiento de automóviles, pensando en que en - un futuro cercano esta estación servirá como transferencia -- con el ferrocarril suburbano y correspondencia con la línea- 6.

La estación Candelaria que sirve de correspondencia con línea - 1 está construída también sobre la superficie y es -- del tipo de andén lateral, ubicada dentro de la zona históri- ca del primer cuadro de la ciudad y frente a el Palacio Legis lativo de SAN Lázaro, su posición y diseño como tal obedece - más a razones de orden estético por su cercanía a dicho edifi cio.

La plataforma a lo largo de toda la línea está sustenta da en columnas de tipo piramidal invertida las cuales se dis- tribuyeron según las necesidades de construcción y las condi- ciones físicas del terreno de la siguiente manera:

Martín Carrera - Talismán .....	34	Columnas
Talismán - Bondojito .....	36	"
Bondojito - Consulado.....	26	"
Consulado - Canal del Norte .....	42	"
Canal del Norte - Morelos .....	33	"
Morelos - Candelaria .....	23	"
Candelaria- Fray Servando.....	16	"
Fray Servando - Jamaica .....	37	"
Jamaica - Santa Anita.....	29	"
Santa Anita - Cola Santa Anita.....	25	"



con lo cual se tiene un total de 301 columnas a lo largo de la ruta.

La localización de las columnas se efectuó en base al análisis de instalaciones e interferencias, para no ejecutar desvíos, el resultado fue el tener claros diferentes para librar pasos de ferrocarriles, colectores, tuberías de agua potable, vialidades y líneas de Metro.

El claro normal que se utilizó es de 25 y 40 mts. longitud resultante del análisis de tipo estructural; apoyo, plataforma, y número de pilotes, para las estaciones el claro entre ejes de columnas es de 25 mts.

Para determinar el tipo de solución Metro se analizaron los siguientes aspectos:

- a) Características actuales.
- b) Instalaciones existentes.
- c) Interferencias importantes.

a) Dentro de las características actuales se logró establecer que existía:

- Longitud de tramo con sección transversal mayor o igual a 40 mts. de 8754.5 mts. representando el 79.7 % del total.
- Longitud de tramo con sección transversal menor a 40 mts. 587 mts. lo que representa un 5.5 % del total.
- Longitud del tramo por afectar 1585 mts. ó el 14.8 %.

b) Instalaciones existentes, durante el levantamiento que se realizó en cada tramo, se encontraron y se mencionan a continuación las más importantes:

Tramo: Martín Carrera - Talismán.

Ducto de Pemex	6" $\emptyset$	en Ferrocarril Hidalgo
Colector	2.13 $\emptyset$	en Av. San Juan de A.
Colector	3.15 $\emptyset$	en Oriente 171
Colector	1.22 $\emptyset$	en Av. Talismán
Tuberías para agua potable de 0.30 y 0.10 $\emptyset$ en ambos lados del eje de trazo.		

Tramo: Talismán - Bondojoito.

Colector	1.52 $\emptyset$	en Av. Victoria
Colector	2.44 $\emptyset$	en Av. Oriente 101
Colector	0.38 $\emptyset$	en ambos lados
Tuberías para agua potable 0.30 $\emptyset$ al centro de la Av. Inguarán y de 0.30 $\emptyset$ , 0.10 $\emptyset$ en ambos lados del eje de trazo.		

Tramo: Bondojito - Consulado.

Colector 0.30  $\phi$  en ambos lados del eje.  
Tuberías para agua potable de 0.30 y 0.10 en  
ambos lados del eje de trazo.

Tramo: Canal del Norte - Morelos.

Colector 0.30  $\phi$  en ambos lados del eje.  
Tuberías para agua potable de 0.10  $\phi$  en am--  
bos la dos del eje de trazo.

Tramo: Morelos - Candelaria.

Colector 2.30  $\phi$  en la Calle Alarcón.  
Ductos con cables de alta tensión de 85 y 230  
kv sobre la Calle de Imprenta.

Tramo: Candelaria - Fray Servando.

Colector 2.44  $\phi$  en el lado Poniente de  
la avenida Francisco Morazán.  
Ductos con cables de alta tensión de 85 y 230  
kv al centro de la avenida Francisco Morazán.

Tramo: Fray Servando - Jamaica.

Ductos con cables de alta tensión de 85 y 230  
kv al centro de la Av. Francisco Morazán.

Tramo: Jamaica - Santa Anita.

Tubería para agua potable de 1.22  $\phi$  al centro  
de la Av. Francisco Morazán.

Resumiendo, se tienen las siguientes instalaciones consi-  
deradas como importantes:

Ductos. de Pemex .....	2
Colectores .....	12
Tuberías de agua potable.....	11
Ductos de alta tensión .....	2

c) Como interferencias actuales se tiene:

- Línea - 1 del Metro
- Línea - 5 del Metro
- Viaducto Miguel Alemán

A futuro:

- Línea 6 del Metro
- Línea 10 del Metro
- Línea 11 del Metro
- Vialidad en Corregidora y acceso al Pala--  
cio Legislativo.

- Vialidad en San Juan de Aragón.

Con el análisis de los puntos anteriores, se optó por la solución tipo elevada, debido a que:

- 1.- Contarse con el 79.7% del desarrollo total con espacio libre.
- 2.- Las instalaciones existentes presentaban problemas importantes, por ejemplo:
  - a) Colectores de la red principal de diámetros grandes que presentan desvíos largos, sin contar con espacios para alojarlos.
  - b) Los ductos de alta tensión que alimentan a la zona Oriente y que representan peligro durante la construcción.
- 3.- Las interferencias presentaban soluciones subterráneas.

El estudio de las pendientes a lo largo del recorrido es uno de los aspectos importantes para elegir entre una solución subterránea ó elevada, de acuerdo a las interferencias e instalaciones municipales.

El tipo de solución en elevado permitió conservar una pendiente uniforme apegada al terreno natural, la solución tipo subterránea hubiera implicado cambios fuertes de pendiente para salvar las instalaciones e interferencias.

Para definir el eje de Metro actual fue necesario, por razones del trazo de la ciudad, plantear el uso de 19 curvas con radios que van de un mínimo de 300 mts a un valor máximo de 5000 mts., la longitud en conjunto de estas curvas es de 2172.022 mts. lo cual indica que un 20.21% del recorrido se hace en zona de curva, razón por la cual la línea - 4 se caracteriza por la rectitud de su trazo.

## *CAPITULO 2*

## C A P I T U L O 2

### DIMENSIONAMIENTO DE LA PLATAFORMA

El dimensionamiento de la plataforma en sección transversal es llevada a cabo tomando en consideración aspectos importantes como es la construcción de la obra civil, su economía y la funcionalidad del sistema en su conjunto.

El valor mínimo para entrevías del Metro usualmente es de 2.90 metros, con el cual el tren opera dentro del más alto rango de seguridad para el usuario.

La existencia de muretes para retención de balasto ocasionada por la posición de los durmientes en la zona de curva y la ampliación de la entrevía, generaba la existencia de zonas discontinuas en la planta de la plataforma, lo que implica que la sección no fuese totalmente constante.

Para lograr la continuidad fue necesario utilizar el valor inmediato de entrevías que es de 3.15 mts. y que generalmente se ha utilizado en otras líneas de Metro sobre vía elevada y/o superficial.

Las vías y su equipamiento son una parte fundamental en la explotación de las líneas del Metro, cualquiera que sea el sistema utilizado en su construcción, túnel de cajón o profundo, superficial o elevado.

La introducción del sistema de ruedas neumáticas como es el caso del Metro de la ciudad de México, es un importante adelanto en la evolución de la técnica para transportes rápidos en las ciudades, por ejemplo este hecho vino a suponer una considerable disminución de los niveles de vibración y ruido. Además se tienen otras ventajas como son el mejor frenado y la notable mejoría de la aceleración.

La mayor adherencia permite a los trenes dotados del nuevo sistema, circular por vías con mayores desniveles que los permitidos, en el caso de rodaje metálico, lo que supone una gran ventaja en el caso de los túneles construídos bajo el sistema de cajón, los que siguen el desnivel de las calles bajo las que son construídos.

#### 2.1. CARACTERISTICAS Y DIMENSIONES GENERALES DE LA VIA.

De una manera general, la vía para carros sobre neumáticos colocados sobre balasto incluye:

- Dos rieles de rodamiento ligero, cuya función esencial es asegurar el retorno de corriente y el funcionamiento de la señalización, los rieles soldados en ambos extremos se utilizan excepcionalmente para el rodamiento de los trenes sobre neumáticos, en caso de que falle un neumático portador

y para la circulación de los trenes de servicio equipados exclusivamente con ruedas metálicas. (Fig. 2.1).

- Dos pistas de rodamiento para los neumáticos; las pistas están constituidas por perfiles metálicos soldados en ambos extremos y colocados en el exterior de la vía férrea, descansan en las cabezas de los durmientes, sobre los cuales son tirafondeados. (Fig. 2.2).

- Dos barras guías que aseguran el guiado de los carros y la alimentación de los trenes de corriente de tracción, las barras están constituidas por perfiles angulares metálicos, soldados en ambos extremos e igualmente colocados en el exterior de la vía férrea, están sujetos en aisladores mediante pernos y a su vez los aisladores se fijan en tornillos que son fijados por un dispositivo especial de pernos y pasadores sobre las cabezas de los durmientes. (Fig. 2.3).

La vía está constituida por un conjunto de elementos que forman una estructura más o menos elástica, que transmita directamente ó indirectamente en forma radial a la plataforma la carga dinámica de las ruedas que aseguran el guiado. (Fig. 2.4).

Los durmientes deberán transmitir las cargas del riel al balasto en forma radial y asegurar la continuidad de dos filas de rieles, las traviesas son troqueladas para dar al riel la inclinación de 1/20, el material utilizado ha sido la madera, por sus propiedades inigualables de flexibilidad y aislamiento eléctrico.

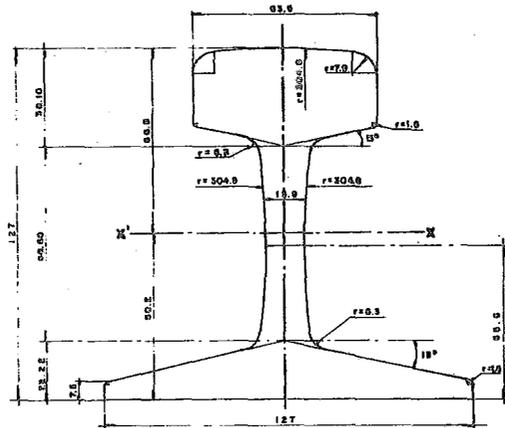
Los rieles (rieles de seguridad) son del tipo 80 ASCE su forma permite un guiado eficaz de las ruedas metálicas, una buena inercia longitudinal así como un fácil ensamble, las barras son proporcionadas en longitudes de 18 mts. cada fila de rieles está inclinada 1/20 hacia el interior de la vía para mejorar el guiado de las ruedas.

Existen diversos tipos de perfil cuya utilización depende esencialmente de la naturaleza del material rodante (peso y características) y la frecuencia de utilización de la vía.

Las pistas metálicas son constituidas por un perfil "H" de un patín muy grande y eventualmente recubierto con un material antiderrapante, es fijada como un riel común, los elementos son enviados a la obra en tramos de 18 mts. de longitud máxima, previamente rolados en caso de curvas y soldados punta a punta salvo en las juntas aislantes en donde se utilizan planchuelas.

Las barras guía son un perfil "T" sujetado a un aislador, el que además de cumplir con esta función debe resistir los efectos de las fuerzas generadas por el convoy.

Otro elemento que se debe tomar en consideración y que constituye el sistema de apoyo de la vía es el balasto, las

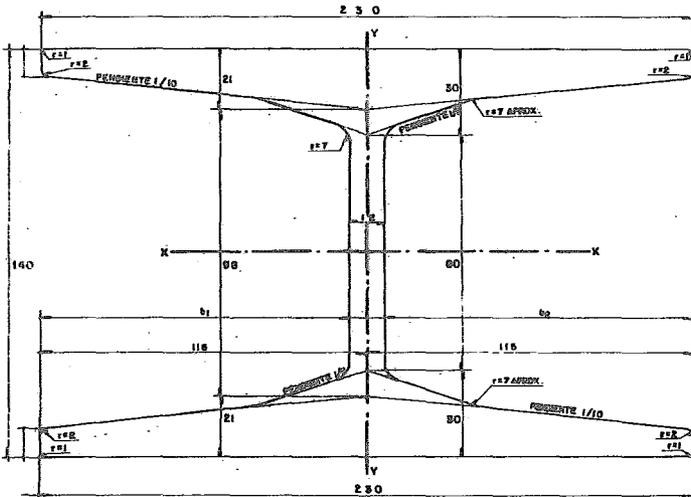


CARACTERISTICAS:

SECCION: 6071 mm<sup>2</sup>  
 PESO POR METRO: 89.607 Kg = 80 Lb/yd  
 MOMENTO DE INERCIA EN RELACION A XX': 1098.9 cm<sup>4</sup>  
 DENSIDAD: 7.85

ACOT. EN mm.

FIG. 2.1 PERFIL DEL RIEL DE 80 ASCE



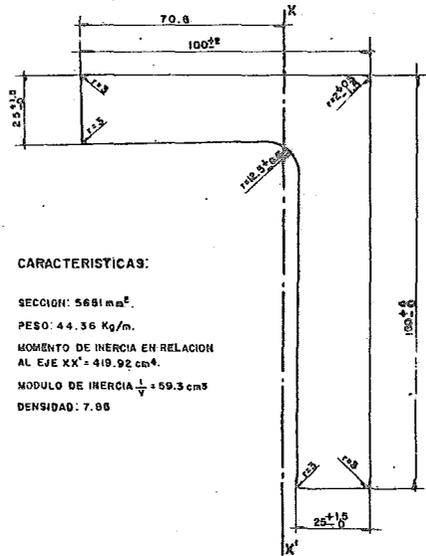
**CARACTERISTICAS:**

-SECCION: 8705 mm<sup>2</sup>  
 PESO: 68.354 kg/m  
 MOMENTO DE INERCIA EN RELACION A XX: 1XX=2920 cm<sup>4</sup>  
 MOMENTO DE INERCIA EN RELACION A YY: 1YY=2520 cm<sup>4</sup>  
 DENSIDAD: 7.85

ACOT. EN mm.

**FIG.2.2 PERFIL DE LA PISTA DE RODAMIENTO METALICA**

PERFIL ÁNGULAR 100 mm X 150 mm X 25 mm.



CARACTERÍSTICAS:

SECCION: 5681 mm<sup>2</sup>.  
 PESO: 44.36 Kg/m.  
 MOMENTO DE INERCIA EN RELACION  
 AL EJE XX' = 419.92 cm<sup>4</sup>.  
 MODULO DE INERCIA  $\frac{I}{Y} = 59.3$  cm<sup>3</sup>  
 DENSIDAD: 7.88

ACOT. EN mm.

FIG. 2.3 BARRA GUIA Y TOMA DE CORRIENTE L4"x6"x7/8"

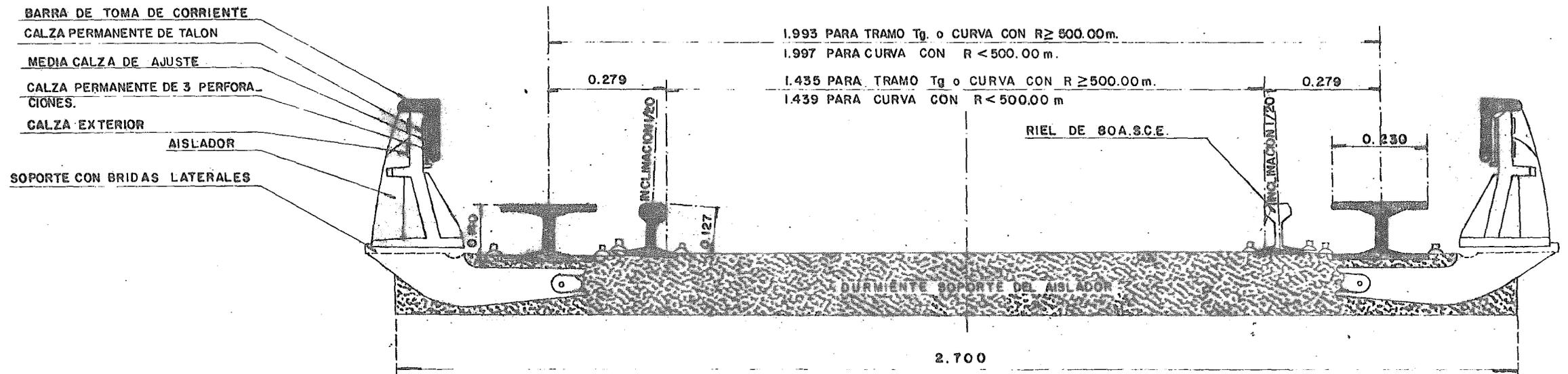


FIG. 2.4: COLOCACION DE LA VIA SOBRE BALASTO

funciones atribuidas al balasto en vías de ferrocarril, pero también aplicables al Metro son las siguientes:

- 1.- Reducir y uniformizar las presiones inducidas sobre la subrasante o apoyo en su caso.
- 2.- Anclar los durmientes y la vía en su lugar.
- 3.- Drenar el agua de lluvia evitando encharcamientos.
- 4.- Protección del apoyo contra las heladas.
- 5.- Facilitar el mantenimiento de la vía. (alineación y nivelación).
- 6.- Impedir el crecimiento de vegetación.
- 7.- Absorber parte de las vibraciones.
- 8.- Repartir la carga uniformemente sobre la losa.
- 9.- Permitir la contracción y dilatación de la vía debido a el clima.

#### 2.1.1. CARACTERISTICAS GENERALES DEL MATERIAL RODANTE.

##### COMPOSICION DE LOS TRENES.

Los trenes del equipo sobre neumáticos está formado por nueve carros de los cuales dos terceras partes son unidades motrices. Las unidades son de tres tipos:

- "M" ..... Motriz con cabina de conducción.
- "N" ..... Motriz sin cabina de conducción.
- "R" ..... Remolque.

Los trenes de nueve carros están dispuestos de la siguiente manera:

M R N N R N N R M

Esta disposición reduce el número de ejes motores, lo que permite abatir los precios y los gastos de mantenimiento.

Sí la demanda del transporte es menor a la prevista, entonces se deberá reducir el número de carros que forman el convoy, con el fin de reducir los gastos de operación, la nueva disposición en un tren de seis carros es:

M R N N R M

LOS BOGIES. El bogie desempeña las funciones siguientes: es portador de la caja; la suspende, la guía, propulsa y la frena. Comprende principalmente; las ruedas, los cuerpos de los ejes, el bastidor, las suspensiones, los motores, las transmisiones y las tomas de corriente.

El sistema neumático utiliza tres tipos de ruedas:

- a) Las de carga, que son neumáticos de eje vertical, corren sobre la pista de rodamiento y además de soportar el peso de la carrocería garantizan la suspensión primaria, la propulsión y el frenado.
- b) Las ruedas de guía, son de eje vertical con cámara de aire y corbata: guían el carro y quedan situadas por encima del nivel de las pistas de rodamiento.
- c) Las ruedas auxiliares metálicas, llamadas de seguridad, son más ligeras que una rueda normal de ferrocarril y con alta pestaña, normalmente giran sin contacto con el riel, auxiliando al neumático de carga en cualquier falla eventual, guían al carro al paso por los aparatos de vía y operan como tambor para el freno de zapatas. (Figura 2.5.)

Las ruedas portadoras admiten aproximadamente cinco toneladas de carga máxima, lo que requiere un gálibo pequeño y limita la longitud de los carros a no más de 17 metros.

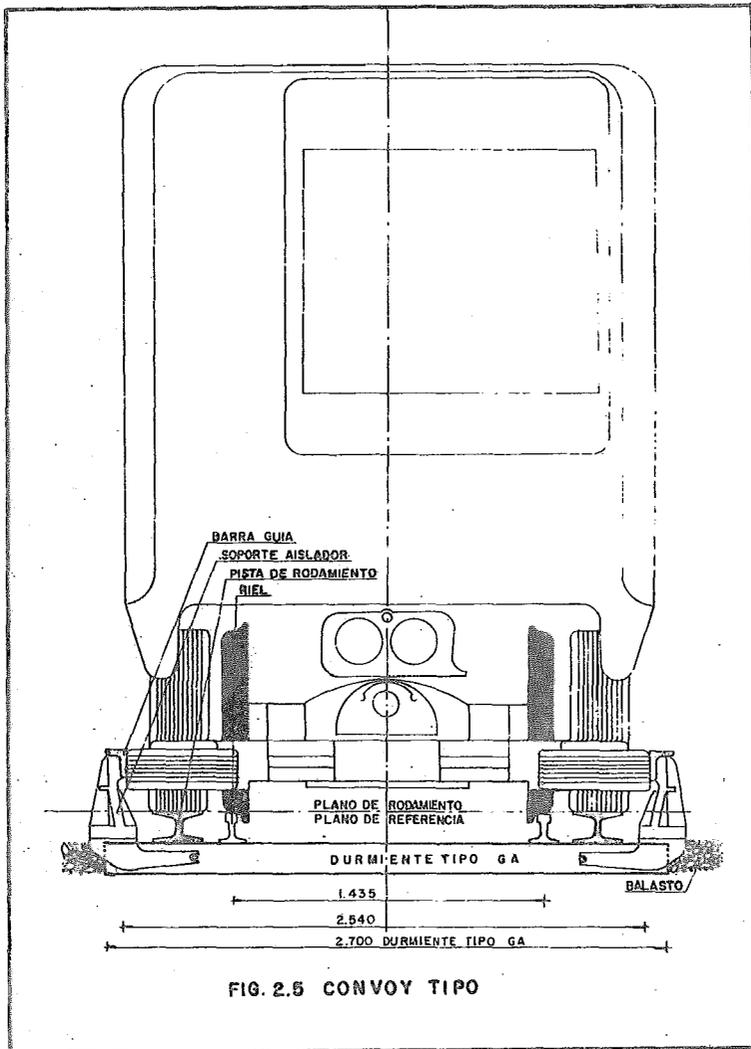
La adherencia elevada hace del metro sobre neumáticos, un material con mayores aptitudes que el material sobre hierro, principalmente en lo que se refiere a la capacidad de aceleración de trenes formados por seis ó nueve coches de los cuales una tercera parte son remolques.

Tomando precauciones especiales para las pistas de rodamiento en vías superficiales, se puede garantizar una adherencia sobre pistas mojadas, superior o igual a 0.45 la cual resulta satisfactoria.

En servicio, sólo la comodidad de los viajeros limita las aceleraciones y los frenados. En el sistema de neumáticos estos límites son 1.3 m/seg<sup>2</sup> en el arranque y 1.45 m/seg<sup>2</sup> el frenado normal, para frenado de emergencia se aceptan 2.0 m/seg<sup>2</sup> aunque se puede alcanzar 4 a 5 m/seg<sup>2</sup>.

Otra contrapartida de la adherencia es una mayor resistencia al rodamiento. En el arranque sobre un tramo recto y horizontal, la resistencia total de avance del sistema neumática crece con la velocidad. La elevada adherencia del neumático obliga a dotar cada eje con un puente diferencial análogo al eje trasero de un camión.

En el sistema de guiado por cuatro ruedas neumáticas, de excepcional seguridad, se opone a cualquier movimiento de serpiente del bogie.



El bogie contiene 12 ruedas de tres tipos diferentes, -- dos diferenciales y dos motores, ubicados en los extremos del bogie.

En el sistema neumático el bastidor del bogie va debajo de los ejes, lo que hace descender el punto de articulación - del pivote que arrastra la caja. La caja descansa sobre cada uno de los bogies en dos apoyos laterales relativamente cercanos a los pivotes. Una barra de tensión antibalaceo controla estos apoyos elásticos.

La suspensión permite movimientos de balanceo y cabeceo relativamente sensibles, pero este inconveniente no se manifiesta a velocidades inferiores a 80 km/hora.

Las unidades motrices cuentan con cuatro motores (dos en cada carretilla, bogie o truck). Los motores son de cuatro polos con inducido balanceado, funcionan con corriente directa de 750 volts y desarrollan, cada uno de ellos una potencia de 150 H.P.

El dispositivo "cronoamperimétrico", al cual está ligado el equipo de control de los motores de tracción, asegura el arranque del tren en un tramo horizontal con aceleración de 1.35 m/seg.<sup>2</sup> operando con carga normal.

Los relevadores de intensidad intervienen cuando la carga sobrepasa a la normal, limitando la intensidad de corriente, lo que disminuye la aceleración hasta 1.24 m/seg.<sup>2</sup>

Los motores de tracción están diseñados para funcionar como generadores de excitación separada, produciendo un freno reostático. Además se dispone de un frenado neumático a base de zapata de madera que actúan contra la llanta de la rueda metálica que hace las veces de tambor de freno.

La combinación entre los frenos reostáticos y neumáticos, producen un frenado gradual y progresivo exento de movimientos bruscos que afectan al pasajero y al equipo.

Los trenes utilizan tres fuentes de energía eléctrica. - Una llamada de alta tensión a 750 volts de corriente continua, que se toma de la barra guía a través de juegos de escobillas positivas situadas en las carretillas. El retorno de la corriente se logra mediante escobillas de corriente negativa que se mantiene en contacto con el riel de seguridad, con esta corriente se alimentan los equipos de potencia.

La segunda fuente de energía eléctrica está formada por una serie de baterías que producen corriente de baja tensión a 70-40 volts continua para operar los servicios auxiliares, los equipos de mando, los servomecanismos, los elementos de seguridad, etc.

La tercera fuente está compuesta por motogeneradores que producen corriente alterna a 250 volts, 250 ciclos, para alimentar los circuitos de alumbrado fluorescente y los motores del sistema de ventilación interior de los carros.

#### CARACTERISTICAS GENERALES DEL CONVOY TIPO

##### B O G I E S:

Entrevía de ruedas de carga	1.997 mts.
Entrevía de ruedas metálicas	1.435 "
Distancia de paño entre las barras guía	2.500 "
Altura del eje de la rueda guía a la pista de rodamiento - - - - -	0.175 "
Separación entre ejes de ruedas de carga	1.540 "
Separación centro a centro de las ruedas guía	3.540 "

##### R U E D A S:

Diámetro de las ruedas de carga	1.00 mts.
Neumáticos inflados con Nitrógeno, (Gas incombustible, inoxidable y bajo coef. de dilatación tipo; De carga - - - - -	MICHELIN F-16
	Radio libre -- 0.505 mts.
tipo; De guía - - - - -	MICHELIN 600 x 9
	Radio libre -- 0.275 mts.

##### PRESIONES DE INFLADO EN:

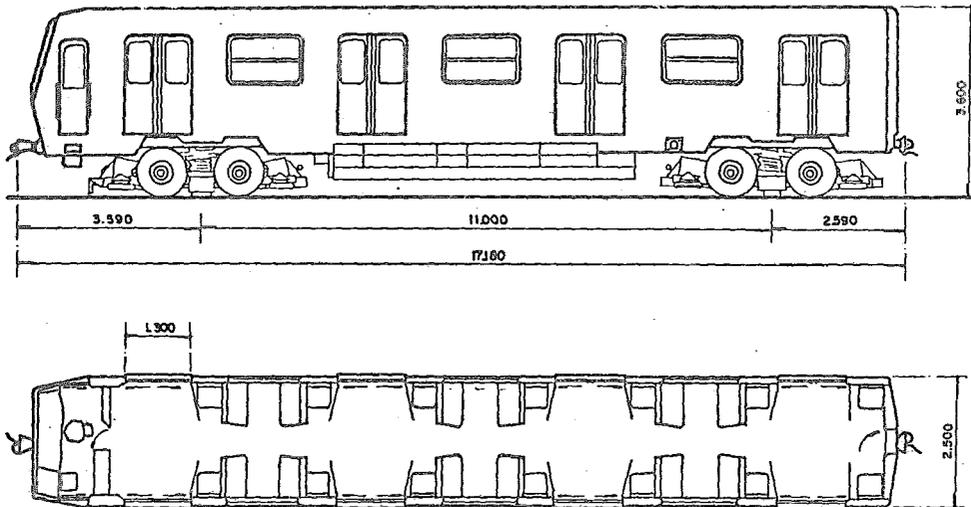
Rueda de carga para carro "M" ó "N"	9 atmósferas
Rueda de carga para carro "R"	6.5 atmósferas
Ruedas de guía	9 atmósferas

##### PESOS:

Motriz con cabina vacío	27.200 Toneladas
Motriz sin cabina vacío	26.400 "
Remolque vacío	20.000 "
Peso total en vacío para tren de nueve carros	226.000 Toneladas

##### C A R R O C E R I A (Fig. 2.6 )

Longitud total de un carro motriz	16.70 mts
Longitud total de los otros carros	15.78 "
Distancia entre ejes de carretilla	11.00 "
Ancho total	2.50 "
Altura total	3.60 "
Altura de la pista de rodamiento al piso del carro	1.20 "
Número y altura de puertas (A cada lado) 4 de	1.95 "
Ancho de la puerta	1.36 "
Longitud de un tren de 9 carros	147.50 "



### CARACTERISTICAS GENERALES : CONVOY TIPO

#### 2 COMPOSICIONES POSIBLES:

	TREN DE 6 COCHES	TREN DE 9 COCHES
	2 COCHES MOTORES CON CABINA ENCUADRANDO.	2 COCHES MOTORES CON CABINA ENCUADRANDO.
	2 REMOLQUES Y 2 COCHES MOTORES SIN CABINA.	3 REMOLQUES Y 4 COCHES MOTORES SIN CABINA.
LONGITUD TOTAL	99 METROS	147 METROS
PESO TOTAL EN VACIO	181 TONELADAS	226 TONELADAS.
PESO EN CARGA	222 TONELADAS	333 TONELADAS.
CAPACIDAD TOTAL NORMAL 1,020 PLAZAS	232 SENTADOS	349 SENTADOS.
	788 DE PIE	1,101 DE PIE
NUMERO DE MOTORES DE TRACCION	16	24
POTENCIA TOTAL DE TRACCION	1824 KW	2736 KW.

ALIMENTACION DE LOS MOTORES DE TRACCION CON CORRIENTE CONTINUA 750V. DISTRIBUIDA POR LAS BARRAS DE GUIADO.  
 CIRCULACION SOBRE VIA ESPECIAL CON PISTAS DE RODADURA, BARRAS DE GUIADO Y CARRILES DE SEGURIDAD.  
 VELOCIDAD MAXIMA 80 Km/h.  
 ARRANQUE AUTOMATICO CON CONTROL CRONO-AMPERIMETRICO.  
 FRENADO ELECTRICO Y MECANICO CON 7 POSICIONES EFICACES.  
 BOGIES BIMOTORES EN LOS COCHES MOTORES PORTANTES EN LOS REMOLQUES.  
 RUEDAS PORTANTES Y DE GUIADO CON NEUMATICO, RUEDAS AUXILIARES MONOBLOQUE DE ACERO.

FIG. 2.6: CARACTERISTICAS GENERALES DEL CONVOY TIPO

## C A P A C I D A D E S

Motriz con cabina.	Sentados	36 plazas
	De pie	122 "
	TOTAL	158 "
Motriz sin cabina y remolque	Sentados	38 plazas
	De pie	122 "
	TOTAL	160 "
TOTAL TREN DE NUEVE CARROS		1436 "
VELOCIDAD MAXIMA		80 Km/Hr.

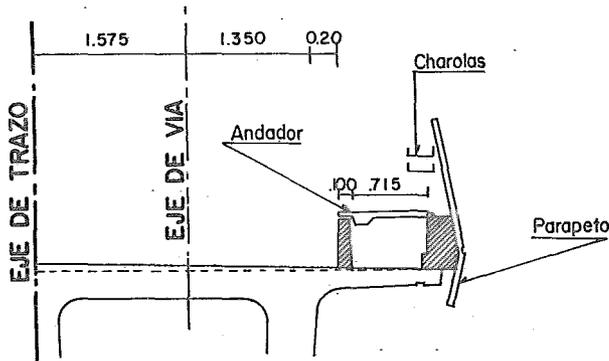
## 2.2. GALIBO HORIZONTAL PARA ENTREVIA DE 3.15 MTS.

El tipo de solución elevada elegida para la línea - 4, definió en gran parte la sección a utilizar en viaducto, de ésta manera se ha hecho el diseño del espacio geométrico necesario, alojando las instalaciones necesarias para su operación, el material para instalar la vía y procurando que los trenes circulen sin ningún obstáculo, para lo cual se ha considerado: el desplazamiento del carro debido a ponchadura, el balanceo de la suspensión, el ángulo de giro del carro -- originado por la sobreelevación en las vías, el desplazamiento del carro, hacia dentro y fuera de la curva. Los siguientes incisos muestran un análisis más detallado del gálibo horizontal.

### 2.2.1. EN TRAMO TANGENTE

Se hace únicamente el análisis del gálibo horizontal, ya que en vía elevada no existen restricciones para gálibos verticales excepto en el interior de las estaciones, además se tienen las siguientes consideraciones:

- Las curvas con  $R \geq 900$  mts llevan murete central.
- Dependiendo del radio de curvatura, las dimensiones de los muretes varían.
- La finalidad del murete es de confinar el balasto.
- En zona de tangente únicamente se hace necesario, muretes laterales para confinar el balasto.
- La posición del murete queda definido por las dimensiones del durmiente y un espacio libre para poder realizar la operación de bateado correctamente.
- Se toma en consideración para el diseño las dimensiones del durmiente tipo GA.



De la figura anterior se tiene:

- 1.575 ..... Distancia del eje de trazo a un eje de vía.
- 1.350 ..... Distancia del eje de vía al extremo del durmiente.
- 0.200 ..... Espacio mínimo de balasto, para mantenimiento.
- 0.715 ..... Ancho del andador de seguridad.
- 0.210 ..... Ancho de las charolas de plomo.

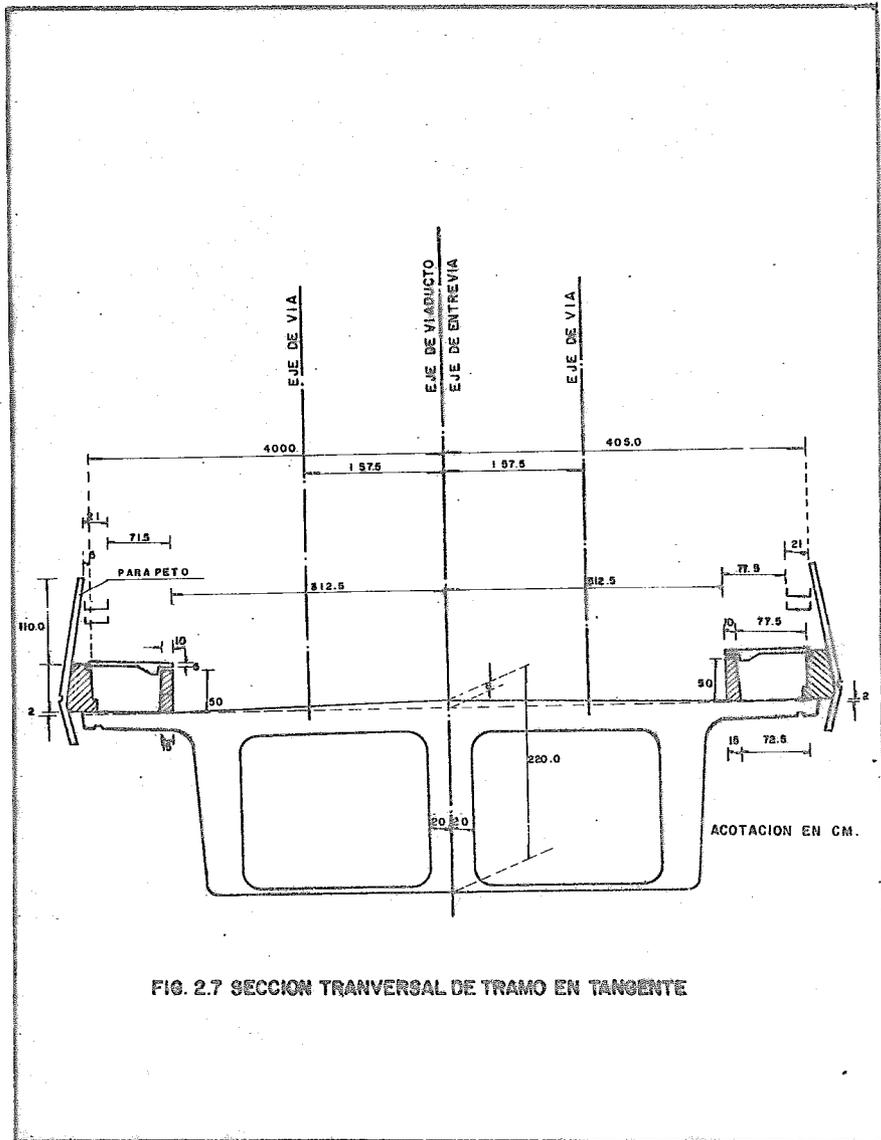
TOTAL=4.050 METROS

multiplicado por dos se tiene el ancho necesario de la plataforma y es de 8.100 mts. (Figura 2.7.)

Lo anterior también se puede analizar de la siguiente manera:

- 1.575 mts ..... Distancia del eje de trazo a el eje de una vía.
- 1.000 " ..... Distancia del eje de vía a el eje de pista de rodamiento de las ruedas del bogie.
- 0.350 " ..... Distancia del eje de pista de rodamiento a el punto más alejado de la barra guía.
- 0.200 " ..... Espacio mínimo para relleno con balasto entre la cabeza del durmiente y el murete lateral.
- 0.715 " ..... Pasillo de 71.5 cms medido del paño interior del murete a las charolas de plomo. (Incluyendo 10 cms de espesor de murete en la parte superior).
- 0.210 " ..... Espesor de las charolas y accesorios, los cuales van emportrados al parapeto.
- 4.050 " ..... TOTAL

de tal manera que el gálibo total en zona de tangente sea de 8.100 mts. (Fig. 2.7.).



La figura 2.8 es un corte en vía, en el cual se aprecian las dimensiones de los elementos que se consideraron para el diseño del gálibo horizontal.

### 2.2.2 EN ZONA DE CURVA

El gálibo horizontal en zona de curva se analiza desde dos enfoques diferentes:

- 1.- Como curva circular.
- 2.- Como clotoide.

Las variaciones que se dan en la geometría de la plataforma para alojar las vías, siempre van encaminadas a dar soluciones prácticas sin alterar el ancho de la plataforma que es de 8.10 mts. considerando la uniformidad de la sección transversal.

La sección transversal en zona de curva tiene variaciones importantes, producto del comportamiento del tren en estas zonas, así se tienen:

- Variación de las dimensiones de muretes laterales.
- Existencia de murete central.
- Colocación de las charolas para cables en ductos, para la vía exterior.
- Variación de la entrevía en zona de clotoide.
- Variación de la entrevía en zona de circular.

Dichas variaciones se analizan a partir de lo siguiente:

Para las vías con  $R \leq 900$  mts el entreeje de las vías debe pasar a 3.35 mts y con un desplazamiento de cinco centímetros que deberán añadirse al eje de trazo de la obra.

Se tiene una variación de 3.15 a 3.35 mts de entrevía y un desplazamiento del eje de 0.050 mts entre el eje de la vía y el eje de trazo de la obra. (ver figuras 2.9 y 2.10); Sección transversal en zona de circular y sección elevada en curva  $R \leq 900$  mts.

### 2.3 GALIBOS EN ZONA DE ESTACION.

Para el estudio de el gálibo vertical y horizontal en las estaciones del Metro y específicamente para las empleadas en la línea - 4, se analizan dos de éstas: Candelaria y Morelos, correspondiendo a el caso de estación superficial y estación elevada respectivamente.

#### 2.3.1 EN ESTACION ELEVADA.

- 2.3.1.1 Gálibo horizontal, la estación Morelos se proyectó con un gálibo horizontal de 13.79 mts. -- que corresponde al mínimo valor admitido y está definido por:

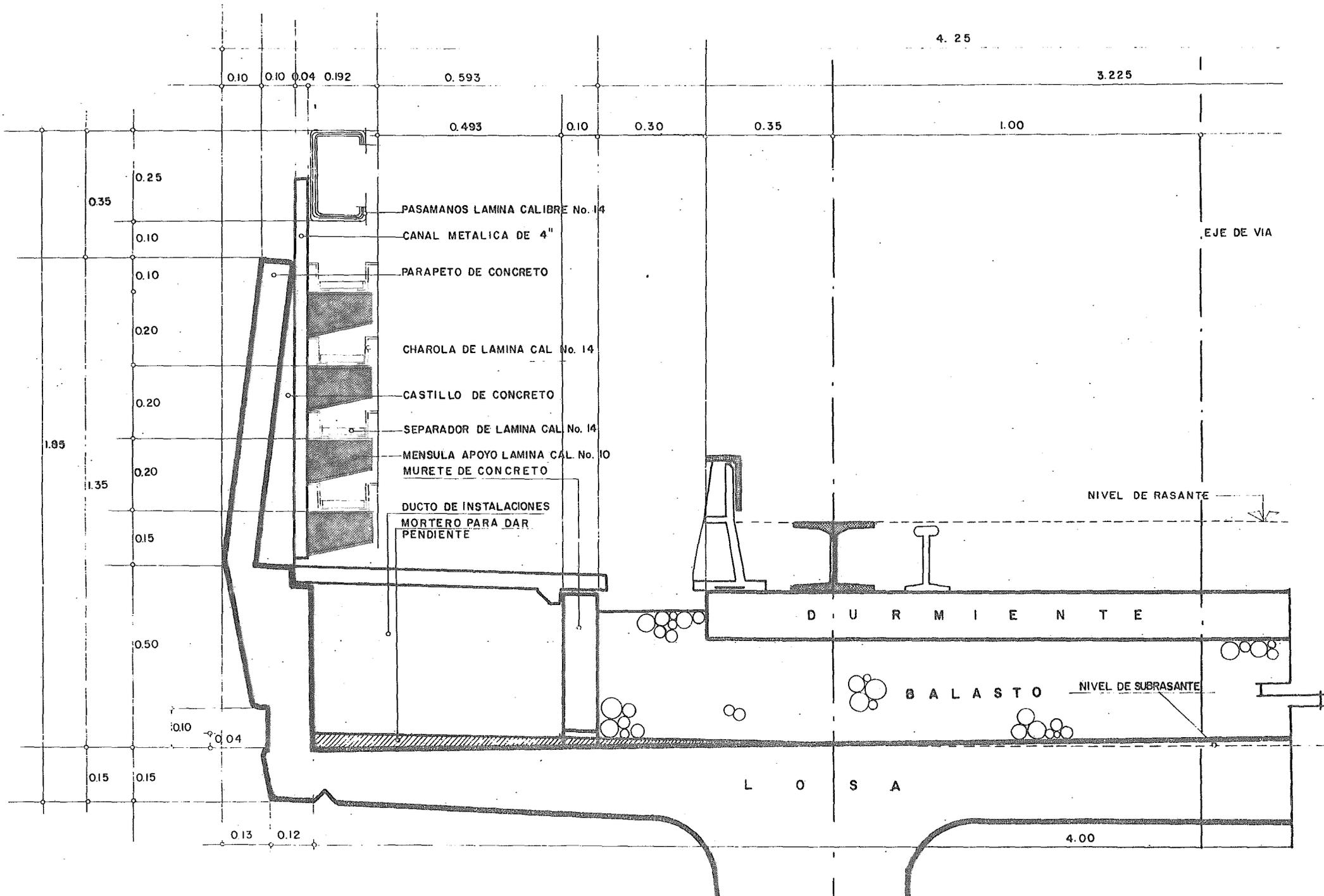


FIG. 2.8 CORTE EN VIA





- El ancho de la Entrevía.
- La distancia de eje de vía 1 y 2 a la nariz del andén.
- El ancho mínimo para andén en la estación - (Fig. 2.11).

2.3.1.2 Gálibo vertical, dado que las dimensiones del equipo de rodamiento y de los carros no se modifican, en los diferentes tipos de construcción, el gálibo vertical mínimo será el siguiente y también corresponde al gálibo para estación subterránea. (Ver 2.3.2.2.)

Espesor de balasto .....	0.440	Metros
Espesor de riel y durmiente...	0.270	"
Altura del carro .....	3.600	"
Holgura del techo del carro al Intrados .....	0.550	"
	<u>4.860</u>	"

Cantidad que se cierra al entero inmediato =  
= 4.90 mts.

## 2.3.2 EN ESTACION SUPERFICIAL

2.3.2.1 Gálibo horizontal, en estación superficial está definido por el tipo de servicio que brinde y puede ser:

- Estación terminal
- Estación de paso
- Estación de transbordo.

Cada una de las cuales tiene características propias, definidas por el número de ejes de vías de que consta y en ancho de andenes de pasajeros.

El croquis de la figura 2.12 nos muestra las características más comunes para vías y andenes para el Metro de la Ciudad de México. El ancho de los andenes obedece a las siguientes disposiciones, tomando como ejemplo un andén de cuatro metros de ancho.

0.500 mts.	.....	Zona de seguridad.
1.000 "	.....	Zona de espera.
2.000 "	.....	Zona de circulación.
0.500 "	.....	Zona de equipamiento y señalización.

Cuando se tiene el caso de que existe una escalera al centro del andén se tendrán seis metros de ancho de andén, ya que la escalera mide dos metros.

En el caso particular de la estación Candelaria de la -

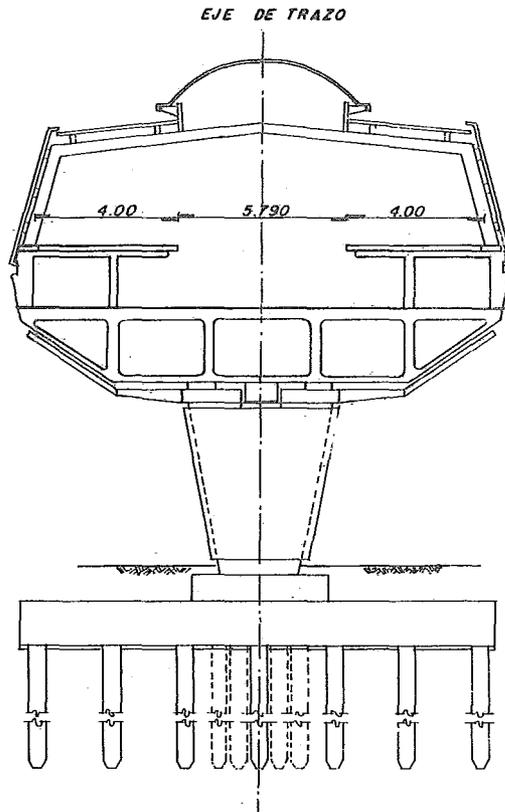
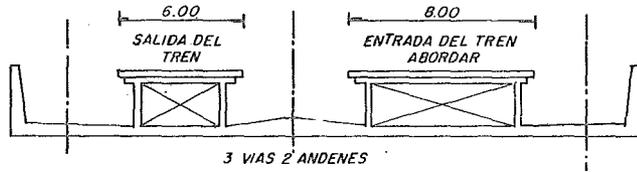
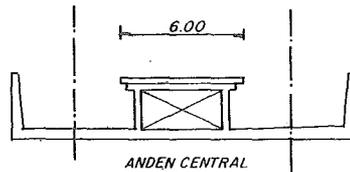
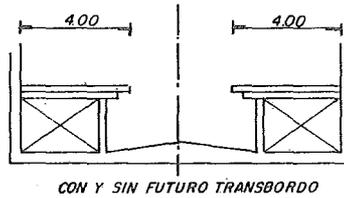


FIG. 2.II SECCION TRANSVERSAL Y GALIBO  
HORIZONTAL EN ESTACION ELEVADA.

ESTACIONES TERMINALES



ESTACIONES DE PASO



ESTACIONES DE TRANSBORDO

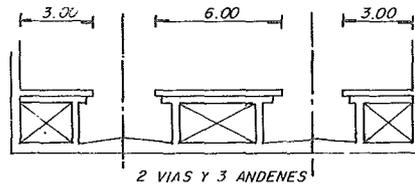
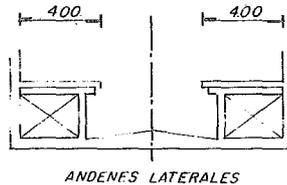


FIG. 2.12  
ANCHO DE ANDENES  
EN LAS ESTACIONES DEL  
SISTEMA DE TRANSPORTE  
COLECTIVO "METRO"



línea - 4, se tiene un corte que corresponde a la pasarela y andén de dicha estación, (Fig. 2.13) en el se ven al detalle las dimensiones de la estación, en la cual se han observado - las disposiciones, considerando que es una estación de correspondencia.

2.3.2.2 Gálibo Vértical. En la estación es el siguiente y corresponde también al de una estación -- subterránea en cajón normal.

Espesor de balasto	---	0.400	mts
Espesor de riel y durmiente	---	0.300	"
Altura del carro	---	3.600	"
Holgura del techo del carro a intrados	---	0.500	"
	TOTAL =	4.800	"

El gálibo necesario es de 4.800 mts , pero se incrementa a 4.900 mts para compensar las imperfecciones de la obra y además por tratarse de estación se incrementa a 5.050 mts con objeto de absorber las diferencias, producto de el asentamiento de las estructuras.

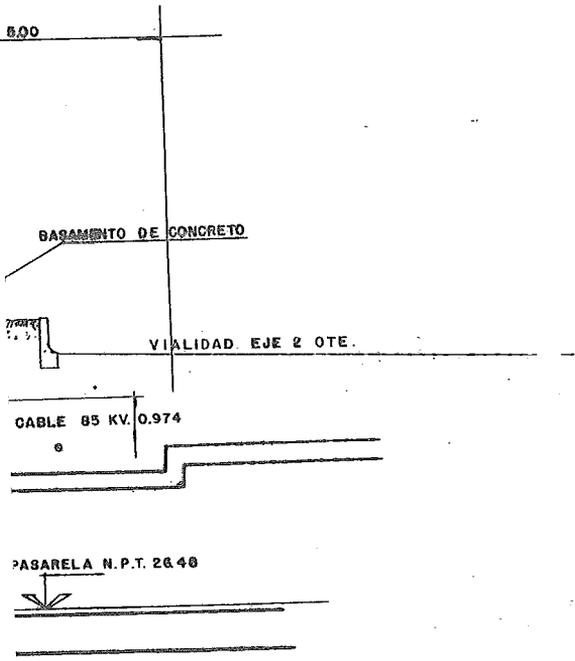
5.00

BARRAMENTO DE CONCRETO

VIALIDAD EJE 2 OTE.

CABLE 85 KV. 0.974

PASARELA N. P. T. 26.48



## *CAPITULO 3*

## C A P I T U L O 3

### PROYECTO DE TRAZO

Teniendo como objetivo principal definir la posición de las estructuras del Metro, como son las estaciones, pasos a desnivel, accesos, etc. tanto en planta como en perfil, la secuencia de actividades en lo concerniente únicamente al proyecto de trazo se puede describir de la siguiente manera:

- a) Anteproyecto de trazo ó planteamiento preeliminar - del trazo.
- b) Elaboración del proyecto definitivo.

En los incisos 3.2 y 3.3 se describe de una manera general las actividades realizadas para lograr estos objetivos.

Durante el estudio previo del trazo se hacen diversas - consideraciones de proyecto, que deberán ser observadas en todo momento, es así como se tendrán;

- Radios mínimos en planta.
- Radios mínimos en perfil.
- Pendientes longitudinales Máximas.
- Velocidades de proyecto.

Otra consideración se refiere a la implantación de la - vía en el supuesto de conocer su entreeje, de tal manera que se tendrán secciones:

- Tipo cajón normal, en tangente y en curva.
- Tipo túnel, en tangente y en curva.
- Tipo elevado, en tangente y en curva.
- Tipo superficial, en tangente y en curva.

Es esta, la etapa en que se decide la conveniencia de - elegir entre una vía superficial o subterránea con sus diferentes variantes.

#### 3.1 EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.

La creación o ampliación de una red de transporte como es el caso del METRO, es una operación de carácter técnico, - económico, urbanístico, social y político, esta acción está - inscrita normalmente dentro de un conjunto de medidas donde - la finalidad que se persigue debe de estar bien definida.

Con la organización del transporte, de manera general; se trata de mejorar el funcionamiento del conjunto urbano; en facilitar el intercambio en su forma más general, que es la - razón de la existencia de la civilización urbana; de hacer la vida más agradable a los ciudadanos y favorecer el desarrollo armónico de la ciudad.

El estudio de factibilidad es la búsqueda metódica de - un proyecto óptimo para realizar dichos objetivos, más exacta- mente consiste en asegurar que el proyecto es coherente y no se puede imaginar alguno más, bajo ningún otro criterio.

Existe un cierto número de contratiempos y limitaciones de naturaleza muy diversa que hacen difícil el concretizar un proyecto óptimo; la imposibilidad de tener un conocimiento -- preciso de las condiciones actuales, la incertidumbre sobre -- su evolución, especialmente la reacción de los habitantes de la ciudad; las limitaciones de orden financiero, el carácter subjetivo de ciertas elecciones fundamentales, en fin la necesidad de limitar la dificultad y el costo de estudio mismo.

El eje de trazo de la obra y su construcción se basan - en estudios técnicos, por otra parte las doctrinas y métodos son materia del estudio de factibilidad, de una u otra manera la contribución de personal especializado en ingeniería civil es indispensable durante la preparación del proyecto de con- junto.

Por causa de los estudios de rentabilidad, el estudio - de factibilidad se caracteriza por la tentativa de una aproxi- mación del problema y se esfuerza en medir y distinguir los - principales parámetros ligados a la función del transporte, - de investigar todas las soluciones consideradas razonablemen- te y de determinar para cada una de éstas soluciones las con- secuencias naturales medibles o no tanto sobre el conjunto de elementos económicos, como sobre la urbanización, el medio am- biente, etc.

Es en la lógica del estudio de factibilidad donde se -- considera el revisar las elecciones previas en materia de ur- banismo para tomarlas como punto de partida en la realización del proyecto de transporte urbano.

Numerosas alternativas serán presentadas a lo largo del estudio de factibilidad, pero ninguna será llevada a cabo si el rendimiento de los servicios está por debajo de lo solicita- do.

El objetivo del estudio de factibilidad es el planifi- car y programar el mejoramiento y desarrollo de los transpor- tes de servicio colectivo, para tener una buena perspectiva - es necesario considerar un período de servicio suficientemen- te largo, pero limitado a un cierto horizonte, se consideran 20 años como promedio.

Los principales apartados del estudio de factibilidad - son los siguientes:

- Estudio de la demanda futura del transporte.
- Diseño de las diferentes rutas para satisfacer esta - demanda.
- Comparación de estas rutas, cálculo de su rentabili- dad y elección de la apropiada.

La necesidad de conocer de una manera exacta la importancia y la estructura actual de los desplazamientos en el interior de la ciudad es la condición necesaria y suficiente para decidir el carácter de las investigaciones de la infraestructura del transporte urbano. Estas irán dirigidas hacia la demanda futura del transporte y el tráfico esperado lográndose la primera extrapolando la situación actual y faltaría analizar el proceso de formación del tráfico de vehículos dentro de la ciudad utilizando modelos matemáticos, tratando de hacer intervenir los diferentes factores que lo generan, haciendo ésto lo más explícito posible, los modelos deberán en particular ser capaces de reconstruir la situación presente.

Es difícil el estudio sobre el desplazamiento de personas por todos los medios de transporte, (a pie, taxi, vehículos particulares) así como el transporte de mercancías generalmente por vía rodante, para tener conocimiento del flujo de vehículos sobre la ciudad. Sin embargo es esencial realizar los cálculos necesarios sobre desplazamientos de personas.

Con el fin de facilitar la descripción estadística de flujos que corresponden al conjunto total de desplazamientos se estudia la ciudad en zonas, en las que se investigan sus características de origen-destino.

Existen situaciones que se dan dentro del proceso que conduce a la demanda individual de traslado, como flujo de personas y vehículos, los que impondrán las diferentes rutas, la generación, la distribución y el reparto de los medios de transporte y el efectuar las rutas o líneas que determina el tráfico.

Se deberá establecer una zona geográfica de asentamiento urbano apoyados generalmente sobre las zonificaciones hechas en los censos de población, se tratará de obtener para cada zona el máximo de datos sobre sus características:

- Cuantitativas.- Superficies, número de habitantes, empleo, desocupación, renta, salario, número de vehículos automotores, etc.
- Cualitativas.- Tipo de habitación, renta, escuelas, oficinas, fábricas, etc.

Para pasar a las características de asentamiento urbano actual a las características del horizonte dado, se deberá prever en particular la evolución demográfica, del empleo y la localización del mismo con la vivienda.

### 3.2 ANTEPROYECTO DE TRAZO

Al dar inicio al anteproyecto de alguna línea de Metro, es necesario conocer el plan realizado por el Departamento del Distrito Federal, con el que se pretende integrar los sistemas de transporte colectivo sobre superficie, Metro y Ferrocarril.

carril Suburbano, para de ahí plantear diversas soluciones de trazo, tratando en cada una de ellas seguir el esquema de el plan Maestro para el Metro de la Ciudad de México.

De una manera general, en el Anteproyecto de Trazo de una línea, se concretizan todas las alternativas presentadas durante la etapa de Planeación y estudios de factibilidad técnica, al hacer la elección de la mejor alternativa debe de haberse contemplado la posibilidad de realizarla sobre la superficie ó subterránea.

Lo cual depende de un gran número de elementos urbanísticos: la existencia de una avenida suficientemente larga, la existencia de obstáculos al centro de la calle, riesgos durante la construcción, afectaciones cruce con otras líneas, cruce con vialidades primarias, etc.

La construcción de la línea de Metro con vía superficial no podrá ser concebida en el centro de la ciudad, más bien deberá preferirse en zonas periféricas, sin embargo existen circunstancias que es recomendable examinar, tales como :

- La existencia de una vía de FFCC abandonada ó dentro de poco abandonada, deberá tomarse como una posibilidad y hacer el trazo de la línea prevista, compatible con estas instalaciones.
- La reestructuración urbana para la realización de una vía rápida necesaria dando lugar a una solución de vialidad conjunta.

La línea de Metro será alojada al centro de la vía rápida proyectada, separada por un camellón, con lo cual no se añade ningún cuerpo suplementario en el trazo de la ciudad.

- Prolongación de una línea existente hacia un centro secundario a través de una zona de densidad de habitantes.

Dentro de estas condiciones la realización de la obra causará menos problemas, los costos se reducirán y las molestias a los habitantes serán mínimas, aún en el caso de la construcción de la vía en viaducto.

Por otro lado, para la construcción de la vía en viaducto, como es el caso de la Línea 4, es necesario que se cumplan ciertas condiciones para permitir su realización a menor costo.

Sin embargo a la par con las condiciones físicas para la construcción de la vía en viaducto deberá estar presente la experiencia para lograrlo:

- Es necesario para la obra un gálibo suficiente al ni--

- vel de la superficie de rodamiento, la cual se sitúa a un mínimo de seis metros al nivel del suelo.
- La dimensión transversal para las estaciones aéreas es muy importante, éstas no podrán ser alojadas en una avenida de menos de 30 ó 40 metros, por los espacios necesarios para salas de control y accesos.
- El costo del viaducto se incrementará considerablemente si es necesario cimentar sobre pilotes.

La figura 3.1 muestra las condiciones físicas deseables para la construcción del Metro en vía elevada, dando a la vez una solución vial, como es el eje 2 Oriente.

La figura 3.2 indica las características de la avenida -- Francisco Morazán y la solución vial propuesta junto con la -- vía del FFCC.

En la etapa de Anteproyecto es necesario definir un eje -- único de trazo con una poligonal gráfica, el trabajo se inicia sobre planimetrías a escala 1:5000 ó sobre mosaicos fotográficos escala 1:2500, en los cuales se trazan líneas tangentes siguiendo exclusivamente el criterio de colocarlas al centro de las avenidas, ó a cierta distancia de los paramentos, especificada por los estudios de mecánica de suelos ó por la existencia de instalaciones municipales en las avenidas.

El cruce de las tangentes da lugar a la formación de puntos de intersección en los cuales hay que tomar la medida gráfica, del ángulo resultante, para calcular la curva circular, con sus curvas de enlace más convenientes, según las condiciones del lugar y que ligarán sucesivamente los tramos rectos de finidos.

El siguiente paso es el de distribuir estaciones a lo largo de la línea, buscando los sitios más convenientes y asignándoles un nombre provisional, para llevar a cabo la distribución de las estaciones se toma como punto de partida las experiencias de otros sistemas en funcionamiento y los que concluyen que:

- 1.- No existe una reglamentación rígida en cuanto a la distancia entre estaciones.
- 2.- Las estaciones deben ubicarse de acuerdo a las necesidades de cada ciudad, conjugando los aspectos: servicio, velocidad y costo.
- 3.- En los núcleos centrales de las ciudades las intersecciones son de 400 a 500 metros y de un kilómetro ó más en las zonas periféricas.

Los factores básicos que se consideran para localizar las estaciones del Metro en la Ciudad de México son:

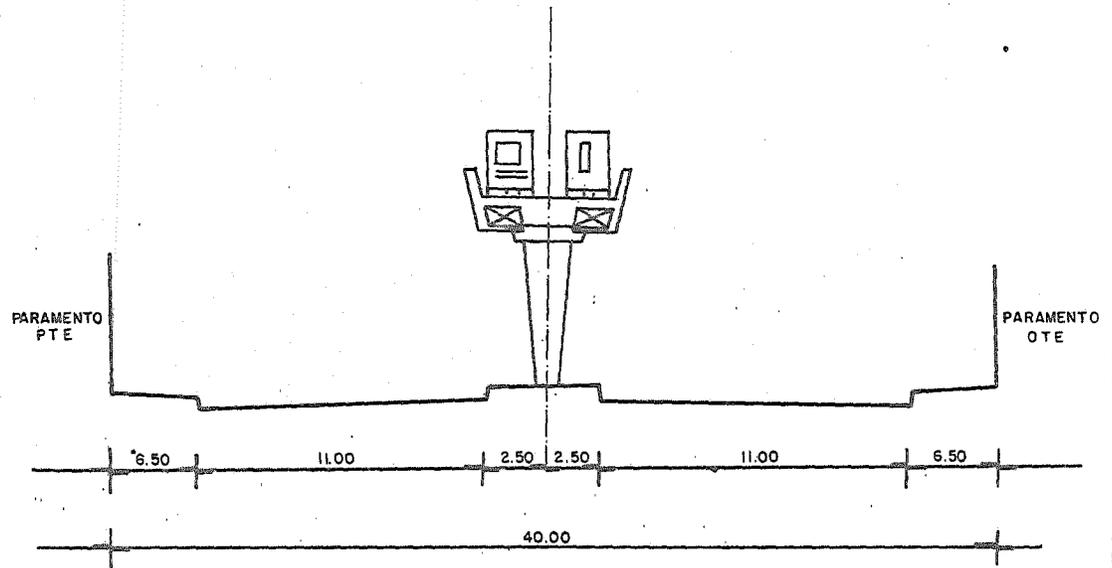


FIG. 3.1 SECCION TRANSVERSAL TIPICA SOBRE AV. IMPRENTA

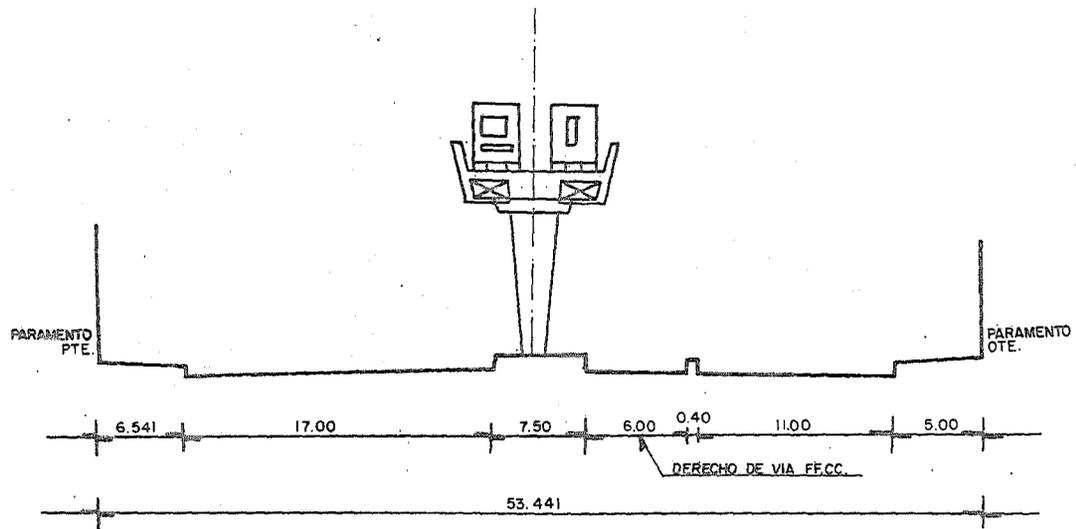


FIG. 3.2 SECCION TRANSVERSAL SOBRE AV. FRANCISCO MORAZAN

- Los puntos obligados, es decir, las terminales y los cruces con otras líneas.
- La distribución teórica de estaciones.
- La velocidad comercial del Metro.
- La obtención de soluciones que minimicen problemas de interferencias con instalaciones municipales, de afectaciones, de desvíos de tránsito, etc. y que optimicen la conexión del Metro con los sistemas de transporte superficial.
- Los espacios disponibles tanto como para el cuerpo de la estación como para sus accesos, es decir: ancho de calle y banquetas, predios, afectaciones, etc.
- La disponibilidad de grandes extensiones de terrenos cercanos a las estaciones terminales para ubicar junto a ellas además de los depósitos y talleres, terminales para autobuses urbanos y foráneos.

Las consideraciones de proyecto que deberán observarse en la etapa de anteproyecto son las siguientes:

- La unión entre dos tangentes que se cruzan se hará -- por medio de una curva circular con espirales de transición, con radio mínimo de 150 metros, para dar confort a los pasajeros.
- En toda curva de radio menor a 2500 metros, existirá una sobre elevación.
- Los aparatos para cambio de vía deberán estar localizados en zona tangente tanto horizontal como verticalmente.
- Entre dos curvas horizontales consecutivas deberá --- existir una tangente mínima de 16.0 metros.
- Deberá utilizarse el menor número de curvas posible.

### 3.2.1. LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS

Los planos topográficos para el proyecto del Metro, se basan principalmente en dos tipos de actividades: levantamientos fotogramétricos y levantamientos conforme a métodos convencionales.

#### LEVANTAMIENTOS FOTOGRAFICOS

Los trabajos de fotogrametría consisten en la elaboración de un mosaico fotográfico a escala 1:2500 siguiendo el eje aproximado de la línea del Metro y cubriendo una amplia zona a cada lado.

La fotogrametría consiste en un levantamiento topográfico llevado a cabo en un vuelo aéreo, la principal ventaja de su uso además de su rapidez, es de lograr una visión amplia de la zona de trabajo, en la que se aprecian los principales obstáculos en la superficie; se conoce con suficiente aproximación el ancho de las avenidas, características geométricas de la traza urbana, cantidad y estado físico de las construcciones, espacios libres, cruceros importantes, monumentos nacionales y además detalles del terreno.

#### LEVANTAMIENTOS CONVENCIONALES

Los levantamientos llevados conforme a los métodos convencionales tuvieron distintas características y objetivos, - respecto al trazo podemos hablar de:

a) Poligonal principal de apoyo de alta precisión, con distancias medidas por medio de Telemómetros y mediciones angulares con tránsito de 1" de aproximación, el apoyo estuvo ubicado en vértices geodésicos que pertenecen a la triangulación de la cuenca del Valle de México.

b) Una poligonal secundaria de lados cortos apoyada en la anterior, para determinar el trazo de la línea. Las mediciones longitudinales se realizaron en base de doble medida - con cinta de acero y las angulares con tránsito de 1" de aproximación.

c) Levantamientos planimétricos de alta precisión para delimitar los terrenos afectados por el Metro y los de las zonas de acceso a las estaciones.

d) Levantamientos de secciones transversales medidas y niveladas a intervalos regulares, apoyados en el eje de trazo, para realizar con base a ellas el proyecto de vialidades correspondientes.

e) Levantamientos varios de tercer y cuarto orden, con el fin de fijar las posiciones de accidentes particulares del terreno y obras de arte que representaban interferencia directa con las obras de Metro.

#### 3.2.2. INSTALACIONES MUNICIPALES

En un principio y con el fin de obtener información precisa para el conocimiento de las instalaciones municipales -- existentes sobre la ruta, es necesario obtener los planos de las obras hidráulicas ejecutadas por el D.D.F. y además los proyectos llevados a cabo por la compañía de luz y otros organismos prestadores de servicios públicos como Telmex y Pemex.

Un recorrido sobre las calles en que se pretende alojar las vías o instalaciones del Metro, proporcionarán mayor información de las instalaciones, como complemento a esta información es necesario el envío de brigadas para realizar un levantamiento preciso de estas instalaciones. El trabajo consis

te en efectuar radiaciones desde puntos fijos, puntos obligados, puntos de liga, sobre tangente o vértices de poligonal.

Para el trabajo de levantamiento de instalaciones municipales subterráneas la brigada realiza sondeos en diferentes partes para conocer la profundidad de desplante de las tuberías de agua potable, colectores, la información sobre líneas de corriente eléctrica y gasoductos la proporcionará la dependencia correspondiente por el riesgo que implica para el personal sin experiencia al manejar estos ductos. Respecto al sondeo interior de los colectores para conocer su deterioro, especialmente por azolvamiento, se contrata personal especializado en estas tareas.

Si es necesario hacer afectaciones por obras viales o por Metro, el personal de campo levantará los detalles sobre la línea de afectación, para la elaboración de planos en los cuales se señalará mediante la simbología adecuada, el número de niveles construídos, la cantidad y calidad de construcción en cada predio, en especial los pisos, muros y los techos.

Así sobre copias de planimetrías a escala 1:500 se realiza el plano general de instalaciones municipales, el cual contiene la información muy detallada de la zona de proyecto.

Durante la etapa de conocimiento de instalaciones municipales se considerará la existencia de monumentos nacionales y zonas históricas en las cuales es imposible realizar afectaciones debido a las leyes mexicanas, esto da lugar a la búsqueda de diversas alternativas de trazo y construcción.

Las siguientes instalaciones son las que se presentaron con mayor frecuencia a lo largo de la línea:

- Redes de agua potable,
- Redes de alcantarillado,
- Líneas de corriente eléctrica y subestaciones.
- Gasoductos de Pemex,
- Vías de ferrocarril,
- Líneas telefónicas y Centrales,
- Líneas de trolebuses.

Las soluciones que se dieron a las interferencias del alcantarillado con el Metro fueron:

- Por paso superior,
- Por desvío,
- Por sifones invertidos.

Las soluciones adoptadas en las interferencias de la red de agua potable con el Metro fueron:

- Estructuras de protección en los pasos superiores,
- Galerías de inspección en los cruces inferiores,
- Diseño de atraques en los cambios de dirección de las tuberías.

### 3.3. PROYECTO DEFINITIVO

La decisión de aplicar la solución tipo elevada en Línea - 4 se tomó considerando las siguientes características obtenidas en los estudios previos:

De acuerdo al análisis de dirección conveniente que seguiría la Línea - 4, dentro del Plan Maestro y que es Norte-Sur, la selección de calles por donde se alojaría esta línea presentaron las siguientes características: la sección de las avenidas Inguarán y Francisco Morazán se caracterizan por ser anchas con un promedio de sección de 40 mts., teniendo un camellón central desaprovechado la Avenida Inguarán, y la Avenida Morazán varios camellones con árboles y glorietas que dificultan el tráfico y provocan congestiones viales. (Figuras 3.1 y 3.2).

Al aplicar la solución en vía elevada permitiría, como ya se ha comentado en otro capítulo:

- a) Alojar el Metro y vialidades paralelas sin necesidad de realizar grandes afectaciones a los vecinos del lugar.
- b) Saneamiento de zonas citadinas, concretamente una parte de la colonia Morelos y otra del barrio de Santa Anita.
- c) Con la solución elevada se ha permitido conservar el tránsito existente, sin provocar problemas durante la construcción en las avenidas donde se aloja.
- d) Las afectaciones necesarias en las zonas de la colonia Morelos y Santa Anita provocaron el desalojo de vecinos y el pago de las indemnizaciones correspondientes.

A continuación se hace una descripción de las características geométricas del tramo en estudio, para lo cual es necesario consultar la planimetría que aparece en la figura 3.3.

La estación MORELOS se proyecta sobre la mayor afectación realizada en la línea 4, y va desde la Calzada Circunvalación, hasta la Calzada Ignacio Zaragoza, con lo cual se logró dar continuidad a las Calles de Sastrería e Imprenta con la Avenida Francisco Morazán.

Siguiendo el sentido de los cadenamamientos localizamos a la salida de la estación MORELOS la primera curva horizontal, cercana a la Calle de Albañiles con una deflexión de  $2^{\circ}55'34''$  y calculada para un radio nominal de 1000 mts. y una velocidad de proyecto de 80 km./h.

En la Calle Imprenta existe otra deflexión cuya PI se ubicó en el paramento norte de la Calle Antonio Tomatlán, en



esta zona el eje de trazo se colocó a 20 mts tomando como base el paramento poniente, la deflexión resultante fué:  $2^{\circ}43'57''$  y fue necesario utilizar una curva de radio nominal igual a 1000 mts. para el cambio de dirección,

La solución que se dió para cambiar de dirección, de la calle Imprenta a Francisco Morazán, consiste en dos curvas --clotoides con radios de 950 mts. cada una, para ubicar las --PIs fue necesario estudiar la zona y encontrar su mejor posición en el terreno.

Con la fin de evitar cambios bruscos de dirección y ape--gándose a las restricciones impuestas, se considero una defle--xión de  $7^{\circ}55'37.5''$  en las cercanías a la Calle Auza y otra de  $3^{\circ}45'06''$  cercana a la calle Zapata, las características de --las curvas, y en general el cálculo de sus principales elemen--tos geométricos aparecen al final de este apartado.

Un hecho determinante para la elección del tipo de cons--trucción en este tramo, lo constituyo la elección de los te--rrenos en los cuales se encontraba la terminal de San Lázaro de los Ferrocarriles Nacionales, para la construcción del Pa--lacio Legislativo. Para lo cual el proyecto arquitectónico --de conjunto exigía como mejor solución que la línea fuera su--perficial, el principal argumento era que la vía elevada le --restaría importancia a la arquitectura del recinto legislati--vo.

Junto con esto se tiene en la Calle Corregidora la comu--nicación más directa entre el Palacio Nacional y el Palacio --Legislativo, por lo que fue necesario considerar en el proyec--to este paso peatonal.

El hecho de que se suprimiera la terminal de San Lázaro vino a suponer la anulación de las vías que llegan por la Ca--lle Auza, con lo cual superaba un problema más ya que se eli--minaba este cruce con el ferrocarril.

En el principio el eje de la estación correspondía al ca--denamiento 9+634.724 para la solución elevada, con lo cual se--lograba una correspondencia casi inmediata con la línea - 1, al cambiar de tipo de solución la estación se llevó al cadena--miento 9+699.248 a causa del desarrollo necesario de la rampa de transición entre otras.

Teniendo como punto de partida la estación MARTIN CARRE--RA, hasta el cadenamiento 9+108.638 se conserva una sección --tipo para la plataforma de las vías, en el cambio de una ele--vada a superficial fue necesario elaborar un proyecto de gáli--bos para este tramo.

El cadenamiento de la última columna es 9+113.638 y el --estribo de la rampa comienza en el 9+123.638, la rampa inicia en el cadenamiento 9+124.084 terminando en el 9+235.00 con un gálibo de 8.20 mts. esta rampa está piloteada bajo sus muros

y en la zona de metro superficial se construyó con un gálibo de 8.10 mts.

Al sur de la estación CANDELARIA sobre la Calle de General Anaya se proyectó la solución vial con Sidar y Rovirosa - por medio de una estructura que pasa sobre las vías, evitando una vez más el interferir con los ductos que contienen a los cables de alta tensión alojados en la Avenida Francisco Morazán.

El eje de trazo se ubicó al centro de la Avenida Francisco Morazán, para definir este tramo tangente fue necesario -- ubicar un punto sobre tangente en la esquina sur de la Calle Corregidora, a éste P.S.T. se le dió doble uso ya que para -- realizar una igualación de cadenamiento, sirvió en este lu-- gar.

El espacio que utiliza la estación CANDELARIA es de --- 20.64 mts. en el cual se alojan andenes, subestaciones, vestíbulos, cuartos de aseo y locales técnicos.

En zona de estación fue suficiente una losa de cimenta-- ción de 40 centímetros de espesor, desplantada sobre una plan-- tilla de concreto de 10 centímetros de espesor.

El nivel de andén (piso terminado) es de 32.42 y el ni-- vel de subrasante es de 31.32, a la subrasante le corresponde el nivel 30.75.

Por razones de operación no fue necesario colocar aparatos en éste tramo.

### 3.3.1. TRABAJOS PRELIMINARES

Consistió en localizar en el terreno los puntos obliga-- dos, determinados durante el estudio preliminar del trazo, pa-- ra lo cual se llevó por esos puntos una poligonal abierta la cual se puede trabajar analíticamente.

En la zona de afectación de la colonia Morelos, que co-- rresponde al tramo Morelos - Candelaria, se trabajó en el ini-- cio del proyecto con cadenamientos y deflexiones obtenidas -- analíticamente partiendo de poligonales abiertas, por lo que fue necesario un chequeo de las distancias al concluir las -- afectaciones.

En los espacios en los que no existen construcciones se ubicaron PST, asignándoles cadenamientos provisionales y refe-- renciándolos a las esquinas por las que cruzaba el eje de tra-- zo.

Cuando al fin se vió libre la zona de trabajo y se reali-- zaron mediciones directas fue necesario modificar el valor de los cadenamientos de los puntos localizados al Norte del PST localizado en la Calle de Corregidora y que sirvió para igua-- lar cadenamientos.

Esencialmente el trabajo consistió en localizar correctamente las intersecciones formadas por los tramos rectos considerados. (Fig. 3.3).

### 3.3.2. CALCULO DE CURVAS HORIZONTALES

Si se contara con calles y avenidas con suficiente longitud para construir una línea de Metro, este hecho redundaría en beneficio del público usuario y del equipo de rodamiento -- mismo, ya que se lograría mayor eficiencia en el transporte de los pasajeros y el rendimiento del equipo aumentaría, de manera general se tendría:

- Mayor confort del usuario.
- Menor resistencia al avance.
- Menos problemas durante la construcción.
- Menor número de predios afectados.
- Mayor velocidad comercial.

En dirección tangente los problemas se minimizan y el servicio prestado es de alta calidad, pero en la ciudad de México por el tipo de trazo con que se cuenta es necesario hacer frecuentemente cambios de dirección, para lo cual se utiliza una curva circular con sus respectivas transiciones, buscando siempre con base a la experiencia la más conveniente.

Como recomendación se deberá evitar la implantación de -- curvas con radios mínimos, teniendo como límite inferior un radio de 150 metros.

Ya que los inconvenientes de las curvas con radios mínimos no se limitan a una simple reducción de la velocidad, estas acarrearán igualmente los siguientes fenómenos:

- En curva el desarrollo de las dos filas de rieles es diferente, en el Metro sobre riel las dos ruedas de un mismo eje están unidas y la coincidencia de las ruedas no es suficiente para compensar la diferencia del camino por recorrer, excepto para los grandes radios; una de las ruedas debe por lo consiguiente, deslizarse dentro de una parte de su trayecto, previendo este fenómeno dentro del Metro sobre neumáticos se nulifica con un diferencial.
- Los dos ejes de un mismo Bogie no se orientan siguiendo el radio de la curva.
- La velocidad de marcha acarrea una posición lateral la cual es teóricamente compensada exactamente por un desnivel, dado desde el exterior hacia el interior de la curva, pero como las velocidades sobre un círculo no son rigurosamente iguales para un mismo tramo, y de un tramo a otro y el desnivel calculado no compensa exactamente la aceleración centrífuga para una velocidad dada, ésta serie de fenómenos acarrearán las consecuencias siguientes:

- Inconfort de los pasajeros.
- Vibraciones en curva debido al rodamiento con deslizamiento, desgaste mayor de rieles y aceleración -- que provoca un fenómeno de deslizamiento ondulatorio.
- Una resistencia mayor al avance.

Por el deslizamiento metálico se estima que esta resistencia suplementaria  $\gamma_e$  varía aproximadamente según la fórmula:

$$\gamma_e = \frac{350}{R} e$$

$\gamma_e$  = Resistencia al avance en Kgf/Ton.  
 e = Separación de la vía en metros.  
 R = Radio de la curva en metros.

Para la vía normal  $\gamma_e = 500/R$

Para el rodamiento sobre neumáticos, las dos últimas consecuencias son reducidas por los diferenciales en los Bogies, de tal manera que la resistencia al avance es del orden de -- 1 Kgf/ton. para un radio de 200 mts.

El estudio de las curvas horizontales utilizadas en el -- proyecto del Metro se aborda a continuación comenzando con la Clotoide como curva de transición y siguiendo con la circular.

### 3.3.2.a. LA CLOTOIDE

Para pasar de una línea tangente a una curva circular durante el diseño de una ruta de ferrocarril y en el caso del -- METRO específicamente, se utilizan curvas de transición con el fin de asegurar el confort de los pasajeros y de mantener la -- velocidad de los vehículos lo más alto posible.

En el caso del METRO sobre neumáticos, la curva de enlace también reduce los efectos bruscos que se producen sobre la -- barra gufa.

No es recomendable pasar bruscamente de una línea recta a una curva circular, el cambio de dirección debe ser progresivo, esta exigencia es la que nos permite emplear la parábola cúbica o la clotoide.

La clotoide parece ser la curva de transición más práctica, su radio de curvatura decrece de una manera continua desde el origen hasta el infinito, donde será nulo.

La clotoide permite, para una velocidad constante asegurar en cada punto de enlace, la proporcionalidad entre la -- aceleración transversal y la abscisa curvilínea.

Jacques Bernouilli fue el primero en proporcionar una manera de construir esta curva, luego fué estudiada por Cesaro -- quien le dió el nombre y obtuvo las principales propiedades.

Referenciando la clotoide a un sistema de ejes coordenados rectangulares OX y OY. El punto O (punto de curvatura nula de la clotoide), será llamado origen de la clotoide y el eje OX será llamado tangente de la base.

Las coordenadas rectangulares X y Y de la clotoide no pueden ser calculadas más que por fórmulas de cálculo integral, es ésta la razón por la que para una utilización práctica sea necesario el uso de tablas de clotoides.

Para simplificar las tablas, el parámetro A es igual a la unidad éstas son llamadas Tablas Unitarias y la clotoide correspondiente, Clotoide Unitaria, de ésta manera multiplicando los elementos de la tabla, excepto las constantes, por un parámetro conveniente se obtienen los elementos de una clotoide bien definida.

Por razones de orden práctico se emplean las letras mayúsculas para los elementos de una clotoide de un parámetro diferente de la unidad, y las minúsculas para los elementos unitarios, para las constantes se utilizan las letras minúsculas del alfabeto Griego.

#### PROPIEDADES DE LA CLOTOIDE

Clotoide proviene del Griego, y se deriva de la palabra kloto que significa enrollar, un hilo en una bobina puesta en rotación toma la forma de esta curva.

La clotoide es a veces llamada la Espiral de Cornu, dentro del trazo de caminos ó de vías del ferrocarril, se utiliza únicamente una porción del inicio.

La clotoide sigue un comportamiento de forma simple; para cada punto el producto del radio de curvatura por la longitud de arco, entre el origen de la clotoide y el punto considerado es un valor constante.

$$RL = \text{Constante}$$

Por lo que esta expresión es de forma cuadrática y la constante puede ser expresada como un cuadrado; en donde la fórmula:

$$RL = A^2 \dots \dots \dots \text{Fórmula } \textcircled{1}$$

Para una cierta clotoide, en cada uno de sus puntos el radio de curvatura R y la longitud de arco L son los valores variables, pero el producto será siempre el mismo valor A<sup>2</sup>.

Se puede fácilmente calcular uno de los valores, en función del otro, la fórmula  $\textcircled{1}$  nos permite deducir propiedades fundamentales de la clotoide: Su radio de curvatura es inversamente proporcional a la longitud de la curva.

El valor A que determina una clotoide única, es llamado

parámetro de la clotoide, para una clotoide determinada el parámetro permanece constante.

R	L	$A^2$	A
2	72	$2 \times 72 = 12^2$	12
4	36	$4 \times 36 = 12^2$	12
6	24	$6 \times 24 = 12^2$	12
8	18	$8 \times 18 = 12^2$	12
12	12	$12 \times 12 = 12^2$	12

Si se cambia el parámetro, se cambia el valor de la clotoide, el parámetro tiene por lo tanto el significado de un factor de dimensión.

Sabemos que todo círculo es semejante a otro círculo, la única cantidad que los diferencia a uno del otro es el radio. Esto es así para las clotoides, ellas son semejantes; la única cantidad que las diferencia es el parámetro y pueden ser agrandadas o reducidas con una simple proporción, de tal manera que se tiene:

- La relación de similitud de dos círculos, es la relación de sus radios.
- La relación de similitud de dos clotoides, es la relación de sus parámetros.

#### CARACTERISTICAS GEOMETRICAS Y FORMULAS DE LA CLOTOIDE.

La clotoide es una curva en la cual, la longitud del arco es proporcional a su curvatura, y se puede escribir:

$$L = \text{const. } K \quad \text{--- ( 1 )}$$

en donde:

$$L = \text{Longitud del arco}$$

$$K = \text{Curvatura}$$

K estará definida por la siguiente relación:

$$K = \frac{d\alpha}{dL} \quad \text{ó} \quad K = \frac{1}{R} \quad \text{--- ( 2 )}$$

en donde:

$$R = \text{Radio de curvatura}$$

$$\alpha = \text{Angulo de la tangente}$$

Sustituyendo (2) en (1) obtenemos:

$$L = \text{const. } \frac{1}{R} \quad \text{ó} \quad RL = \text{const.} \quad \text{--- ( 3 )}$$

La igualdad (3) contiene una relación de homogeneidad -- que es:

$\text{const.} = A^2$ , con lo cual tenemos:  $RL = A^2$  --- ( 4 )  
que es la llamada ecuación intrínseca de la clotoide.

Sustituyendo la relación (2) en (1) obtenemos:

$$L = A^2 \frac{d\vartheta}{dL} \quad \delta \quad LdL = A^2 d\vartheta \quad \text{----- ( 5 )}$$

que es la ecuación diferencial de la clotoide.

La integración de (5) da la longitud del arco de clotoide en función del ángulo :

$$\frac{L^2}{2} = A^2 \vartheta + i_c \quad \text{----- ( 6 )}$$

$i_c$  es llamada constante de integración.

Si se tiene:  $L = 0$  o bien  $\vartheta = 0$   
Se deduce que  $i_c = 0$

Si  $L^2 = 2A^2 \vartheta$  también tenemos :  $L = A \sqrt{2\vartheta}$  ----- ( 7 )  
de la figura siguiente se pueden obtener las expresiones:

$$\begin{aligned} dx &= \text{Cos } \vartheta dL \\ dy &= \text{Sen } \vartheta dL \end{aligned}$$

según (5) y (7) :

$$dL = \frac{A^2 d\vartheta}{L} \quad \text{y} \quad L = A \sqrt{2\vartheta}$$

se obtiene:

$$dx = \frac{A}{\sqrt{2\vartheta}} \text{Cos } \vartheta d\vartheta$$

$$dy = \frac{A}{\sqrt{2\vartheta}} \text{Sen } \vartheta d\vartheta$$

e integrando:

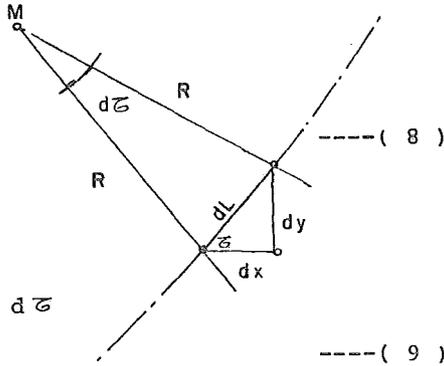
$$X = \frac{A}{\sqrt{2}} \int_0^{\vartheta} \frac{\text{Cos } \vartheta}{\sqrt{\vartheta}} d\vartheta$$

$$Y = \frac{A}{\sqrt{2}} \int_0^{\vartheta} \frac{\text{Sen } \vartheta}{\sqrt{\vartheta}} d\vartheta$$

Estas dos últimas expresiones son conocidas con el nombre de integrales de FRESNEL y existen cálculos para desarrollar la serie.

$$X = A \sqrt{2\vartheta} \left( 1 - \frac{\vartheta^2}{10} + \frac{\vartheta^4}{216} - \dots + \dots \right)$$

$$Y = A \sqrt{2\vartheta} \left( \frac{\vartheta}{3} - \frac{\vartheta^3}{42} + \frac{\vartheta^5}{1320} - \dots + \dots \right)$$



## CALCULO DEL PARAMETRO A

El cálculo del parámetro A, está determinado por la velocidad de proyecto; el confort determina un límite al incrementarse, la aceleración centrífuga  $d\Gamma$  que no deberá exceder  $0.4 \text{ m/seg}^3$ , si el vehículo pasa por la curva a una velocidad uniforme.

Esta restricción  $\frac{d\Gamma}{dt}$  exige una variación progresiva de la curvatura entre un alineamiento en tangente y un arco de circular.

La curva de transición está definida de manera que limite el incremento de la aceleración centrífuga y la conserve en:

$$\frac{d\Gamma}{dt} \leq 0.4 \text{ m/seg}^3$$

Si L es la longitud de esta curva y  $\rho$  (ro) el radio de la curva en un punto de L.

$$v = \frac{dL}{dt} \quad \text{y} \quad \frac{d\Gamma}{dt} \leq 0.4 \text{ m/seg}^3$$

podemos escribir:

$$\frac{d\Gamma}{dL} v \leq 0.4 \text{ m/seg}^3$$

$$\text{ó bien} \quad \frac{d\Gamma}{dL} \leq \frac{0.4 \text{ m/seg}^3}{v}$$

si la velocidad v es constante:

$$\Gamma = \frac{v^2}{\rho} \quad \text{por lo tanto} \quad \frac{d\Gamma}{dL} = v^2 \frac{d}{dL} \frac{1}{\rho}$$

de donde:

$$\frac{d}{dL} \frac{1}{\rho} \leq \frac{0.4 \text{ m/seg}^3}{v^3}$$

de la ecuación  $\rho^2 = A^2$ , deducimos:

$$\frac{d}{dL} \frac{1}{\rho} = \frac{1}{A^2}$$

Y para un límite de confort aceptable

$$\frac{1}{A^2} = \frac{0.4 \text{ m/seg}^3}{v^3}$$

de donde:  $A^2 = 2.5 v^3$

v: en metros/seg.

Para enlazar un tramo tangente a un círculo de radio R a una velocidad  $v$ , la longitud del arco de clotoide necesario es:

$$l = \frac{2.5 v^3}{R}$$

$v$ ; en metros/seg  
 $R$ ; en metros.

En la figura 3.4. aparece la nomenclatura empleada y las características de la curva horizontal, integrada por dos porciones de clotoide y una curva circular al centro.

Los elementos de una clotoide pueden calcularse mediante la Tabla I que contiene los datos para diferentes radios de curvatura y una velocidad de proyecto de 60 Km/hr., y la tabla II para velocidades máximas de 70 Km/hr.

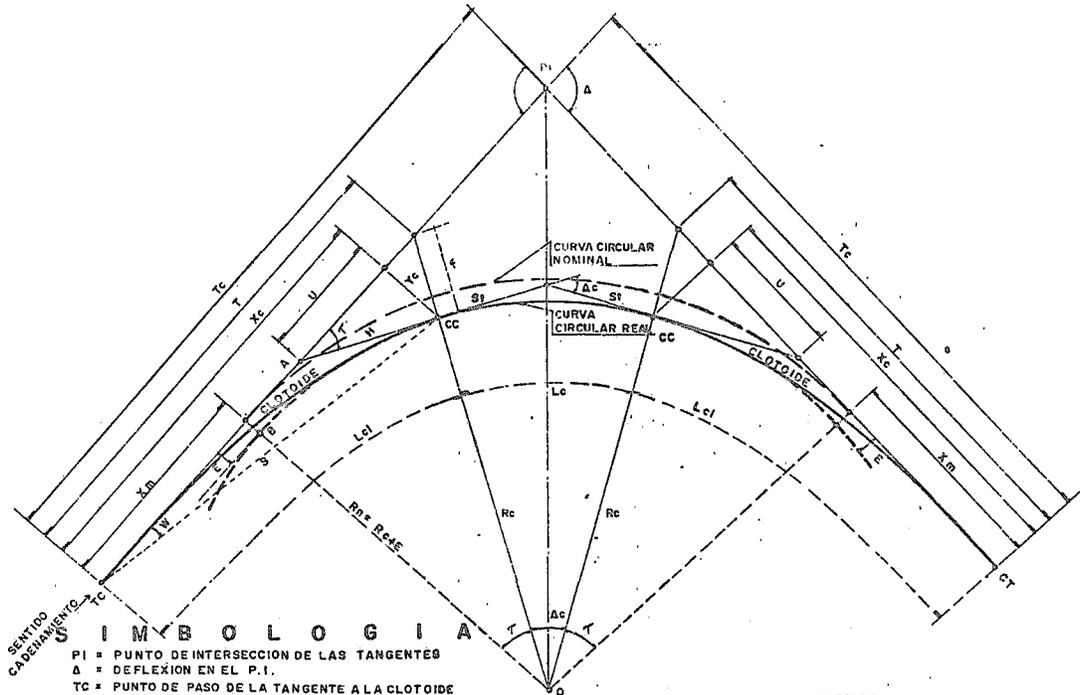
En las páginas 61 a la 64 aparecen calculadas las curvas de el tramo Morelos - Candelaria, se ha calculado las clotoides, la curva circular real, comprobado los cálculos y se han obtenido los cadenamientos de los puntos principales de la curva.

En el apéndice "A" se pueden encontrar las coordenadas de éstas curvas, el formato y los datos son los que se proporcionan a las brigadas de topografía para su trazo en campo.

### 3.3.2.b LA CIRCULAR

El alineamiento horizontal se obtiene mediante un plano, los elementos que lo componen son las tangentes, las curvas circulares y las curvas de transición.

En el proyecto del Metro cuando se requiere unir dos tramos rectos, para pasar de una dirección a otra es necesario hacerlo mediante el trazo de una curva circular, los elementos geométricos de esta curva son fáciles de obtener analizando un arco de circunferencia como el de la siguiente figura:



SENTIDO  
CADA BIEN EN  
S

**S I M B O L O G I A**

- PI = PUNTO DE INTERSECCION DE LAS TANGENTES
- A = DEFLEXION EN EL P. I.
- TC = PUNTO DE PASO DE LA TANGENTE A LA CLOTOIDE
- CC = PUNTO DE PASO DE LA CLOTOIDE A LA CURVA CIRCULAR
- CC = PUNTO DE PASO DE LA CURVA CIRCULAR A LA CLOTOIDE
- CT = PUNTO DE PASO DE LA CLOTOIDE A LA TANGENTE
- T = ANGULO TOTAL DE CADA CLOTOIDE
- Ac = ANGULO CENTRAL DE LA CURVA CIRCULAR REAL
- Gc = GRADO DE LA CURVA CIRCULAR REAL
- Rn = RADIO DE LA CURVA CIRCULAR NOMINAL
- Rc = RADIO DE LA CURVA CIRCULAR REAL
- Tc = SUBTANGENTE TOTAL (DISTANCIA DEL P. I. AL T. C.)
- T = ABCISA DE LA SUBNORMAL
- Xc = ABCISA DEL PUNTO CC
- Yc = ORDENADA DEL PUNTO CC
- Xm = ABCISA DEL PUNTO "B"
- E = ORDENADA DEL PUNTO "B"
- U = DISTANCIA DEL PUNTO "A" AL Xc
- H = DISTANCIA DEL PUNTO "A" AL CC
- S = CUERDA LARGA (DISTANCIA DEL TC AL CC)
- W = DEFLEXION AL CC
- F = DISTANCIA NORMAL A LA CURVA CIRCULAR REAL DEL CC A LA SUBTANGENTE TOTAL
- ST = SUBTANGENTE DE LA CURVA CIRCULAR REAL

- Lcl = LONGITUD DE LA CLOTOIDE
- Lc = LONGITUD DE LA CURVA CIRCULAR REAL

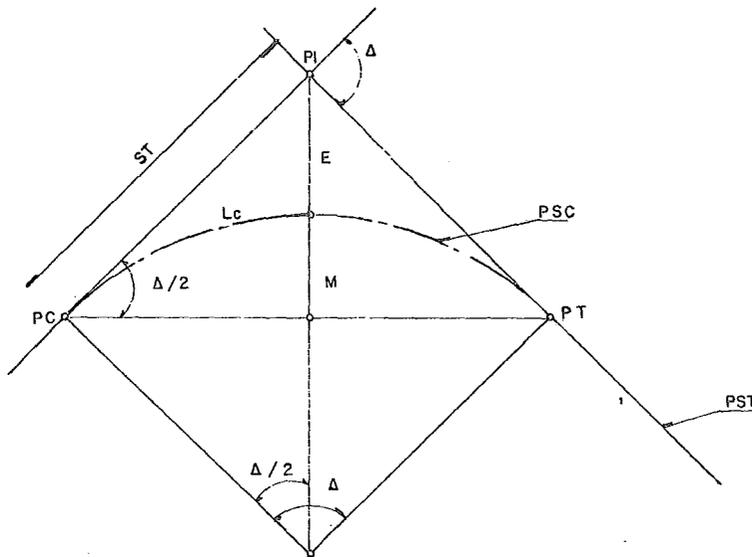
**FIG. 3.4.- ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA CURVA CIRCULAR CON CLOTOIDES.**

Rn (m) RADIO NOMINAL	V (Km/Hr) VELOCIDAD MAXIMA	Hr (mm) PERALTE TEORICO	Hr (mm) PERALTE PRACTICO	Sm (mm/m) PENDIENTE MAXIMA	Lic (m) LONG TEO DE CLOTOIDE MINIMA	F	Rc (m) RADIO REAL	A PARAMETRO	Lcl (m) LONG REAL DE CLOTOIDE MINIMA	T	Xc (m)	Yc (m)	Xm (m)	Um (m)	H (m)
175	60	242.72	16.0	3.00	53.333	0.3047619	174.319	96.3983	53.308	06°45'39"	53.184	2.712	26.633	17.601	17.809
200	60	212.40	16.0	3.00	53.333	0.2666666	199.405	103.0924	53.293	07°39'26"	53.204	2.371	26.634	17.638	17.797
225	60	188.80	16.0	3.00	53.333	0.237037	224.473	109.3183	53.238	06°47'40"	53.163	2.102	26.607	17.645	17.770
250	60	169.92	14.0	3.00	46.667	0.1866666	249.634	106.0915	46.804	05°22'16"	46.763	1.462	23.395	15.546	15.615
275	60	154.47	12.5	3.00	41.667	0.151515	274.735	107.1466	41.787	04°21'26"	41.763	1.059	20.840	13.896	13.937
300	60	141.60	11.0	3.00	36.667	0.122222	299.813	104.9344	36.727	03°30'34"	36.713	0.749	18.361	12.224	12.247
325	60	130.71	10.0	3.00	33.333	0.102641	324.856	104.2789	33.474	02°57'07"	33.465	0.575	16.735	11.147	10.161
350	60	121.37	9.0	3.00	30.000	0.085714	349.993	102.5185	30.038	02°27'34"	30.032	0.430	15.018	10.006	10.015
375	60	113.28	8.5	3.00	28.333	0.075556	374.911	103.1004	28.353	02°09'59"	28.349	0.357	14.176	9.447	9.453
400	60	106.20	7.5	3.00	25.000	0.062500	399.935	99.9837	24.996	01°47'26"	24.994	0.260	12.498	8.329	8.333
425	60	99.25	7.0	3.00	23.333	0.054901	424.946	99.8623	23.468	01°34'55"	23.466	0.216	11.734	7.821	7.824
450	60	94.40	6.5	3.00	21.667	0.048146	449.956	98.9904	21.778	01°23'12"	21.777	0.175	10.889	7.233	7.233
475	60	89.43	6.0	3.00	20.000	0.042105	474.964	97.8427	20.156	01°12'56"	20.155	0.143	10.076	6.719	6.720
500	60	84.96	5.5	3.00	18.333	0.036667	499.972	95.9945	18.431	01°03'22"	18.430	0.113	9.215	6.145	6.146
525	60	80.91	5.0	3.00	16.667	0.031746	524.977	93.9710	16.821	00°55'04"	16.820	0.090	8.410	5.608	5.609
550	60	77.24	4.5	3.00	15.000	0.027273	549.982	91.2971	15.155	00°47'22"	15.155	0.070	7.576	5.049	5.049
575	60	73.88	4.5	3.00	15.000	0.026097	574.983	93.1473	15.090	00°45'06"	15.090	0.066	7.545	5.034	5.034
600	60	70.80	4.0	3.00	13.333	0.022222	599.987	89.9981	13.500	00°38'40"	13.500	0.051	6.750	4.497	4.497
625	60	67.97	4.0	3.00	13.333	0.021333	624.988	91.8733	13.505	00°37'09"	13.505	0.049	6.753	4.497	4.498
650	60	65.35	3.5	3.00	11.667	0.017949	649.992	87.0999	11.671	00°30'52"	11.671	0.035	5.836	3.890	3.890
675	60	62.93	3.0	3.00	10.000	0.014815	674.994	82.3493	10.047	00°25'35"	10.047	0.025	5.023	3.353	3.353
700	60	60.69	3.0	3.00	10.000	0.014857	699.994	83.9992	10.080	00°24'45"	10.080	0.024	5.040	3.360	3.360
725	60	58.59	3.0	3.00	10.000	0.013793	724.994	85.5493	10.095	00°23'56"	10.095	0.023	5.047	3.367	3.367
750	60	56.64	2.5	3.00	8.333	0.011111	749.996	79.4996	8.427	00°19'19"	8.427	0.016	4.214	2.816	2.816
775	60	54.81	2.5	3.00	8.333	0.010753	774.996	80.5996	8.382	00°18'35"	8.382	0.015	4.191	2.803	2.803
800	60	53.10	2.5	3.00	8.333	0.010417	799.996	82.3996	8.487	00°18'14"	8.487	0.015	4.244	2.827	2.827
825	60	51.49	2.0	3.00	6.667	0.008091	824.998	74.2498	6.682	00°13'55"	6.682	0.009	3.341	2.219	2.219
850	60	49.98	2.0	3.00	6.667	0.007843	849.998	75.6498	6.733	00°13'37"	6.733	0.009	3.366	2.235	2.235
875	60	48.55	2.0	3.00	6.667	0.007619	874.998	76.9998	6.776	00°13'19"	6.776	0.009	3.388	2.266	2.266
900	60	47.20	1.5	3.00	5.000	0.005556	899.999	67.4999	5.062	00°09'40"	5.062	0.005	2.531	1.680	1.680
925	60	45.92	1.5	3.00	5.000	0.005405	924.999	68.4499	5.065	00°09'25"	5.065	0.005	2.533	1.674	1.674
950	60	44.16	1.5	3.00	5.000	0.005263	949.999	69.3499	5.063	00°09'10"	5.063	0.005	2.531	1.691	1.691
975	60	43.57	1.5	3.00	5.000	0.005128	974.999	70.1999	5.054	00°08'55"	5.054	0.004	2.527	1.678	1.678
1000	60	42.48	1.0	3.00	3.333	0.003333	1000.000	58.0000	3.364	00°05'47"	3.364	0.004	1.682	1.103	1.103
1500	60	28.32	0.0	3.00	0.000	0.000000	1500.000	0.0000	0.000	00°00'00"	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2000	60	21.24	0.0	3.00	0.000	0.000000	2000.000	0.0000	0.000	00°00'00"	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

TABLA I.- CLOTOIDES PARA V = 60 Km./Hr.

R <sub>n</sub> (m) RADIO NOMINAL	V (km/h) VELOCIDAD MAXIMA	h <sub>t</sub> (mm) PERALTE TEORICO	H <sub>r</sub> (mm) PERALTE PRACTICO	S <sub>m</sub> (mm/m) PENDIENTE MAXIMA	L <sub>cl</sub> (m) LONG. TEOR. DE CLOTOIDE MINIMA	F	R <sub>c</sub> (m) RADIO REAL	A PARAMETRO	L <sub>cl</sub> (m) LONG. REAL DE CLOTOIDE MINIMA	T	X <sub>c</sub> (m)	Y <sub>c</sub> (m)	X <sub>m</sub> (m)	U (m)	H (m)
175	70	256.98	160	2.571	62.222	0.276543	224.263	117.9728	62.054	7°55'34"	61.935	2.858	31.007	20.524	20.722
225	70	231.28	160	2.571	62.222	0.248889	249.355	124.4279	62.090	7°08'00"	61.993	2.574	31.029	20.567	20.727
275	70	210.25	160	2.571	62.222	0.226263	274.412	130.6202	62.175	6°29'27"	62.095	2.346	31.074	20.618	20.751
300	70	192.73	160	2.571	62.222	0.207407	299.460	136.6537	62.268	5°57'25"	62.201	2.156	31.121	20.665	20.778
325	70	177.91	150	2.571	58.333	0.179487	324.563	137.6145	58.349	5°09'01"	58.301	1.747	29.166	19.366	19.465
350	70	165.20	135	2.571	52.500	0.150000	349.670	135.6718	52.641	4°18'46"	52.611	1.320	26.315	17.566	17.566
375	70	154.19	125	2.571	48.611	0.129630	374.735	135.2792	48.836	3°44'00"	48.815	1.060	24.415	16.262	16.266
400	70	144.55	115	2.571	44.722	0.111805	399.790	133.9298	44.866	3°12'54"	44.852	0.839	22.431	14.938	14.951
425	70	136.05	105	2.571	40.833	0.096078	424.836	131.6992	40.827	2°45'11"	40.817	0.654	20.412	13.595	13.611
450	70	128.49	100	2.571	38.889	0.086420	449.860	132.2588	38.884	2°28'34"	38.877	0.560	19.441	12.953	12.965
475	70	121.73	90	2.571	35.000	0.073684	464.892	129.1705	35.134	2°07'10"	32.130	0.433	17.566	11.707	11.715
500	70	115.64	85	2.571	33.056	0.066112	499.907	128.9761	33.276	1°54'25"	33.272	0.369	16.637	11.097	11.093
525	70	110.13	80	2.571	31.111	0.059259	524.922	128.0810	31.252	1°42'20"	31.249	0.310	15.625	10.414	10.418
550	70	105.13	75	2.571	29.167	0.053030	549.935	127.0349	29.345	1°31'43"	29.343	0.261	14.672	9.776	9.781
575	70	100.56	70	2.571	27.222	0.047343	574.946	125.3382	27.324	1°21'41"	27.322	0.216	13.662	9.108	9.111
600	70	96.37	65	2.571	25.278	0.042130	599.955	123.5907	25.460	1°12'56"	25.459	0.180	12.730	8.467	8.488
625	70	92.51	60	2.571	23.333	0.037333	624.963	121.2429	23.521	1°04'41"	23.520	0.147	11.760	7.807	7.809
650	70	88.95	60	2.571	23.333	0.035897	649.965	123.4933	23.464	1°02'03"	23.463	0.141	11.732	7.820	7.821
675	70	85.66	55	2.571	21.389	0.031687	674.971	120.8198	21.627	0°55'04"	21.626	0.116	10.813	7.210	7.211
700	70	82.60	50	2.571	19.444	0.027778	699.978	116.8963	19.522	0°47'56"	19.521	0.091	9.761	6.505	6.506
725	70	79.75	50	2.571	19.444	0.026820	724.978	118.8964	19.499	0°46'14"	19.499	0.087	9.749	6.498	6.498
750	70	77.09	45	2.571	17.500	0.023233	749.983	114.7474	17.556	0°40'14"	17.556	0.069	8.778	5.833	5.854
775	70	74.61	45	2.571	17.500	0.022581	774.983	117.0224	17.670	0°39'12"	17.670	0.067	8.835	5.891	5.891
800	70	72.27	40	2.571	15.556	0.019444	799.987	111.9982	15.680	0°33'41"	15.680	0.051	7.840	5.224	5.224
825	70	70.08	40	2.571	15.556	0.018855	824.988	113.8483	15.711	0°32'44"	15.711	0.050	7.856	5.237	5.237
850	70	68.02	40	2.571	15.556	0.018301	849.988	115.5984	15.721	0°31'48"	15.721	0.048	7.861	5.238	5.236
875	70	66.08	35	2.571	13.611	0.015555	874.991	109.3739	13.672	0°26'51"	13.672	0.036	6.836	4.565	4.565
900	70	64.24	35	2.571	13.611	0.015123	899.992	110.6990	13.616	0°26'00"	13.616	0.034	6.808	4.537	4.537
925	70	62.51	30	2.571	11.667	0.012613	924.994	104.5243	11.811	0°21'57"	11.811	0.025	5.906	3.929	3.929
950	70	60.86	30	2.571	11.667	0.012281	949.994	104.4994	11.599	0°21'11"	11.599	0.024	5.800	3.867	3.867
975	70	59.30	30	2.571	11.667	0.011966	974.994	107.2494	11.797	0°20'48"	11.797	0.024	5.899	3.935	3.935
1000	70	57.82	30	2.571	11.667	0.011667	999.994	108.9993	11.881	0°20'25"	11.881	0.024	5.941	3.964	3.964
1500	70	38.55	10	2.571	3.889	0.002593	1500.000	76.5000	3.902	0°04'28"	3.902	0.002	1.951	1.295	1.295
2000	70	28.91	0	2.571	0.000	0.000000	2000.000	0.0000	0.0	0°00'00"	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

TABLA II- CLOTOIDES PARA V= 70 Km./Hr.



### ABREVIATURAS

	= Deflexión		
PI	= Punto de intersección		
PC	= Principio de la curva		
PT	= Principio de la tangente		
R	= Radio de la curva		
ST	= Subtangente		
LC	= Longitud de la curva		
M	= Ordenada media		
E	= Externa		
CP	= Cuerda principal	PSC	= Punto sobre la - curva
G	= Grado de curvatura	PST	= Punto sobre tan- gente

Antes de iniciar el tema es necesario familiarizarnos con algunos elementos que definen a las curvas circulares, tales como las tangentes: se llaman Tangentes a los tramos rectos que unen a las curvas, al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se le denomina PI y el ángulo de deflexión formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se le representa con la letra griega  $\Delta$  (Delta), al punto en que la curva se inicia se le llama PC y al punto en que la curva termina se le llama PT. (Principio de tangente).

**CURVA SIMPLE.**- Cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola curva, a ésta se le denomina curva simple y puede ser a la Izquierda ó a la derecha.

**GRADO DE CURVATURA.**- Se llama grado de una curva al ángulo que en esa curva subtende una cuerda de 20 metros.

**SUBTANGENTE.**- Es la distancia que hay del PI al PC (Una curva tiene dos subtangentes), la otra subtangente se mide del PI al PT.

**RADIO DE CURVATURA.**- Se llama radio de una curva a la línea que parte del PC y que es perpendicular a la tangente y otra línea que parte del PT en la misma forma y van a intersectarse en el centro de la curva.

**LONGITUD DE LA CURVA.**- Es la longitud del PC al PT medida sobre cuerdas.

**EXTERNA.**- Es la distancia entre el PI y el centro de la curva medida en su bisectriz.

**ORDENADA MEDIA.**- Es la longitud de la flecha y que es perpendicular a la cuerda larga, tocando en el punto medio de la curva.

**DEFLEXION POR METRO.**- Es la deflexión para trazar toda la curva entre la longitud de la curva.

Los datos de partida para calcular los elementos de una curva son:

$\Delta$  = Deflexión

C = Cuerda

R = Radio

La deflexión se mide con transportador directamente, sobre los planos en que se realiza el proyecto de trazo, aunque más adelante se debe checar esta deflexión en campo y proceder a realizar los cálculos de los elementos de la curva circular.

El radio de curvatura depende del criterio del proyectis-

ta y de las condiciones del terreno, así como de las restricciones en lo referente a proyectos del Metro.

Así mismo es necesario fijar una cuerda o el arco de la circunferencia, esto se hace para  $C = 20$  mts , como base para el cálculo y el trazo de las curvas.

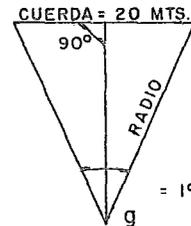
Aplicando la función Seno en la figura se obtiene:  $\frac{1}{2} C / R = \text{Sen } \frac{1}{2} g$

$$y R = \frac{C/2}{\text{Sen } \frac{1}{2} g}$$

y para una  $C = 20$  mts

$$R = \frac{10}{\text{Sen } \frac{1}{2} g} \dots\dots (1)$$

para  $g = 1^\circ$  se tiene un  $R = 1145.92$  mts



De otra manera, cuando el arco mide 20 mts. el perímetro del círculo medirá  $360^\circ \times 20 = 7200$  mts y el radio de ese círculo resultaría:

$$\begin{aligned} R &= P/2\pi \\ R &= 7200/2\pi \\ R &= 1145.92 \text{ mts} \end{aligned}$$

Un círculo dividido en  $360^\circ$  define arcos o cuerdas que varían con el radio del círculo, si se mantiene una cuerda unitaria entonces, el grado de curvatura crece inversamente proporcional al radio, es decir:  $R = 1/g$ . La longitud de la curva circular depende de la deflexión y el grado de curvatura, así pues:

$$LC = \frac{\Delta}{G^2} \times 20 \text{ mts} + \text{residuo (para } R > 100 \text{ mts)}$$

Como se está trabajando con una cuerda unitaria y el radio de la curva es función del grado de curvatura tenemos:

$$LC = \frac{\Delta}{G^\circ} \quad \text{si} \quad \frac{1}{G^\circ} = R$$

Entonces  $LC = \Delta R$ , para hacer compatibles las unidades - tenemos

$$Lc = \Delta R \frac{\sqrt{\quad}}{180} \quad \text{----- (2)}$$

Del triángulo O-PC-PI tomado de la Figura No. I tenemos:

$$\text{Tang } \frac{\Delta}{2} = \frac{ST}{R}$$

$$ST = R \text{Tang } \Delta / 2 \quad \text{-- (3)}$$

Fórmula que nos da el valor de las subtangentes entre las que se encuentra inscrito nuestro arco de circunferencia.

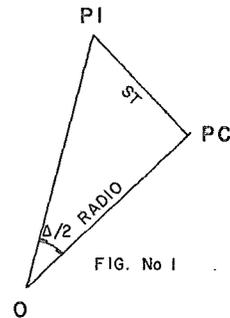


FIG. No I

Por medio de las funciones naturales se resolverán los elementos de una curva simple obteniéndose:

$$ST = R \text{Tang } \frac{1}{2} \Delta$$

$$Lc = \frac{\Delta \cdot 20}{G}$$

$$ST = E \text{COT } \frac{1}{4} \Delta$$

$$Lc = \Delta R \sqrt{\quad} / 180$$

$$ST = \frac{C}{2 \cos \frac{1}{2} \Delta}$$

$$E = ST \text{Tang } \frac{1}{4} \Delta$$

$$R = ST \text{COT } \frac{1}{2} \Delta$$

$$E = \frac{R \cdot X \cdot F}{R - F}$$

$$R = \frac{C}{2 \sin \frac{1}{2} \Delta}$$

$$E = \frac{R}{\cos \frac{1}{2} \Delta} R$$

$$R = \frac{10}{\sin \frac{1}{2} G}$$

$$C = 2R \sin \Delta / 2$$

$$C = 2ST \cos \Delta / 2$$

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

$$F = \frac{C}{2} \text{Tang } \frac{\Delta}{4}$$

$$G = \frac{1145.92 \text{Tang } \frac{1}{2} \Delta}{ST}$$

$$F = E \cos \Delta / 2$$

Conocidos el valor de la subtangente y longitud de la circular se pueden dar cadenamientos al punto donde comienza la circular, para continuarlos sobre la curva y luego sobre la tangente.

El cadenamiento de que se parte por ser el único conocido es el del PI, así se tiene:

Cadenamiento (PC) = Cad (PI) - ST  
 Cadenamiento (PT) = Cad (PC) - LC

Hasta aquí se han calculado elementos para conocer sus características geométricas, para el trazo en el terreno es necesario el cálculo de sus coordenadas y deflexiones.

La deflexión por metro se obtiene dividiendo la deflexión para trazar toda la curva entre la longitud de la curva, de la figura n° 1 en el triángulo PI - PC - PT, el ángulo necesario para el trazo de la circular el  $\Delta/2$ , entonces la deflexión por metro será:

$$d/m = \frac{\Delta/2}{LC} \quad \text{----- (4)}$$

valor proporcionado en minutos con el cual la brigada de topografía trazará la curva, cadeneando sobre ella según se lo permitan las condiciones del terreno.

La figura 3.5 de la página siguiente contiene la localización de las cuatro curvas horizontales existentes en el tramo Morelos - Candelaria.

Las curvas circulares se utilizan para las vías en que no necesitan sobreelevación, debido a que los trenes circulan a velocidades relativamente bajas, así es que se tienen curvas de este tipo en las colas de maniobra en estación terminal (  $v = 20$  a  $25$  Km/Hr ) y los enlaces de talleres y depósitos a zona de terminal  $v = 25$  Km/Hr.

En tramo normal se emplean siempre y cuando el valor de las deflexiones sea mínimo y el radio de la curva sea igual o mayor de 1500 mts por ejemplo en bayonetas que en algunas ocasiones requieren de una longitud de desarrollo mínimo y en espuelas de comunicación.

### 3.3.3. REFERENCIACION DEL TRAZO

Durante la etapa de el proyecto de trazo del eje del Metro es necesario referenciar los puntos físicos que se utilizaron para definirlo, lo cual consiste en fijar los puntos importantes del trazo al terreno mediante marcas en lugares fijos y accesibles.

Este trabajo lo realiza la brigada que ha llevado el control topográfico del tramo, por medio de triángulos, referenciará los puntos obligados, puntos sobre tangente, intersección de tangentes, entrada y salida de curvas, igualación de cadenamientos, etc.. La referenciación se hace a paramentos cercanos, guarniciones o a cualquier otro punto fijo, enviando los datos de ángulo y distancia a gabinete para su análisis y la posterior elaboración de un plano a escala 1:500 de referenciación en un tramo determinado.

Los polígonos que se generan serán de acuerdo a el criterio

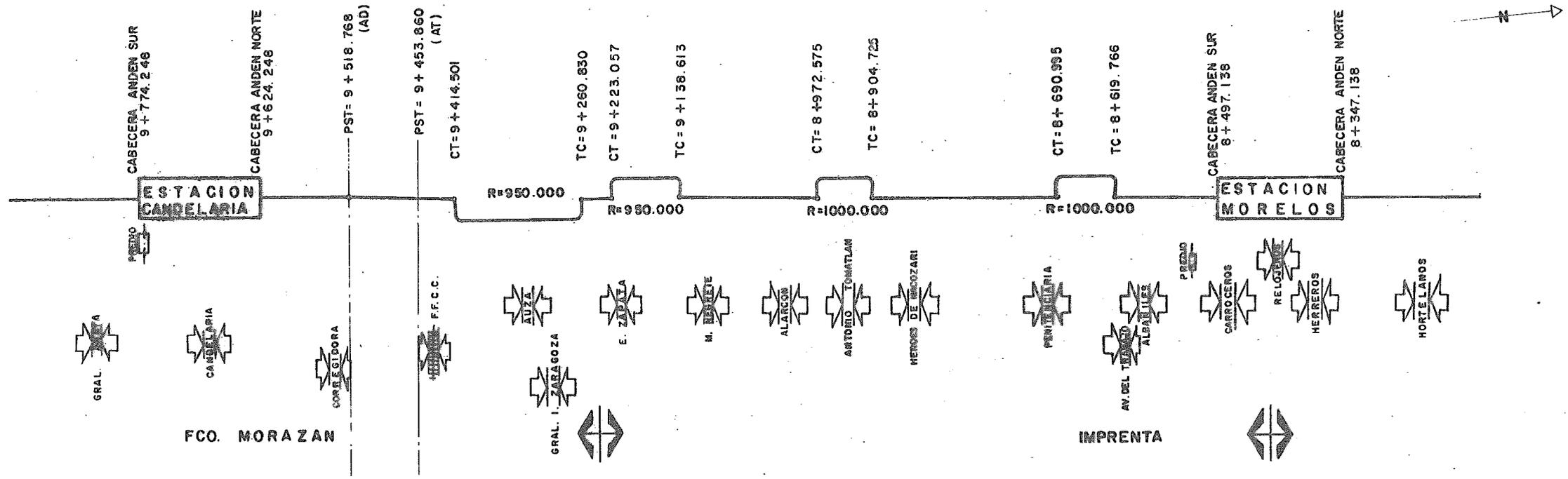
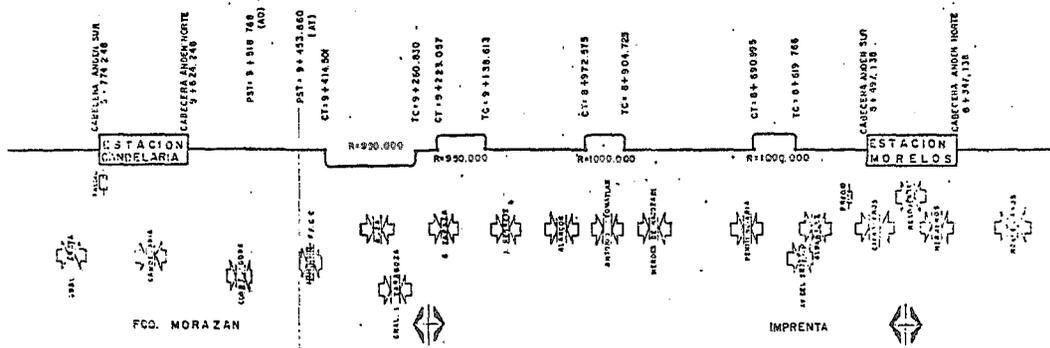


FIG. 3.5: LOCALIZACION DE CURVAS HORIZONTALES  
 EN TRAMO MORELOS — CANDELARIA



LOCALIZACION DE CURVAS HORIZONTALES

EN TRAMO: MORELOS-CANDELAERIA

FIG. 3.5

CALCULO DE LA CURVA EN EL PI  $8+655.389$  PARA UN RADIO NOMINAL DE  $1000.00$  Y UN  $\Delta$  DE  $2^{\circ}55'34$

DATOS PARA EL CALCULO DE LA CLOTOIDE

VELOCIDAD = V = 80  
 PERALTE PRACTICO = Hr = 49.495

CALCULO DE LA CLOTOIDE

Sm = 180/V = 2.250  
 Ltc = Hr/Sm = 21.997778  
 $\lambda = Ltc/Rn = 0.021998$   
 $\lambda = 0.000017$   
 $r = 7.042254$   
 $\phi = 0.142000$   
 E =  $\lambda \cdot Rn = 0.01700$   
 Rc = RN - E = 999.983  
 A = Rc/r = 141.99758  
 Lcl =  $\frac{P}{C} \cdot A = 20.164$   
 $\tau = 00^{\circ}34'40''$   
 Xc = x · A = 20.164  
 Yc = y · A = 0.068  
 Xm = xm · A = 10.082  
 S = s · A = 20.164  
 $\omega = 00^{\circ}11'33''$   
 U = Yc/tan $\tau$  = 6.743  
 H = Yc/sen $\tau$  = 6.743

CALCULO DE LA CURVA CIRCULAR REAL

$\Delta c = \Delta - 2\tau = 1^{\circ}46'14''$   
 Lc =  $\Delta c \text{ rad} \cdot Rc = 30.901$   
 ST =  $\tan \Delta c / 2 \cdot Rc = 15.452$   
 c =  $2Rc \text{ sen} \Delta c / 2 = 30.900$   
 Tc = STcn + Xm = 35.623

COMPROBACION DE LOS CALCULOS

$2 (\text{sen} \{ (180^{\circ} - \Delta) / 2 \} \cdot Tc) = 71.22$   
 $\cos \{ (180^{\circ} - (90^{\circ} - \{ (180^{\circ} - \Delta) / 2 \})) - \omega \} \cdot 2S + C = \cos \{ (\Delta / 2) - \omega \} \cdot 2S + C = 71.22$

CALCULO DE CADENAMIENTOS

TC = PI - Tc = 8+619.766  
 CC = TC + Lcl = 8+639.930  
 CC = CC + Lc = 8+670.831  
 CT = CC + Lcl = 8+690.995

NOMENCLATURA EMPLEADA

V = VELOCIDAD MAXIMA AUTORIZADA  
 Sm = PENDIENTE MAXIMA DE ENLACE  
 Ltc = LONGITUD TEORICA DE CLOTOIDE  
 Rn = RADIO NOMINAL  
 Rc = RADIO REAL  
 Lcl = LONGITUD REAL DE CLOTOIDE  
 C = CUERDA DE LA CURVA CIRCULAR REAL  
 STcn = ST DE LA CURVA CIRCULAR NOMINAL

CALCULO DE LA CURVA EN EL PI 8+938.657 PARA UN RADIO NOMINAL DE 1000.000 Y UN  $\Delta$  DE 2°43'57"

DATOS PARA EL CALCULO DE LA CLOTOIDE

VELOCIDAD = V = 80  
 PERALTE PRACTICO = Hr = 49.495

CALCULO DE LA CLOTOIDE

Sm = 180/V = 2.25  
 Ltc = Hr / Sm = 21.99778  
 $\xi$  = Ltc/Rn = 0.021998  
 A = 0.000017  
 r = 7.042254  
 $\phi$  = 0.142000  
 E = A · Rn = 0.017  
 Rc = RN - E = 999.983  
 A = Rc / r = 141.9976  
 Lcl =  $\phi \cdot A$  = 20.164  
 $\tau$  = 00°34'40"  
 Xc = x · A = 20.164  
 Yc = y · A = 0.068  
 Xm = xm · A = 10.082  
 S = s · A = 20.164  
 W = 00°11'33"  
 U = Yc / tan  $\tau$  = 6.743  
 H = Yc / tan W = 6.743

CALCULO DE LA CURVA CIRCULAR REAL

$\Delta_c = \Delta - 2\tau$  = 1°34'37"  
 Lc =  $\Delta_c \text{ rad} \cdot Rc$  = 27.522  
 ST =  $\tan \Delta_c / 2 \cdot Rc$  = 13.762  
 c =  $2Rc \cdot \text{sen} \Delta_c / 2$  = 27.522  
 Tc =  $S \tan + Xm$  = 33.932

COMPROBACION DE LOS CALCULOS

$2 (\text{sen} \{ (180^\circ - \Delta) / 2 \} \cdot Tc) = 67.844$   
 $\cos \{ (180^\circ - (90^\circ - \{ (180^\circ - \Delta) / 2 \}) - W) \} \cdot 2S + C = \cos \{ (\Delta / 2) - W \} \cdot 2S + C = 67.841$

CALCULO DE CADENAMIENTOS

TC = PI - Tc = 8+904.725  
 CC = TC + Lcl = 8+924.889  
 CC = CC + Lc = 8+952.411  
 CT = CC + Lcl = 8+972.575

NOMENCLATURA EMPLEADA

V = VELOCIDAD MAXIMA AUTORIZADA  
 Sm = PENDIENTE MAXIMA DE ENLACE  
 Ltc = LONGITUD TEORICA DE CLOTOIDE  
 Rn = RADIO NOMINAL  
 Rc = RADIO REAL  
 Lcl = LONGITUD REAL DE CLOTOIDE  
 C = CORDADA DE LA CURVA CIRCULAR REAL  
 STc = ST DE LA CURVA CIRCULAR NOMINAL

CALCULO DE LA CURVA EN EL PI 9+180.846 PARA UN RADIO NOMINAL DE 950.000 Y UN Δ DE 30°45'06"

DATOS PARA EL CALCULO DE LA CLOTOIDE

VELOCIDAD = V = 80  
 PERALTE PRACTICO = Hr = 49.495

CALCULO DE LA CLOTOIDE

Sm = 180/V = 225  
 Ltc = Hr / Sm = 22.222  
 $\xi = \frac{Ltc}{Rn} = 0.023395$   
 $\lambda = 0.000023$   
 $r = 6.535948$   
 $\rho = 0.153000$

E = λ · Rn = 0.022  
 Rc = Rn - E = 949.970  
 A = Rc / r = 145.347  
 Lcl = ρ · A = 22.238  
 T = 00°40'14"

Xc = x · A = 22.238  
 Yc = y · A = 0.087  
 Xm = xm · A = 11.119  
 S = s · A = 22.238  
 W = 00°13'25"

U = Yc / tan T = 7.433  
 H = Yc / sen T = 7.433

CALCULO DE LA CURVA CIRCULAR REAL

Δc = Δ - 2T = 2°24'38"  
 Lc = Δc rad · Rc = 39.968  
 ST = tan Δc / 2 · Rc = 19.987  
 c = 2Rc · sen Δc / 2 = 39.965  
 Tc = ST + Xm = 42.233

COMPROBACION DE LOS CALCULOS

$2 \{ \text{sen}((180^\circ - \Delta) / 2) \cdot Tc \} = 84.421$   
 $\cos((180^\circ - (90^\circ - ((180^\circ - \Delta) / 2))) - W) \cdot 2S + C = \cos((\Delta / 2) - W) \cdot 2S + C = 84.423$

CALCULO DE CADENAMIENTOS

TC = PI - Tc = 9+138.613  
 CC = TC + Lcl = 9+160.851  
 CC = CC + Lc = 9+200.819  
 CT = CC + Lcl = 9+223.057

NOMENCLATURA EMPLEADA

V = VELOCIDAD MAXIMA AUTORIZADA  
 Sm = PENDIENTE MAXIMA DE ENLACE  
 Ltc = LONGITUD TEORICA DE CLOTOIDE  
 Rn = RADIO NOMINAL  
 Rc = RADIO REAL  
 Lcl = LONGITUD REAL DE CLOTOIDE  
 C = CORDADA DE LA CURVA CIRCULAR REAL  
 STcn = ST DE LA CURVA CIRCULAR NOMINAL

rio y experiencia del personal de campo y dependen en gran medida de la cercanía a elementos fijos, para este trabajo se requiere una precisión lineal mínima de orden de  $1/15\ 000$ .

Antes de elaborar el plano de referenciación ya deben de haber sido checados los valores de las medidas lineales y angulares estando dentro de la tolerancia para aproximaciones, ya que una vez hecha la referenciación se procede a entregar físicamente los puntos del trazo a la constructora la cual realizará los trabajos, tomando como buenos estos puntos.

Con la comprobación del cierre de los triángulos de referencias se busca el triángulo quede como una figura geométrica perfecta, de ahí la necesidad de checar el cierre lineal y el cierre angular.

Debido a la obra civil es común que se pierdan continuamente las referencias, en ocasiones es necesario alojarlas en sitios relativamente distantes, para evitar su destrucción.

En la figura 3.6 aparece la geometría utilizada en una referenciación, en la tabla III están contenidas las medidas angulares y lineales que se tomaron en el levantamiento, con las que se ha comprobado el cierre angular y lineal de los polígonos, en este caso se trata de dos triángulos de lados diferentes.

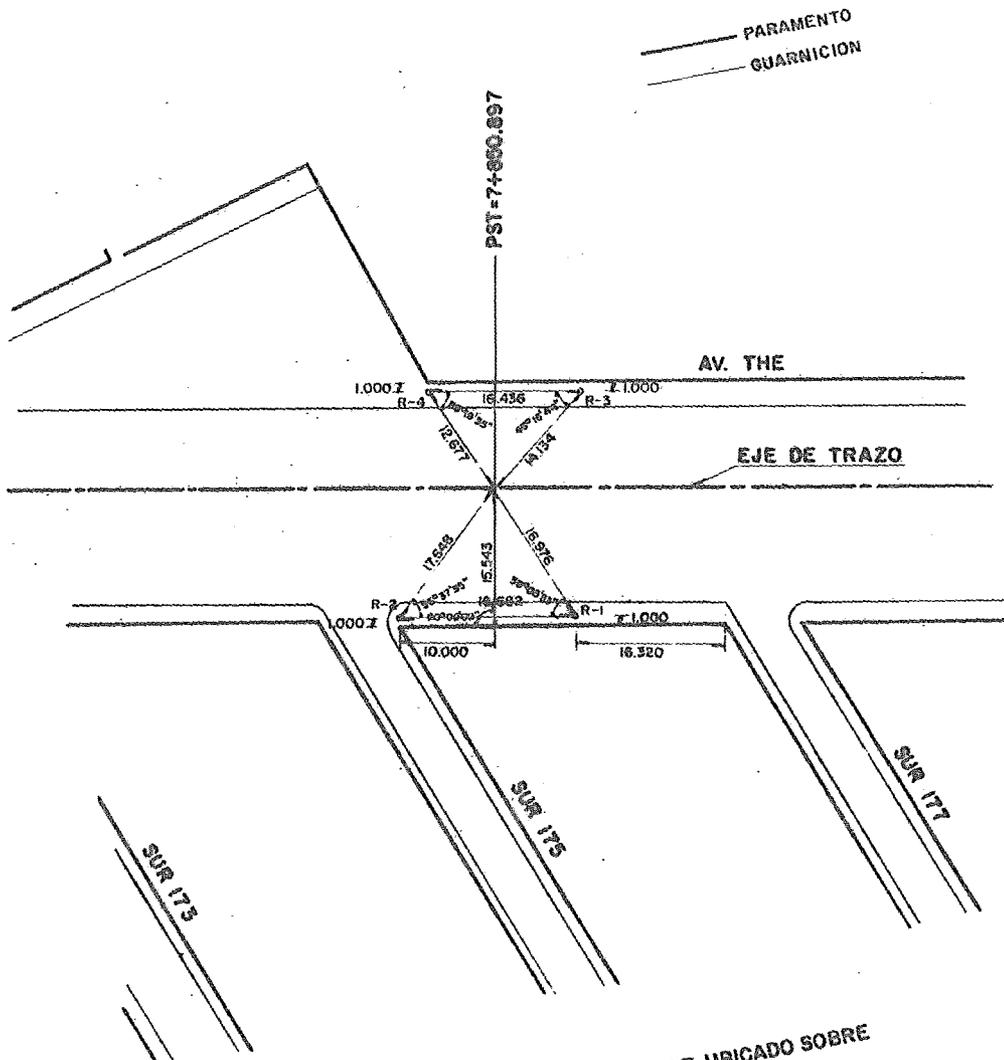


FIG.3.6 REFERENCIACION DEL P.S.T. UBICADO SOBRE  
 EL EJE DE TRAZO DEL METRO

EST	PV	Angulo sin corregir	Angulo corregido	Azimet	distancia	N +	S-	E +	W -
R3	R4	48°16'44"	48°16'40"	300°00'00"	16.439	8.218	-	-	14.234
R4	PST	56 19 35	56 19 31	176 19 31	12.677	-	12.651	0.812	-
PST	R3	75 23 52	75 23 49	71 43 20	14.134	4.434	-	13.421	-
					$\Sigma=43.247$	$E_y = 0.00$	$E_x = 0.001$		
$M \star = 180 \ 00 \ 11$						$E_t = 0.001$			
$E \star = 11''$						$P = 43247$			
PST	R2	65°16'29"	65°16'30"	250°00'00"	17.648	-	6.036	-	16.584
R2	R1	55 37 35	55 37 36	125 37 36	18.682	10.882	-	15.185	-
R1	PST	59 05 53	59 05 54	04 43 30	16.976	16.918	-	1.398	-
					$\Sigma=53.306$	$E_y = 0.000$		$E_x = -0.001$	
$M \star = 179 \ 59 \ 57$						$E_t = 0.001$			
$E \star = -03''$						$P = 53306$			

TABLA III.- DATOS PARA LA REFERENCIACION DEL  
 P.S.T. UBICADO SOBRE EL EJE DE TRAZO

## *CAPITULO 4*

## C A P I T U L O 4

## 4.0 PROYECTO DE PERFIL

El perfil longitudinal está definido:

- Sobre el eje de trazo en los anteproyectos respectivos.
- Sobre el eje de simetría de las vías al nivel de la superficie de rodamiento (rante) en el proyecto definitivo.

El perfil está constituido por una sucesión de tangentes con pendiente enlazadas por una curva de transición, normalmente las pendientes se miden en centímetros por metro.

Para cada red de Metro, las pendientes son limitadas a un máximo entre 3.0 % y 8.0 %, dependiendo de las características del material de rodamiento, para el Metro de la Ciudad de México se ha adoptado el valor máximo igual a 4.0 %.

Estas limitaciones tienen un carácter convencional y en la práctica solo se justifica su uso en casos verdaderamente excepcionales.

Estas limitaciones resultan de considerar además la posibilidad para los vehículos de transmitir a su apoyo una fuerza paralela al movimiento, por consiguiente se tiene un problema adicional de potencia instalada y de asegurar el confort de los pasajeros.

Teniendo en cuenta el valor de la aceleración de la gravedad  $g = 10 \text{ m/seg}^2$ , una aceleración de  $1.0 \text{ m/seg}^2$  necesita de una fuerza igual a la necesaria para pasar a una velocidad constante una rampa del 10.0 %.

Una aceleración de  $0.6 \text{ m/seg}^2$  dentro de una rampa del 4.0 % es semejante a una aceleración de  $1.0 \text{ m/seg}^2$  en tramo tangente horizontal.

Para el Metro sobre neumáticos donde el material rodante es equipado para realizar aceleraciones y desaceleraciones del orden de  $1.35 \text{ m/seg}^2$ , teóricamente podrá salvar pendientes del 13.5%.

Sin embargo esta posibilidad no puede ser utilizada puesto que en el caso de avería parcial del sistema de tracción ó bien de frenado, el convoy se pondría a la deriva con tales pendientes.

Esta es una razón por la que en todas las redes del Metro las pendientes máximas no pasan del 6.0 %, aunque por la adherencia de los neumáticos la pendiente máxima puede ser llevada hasta el 8.0 %.

#### 4.1, ANTEPROYECTO DE PERFIL

El anteproyecto de perfil se elabora con las planimetrías en donde se ha planteado a nivel de anteproyecto el trazo de la nueva línea.

Los datos correspondientes a las elevaciones del terreno natural, se obtienen de estas planimetrías, pues en ellas aparecen las elevaciones para cada cruce de la vialidad y curvas de nivel a una equidistancia de dos metros, con esta información se elabora en papel milimétrico un plano en el cual se representa el perfil del terreno natural sobre el cual se ubica el eje de trazo de la línea, además se localizará la posición de las instalaciones municipales que se cruzan y las interferencias con vialidades o líneas de Metro.

El planteamiento de un anteproyecto de perfil es función de una gran variedad de factores, lo que significa un cuidadoso estudio de cada uno de ellos, pero se pueden mencionar los siguientes como los más importantes y que determinan en última instancia nuestro proyecto de perfil:

- La topografía del terreno.
- El anteproyecto de trazo.
- Los estudios de Mecánica de Suelos.

De la misma manera que durante el anteproyecto de trazo, es necesario elaborar varios estudios de perfil hasta encontrar el óptimo, que depende de factores que van desde el tipo de estructura seleccionada para alojar la vía, las características de las estaciones, hasta las propiedades del terreno sobre el cual se desplantará la obra.

En esta etapa del estudio deberán observarse aspectos -- tan diversos como: costo y tiempo de construcción, especificaciones y características del equipo de rodamiento y el material de vía, recomendaciones sobre pendientes longitudinales máximas y mínimas, así como radios mínimos de curvatura para la circular.

#### 4.2 PROYECTO DEFINITIVO

El proyecto de perfil continúa después de haber realizado la nivelación de precisión, el perfil del trazo quedará sujeto a las restricciones y criterios existentes en lo referente al diseño del Metro en vía elevada, para lo cual deberán considerarse las especificaciones y normas de proyecto respecto a las dimensiones de la plataforma, ancho de estaciones, características de los aparatos de vía, talleres de pequeña y gran revisión, naves de depósito, espuelas de comunicación, etc.

En el planteamiento del perfil, como en el proyecto en -

general se buscará optimizar energía y tiempo, por lo que se revisarán cuidadosamente los siguientes aspectos:

- Marcha tipo.
- Fricción de rodamiento.
- Resistencia al aire.
- Capacidad de los motores.
- El frenaje.

Las siguientes son recomendaciones que se deben considerar en las etapas de anteproyecto y proyecto definitivo:

- 1.- En zonas de estación la pendiente longitudinal debe ser nula, para evitar que un convoy estacionado tenga necesidad de aplicar los frenos.
- 2.- La pendiente Máxima permisible en el tramo interestaciones será del 4%, debido a la capacidad ascendente del equipo, no importando el tipo de estructura.
- 3.- Las pendientes longitudinales deberán en lo posible cambiar de signo una sola vez, para que el drenaje sea hacia los cárcamos de bombeo de las estaciones.
- 4.- La pendiente longitudinal mínima para permitir el drenaje de la vía será de 0.2 %.
- 5.- La transición entre dos tangentes de diferente pendiente longitudinal, se hará por medio de una curva vertical parabólica de la forma  $Y = X^2/2R$ , en donde R = Radio mínimo de curvatura y deberá tomar el valor de 2500 mts.
- 6.- Es conveniente, entre dos curvas verticales dejar una tangente de 12 mts. como mínimo.

A lo largo de toda la línea - 4 se presentaron los siguientes cambios de pendiente, en la tabla se puede notar que las pendientes utilizadas son de valores mínimos, sirviendo únicamente para ajustarse al perfil del terreno natural, los cambios fuertes de pendiente se utilizan para el cambio de tipo de estación superficial a elevada, como es el caso del tramo Morelos-Candelaria, Candelaria-Fray Servando, y Martín Carrera - Talismán.

Se siguieron las recomendaciones para pendientes máximas y mínimas utilizándose en el tramo Morelos - Candelaria siete curvas verticales y las cuales se muestran al final de este libro (Ver apéndice "B").

+ 0.20		+ 0.30	
+ 0.30		- 0.30	
+ 0.30		+ 0.30	
0.00	Estación Sta. Anita	- 0.30	
+ 0.60		0.00	Estación Canal del Norte
+ 0.20		- 0.20	
+ 0.40		+ 0.20	
- 0.40		- 0.80	
0.00	Estación Jamaica	+ 2.00	
- 0.30		0.00	Estación Consulado
+ 0.30		+ 0.20	
- 0.30		- 0.30	
+ 0.30		+ 0.20	
- 0.30		0.00	Estación Bondoquito
+ 0.30		- 0.20	
0.00	Estación Fray Servando	+ 0.20	
+ 0.30		- 0.35	
+ 4.00		+ 0.25	
0.00	Estación Candelaria	0.00	Estación Talismán
- 0.20		+ 0.20	
- 1.00		- 0.20	
- 0.20		- 1.00	
- 4.00		+ 1.20	
+ 0.40		+ 5.00	
- 0.30		+ 2.50	
+ 0.30		0.00	Estación Martín Carrera
0.00	Estación Morelos	+ 0.20	
- 0.30		- 0.30	Muro Tapón

Resumiendo encontramos 56 cambios de pendiente en 55 PIV.

#### 4.2.1 TRABAJOS PRELIMINARES

El proyecto definitivo de perfil se inicia una vez que se han presentado diferentes soluciones a las alternativas de trazo y perfil y encontrado la óptima, es necesario por lo tanto el trabajo en campo consistente en la nivelación del terreno natural sobre la línea que define el eje de trazo, para lograr esto se localizan bancos de nivel a lo largo del eje de trazo y en los puntos que se considere necesario. (Figura 4.1).

El trabajo requiere una precisión extraordinaria y las nivelaciones se apoyan en una poligonal secundaria la que a su vez está apoyada en una poligonal principal de alta precisión.

Los bancos de nivel están referidos al nivel del mar y para la línea - 4, el origen de las elevaciones corresponde al Banco de Nivel Profundo de Atzacalco con una elevación de 2245.008 MSNM.



## 4.2.2 CALCULO DE CURVAS VERTICALES

El cambio entre dos pendientes longitudinales se realiza por medio de una curva parabólica, por razones de confort la implantación no se realiza con una curva circular, se utiliza entonces una curva parabólica de eje vertical y radio de curvatura muy grande.

La curva se define en el alineamiento vertical, como -- aquella que liga dos tangentes verticales y sus puntos más importantes son los siguientes:

PCV: Punto del alineamiento vertical donde termina una -- tangente y comienza una curva en el sentido del cad--  
denamiento.

PIV: Punto del alineamiento vertical donde se intersec--  
tan dos tangentes consecutivas.

PTV; Punto del alineamiento vertical donde termina una --  
curva y empieza una tangente en el sentido del cade--  
namiento, (Figura 4.2).

PENDIENTE LONGITUDINAL: Relación dada por el desnivel y  
a la distancia horizontal que hay entre dos puntos  
de una tangente vertical, expresada en por ciento.  
Por ejemplo 4.0 % indica que por cada 100 metros en  
el horizonte hay una diferencia de niveles de cua--  
tro metros.

El desarrollo matemático tomado del libro Topografía del  
Ingeniero Alfredo Salazar, se presenta a continuación y en la  
figura se muestra la posición de los puntos mencionados, (Fi--  
gura 4.2).

## ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL

PCV, a, b y PTV	-----	Puntos de la curva
Lc	-----	Longitud de la curva en proyección -- horizontal.
$\bar{X}_1$ $\bar{Y}$	-----	Coordenadas del PTV en el sistema -- (X, Y)
$Y = KX^2_1$	-----	Ecuación de la parábola en el siste-- ma ( $X_1$ , Y)
$Y = KX^2$	-----	Ecuación de la parábola en el siste-- ma (X, Y)
(0, 0)	-----	Origen de coordenadas para los dos -- sistemas
P.N.	-----	Plano de comparación en la nivela--- ción.
N	-----	Punto cualquiera de la curva.
Co	-----	Cots desde el plano de comparación -- P.N.



$M_1$   $M_2$  ----- Pendientes de las tangentes,

## DESARROLLO

$$Y = KX^2 \quad \text{----- ( 1 )}$$

$$K = \frac{Y}{X^2}$$

Para el punto PTY  $(\bar{X}, \bar{Y})$   $K = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}^2}$  Sustituyendo este valor en (1) nos queda;

$$Y = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}^2} X^2 \quad \text{----- ( 2 )}$$

de la figura tenemos :  $\cos \alpha = \frac{Lc}{X}$  de donde:

$$X = \frac{Lc}{\cos \alpha} \quad \text{y} \quad X^2 = \frac{Lc^2}{\cos^2 \alpha}$$

Sustituyendo este valor en (2) nos queda:

$$Y = \frac{\bar{Y}}{\frac{Lc^2}{\cos^2 \alpha}} X^2$$

$$Y = \frac{\bar{Y} \cos^2 \alpha}{Lc^2} X^2 \quad \text{----- ( 3 )}$$

Para un punto cualquiera  $N = (X_n, Y_n)$  tenemos:

$$Y_n = \frac{\bar{Y} \cos^2 \alpha}{Lc^2} X_n^2 \quad \text{----- ( 4 )}$$

De la figura tenemos:

$$\cos \alpha = \frac{X_{n1}}{K_n} \quad \dots$$

$$K_n = \frac{X_{n1}}{\cos \alpha}$$

$$X_n = \frac{x_{n_1}^2}{\cos^2 \alpha} \quad \text{valor que sustituido en (4)}$$

$$Y_n = \frac{\bar{Y} \cos^2 \alpha}{L_c} \cdot \frac{x_{n_1}^2}{\cos^2 \alpha}$$

$$Y_n = \frac{\bar{Y}}{L_c^2} x_{n_1}^2 \quad \text{----- ( 5 )}$$

$\bar{Y}$  se puede tomar como la distancia máxima vertical u ordenada máxima desde la subrasante izquierda prolongada (0 eje X) hasta el P.T.V. de la curva.

$X_{n_1}$  La abscisa de un punto cualquiera N sobre el eje  $X_1$ .

$L_c$  Longitud de curva en proyección horizontal.

Se presenta el cálculo de la curva número seis del apéndice B tal como se realiza para FFCC y caminos, en este caso es idéntica a la presentada por el método europeo, del manual de Proyecto Geométrico se tiene la siguiente fórmula:

$$Y = \frac{PL}{100} + \frac{P_1 + P_2}{200 L} L^2$$

CADENAMIENTOS	X	X <sup>2</sup>	ELEVACIONES	KX <sup>2</sup>	SUBRASANTE
PCV = 8 + 608.334	0	0	39.280	0	39.280
8 + 610.000	1.666	2.775	39.285	0.0005	39.285
PIV = 8 + 615.834	7.500	56.250	39.3025	0.0112	39.291
8 + 620.000	11.666	136.095	39.315	0.0272	39.287
PTV = 8 + 623.334	15.000	225.000	39.325	0.0450	39.280

El cálculo de las curvas se presenta en el anexo "B".

#### 4.2.3 CALCULO DEL NIVEL DE SUBRASANTE

El nivel de subrasante se proyecta tomando en consideración los trabajos anteriormente mencionados, al igual que en el anteproyecto de trazo se deberán conocer todas las interferencias y obstáculos que limitan nuestro proyecto de perfil.

En el tramo Morelos - Candelaria se realizó el siguiente proyecto de perfil (fig.4.3), sobra decir que cada una de las decisiones que se tomaron durante su elaboración estuvieron dadas en función de una gran variedad de factores.

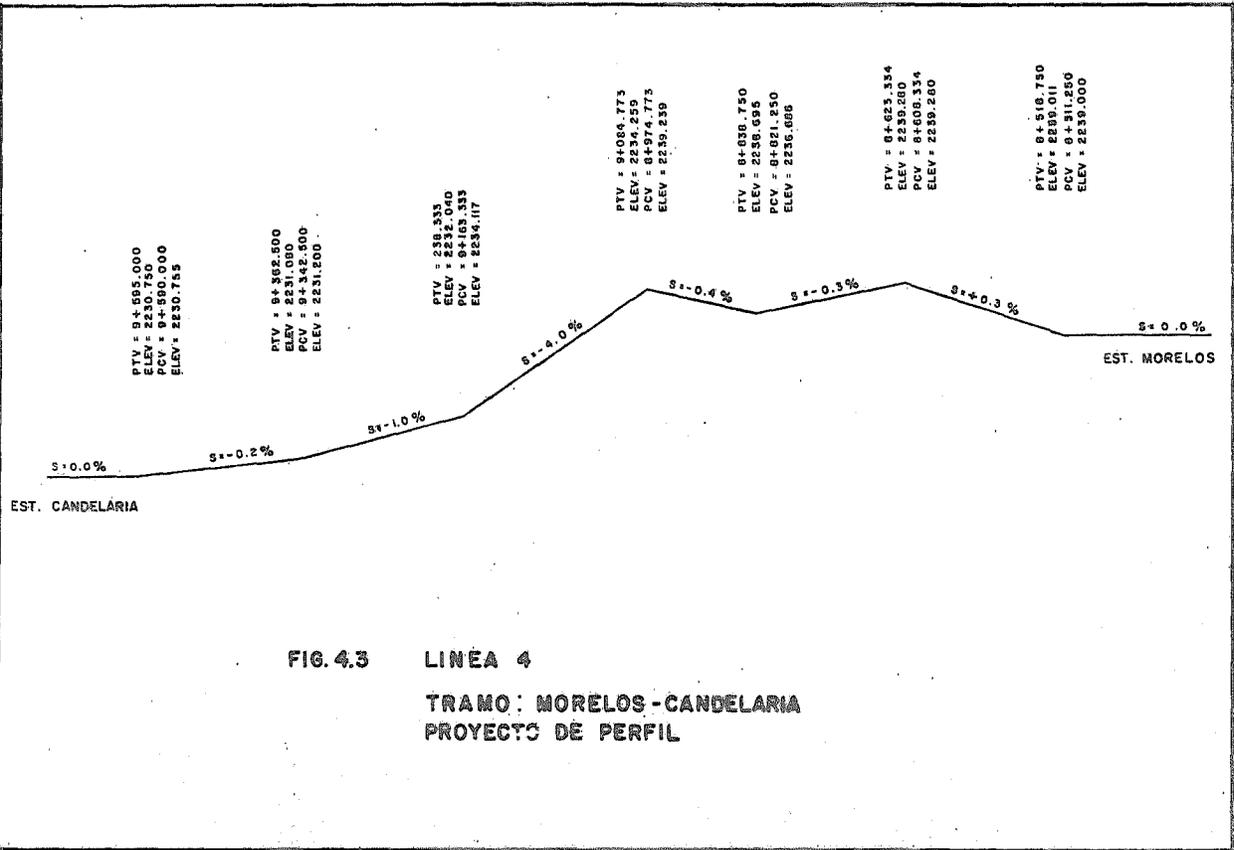


FIG. 4.3

LÍNEA 4

TRAMO: MORELOS-CANDELARIA  
PROYECTO DE PERFIL

Como la estación Candelaria se proyectó del tipo superficial y la estación Morelos en elevado fue necesario salvar una diferencia de 9.75 metros, logrando ésto con el uso de pendientes que cumplirán con los requisitos del proyecto.

En el croquis siguiente se tiene a manera de esquemas el perfil utilizado para pasar en éste tramo, de la estación tipo superficial a la estación tipo elevada.

Se hacen las siguientes observaciones inherentes al proyecto geométrico del perfil del eje de trazo, en este tramo el cambio de elevaciones se realizó en forma gradual a partir de la estación Candelaria, utilizando un radio de curvatura mínimo = 2500 mts. para unir las tangentes  $S = 0.0\%$  y  $S = 0.2\%$  que corresponden respectivamente a la pendiente de la estación Candelaria y a la pendiente de una tangente que se mantiene paralela a los ductos que llevan los cables de alta tensión de --- 230 kv. sobre la Calle Francisco Morazán, Además con esta pendiente se cumple con el requisito de pendientes mínimas para -- drenaje de la vía, realizándose el escurrimiento hacia el cárcamo de bombeo localizado en la cabecera norte de la estación Candelaria.

En el siguiente tramo se utilizó una pendiente  $S = -1.0\%$  con el cual comienza el ascenso hacia la estación Morelos. A -- partir de la estación Candelaria hasta el Cad. 9+241.966 en el cual se curva transversal a la línea 1 del Metro, fue necesari-- o el uso de pendientes con valores mínimos apegándose al nivel del terreno natural y construyendo con las ventajas que -- ofrece el sistema de vía sobre plataforma.

Después de cruzar con el eje del Metro de línea 1 y un co-- lector alojado en la Calle Zapata se construyó una rampa de -- transición apoyada en una zapata corrida con una longitud de - 100 metros aproximadamente, debido al peso de esta estructura fue necesario pilotear, lo cual se realizó bajo los muros late-- rales ya que no debe olvidarse la existencia de los ductos con corriente eléctrica de 230 kw.

En adelante como ya se ha hecho mención el perfil del tra-- zo se ajusta al perfil del terreno natural, realizándose el -- proyecto para la vía en elevado, utilizando pendientes dentro de los valores mínimos recomendados.

## *CAPITULO 5*

## CAPITULO 5

## DISTRIBUCION DE COLUMNAS

Con la idea de dar alojamiento a una vialidad paralela al recorrido del Metro y resolver en parte con esta medida el problema que genera la circuclación de vehículos particulares en la ciudad, se tomó la decisión de utilizar a todo lo largo de la línea, columnas de apoyo en una sola hilera, tal como se han utilizado en algunos otros metros elevados del mundo.

Antes de lograr el trazo definitivo, fue necesario evaluar cuidadosamente el funcionamiento de las interferencias que se presentaban a lo largo de la ruta propuesta, en la mayoría de los casos estos obstáculos definieron la distribución de las columnas y por ende la longitud de la trabe que en su mayoría tienen una medida de 35 metros.

Tomando en consideración las características del subsuelo de la ciudad de México y el hundimiento del mismo, originado por el abatimiento de presiones en las capas acuíferas, se recomendó no cimentar la estructura elevada en elementos apoyados sobre capas duras y que por ello resulten fijos respecto al terreno vecino. Por esta razón debería cimentarse sobre elementos que sigan lo más posible el asentamiento general del valle, como pueden ser cajones de compensación de carga, combinados o no con pilotes de fricción y zapatas apoyadas sobre pilotes de fricción.

El diseño de la cimentación fue hecho en base a estudios de Mecánica de Suelos que permitieron deducir la estratigrafía y propiedades mecánicas del subsuelo bajo cada cimiento y garantizar que estos cimientos bajo condiciones normales de carga no sufran movimientos superiores a los que permiten una operación y un mantenimiento aceptables para el sistema de transporte colectivo.

Para que el mantenimiento de las vías no sea de más de una vez por año el asentamiento diferencial entre dos apoyos consecutivos no debe ser mayor de cuatro centímetros ó evitar que se produzca una diferencia en la pendiente transversal de las vías de más de cinco milímetros.

Las características generales de la cimentación son:

- a) En claros de 35 mts Las zapatas son de 13 x 13 mts y un dado de repartición de carga de 3.80 x 4 y un peralte de 0.80 mts, que sirve como base de la columna, el número de pilotes generalmente es de 25 con una longitud promedio de 27 mts en dos tramos precolados.
- b) En zona de estación. Las columnas están apoyadas en su base sobre un dado de 4.00 x 4.00 mts y un peralte de 0.80 mts el cual se apoya en zapatas de 14.00 x 14.00 con un espesor de 1.45 mts. Las zapatas están

apoyadas sobre 30 pilotes, seis de los cuales están situadas bajo el dado de la base.

Para remediar condiciones de comportamiento no previstos la cimentación incluye cuatro pilotes de control, los cuales se prevén para restablecer la operación normal en el tramo afectado por dichas condiciones.

En lo que a la trabe se refiere, ésta se consideró con un apoyo articulado en el extremo norte según la dirección de la línea y un apoyo simple en el extremo Sur. Esta idealización se hizo con el propósito de permitir que la trabe tuviera libertad de movimientos producidos por efectos internos y externos, tales como contracciones volumétricas, deformaciones por postensado, aceleración y frenaje de trenes, sismos, etc.

En el tramo Morelos - Candelaria se tiene la siguiente distribución de columnas, una vez que se modificó en el proyecto la estación Candelaria de elevada a superficial, como consecuencia del proyecto y construcción del palacio legislativo de San Lazaro y la remodelación de este lugar considerado como zona histórica, con lo cual se simplificaron los problemas originados por las instalaciones municipales existentes, varias de las cuales desaparecieron cuando ya no eran necesarias, como es el caso de las vías e instalaciones del ferrocarril.

COLUMNA	CADENAMIENTO	CIARO	
MC-1	8+422.138	25 mts	... Eje de estación Morelos
MC-2	8+447.138	25	
MC-3	8+472.138	25	
MC-4	8+497.138	30	
MC-5	8+527.138	30	
MC-6	8+557.138	35	
MC-7	8+592.138	35	
MC-8	8+627.138	35	
MC-9	8+662.138	35	
MC-10	8+697.138	35	
MC-11	8+732.138	35	
MC-12	8+767.138	30	
MC-13	8+797.138	30	
MC-14	8+827.138	25	
MC-15	8+862.138	25	
MC-16	8+897.138	35	
MC-17	8+932.138	35	
MC-18	8+967.138	30	
MC-19	8+997.138	24	
MC-20	9+021.138	25	
MC-21	9+046.138	42.5	GRAN CANAL
MC-22	9+088.638	25	
MC-23	9+113.638	25	Eje de estación Candelaria L-4

En zona de estación la distribución se hace en tramos de

25 metros medidos a eje de columnas, de tal manera que la estación queda sustentada por siete columnas.

Por necesidades originadas por la traza de la zona no es conveniente conservar constante una distancia entre apoyos, es por eso que se tengan claros de 35, 30 y 25 metros y un tramo de 42.5 metros, en la cercanía del paso del Gran Canal fue necesario utilizar esta sección para librar el paso de cables de alta tensión (230 KW) y un colector de 3.00  $\phi$  que por la calle de Alarcón viene a desembocar al Gran Canal.

A lo largo de la línea - 4, se tienen los siguientes claros:

%	Claro (Mts)	Zona
41 .....	35 .....	Tramo
26 .....	30 .....	Tramo
17 .....	25 .....	Estación generalmente
4 .....	15 .....	Tramo
12 .....	var de 0 a 42.5	Tramo

En las figuras (5.1 y 5.2) aparecen las dimensiones estructurales y arquitectónicas de columna y trabe utilizadas en el proyecto.

### 5.1 LOCALIZACION DE COLUMNAS

Un trabajo muy importante dentro de la construcción del Metro en vía elevada es la localización de las columnas, problema que se presenta en dos formas: Localización en tramo tan gente y en zona de curva.

Realmente en tramo tangente la localización no presenta problemas al Ingeniero encargado de su construcción ya que la sección es perpendicular al eje de trazo, únicamente es necesario ubicar el punto preciso del cadenamiento de eje de columna.

En zona de curva la localización de columnas deberá ser radial, es decir la línea que pasa por el centro de la columna que es el eje de la misma deberá tener su origen en el centro de la curva circular. Por facilidad localizamos por coordenadas los centros de columnas a partir de los cuatro puntos importantes de la curva; TC, CC, CC y CT.

Ejemplo de localización en zonas de curva circular es el caso de la columna MC - 17, en donde se obtiene la diferencia entre el CC más cercano a ella y por diferencia de cadenamientos obtenemos  $L_c = 7.249$  valor con el cual se obtendrán las coordenadas y el ángulo que define la posición radial (Fig. 5.3).

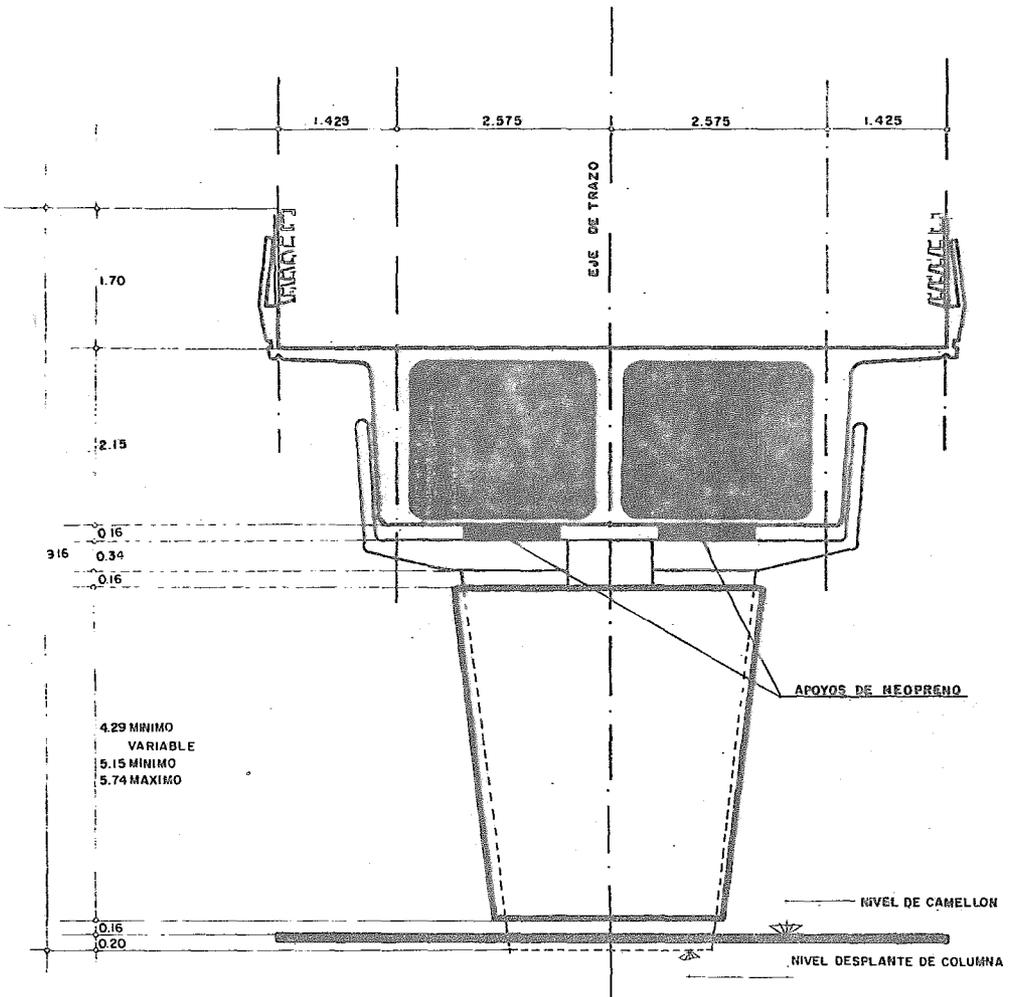
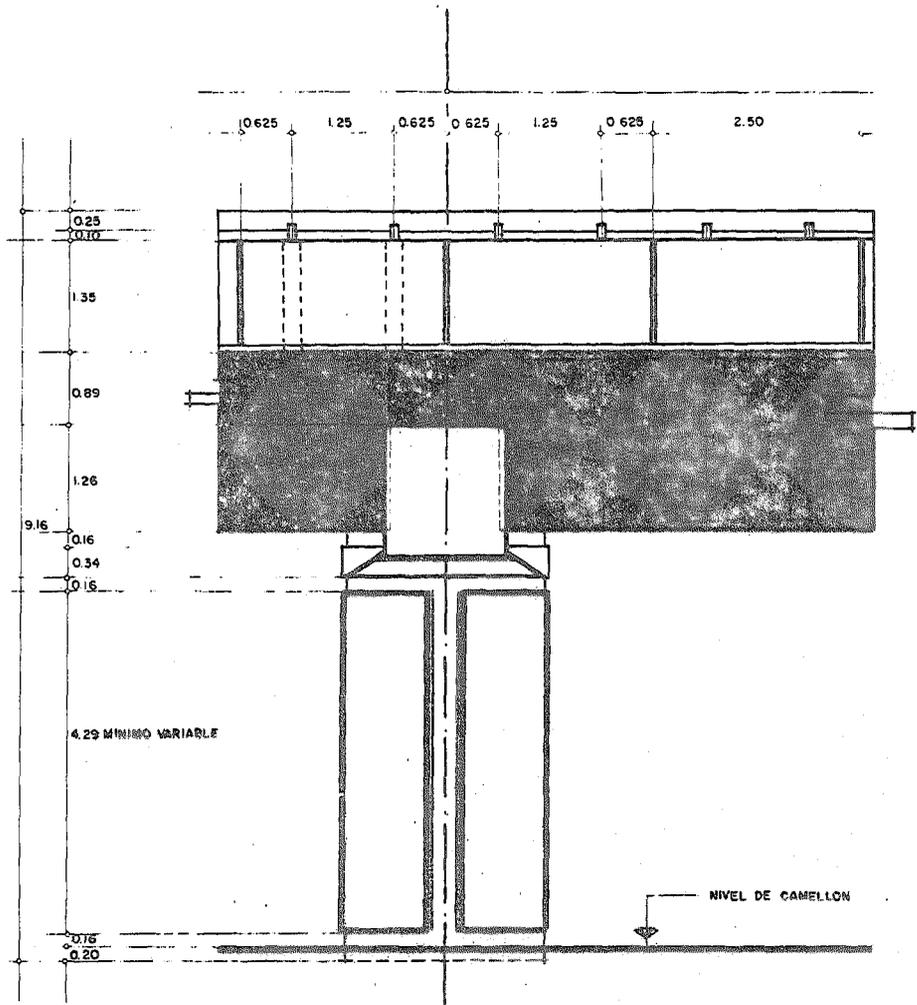


FIG. 5.1 CORTE TRANSVERSAL



**FIG. 5.2 FACHADA**

TABLA PARA LOCALIZACION DE COLUMNAS EN ZONA DE CURVA							
A partir	Cadenamiento	$L_c$	$x$	$y$	$w$	$s$	$\mu$
CT=8+972.573	8+967.138 (MC-18)	5.437	5.437	0.001	00° 00' 50.4"	5.437	90° 01' 40.8"
CC=8+924.889	8+932.138 (MC-17)	7.249	7.249	0.026	00° 12' 27.6"	7.249	90° 12' 27.6"

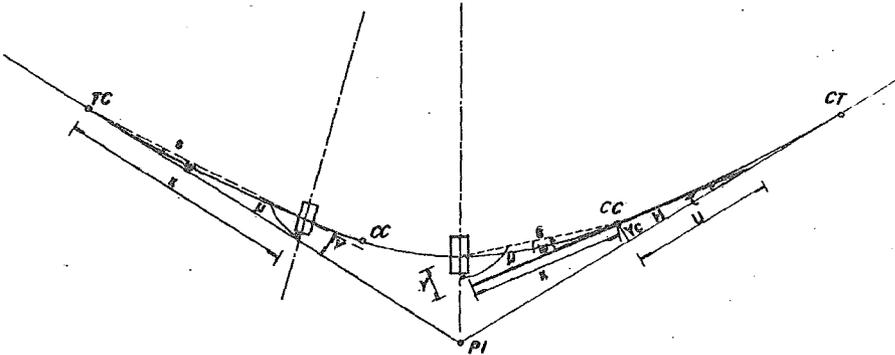


FIG. 3.3 CROQUIS PARA LA LOCALIZACION DE COLUMNAS EN ZONA DE CURVA

$$Lc = \Delta R \text{ (RAD)}$$

$$\Delta = \frac{Lc (180)}{R \sqrt{1}} = 00^{\circ}24'55.24''$$

entonces;  $S = 2R \text{ sen } \Delta / 2 = 7.248989 = 7.249$   
de tal manera que las coordenadas serán:

$$\text{Sen } \alpha = Y/S$$

$$Y = S \text{ Sen } \alpha$$

$$Y = 7.249 \text{ Sen } 00^{\circ}12'27.60''$$

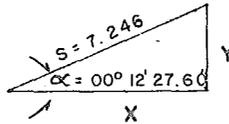
$$Y = 0.026$$

$$\text{Cos } \alpha = X/S$$

$$X = S \text{ Cos } \alpha$$

$$X = 7.249 \text{ Cos } 00^{\circ}12'27.60''$$

$$X = 7.299$$



finalmente el valor que define la posición radial del eje de la columna es:  $\mu = 90 + \alpha = 90^{\circ}12'27.60''$

Al conocer el valor del parámetro  $A$ , que es constantes - para cualquier longitud de clotoide menor a 20.164 mts., se pueden conocer los otros elementos de una clotoide de longitud igual a 5.437 mts., distancia del CT al cadenamamiento --- 8+967.138 donde se situó la columna MC-18, si hacemos la diferencia entre estos dos puntos obtenemos el valor de la clotoide  $\bar{I}$  de  $y$  es = 5.437 mts.

Como  $Lc1 = \rho A$  y necesitamos el valor  $\rho$

$$\rho = Lc1/A \dots \text{ si } A = 141.997576$$

$$\rho = 5.437/141.997576$$

$$\rho = 0.038$$

Que localizado en las tablas de clotoides unitarias proporciona los valores  $x$  e  $y$  necesarios para conocer las coordenadas del punto MC-18

$$X = x A = 0.038 \quad A = 5.437$$

$$Y = y A = 0.000009 \quad A = 0.001$$

con los cuales conocemos el valor  $W = 00^{\circ}00'50''$  solo resta conocer el valor del ángulo  $\bar{E} = 00^{\circ}02'29''$  que se obtiene de las mismas tablas.

Así se tiene para ésta columna en zona de clotoide:

$$\mu = 180^{\circ} - (90^{\circ} + W) + \bar{E}$$

$$\mu = 180^{\circ} - (90^{\circ} + 00^{\circ}00'50'') + 00^{\circ}02'29''$$

$$\mu = 90^{\circ}01'39''$$

Con lo cual se concluye la referenciación.

## 5.2 REFERENCIACION

La referenciación de las columnas es el siguiente paso a realizar una vez que se han localizado los ejes de cada una de ellas, es idéntica a la referenciación llevada a cabo durante el Proyecto de Trazo, dependiendo, si la distribución es en zona de curva ó en tramo tangente, estará dada por lo siguiente:

EN ZONA TANGENTE, perpendicular al eje de trazo al paramento más cercano, con estacas de madera ó clavos sobre la línea a cada 10 metros.

EN ZONA DE CURVA, se localiza el eje en posición radial y se marcan referencias sobre la línea del eje al paramento más cercano ó en dado caso a la guarnición ó puntos fijos existentes en el área de trabajo, (figura 5.4).

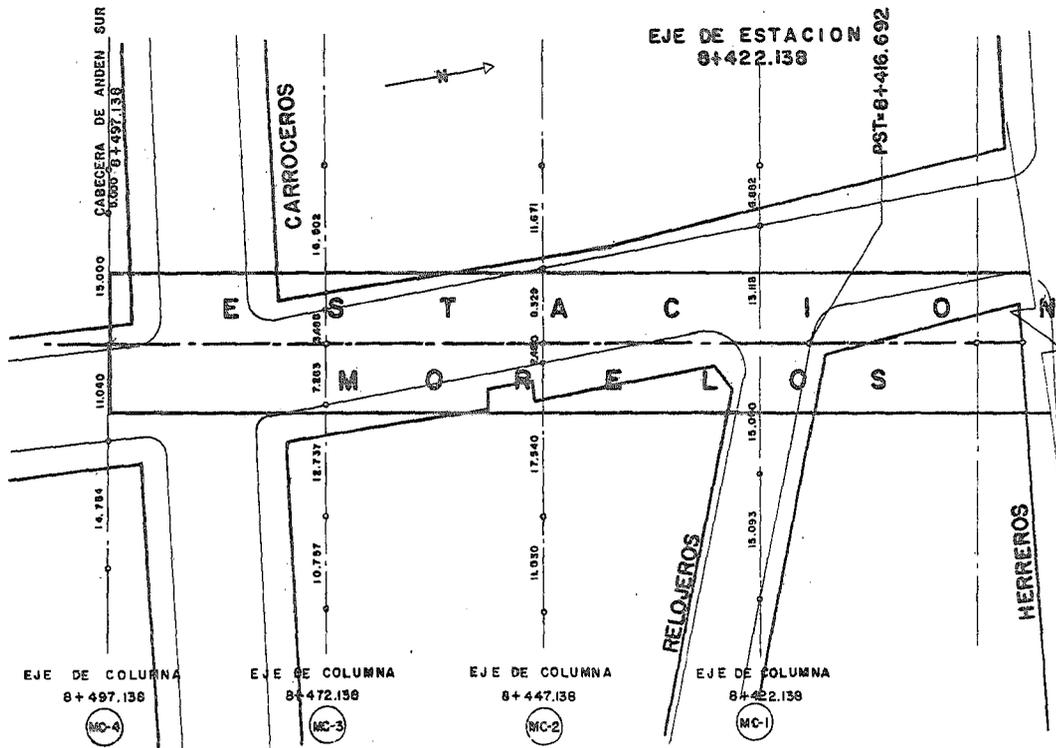


FIG. 5.4 REFERENCIACION DE COLUMNAS EN ESTACION MORELOS

## *CAPITULO 6*

## C A P I T U L O 6

## 6.0 IMPLANTACION DE VIA

Con el nombre de Implantación de Vía se designan a las siguientes actividades que se desarrollan durante el proyecto de conjunto para lograr la puesta en servicio de un tramo ó una línea completa del Sistema de Transporte Colectivo Metro:

- a) Implantación de Vía - Trazo.
- b) Implantación de Vía - Perfil.
- c) Implantación de Vía - Fijación de Vía.
- d) Sobre-elevaciones.

Las dos primeras actividades se llevan a cabo mediante el chequeo topográfico, en planta y en perfil de la estructura -- construída - cajón normal, túnel, superficial ó elevada.

En planta se checa el gálibo tomando como base el eje de trazo, en el perfil igualmente se trabaja sobre el eje de trazo, este chequeo se deberá efectuar a lo largo de toda la línea incluyendo estaciones y zona de vías para maniobra.

La fijación de la vía se realiza, una vez que se conocen el tipo de material a utilizar - Durmientes de madera ó de Concreto - más adelante en el inciso 6.4 se ampliarán estos conceptos.

La sobreelevación tomada como el desnivel que se da a la vía, para absorber una parte de la fuerza centrífuga, se analiza en el inciso 6.3.

## 6.1 IMPLANTACION DE VIA - TRAZO

El programa de implantación de vía - trazo, se presenta -- como una revisión del proyecto de trazo, es uno más de los trabajos necesarios para dar fin a la obra del Metro, para llevar a cabo tal revisión una gran parte de la obra estará terminada, para checar en ella el trazo y levantar las secciones ---- transversales.

Para el extremo cuidado con que se trabajó para que la -- obra civil se apegara a lo contenido en los planos de proyecto, la naturaleza misma del trabajo de construcción hizo inevitable la aparición de discrepancias entre el proyecto y la --- obra.

La finalidad del trabajo de implantación de vía - trazo -- es detectar las irregularidades en la construcción de la plata forma y a la vez realizar el proyecto de ejes de vías, logrando de esta manera que antes de dar inicio a las actividades de fijación de vía, se solucionen los problemas que se presentan

por insuficiencia de gálibo.

Particularmente nos interesa conocer si en la obra se ha cumplido con los requerimientos de espacio en las zonas de estación, aparatos para cambio de vías y entre los muretes construidos paralelos al eje de vías ó bien entre muros en el caso de secciones tipo "U".

La actividad que se realiza una vez terminada la plataforma es de checar el trazo tanto lineal como angular, apoyándose para ésto en los puntos fijos que se utilizaron para proyectar el trazo del eje del Metro, remitiendo la información a gabinete para su análisis a partir del cual, se decidirá si las diferencias obtenidas caen dentro del rango de tolerancia y no afectan el paso del convoy, de ser así se procede a calcular los ejes de vías tanto en tangente como en zona de curvas.

En el croquis de la figura 6.1 se muestra la distancia del proyecto entre los PI's existentes en el tramo Morelos - Candelaria, también las distancias obtenidas una vez terminada la construcción de la plataforma, las diferencias encontradas son menores y caen dentro de la tolerancia, lo que indica un buen control de la obra civil.

Algunas veces la brigada envía a gabinete datos correspondientes al chequeo y al hacer la comparación se obtienen diferencias fuera de lo normal, en este caso es necesario estudiar con cuidado la información tratando de descubrir el error y en caso de que se presente alguna duda es conveniente ordenar un nuevo chequeo en campo.

Por la importancia de la obra y los mismos requisitos de seguridad, el trabajo de topografía exige precisiones mucho mayores que las normales, por esto el personal de campo al realizar el levantamiento deberá trabajar con aproximaciones al milímetro en medidas lineales.

En el croquis de la figura 6.1 están los resultados del chequeo angular de las deflexiones existentes en el tramo, para lograr ésto se deben realizar las series angulares necesarias para obtener un promedio aceptable del ángulo, el método empleado en la medición es el de las deflexiones y el trabajo debe realizarse con una precisión al segundo.

A manera de ejemplo se realiza el cálculo de la curva con  $PI = 9 + 938.657$  y un  $\Delta = 02^{\circ}44'46''$ , por principio se procede a calcular la nueva curva del eje de trazo y se le asignan nuevos cadenamientos a los puntos importantes de la curva, además se calculan las coordenadas y deflexiones de la curva circular y clotoides, datos necesarios para que el personal trace la curva, utilizando el método más conveniente.

Con los datos del levantamiento, se elabora el plano IM-PLANTACION DE VIA que contiene: Nombre del tramo interestación, cadenamientos del tramo, de ejes de estaciones, cabeceras de -

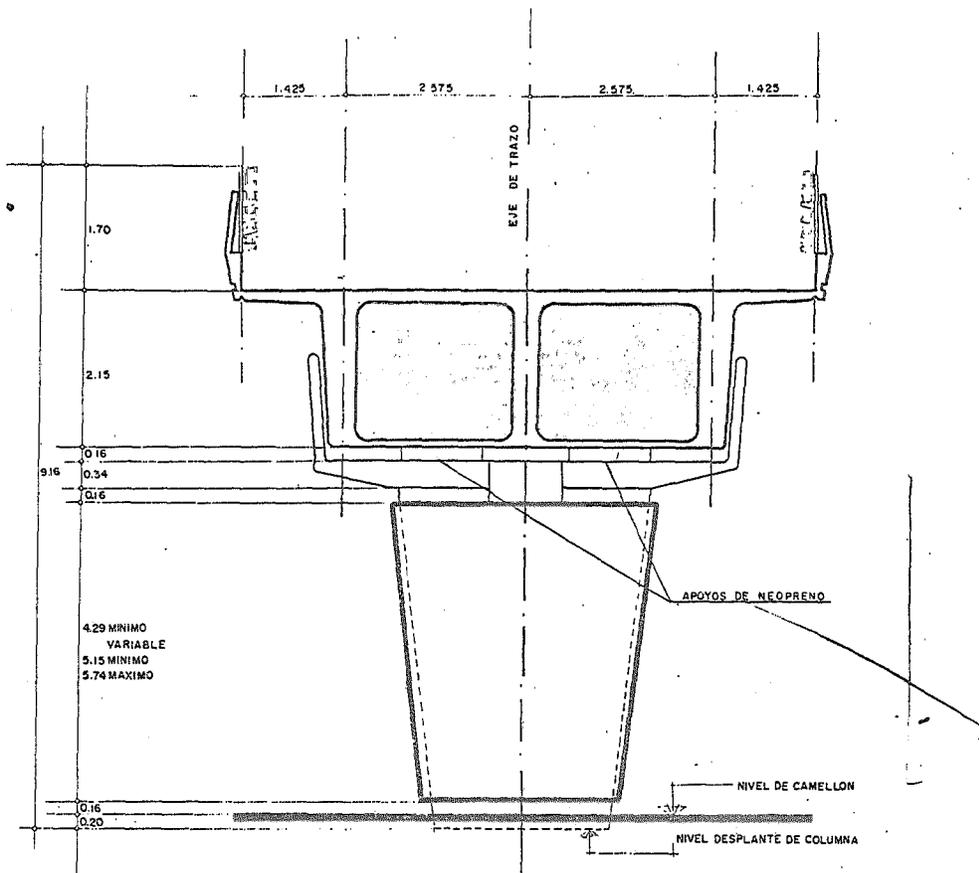
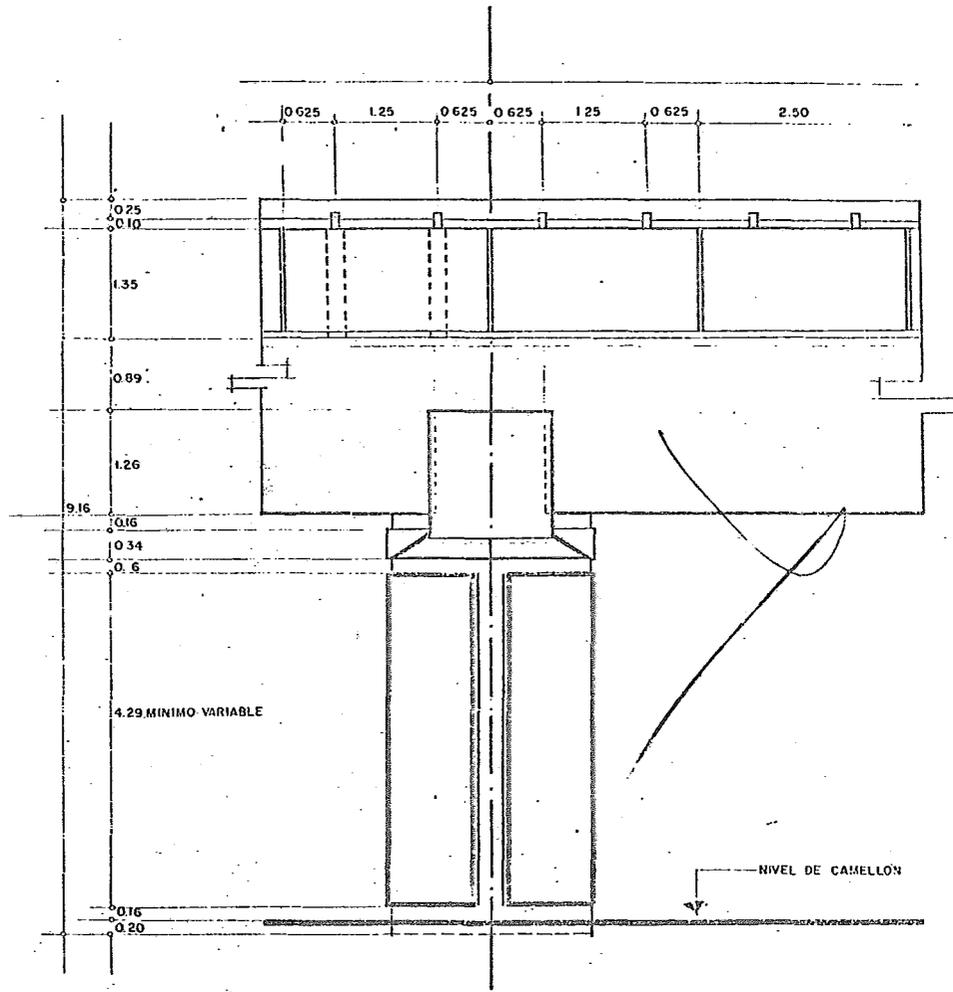


FIG. 5./ CORTE TRANSVERSAL



FACHADA

FIG. 5.2

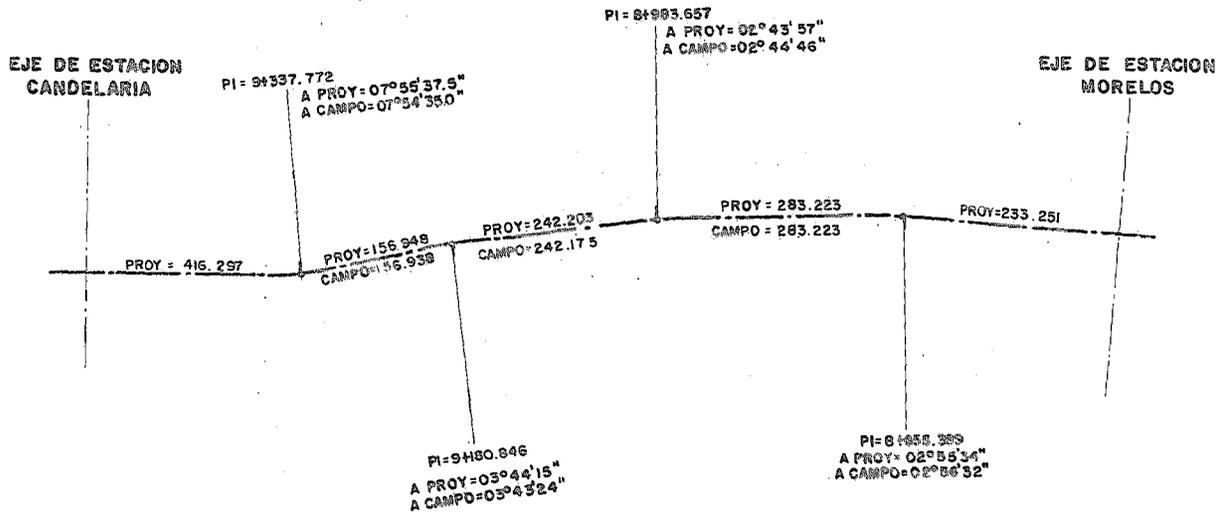


FIG. 6.1 IMPLANTACION DE VIA-TRAZO  
 COMPROBACION DE MEDIDAS DE PROYECTO Y DE CAMPO

andén, cadenamientos de puntos principales de las curvas de -- eje de trazo y de ejes de vías, datos para el trazo y localiza-- ción de eje de vías en curvas.

Una vez dibujados en el plano los ejes de vías y de tra-- zo, muretes de proyecto, así como nichos para aparatos de vías, se sobrepone la posición de los muretes construídos para ver -- si es posible implantar la vía o se reestructura el eje de tra-- zo para adaptarnos a lo construído o modificar la construcción.

En el plano se trabaja generalmente con una escala 1:500 horizontal y 1:20 vertical, realizándose levantamientos de sec-- ciones transversales a cada 5 mts. en tangente y en los puntos que definen la curva circular o clotoide. Se indicará en el -- plano la zona de recorte necesaria por insuficiencia de gáli-- bo.

Teniendo como datos; el cadenamiento del PI y el valor -- del ángulo delta ( $\Delta$ ), se procede a calcular los desplazamien-- tos que sufren los PIs de las curvas interior y exterior, mis-- mas que corresponden a los ejes de vías.

El problema se reduce a resolver un triángulo rectángulo, en el cual se tiene:

$$\alpha = 1^{\circ}22'23''$$

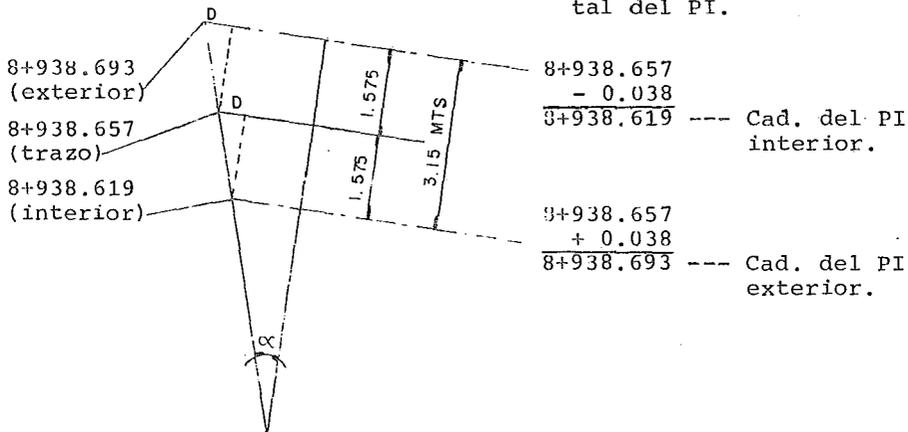
$$\text{Tg } \alpha = -\frac{d}{1.575}$$

$$d = 1.575 \text{ Tg } \alpha$$

$$d = 1.575 (0.02396)$$

$$d = 0.0377 \approx 0.038$$

1.575 = distancia entre eje de trazo y eje de vías.  
d = desplazamiento horizon-- tal del PI.



Con el valor del ángulo ( $\Delta$ ) obtenido en campo y los cadenciamientos obtenidos para los PIs de la vía 1 y 2, se calculan las clotoides de enlace y la curva circular para los radios  $R=1.575$  y  $R=-1.575$  correspondientes a la curva exterior e interior respectivamente.

En el apéndice "C" aparece el cálculo de las curvas para la vía interior y exterior, en cada uno de los PI's del tramo.

## 6.2 IMPLANTACION DE VIA PERFIL

De la misma manera como se revisa la posición del eje de trazo en la estructura elevada, se deberá hacer un levantamiento del perfil de la subrasante real, con la idea de conocer las diferencias entre el proyecto de subrasante inicial, y hacer un nuevo planteamiento de rasante en base a las dimensiones mínimas de los espesores de balasto.

La secuencia es la siguiente una vez que ha sido terminada la losa del viaducto:

Levantamiento de niveles a cada 20 mts en zona de tangente y a cada 5 mts en zona de curva vertical en los puntos más importantes sobre el eje de trazo, envío de esta información a gabinete para su análisis y elaboración del perfil de la subrasante real.

Deberán determinarse los espesores de balasto para los diferentes tipos de construcción del Metro y son los que se muestran en la figura 6.2, estos espesores están dados por la altura del riel, el durmiente y la capa mínima de balasto.

El perfil resultante del levantamiento sobre la trabe (Subrasante real), se compara con la subrasante de proyecto y ahí mismo se propone una subrasante corregida y va a ser la que más se ajuste al proyecto inicial y a la subrasante real, de ahí el uso de nuevas pendientes longitudinales, la reubicación del PIV y la modificación que sufren las curvas verticales.

Una vez determinada la subrasante corregida, en función de ésta se calculará la rasante proyecto, (Figura 6.3).

## 6.3 SOBREELEVACIONES

La sobreelevación es la pendiente transversal que se da a los rieles en zona de curva horizontal, para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de los vehículos.

Para obtener la fórmula teórica para el cálculo de sobreelevaciones se considera que un vehículo al pasar por una curva horizontal con una cierta velocidad, deberá estar en equilibrio, para lo cual es necesario que la componente de la fuerza centrífuga, paralela al plano de la vía sea igual a la componente, también paralela al plano de la vía del peso del vehículo, esta igualdad solo ocurre para una velocidad llamada de

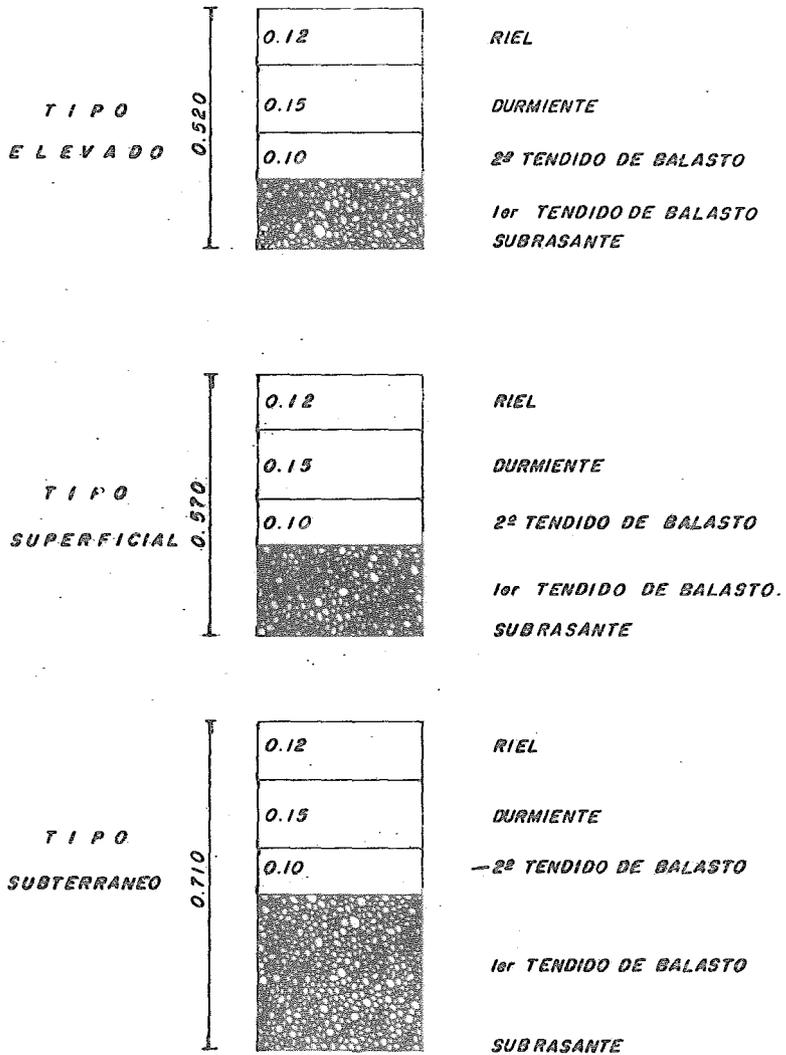


FIG. 6.2 ESPESORES DE BALASTO PARA DIFERENTES TIPOS DE CONSTRUCCION DE METRO

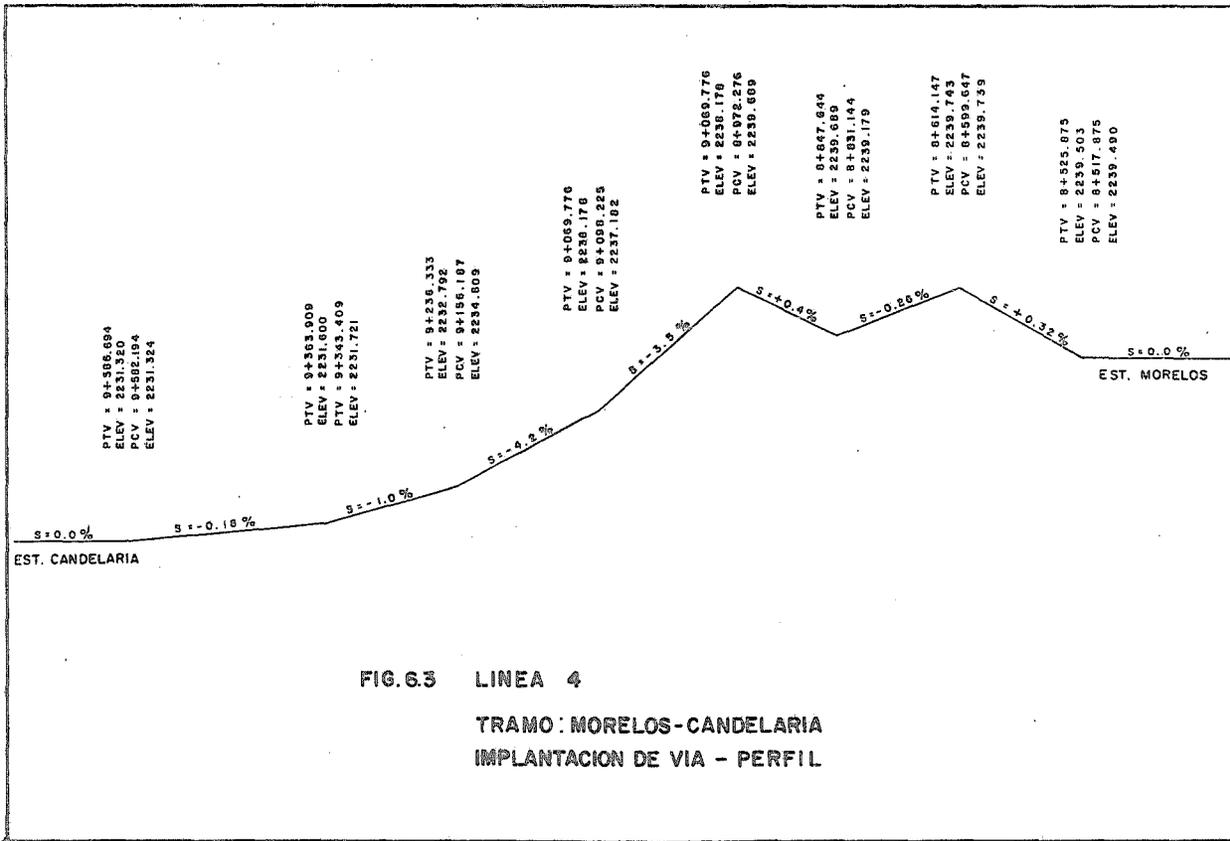


FIG.63 LINEA 4

TRAMO: MORELOS-CANDELARIA  
 IMPLANTACION DE VIA - PERFIL

equilibrio la cual sucede ocasionalmente en la práctica siendo:

$$F_c = \frac{w}{g} \frac{v^2}{R}$$

en donde;

- Fc = Fuerza centrífuga (kg)
- w = Peso del vehículo (kg)
- v = Velocidad del vehículo (m/seg)
- g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/seg<sup>2</sup>)
- R = Radio de la curva horizontal (m)

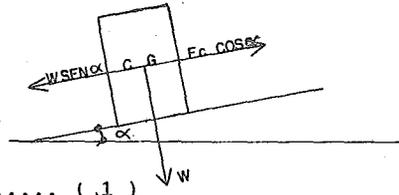
de la figura, igualando las fuerzas paralelas al plano de la vía;

$$w \operatorname{sen} \alpha = F_c \operatorname{cos} \alpha$$

o también;

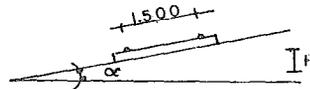
$$\frac{w v^2}{g R} \operatorname{cos} \alpha = w \operatorname{sen} \alpha$$

$$\frac{v^2}{g R} \operatorname{cos} \alpha = \operatorname{sen} \alpha \dots\dots\dots (1)$$



de la figura tenemos:

Escantillón .....	1.435	
Hongo de riel .....	0.0635	
	<u>1.4985</u>	= 1.500 mts



$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{h}{1.500} \dots\dots (2)$$

sustituyendo (2) en (1)

$$\frac{v^2}{g R} \operatorname{cos} \alpha = \frac{h}{1.500} \quad \text{Despejando, } h = \frac{v^2}{g R} \operatorname{cos} \alpha (1.500)$$

$$h = 0.1529 \frac{v^2}{R} \operatorname{cos} \alpha$$

para calcular h, entrando con la velocidad en (km/hora)

h en (m)

v en (km/hora)

R en (m)

$$h = 0.0117978 \frac{v^2}{R} \operatorname{cos} \alpha$$

para obtener h en mm, y siendo muy pequeño el valor de cos alpha, se acerca a la unidad, entonces:

$$h = 11.8 \frac{v^2}{R}$$

h en (mm)

v en (km/hora)

R en (m)

Para el Metro en vía elevada la sobreelevación se hace sobre un riel, creando de esta manera una fuerza que equilibra la centrífuga produciendo reacciones iguales en ambos rieles.

En base a la fórmula nos daremos cuenta que la Fc es función de la velocidad del vehículo y el radio de la curva. Los datos que son la base para el cálculo de la sobreelevación de la curva 16 con PI - 8+ 938.619 son:

Velocidad del proyecto	= 80 km/hora
Radio Nominal	≅ 1000 metros

Los cuales sustituidos en la fórmula nos dan el valor buscado de la sobreelevación.

Peralte teórico	= 75.52 mm
Peralte práctico calculado	≅ 45.52 mm
Peralte práctico	= 45.00 mm

Para el control de la implantación de esta sobreelevación sobre la clotoide, dado su valor tan pequeño, el cálculo se simplificará utilizando curvas circulares para enlazar los tramos de transición entre tangente - clotoide y clotoide - circular, todo lo anteriormente expuesto se realiza en un plano vertical al eje de trazo.

En los ejemplos siguientes se consignan datos obtenidos de la sobreelevación para las curvas 161 y 162 del tramo en estudio (Tabla V y VI).

La tabla siguiente muestra algunos valores calculados en función de la fórmula deducida para los sobreelevaciones, en las páginas anteriores.

<u>Radio</u> <u>Nominal</u>	<u>Velocidad</u> <u>Máxima (Km/h)</u>	<u>Peralte</u> <u>Teórico</u>	<u>Peralte</u> <u>Práctico</u>
150	60	280	160
175	65	285	160
200	75	289.10	160
225	75	295.00	160
250	80	302.08	160
275	80	275.00	160
300	80	252.00	160
325	80	232.369	160
350	80	215.771	160
375	80	201.387	160
400	80	189.000	160
425	80	177.694	160
450	80	167.828	160
475	80	158.989	160
500	80	151.040	150
525	80	143.848	145
550	80	137.309	135
575	80	131.339	130
600	80	125.866	125
625	80	120.832	120
650	80	116.185	115
675	80	111.881	110
700	80	107.885	105
725	80	104.166	105
750	80	100.693	100
775	80	97.445	95
800	80	94.40	95
825	80	91.539	90
850	80	88.847	90
875	80	86.309	85
900	80	83.911	85
925	80	81.643	80
950	80	79.495	80
975	80	77.456	80
1000	80	75.52	75
1500	80	50.347	50
2000	80	37.76	40

TABLA IV.- SOBRE ELEVACIONES PARA  
DIFERENTES RADIOS DE CURVATURA

TRAMO ; MORELOS - CANDELARIA (VIA INTERIOR)

CALCULO DE LAS SOBREELEVACIONES EN LA CURVA 161 CON PI = 8+938.619

$$h = 30 \text{ mm}$$

$$Lc1 = 20.132 \text{ mts}$$

$$\text{Pendiente} = \frac{0.030}{20.132} = 0.001490 \text{ de la fórmula } Lc = \Delta R \frac{\pi}{180}$$

$$Lc = 2500 \times 0.001490 \times \frac{\pi}{180} = 3.725412$$

$$ST = 1.862706$$

Longitud con pendiente constante "d"

$$d = Lc1 - Lc = 16.406988$$

Dividiendo la longitud en tres tramos queda:

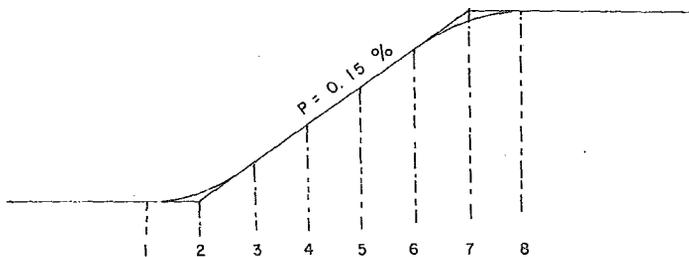
3 @ 5.468863 cada nivel

$$Y = 0.002(Lc)^2 = 0.002776 \text{ ..... punto 3}$$

$$Y = 0.002(ST)^2 = 0.000694 \text{ ..... punto 2}$$

$$F \text{ para una cuerda de 10 mts.} = 0.013$$

$$R \text{ vía 1 y riel interior} = 99.126$$



# DE SECCION	DISTANCIA	SOBRE ELEVACION	RE VIA I	RI VIA I	CADENAMIENTOS ENTREVIA 3.15 Mts
1		0.000	0.000	0.000	8+902.759 - 8+974.465
2 <sup>TC</sup>	1.863	0.001	0.000	+0.001	8+904.622 - 8+972.602
CT	1.863	0.003	0.000	+0.003	8+906.485 - 8+970.739
3	5.469	0.011	0.000	+0.011	8+911.954 - 8+965.801
4	5.469	0.019	0.000	+0.019	8+917.423 - 8+959.801
5	5.469	0.027	0.000	+0.027	8+922.892 - 8+954.332
6	1.863	0.029	0.000	+0.029	8+924.755 - 8+952.469
CC		0.030	0.000	0.030	8+926.618 - 8+950.606
7					
CC	1.863				
8					

TRAMO : MORELOS - CANDELARIA (VIA EXTERIOR)

CALCULO DE LAS SOBREELEVACIONES EN LA CURVA 162 CON PI=8+938.695

$$h = 30 \text{ mm}$$

$$Lc1 = 20.195 \text{ mts}$$

$$\text{Pendiente} = \frac{0.030}{20.195} = 0.001486$$

$$Lc = 2500 \times 0.001486 \times \frac{97}{180} =$$

$$ST = 1.856895$$

Longitud con pendiente constante "d"

$$d = Lc1 - Lc = 16.481209$$

Dividiendo la longitud en tres tramos queda:

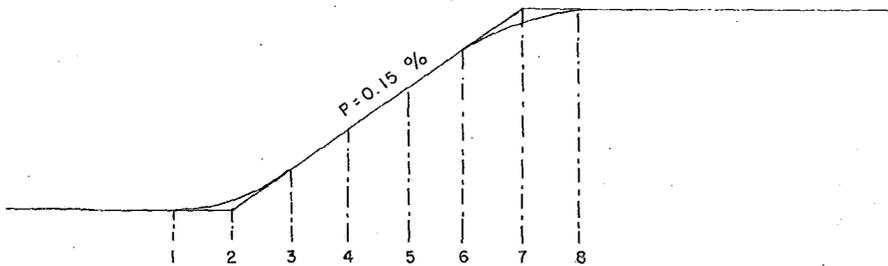
3 @ 5.493736 cada nivel

$$Y = 0.002(Lc)^2 = 0.002758 \dots \text{ punto 3}$$

$$Y = 0.002(ST)^2 = 0.000690 \dots \text{ punto 2}$$

F para una cuerda de 10 mts = 0.012

R vía 2 y riel exterior = 1002.276



# DE SECCION	DISTANCIA	SOBRE ELEVACION	RE VIA 2	RI VIA 2	CADENAMIENTOS ENTREVIA 3.15 Mts
1		0.000	0.000	0.000	8+902.734-8+974.642
TC	1.857				
2		0.001	+0.001	0.000	8+904.591 - 8+972.785
CT	1.857				
3		0.003	+0.003	0.000	8+906.448 - 8+970.928
	5.494				
4		0.011	+0.011	0.000	8+911.942 - 8+965.434
	5.494				
5		0.019	+0.019	0.000	8+917.436 - 8+959.940
	5.494				
6		0.027	+0.027	0.000	8+922.930 - 8+954.446
	1.857				
CC					
7		0.029	+0.029	0.000	8+924.787 - 8+952.589
CC					
	1.857				
8		0.030	+0.030	0.000	8+926.644 - 8+950.732

Con el fin de mantener la separación entre los carros lo más amplia posible al pasar por una curva horizontal, la sobre elevación de las vías se distribuye de la siguiente manera:

$$2.500 - 1.435 = 1.005 / 2.000 = 0.5325$$

$$E = 0.5325 \quad \text{Lado Exterior}$$

$$I = 0.5325 \quad \text{Lado interior}$$

Distancia del paño interior del riel a la barra guía en curva:

$$534.5 + 536.5 = 1061.000$$

$$2.500 - 1.439 - 1.061 / 2.000 = 0.5305$$

Todas las curvas del tramo tienen sobreelevación y la mínima es = 30 mm.

En una curva la inclinación de la superficie de rodamiento se realiza manteniendo la fila interior de la vía, coincidiendo con el perfil del trazo y levantando la fila exterior respecto a la otra, (figura 6.4) este aumento es desde luego progresivo al inicio de la curva, una rotación es efectuada - alrededor de la fila interior hasta el momento que el aumento alcanza la pendiente práctica que se ha establecido previamente, hacia el final de la curva el aumento decrece progresivamente con la misma razón. Existen tres zonas diferentes dentro de una curva, una zona de pleno desnivel precedida y seguida por una zona de transición, donde se efectúa el abatimiento de las pendientes.

Dentro de la zona de transición el desnivel que varía linealmente en función de la longitud de transición, produce el ladeo de la vía esta zona deberá tener suficiente longitud para permitir una compensación satisfactoria de la aceleración centrífuga y evitar una excesiva torsión de las vías.

En México el desnivel de las vías está limitado de tal manera que las dos filas de rieles en perfil longitudinal forman una rampa que no excede el valor de 4 mm/m, es decir tiene una pendiente = 0.4%,

#### 6.4 FIJACION DE VIA

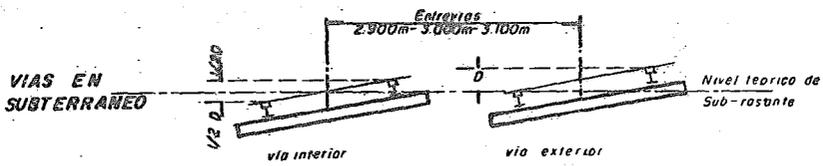
La fijación de vía se diseña en gabinete para lo cual es necesario tener antes definida la ubicación de ciertos puntos sobre el eje de trazo ó el eje de las vías, así se tienen los siguientes puntos:

- Juntas aislantes de P.R.
- Junta de aparato de dilatación.
- Cupón neutro.
- Junta aislante Normal.
- Junta mecánica de riel y pista.

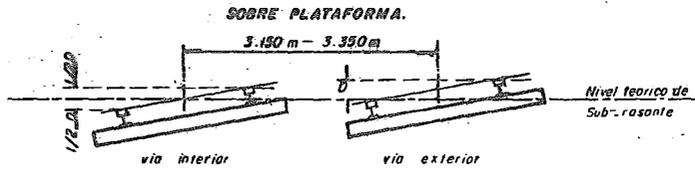
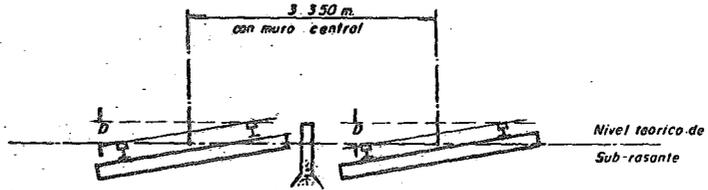
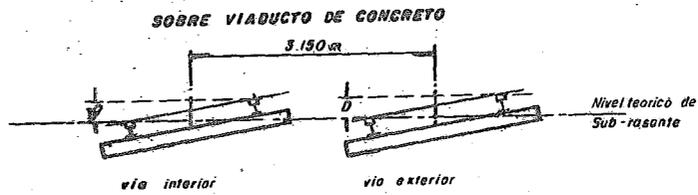
inclusive los aparatos de cambio de vía, además de los puntos que marque el proyecto electromecánico, son los que definen la distribución de durmientes en el tramo en estudio.

En las siguientes páginas se mencionan los aspectos más importantes que se utilizan para la elaboración de los planos que concretizan los conceptos mencionados con anterioridad:

- a) Distribución de durmientes, incluyendo la localización de juntas aislantes y aparatos de dilatación.
- b) Juntas soldadas y anclajes.
- c) Aparatos de vía.



**VIAS AEREAS**



**FIG. 64 POSICIONES RELATIVAS DE LAS VIAS PERALTADAS**

#### 6.4.1 DISTRIBUCION DE DURMIENTES

El durmiente:

- 1.- Es el elemento sobre el cual se fijan las vías.
- 2.- Distribuye sobre el terreno de una manera uniforme - las cargas originadas tanto por el peso, como por el tránsito de los vehículos sobre la vía.
- 3.- Da solidez en los puntos frágiles de la vía como son:
  - a) Juntas aislantes de riel y pista.
  - b) Blocks aislantes en barra guía.
  - c) Juntas mecánicas en riel y pista.
  - d) Aparatos de dilatación en barra guía y de toma de corriente.

Estos conceptos se presentan únicamente en vías a cielo abierto.

Ahora bien, dados los conceptos básicos de la función -- que desempeñan en la vía los durmientes, debemos familiarizar nos con los diferentes tipos de durmientes usados en el tendido de la vía sobre balasto, tanto en vía normal - cajón - ó a cielo abierto.

#### DURMIENTES EN VIA NORMAL CON RIELES - 80 ASCE

Durmiente tipo "A": Se le denomina tipo "A" ya que es la letra inicial de Alignement, que significa alineamiento, es decir será el durmiente de tipo ordinario a usarse en tramo - tangente y curvas de radio mayor de 500 metros, las dimensiones de este tipo de durmientes son de 2.600 x 0.240 x 0.140 y tienen un maquinado en sus extremos en donde serán fijados -- por medio de tirafondos el riel y la pista.

Durmiente tipo "GA": Denominado así por la simplificación de Guidage Alignement - guiado en alineamiento - es decir, que serán los durmientes sobre los cuales se colocarán - los soportes para fijar la barra guía en tramo tangente y curvas de radio mayores de 500 metros. Son durmientes de 2.700 x 0.260 x 0.150 sobre los cuales aparte del maquinado para fijar el riel y la pista, tienen dos ranuras semicirculares -media luna- para alojar la almohadilla inferior del zoclo sobre el cual se coloca el soporte aislador para la barra guía.

Durmiente tipo "T": Cuando en el trazo de la vía se cambia de un tramo tangente a un tramo curvo, es decir curvas de radio menor ó igual a 500 metros se hace necesario ampliar la separación de los bordes de rodamiento, denominada esta distancia como trocha de 1.435 en tramo tangente a 1.439 en tramo curvo, ésto se logra por medio de dos durmientes de transición colocados al inicio y al final de la curva, ya que en éstos el emplantillado para la trocha es de 1.4363 y de 1.4376, razón por la cual se denominan durmientes de transición, las dimensiones de estos durmientes son de 2.600 x 0.240 x 0.140 metros.

Durmiente tipo "C" ; Durmiente de 2.600 x 0,240 x 0,140 colocados en curvas de radio menor ó igual a 500 metros, la denominación de éstos durmientes viene de Courbe -curva-.

Son los durmientes que suplen al durmiente tipo "A" en tramo tangente de los que se diferencian en el maquinado para dar una trocha de 1.439 metros.

Durmiente tipo "GC" : El durmiente de este tipo, es el que se emplea para colocar los soportes aislantes sobre los cuales se fija la barra guía en tramo curvo, de donde viene su denominación. Guidage Courbe-guiado en curva-, es decir, que se colocarán siempre y cuando exista barra de toma de corriente en ambos lados de la vía para asegurar el guiado de los trenes, tiene las mismas características del durmiente "GA" - excepto en la trocha que será de 1.439 metros.

Durmiente tipo "SA" : Este tipo de durmiente se colocará para el soporte de la barra guía y de toma de corriente cuando exista en un solo lado de la vía, es decir, que la barra de toma de corriente no será usada para el guiado de los carros, por lo general este tipo de durmientes se utilizará en zona de talleres, las dimensiones de éste tipo de durmientes es de 2.700 x 0.260 x 0.150 metros.

Durmiente tipo "SC" : Al igual que el durmiente "SA" será usado para colocar los soportes aislantes de la barra guía y de toma de corriente cuando esta exista en un solo lado de la vía en un tramo curvo sus dimensiones son 2.700 x 0.260 x 0.150 metros.

Cuando por necesidades de la tracción es necesario intervenir la barra guía ó de toma de corriente, esto se hace colocando en los extremos "crucetas", las cuales permiten un alejamiento ó un acercamiento progresivo de las escobillas de los carros a la barra guía ó de toma de corriente, para la colocación de éstas crucetas existen durmientes especiales denominados:

Durmiente tipo GA	CR	1
Durmiente tipo GA	CR	2
Durmiente tipo GA	CR	3

Este tipo de durmientes se emplea al colocar una cruceta en tramo tangente y cuando existe barra de toma de corriente a ambos lados de la vía, pero el hecho de mencionar que existe barra de toma de corriente en ambos lados de la vía no implica que sobre el mismo durmiente se puedan colocar dos crucetas, ya que debido a las dimensiones del durmiente se podrá colocar cruceta a un solo lado de la vía. Los durmientes de éste tipo deberán ser colocados considerando el GA CR 3 a 0.600 de la punta de la cruceta y los dos restantes a 1.500 metros.

Durmientes tipo GC CR 1  
 Durmientes tipo GC CR 2  
 Durmientes tipo GC CR 3

Los durmientes de este tipo se emplean lo mismo que los durmientes GA CR con la excepción de que éstos serán empleados cuando la cruceta sea colocada en tramo curvo.

En cuanto al espaciamiento, el GC CR 3 quedará a 0.600 - de la punta de la cruceta y los otros dos a 1.200 metros , espaciados entre sí.

Durmientes tipo SA CR 1  
 Durmientes tipo SA CR 2  
 Durmientes tipo SA CR 3

El empleo de estos durmientes se hace cuando sea necesario colocar una cruceta en los tramos en donde exista una sola barra guía es decir que la barra de toma de corriente no será usada para el guiado de los carros, considerándose además que sea un tramo tangente, en cuanto a la localización de los durmientes de este tipo, es similar a la de los GA CR.

Durmientes tipo SC CR 1  
 Durmientes tipo SC CR 2  
 Durmientes tipo SC CR 3

Estos durmientes se colocan como en el caso de los durmientes SA CR cuando se tiene que colocar una cruceta en tramo curvo y su localización es similar a los tipos CC CR.

#### DURMIENTES ESPECIALES EN VIA CON RIELES - 100 RE

Este tipo de durmientes se usarán en los casos especiales cuando se tenga vía con rieles de 100 libras, éstos casos especiales en vía normal se presentan únicamente cuando se tienen dos aparatos de vía cercanos, en donde los tramos de vía sean tan cortos que no convenga cambiar a rieles de 80 libras: se presentan con más frecuencia en la zona de los talleres.

Para el uso de este tipo de durmientes se harán las mismas consideraciones que para durmientes en vía con rieles de 80 ASCE, ya que en realidad la diferencia entre unos y otros es el emplantillado especial que deberán llevar los durmientes de riel de 100 RE, de esta forma queda entendido que para estos casos existen durmientes tipo: 100 A, 100 GA, 100 T, -- 100 C, 100 SA, y 100 SC, como se puede notar quedan incluidos los durmientes para el caso de las crucetas, debido al problema de emplantillado.

Para poder continuar con el tema se hace necesario dar - al menos una semblanza general de los elementos que componen la vía colocada sobre balasto para el rodamiento de los carros sobre neumáticos, que es el caso del Metro de México. -- (Fig. 6.5).

- 1.- AISLADOR Y SOPORTE DE LA BARRA DE TOMA DE CORRIENTE
- 2.- BARRA GUIA Y DE TOMA DE CORRIENTE
- 3.- PISTA DE RODAMIENTO
- 4.- RIEL TIPO 80 ASCE

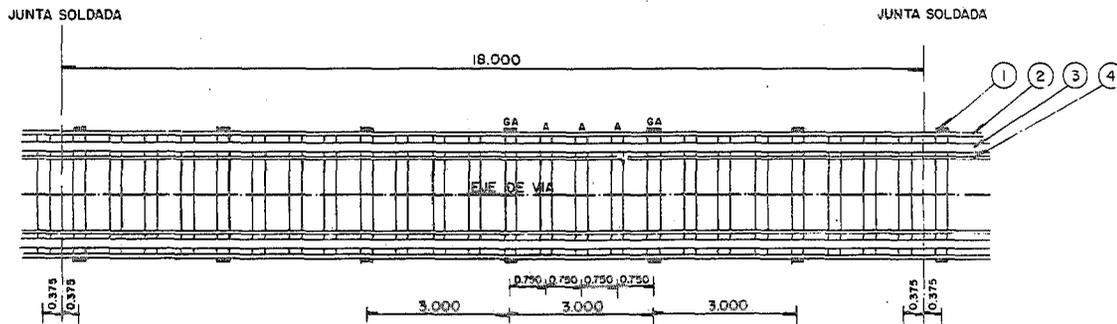


FIG.6.5 CONJUNTO TIPO DE 18.000 mts. (EN TRAMO TANGENTE)

- 1.- La vía incluye dos rieles de 80 libras (80 ASCE) cuya función es la de asegurar el retorno de corriente y el funcionamiento de la señalización, estos rieles se utilizan para el rodamiento de las ruedas metálicas de los trenes en caso de ponchadura de algún neumático, este tipo de rieles se proporciona en tramos de 18 metros.
- 2.- Dos pistas metálicas para el rodamiento de los neumáticos.
- 3.- Dos perfiles angulares metálicos para la conducción de la corriente y el guiado de los carros (Barra guía y/o toma de corriente).

#### DISTRIBUCION DE DURMIENTES

##### Normas generales:

La distribución de durmientes se hará por lo general en tramos de interestaciones debiendo tener cuidado al efectuar el plantamiento de los siguientes pasos:

1.- Se deberán colocar en el cadenamiento correspondiente los puntos frágiles de la vía, teniendo en cuenta que la distribución de durmientes es obligada en cada uno de éstos debido a las funciones y condiciones en las que trabajan estos puntos.

2.- Se identificarán los cambios de tramos tangentes a tramos curvo para colocar los durmientes apropiados para el cambio de trocha.

Cuando se efectúe el cambio de tramo tangente a tramo curvo se procurará que los durmientes de transición sean colocados ligeramente fuera del principio y el final de la curva, es recomendable que la distribución de durmientes se realice en el sentido ascendente de los cadenamientos.

3.- Por otra parte es necesario tener en cuenta que para efectuar la distribución de durmientes entre dos puntos dados en donde existan además de las condiciones ya mencionadas, algún aparato de vía de comunicación ó de enlace, éstos cuentan con una zona de transición en la cual la distribución de durmientes es obligada por el hecho de que cuentan con rieles de enlace en donde se efectúa la transición del riel de 80 ASCE de la vía normal al riel de 100 RE dentro de la zona de aparato, por lo cual se deberá efectuar la distribución respetando esta zona de transición.

4.- Cuando se efectúe una distribución se tomará en cuenta que como restricciones se da una distancia máxima y mínima entre ejes de durmientes de 0.750 metros en tramo tangente y 0.600 metros en tramo curvo y como distancia mínima para ambos casos de 0.420 metros, debido a que para compactar el

balasto se requiere esa separación libre. En curva la separación entre ejes de durmientes es de 60 centímetros, medida en el borde de rodamiento del riel ubicado en el mayor radio.

#### 6.4.2 APARATOS DE DILATACION

En tramos superficiales y elevados, los elementos metálicos de rodamiento (Riel y Pista) se instalarán con juntas metálicas normales cada 126 mts. para absorber las dilataciones por variación de temperatura con el juego de los mismos ---- - 1,5 cm - sin transmisión de esfuerzos adicionales a la estructura de soporte, los aisladores tendrán orificios alargados que permitan el desplazamiento de la barra.

Las barras guía tienen un sistema capaz de absorber las variaciones de temperatura, que es muy alto en el tramo superficial, el sistema se denomina Junta de Dilatación de barra - guía la cual tiene una longitud máxima continúa de 108 mts -- instalando juntas de dilatación con juego de 10 centímetros.

La siguiente tabla contiene las separaciones nominales - entre durmientes consecutivos en la vía, la separación entre durmientes soporte de aisladores que forman parte de la distribución nominal y la separación entre las juntas de dilatación que se formarán simultáneamente en los tres pares de elementos que forman la vía. Se indica además con R el radio de curvatura de los tramos no rectos y para ellos, las separaciones nominales entre durmientes y juntas de dilatación deberán medirse sobre el riel exterior a la curva en cada vía.

Las transiciones entre los tramos rectos y curvos con radios de 500 mts o mayores, donde el espaciamiento entre las caras interiores de los hongos de los rieles del sistema de vía es de 1435 mm. a los tramos curvos con radios menores de 500 mts donde el espaciamiento entre los rieles es de 1439 mm y se obtiene variando gradualmente dicha separación entre dos durmientes ordinarios consecutivos que se colocan al inicio de los empalmes "CT" y "TC".

#### 6.4.3 SOLDADURAS Y ANCLAJES

La vía sobre balasto en tramo elevado es idéntica en su principio a la vía en túnel sin embargo las variaciones térmicas no permiten soldar la vía por grandes longitudes debido a la importancia de la sección total de los perfiles metálicos.

Para limitar los efectos de la dilatación sobre los perfiles y sobre la estabilidad del balasto y de la plataforma se ha recurrido a las disposiciones siguientes:

- Los rieles y las pistas de rodamiento son soldadas en elementos de 126 mts. unidos por juntas emplanchueladas.
- Las barras guía son armadas en elementos soldados en una longitud máxima de 108 mts unidos por un aparato de dilatación.

CONSTITUCION DE TRAMOS DE VIA TIPO  
ENTRE JUNTAS DE DILATAACION, EN LAS  
LINEAS A LA INTERPERIE DEL METRO -  
DE LA CIUDAD DE MEXICO.

Tipo de línea.	Radio de curvatura R.  (metros)	Separación Nominal entre			Número de Durmientes en el tramo tipo entre juntas.		
		Durmientes con secutivos. (cm)	Durmientes con aislados. (cm)	juntas de dilatación. (m)	Ordinarios.	Con aislador.	Total
Sobre viaducto;	R > 1000	75	300	126	128	44	172
Estructura elevada.	500 ≤ R ≤ 1000	75	300	72	74	26	100
	300 ≤ R ≤ 500	60	180	72	80	41	121
En estación.	- 0 -	75	300	180	182	62	244

Las juntas mecánicas de riel y pista están siempre frente a frente y deben estar ubicadas al igual que las soldaduras se localizan en el tramo entre dos durmientes.

Los perfiles son entregados en tramos de 18 mts. y soldados en ambos extremos por el método aluminotérmico, las soldaduras se localizan en el tramo entre dos durmientes, no deberá haber ninguna junta a menos de 0.10 mts del borde de un durmiente.

Los anclajes se realizan en la barra guía, para evitar su movimiento por el paso del vehículo, se localizan entre dos aparatos de dilatación a la distancia media aproximadamente.

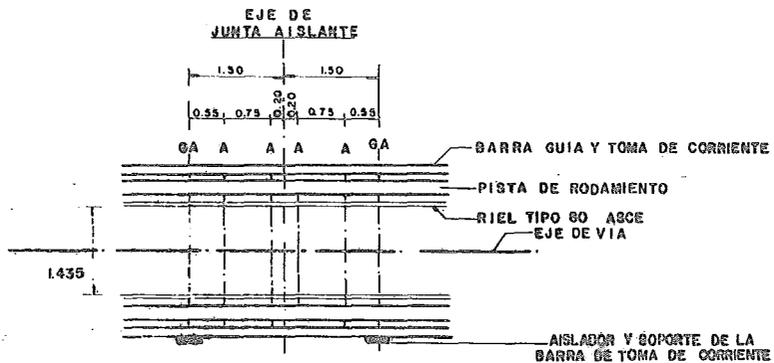
#### 6.4.4 JUNTAS AISLANTES

La vía férrea es cortada en un cierto número de tramos que sirven para la señalización, un tramo es separado del tramo adyacente por medio de juntas aislantes situadas en cada fila del riel y pista.

Las juntas aislantes se colocan en los puntos indicados en los planos de colocación de vías, una junta aislante de riel incluye un separador aislante, dos planchuelas aislantes y dos plaquetas metálicas, que unen los extremos de los rieles.

Cada planchuela es fijada por seis tornillos con roldana y tuerca cada junta es colocada en voladizo ente dos durmientes distantes 40 cm entre ejes. (Fig. 6.6).

TRAMO SUPERFICIAL, ELEVADO Y SUBTERRANEO EN TANGENTE Y PARA LAS CURVAS DE RADIO  $\geq 500.00$  m.



#### NORMAS GENERALES:

- 1.- LA DISTRIBUCION DE DURMIENTES SERA FIJA, Y SOLO PODRA VARIARSE DESPLAZANDO EL DURMIENTE GA 0.55 m. HACIA LA JUNTA AISLANTE EN CASOS EXTREMOS.
- 2.- LA POSICION DE LA JUNTA PODRA VARIAR EN MAS O MENOS 0.50 m. RESPECTO A SU CADENAMIENTO ORIGINAL Y SOLO EN CASOS EN QUE ESTE MOVIMIENTO SEA INDISPENSABLE PARA LA OPTIMA SOLUCION DEL PROYECTO.

FIG.6.6 DISTRIBUCION DE DURMIENTES  
EN JUNTA AISLANTE

La pista metálica incluye aislantes en los extremos de señalización, enfrente de las juntas aislantes de rieles.

Estas juntas en voladizo incluyen de acuerdo con las indicaciones de los planos, un separador de material aislante y dos planchuelas aislantes que unen los dos extremos de las -- pistas y los sujetan por medio de seis tornillos en total. -- con dos plaquetas roldanas y tuercas.

En ambos casos las juntas aislantes se obtendrán por medio del corte con sierra de un mismo riel y pista, las juntas aislantes en curva no deberán originar ninguna irregularidad en las flechas, los barrenos deberán hacerse obligatoriamente con una plantilla.

#### 6.4.5 APARATOS DE VIA

La imposibilidad de mantener la continuidad de dos ba--- rras guía en los aparatos de vía, implica contar con un guiado mediante las cejas de las ruedas metálicas, manteniendo -- una buena continuidad de los rieles y las pistas de rodamiento.

Los aparatos incluyen por lo tanto, además de las agujas piezas moldeadas de acero al manganeso, para las cuales las - funciones del riel y de la pista son sustituidas por un con--- junto monolítico, éstas piezas son emplanchueladas entre ---- ellas y tirafondeadas sobre los durmientes.

En las zonas en que la barra guía es interrumpida sobre una fila, un contra-riel asegura el doble guiado y disminuye la posibilidad de un descarrilamiento.

Los aparatos de vía al igual que en la vía ordinaria son colocados sobre balasto, en México las vías de la red son --- equipadas con desvíos tangente igual a 0.13 grados, montados solos o en comunicación, la maniobra en cada desvío es asegurada por un motor ubicado en un nicho; también cuentan con -- juntas de dilatación de riel, pista de rodamiento y barra --- guía, a una distancia variable, comprendida entre 5.5 metros y 270 metros a ambos lados de la zona de transición del aparato, las tolerancias en el nivel transversal y longitudinal -- son los de la vía principal.

Los aparatos se instalarán invariablemente en tramo rec-- to - tanto en planta como en perfil - y preferentemente a nivel, en caso extremo podrán establecerse con pendientes hasta del 0.20%.

El diseño de aparatos de vía seguirá siendo el mismo con la entrevía normal en tramo elevado de 3.15 metros en recta y se presenta en los siguientes croquis las características geométricas de ellos. (Figuras 6.7 y 6.8)

## *Apéndice A*

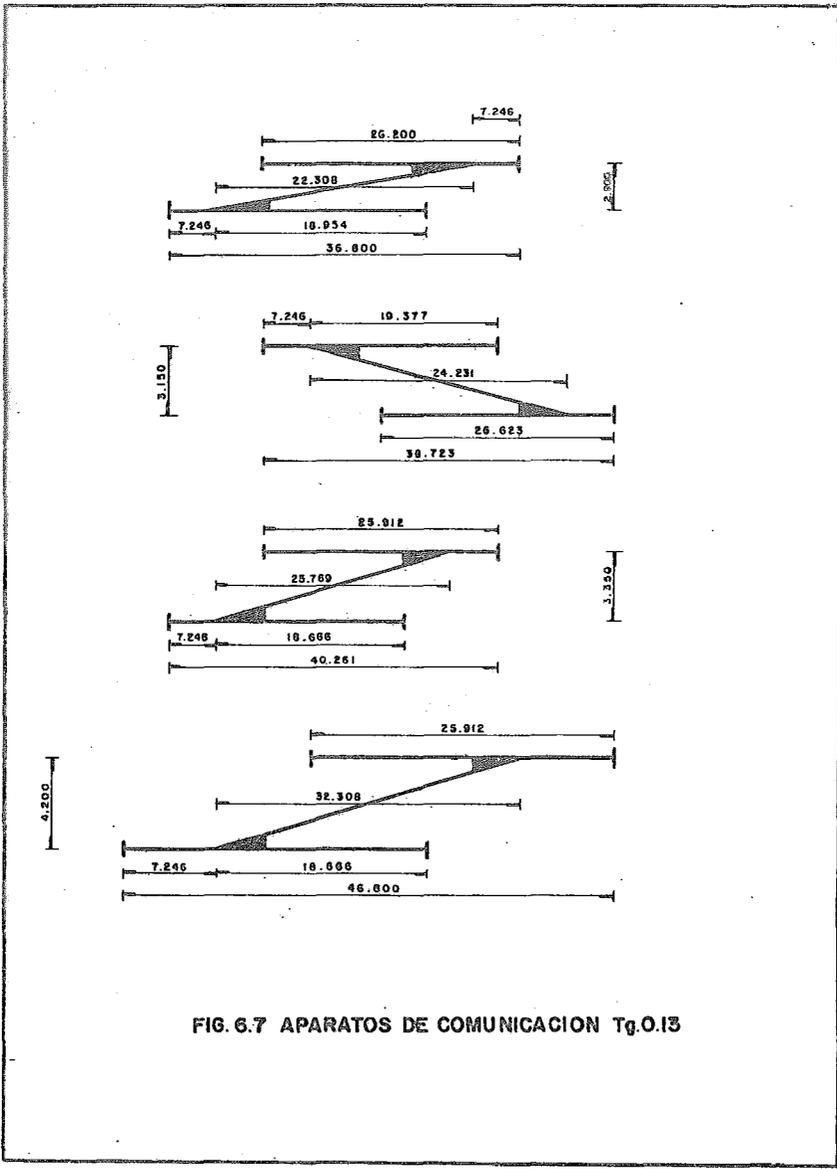
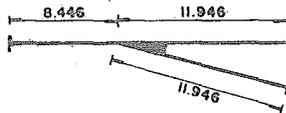
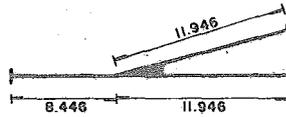


FIG. 6.7 APARATOS DE COMUNICACION Tg.O.13

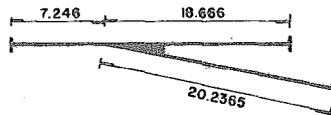
APARATO T<sub>g</sub> 0.20 A LA DERECHA



APARATO T<sub>g</sub> 0.20 A LA IZQUIERDA



APARATO T<sub>g</sub> 0.13 A LA DERECHA



APARATO T<sub>g</sub> 0.13 A LA IZQUIERDA

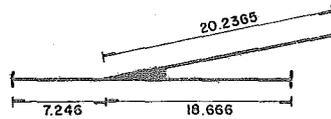


FIG. 6.8 APARATOS DE ENLACE PARA ESPUELAS O TRANSFERENCIA

D A T O S D E		C L O T O I D E	
$\alpha = 00^{\circ}34'40''$	PI= 8+655.389	$\alpha = 00^{\circ}34'40''$	ALBAÑILES
Lcl= 20.164	$\Delta = 2^{\circ}55'34''$	Lcl= 20.164	
Xc= 20.164	$\Delta c = 1^{\circ}46'14''$	Xc= 20.164	
Yc= 0.068	Lc= 30.901	Yc= 0.068	TC =8+619.766
H= 6.717	St= 15.452	H= 6.717	CC =8+639.930
U= 6.717	Gc= 1.145935	U= 6.717	CC =8+670.831
	D/m= 1.718903		CT =8+690.995
	Tc= 35.623		
	Rc= 999.983		
	Rn=1000.000		

C L O T O I D E				
C O O R D E N A D A S		D E F L E X I O N E S		
L	X	Y		
TC-	00.000	00.000	00°	00' 00"
1-	1.988	1.988	00	00 07
2-	3.976	3.976	00	00 27
3-	5.964	5.964	00	01 01
4-	7.952	7.952	00	01 48
5-	9.940	9.940	00	02 48
6-	11.928	11.928	00	04 03
7-	13.916	13.916	00	05 30
8-	15.904	15.904	00	07 11
9-	17.892	17.892	00	09 06
10-	19.879	19.879	00	11 14
CC-	20.164	20.164	00	11 33

C I R C U L A R				
CADENAMIENTOS	DEFLEXIONES	C O O R D E N A D A S		
		X	Y	
CC-	8+639.930	00°	00'	00"
1-	8+642.000	00	03	34
2-	8+645.000	00	08	43
3-	8+648.000	00	13	52
4-	8+651.000	00	19	02
5-	8+654.000	00	24	11
6-	8+657.000	00	29	21
7-	8+660.000	00	34	30
8-	8+663.000	00	39	40
9-	8+666.000	00	44	49
10-	8+669.000	00	49	58
11-	8+670.831	00	53	07
12-				
13-				
14-				
15-				
16-				
17-				

TRAMO: \_\_\_\_\_ VIA \_\_\_\_\_ CURVA No. \_\_\_\_\_

D A T O S D E C L O T O I D E			
$\alpha = 00^{\circ}34'40''$	$PI = 8+938.657$	$\alpha = 00^{\circ}34'40''$	Tomatlán
$Lcl = 20.164$	$\Delta = 2^{\circ}43'57''$	$Lcl = 20.164$	
$Xc = 20.164$	$\Delta c = 1^{\circ}34'37''$	$Xc = 20.164$	
$Yc = 0.068$	$Lc = 27.522$	$Yc = 0.068$	$TC = 8+904.725$
$H = 6.717$	$St = 13.762$	$H = 6.717$	$CC = 8+924.889$
$U = 6.717$	$Gc = 1.145939$	$U = 6.717$	$CC = 8+952.411$
	$Dm = 1.718908$		$CT = 8+972.575$
	$Tc = 33.932$		
	$Rc = 999.983$		
	$Rn = 1000.000$		

C L O T O I D E				
C O O R D E N A D A S		D E F L E X I O N E S		
L	X	Y		
TC-	00.000	00.000	00.000	00° 00' 00"
1-	1.988	1.988	0.000	00 00 07
2-	3.976	3.976	0.000	00 00 27
3-	5.964	5.964	0.002	00 01 01
4-	7.952	7.952	0.004	00 01 48
5-	9.940	9.940	0.008	00 02 48
6-	11.928	11.928	0.0140	00 04 03
7-	13.916	13.916	0.022	00 05 30
8-	15.904	15.904	0.033	00 07 11
9-	17.892	17.892	0.047	00 09 06
10-	19.879	19.879	0.065	00 11 14
CC-	20.164	20.164	0.0068	00 11 33

C I R C U L A R				
CADENAMIENTOS	DEFLEXIONES	C O O R D E N A D A S		
		X	Y	
CC-	00° 00' 00"	0.000	0.000	
1-	8+924.889	00 03 37	2.111	0.002
2-	8+930.000	00 08 47	5.111	0.013
3-	8+933.000	00 13 56	8.111	0.033
4-	8+936.000	00 19 05	11.111	0.062
5-	8+939.000	00 24 15	14.111	0.100
6-	8+942.000	00 29 24	17.110	0.146
7-	8+945.000	00 34 34	20.110	0.202
8-	8+948.000	00 39 43	23.109	0.267
9-	8+951.000	00 44 52	26.108	0.341
10-	8+952.411	00 47 18	27.519	0.379
11-				
12-				
13-				
14-				
15-				
16-				
17-				

D A T O S D E C L O T O I D E			
$\tau = 0^{\circ}40'14''$	$PI = 9+180.846$	$\tau = 0^{\circ}40'14''$	Segrete
$Lcl = 22.238$	$\Delta = 3^{\circ}45'06''$	$Lcl = 22.238$	
$Xc = 22.238$	$\Delta c = 2^{\circ}24'38''$	$Xc = 22.238$	
$Yc = 0.087$	$Lc = 39.968$	$Yc = 0.087$	$TC = 9+138.617$
$H = 7.414$	$Si = 19.987$	$H = 7.414$	$CC = 9+160.851$
$U = 7.414$	$Gc = 1.206255$	$U = 7.414$	$CC = 9+200.819$
	$D/m = 1.809382$		$CT = 9+223.057$
	$Tc = 42.233$		
	$Rc = 949.978$		
	$Rn = 950.000$		

C L O T O I D E				D E F L E X I O N E S	
C O O R D E N A D A S					
L	X	Y			
TC-	00.000	00.000	00° 00' 00"		
1-	2.180	2.180	0.000	00	00 08
2-	4.360	4.360	0.000	00	00 31
3-	6.540	6.540	0.002	00	01 10
4-	8.721	8.721	0.005	00	02 04
5-	10.901	10.901	0.010	00	03 13
6-	13.081	13.081	0.017	00	04 38
7-	15.261	15.261	0.028	00	06 19
8-	17.441	17.441	0.042	00	08 15
9-	19.621	19.622	0.059	00	10 27
10-	21.802	21.802	0.082	00	12 54
CC-	22.238	22.238	0.087	00	13 25

C I R C U L A R				
CADENAMIENTOS	DEFLEXIONES	C O O R D E N A D A S		
		X	Y	
CC- 9+160.851	00° 00' 00"	0.000	0.000	
1- 9+164.000	00 05 42	3.149	0.005	
2- 9+168.000	00 12 56	7.149	0.027	
3- 9+172.000	00 20 10	11.149	0.065	
4- 9+176.000	00 27 24	15.148	0.121	
5- 9+180.000	00 34 38	19.148	0.193	
6- 9+184.000	00 41 53	23.147	0.282	
7- 9+188.000	00 49 07	27.145	0.388	
8- 9+192.000	00 56 21	31.143	0.511	
9- 9+196.000	01 03 35	35.141	0.650	
10- 9+200.819	01 12 19	39.956	0.841	
11-				
12-				
13-				
14-				
15-				
16-				
17-				

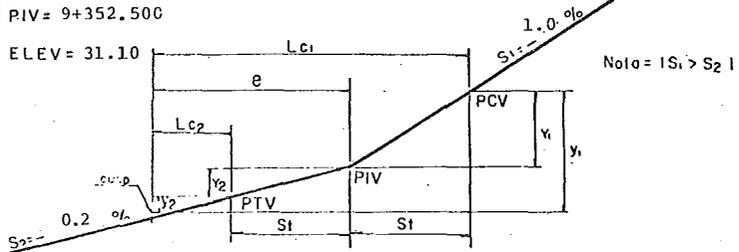
D A T O S D E		C L O T O I D E	
$\alpha = 0^{\circ}40'14''$	PI= 9+337.772	$\alpha = 0^{\circ}40'14''$	Auza
Lcl= 22.238	$\Delta = 7^{\circ}55'37.5''$	Lcl= 22.238	
Xc= 22.238	$\Delta c = 6^{\circ}35' 9.5''$	Xc= 22.238	
Yc= 0.087	Lc= 109.195	Yc= 0.087	TC = 9+260.830
H= 7.414	St= 54.658	H= 7.414	CC = 9+288.068
U= 7.414	Gc= 1.206255°	U= 7.414	CC = 9+392.263
	Dm= 1.809382		CT = 9+414.501
	Tc= 76.942		
	Rc= 949.978		
	Rn= 950.000		

C L O T O I D E			
C O O R D E N A D A S			DEFLEXIONES
L	X	Y	
TC-	00.000	00.000	00° 00' 00"
1-	2.180	0.000	00 00 00
2-	4.360	0.000	00 00 31
3-	6.540	0.002	00 01 10
4-	8.721	0.005	00 02 04
5-	10.901	0.010	00 03 13
6-	13.081	0.017	00 04 38
7-	15.261	0.028	00 06 19
8-	17.441	0.042	00 08 15
9-	19.622	0.059	00 10 27
10-	21.802	0.082	00 12 54
CC-	22.238	0.087	00 13 25

C I R C U L A R				
CADENAMIENTOS	DEFLEXIONES	C O O R D E N A D A S		
		X	Y	
CC- 9+283.068	00° 00' 00"	0.000	0.000	
1- 9+290.000	00 12 33	6.932	0.025	
2- 9+3000.000	00 30 38	16.931	0.151	
3- 9+310.000	00 48 44	26.928	0.382	
4- 9+320.000	01 06 49	36.923	0.718	
5- 9+330.000	01 24 55	46.913	1.159	
6- 9+340.000	01 43 01	56.898	1.705	
7- 9+350.000	02 01 07	66.877	2.357	
8- 9+360.000	02 19 12	76.848	3.113	
9- 9+370.000	02 37 18	86.811	3.975	
10- 9+380.000	02 55 23	96.764	4.941	
11- 9+390.000	03 13 29	106.706	6.012	
12- 9+392.263	03 17 35	108.955	6.269	
13-				
14-				
15-				
16-				
17-				

## *Apéndice B*





$$e = \frac{R}{2} (S_1 + S_2) = \frac{2500}{2} (0.01 + 0.002) = 15.00$$

$$L_{c1} = RS_1 = 2500(0.01) = 25.00$$

$$L_{c2} = RS_2 = 2500(0.002) = 5.00$$

$$St = \frac{L_{c1} - L_{c2}}{2} = 10.00$$

$$Y_1 = St S_1 = 0.125$$

$$Y_2 = St S_2 = 0.005$$

$$y_1 = \frac{(L_{c1})^2}{2R} = 0.100$$

$$y_2 = \frac{(L_{c2})^2}{2R} = 0.020$$

PCV = 9+342.500

PTV = 9+362.500

CUSP = 9+367.500

ELEV = 31.200

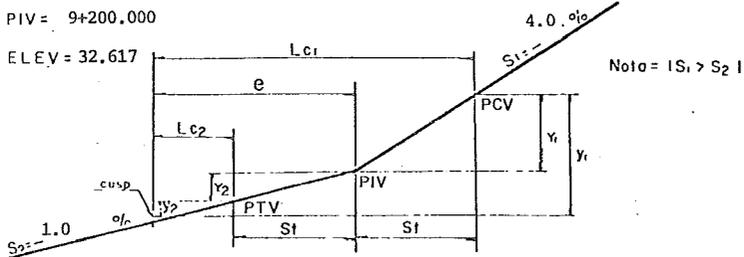
ELEV = 31.080

ELEV = 31.075

PTO	CADENAMIENTO	X	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup> /2R	COTA SUB-RASANTE
PCV	9+342.500	25.000	625.000	0.130	31.200
	9+345.000	22.500	506.250	0.101	31.176
	9+350.000	17.500	306.250	0.061	31.136
	9+355.000	11.500	156.250	0.031	31.106
	9+360.000	7.500	56.250	0.011	31.086
PTV	9+362.500	5.000	25.000	0.005	31.080
	9+365.000	2.500	6.250	0.001	31.076
CUSP	9+367.500	0.000	0.000	0.000	31.075

TRAMO: MORELOS - CANDELARIA

R=2500 SUB-TRAMO: MORELOS - CANDELARIA



$$e = \frac{R}{2} (S_1 + S_2) = 1250 (0.010 + 0.040) = 62.500$$

$$L_{c1} = R S_1 = 2500 (0.04) = 100.000$$

$$L_{c2} = R S_2 = 2500 (0.01) = 25.000$$

$$S_1 = \frac{L_{c1} - L_{c2}}{2} = 37.500$$

$$Y_1 = S_1 S_1 = 1.500$$

$$Y_2 = S_1 S_2 = 0.375$$

$$y_1 = \frac{(L_{c1})^2}{2R} = 2.000$$

$$y_2 = \frac{(L_{c2})^2}{2R} = 0.125$$

ELEV = 34.117

ELEV = 32.242

ELEV = 32.117

PCV = 9+163.333

PTV = 9+238.333

CUSP = 9+263.333

PTO	CADENAMIENTO	X	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup> /2R	COTA SUB-RASANTE
PCV	9+163,333	100,000	10000,000	2,000	34,117
	165	98,333	9669,379	1,934	34,051
	170	93,333	8711,049	1,742	33,859
	175	88,333	7802,719	1,560	33,678
	180	83,333	6944,389	1,389	33,506
	185	78,333	6136,059	1,227	33,344
	190	73,333	5377,729	1,075	33,193
	195	68,333	4669,398	0,934	33,051
	200	63,333	4011,067	0,802	32,919
	205	58,333	3402,739	0,680	32,798
	210	53,333	2844,409	0,569	32,686
	215	48,333	2336,079	0,467	32,584
	220	43,333	1877,749	0,375	32,493

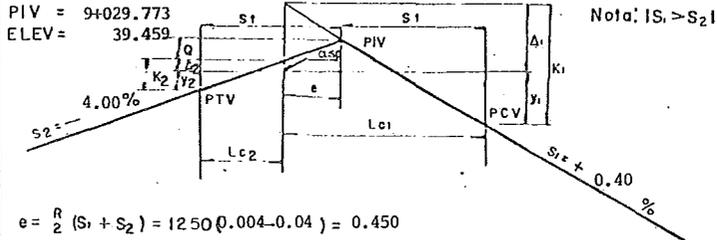
TRAMO:

MORELOS-CANDELARIA

R=2500

SUB-TRAMO:

MORELOS-CANDELARIA



PIV = 9+029.773  
ELEV = 39.459

$$e = \frac{R}{2} (S_1 + S_2) = 1250(0.004 - 0.04) = 0.450$$

$$Lc_1 = RS_1 = 2500(0.004) = 10.00$$

$$Lc_2 = RS_2 = 2500(-0.04) = 100.00$$

$$S_1 = \frac{Lc_1 + Lc_2}{2} = 55.000$$

$$y_1 = \frac{(Lc_1)^2}{2R} = \frac{100}{5000} = 0.020$$

$$y_2 = \frac{(Lc_2)^2}{2R} = \frac{10000}{5000} = 2.000$$

$$K_1 = Lc_1 S_1 = 0.040$$

$$K_2 = Lc_2 S_2 = 4.000$$

$$\Delta_1 = K_1 - y_1 = 0.020$$

$$\Delta_2 = K_2 - y_2 = 2.000$$

$$\frac{S_2(\%)}{100} = \frac{Q}{e} \quad Q = \frac{e S_2(\%)}{100}$$

$$Q = \frac{0.450 \times 0.40}{100} ; Q = 0.180$$

P CV = 8+974.774

ELEV = 39.239

CUSP = 8+984.773

ELEV = 39.259

P T V = 8+984.773

ELEV = 37.259

PTO	CADENAMIENTO	X	X <sup>2</sup>	$\frac{X^2}{2R}$	COTA SUB-RASANTE
PCV	8+974.773	10.000	100.000	0.020	39.239
	8+975.000	9.773	95.512	0.019	39.240
	8+980.000	4.773	22.782	0.005	39.254
Cusp	8+984.773	0.000	0.000	0.000	39.259
	8+985.000	0.227	0.052	0.000	39.259
	8+990.000	5.227	27.322	0.005	39.254
	8+995.000	10.227	104.592	0.021	39.238
	9+000.000	15.227	231.862	0.046	39.213
	9+005.000	20.227	409.132	0.082	39.177
	9+010.000	25.227	636.402	0.127	39.132
	9+015.000	30.227	913.672	0.183	39.076
	9+020.000	35.227	1240.000	0.248	39.011
	9+025.000	40.227	1618.212	0.324	38.953

Se continúa en este orden de cálculos







## *Apéndice C*

D A T O S D E C L O T O I D E			
$\angle = 0^{\circ}34'40''$	PI= 8+655.389	$\angle = 0^{\circ}34'40''$	
Lcl= 20.164	$\Delta = 2^{\circ}56'32''$	Lcl= 20.164	
Xc= 20.164	$\Delta c = 1^{\circ}47'12''$	Xc= 20.164	
Yc= 0.068	Lc= 31.183	Yc= 0.068	TC = 8+619.626
H= 6.717	St= 15.593	H= 6.717	CC = 8+693.790
U= 6.717	Gc= 1.125935	U= 6.717	CC = 8+670.973
	Dm= 1.718903		CT = 8+691.137
	Tc= 35.763		
	Rc= 999.983		
	Rn= 1000.000		

C L O T O I D E			
C O O R D E N A D A S			DEFLEXIONES
	X	Y	
TC-	00.000	00.000	00° 00' 00"
1-	1.988	0.000	0° 00' 06."7
2-	3.976	0.001	0° 00' 27."0
3-	5.963	0.002	0° 01' 00."6
4-	7.951	0.004	0° 01' 47."8
5-	9.939	0.008	0° 02' 48."5
6-	11.927	0.014	0° 04' 02."6
7-	13.914	0.022	0° 05' 30."2
8-	15.902	0.033	0° 07' 11."2
9-	17.890	0.047	0° 09' 05."8
10-	19.878	0.065	0° 11' 13."8
CC-	20.162	0.068	0° 11' 33."2

C I R C U L A R				
CADENAMIENTOS	DEFLEXIONES	C O O R D E N A D A S		
		X	Y	
CC- 8+639.790	00° 00' 00"	0.000	0.000	
1- 640.	00° 00' 21."7	0.210	0.000	
2- 645.	00° 08' 57."3	5.210	0.014	
3- 650.	00° 17' 33."0	10.210	0.052	
4- 655.	00° 26' 08."7	15.209	0.116	
5- 660.	00° 34' 44."3	20.209	0.204	
6- 665.	00° 43' 20."0	29.207	0.318	
7- 670.	00° 51' 55."7	30.205	0.456	
8- 8+670.973	00° 53' 36."0	31.178	0.486	
9-				
10-				
11-				
12-				
13-				
14-				
15-				
16-				
17-				

D A T O S		D E		C L O T O		I D E	
$\alpha = 0^{\circ}34'40''$	$P  = 8+655.349$	$\alpha = 0^{\circ}34'40''$					
$Lc  = 20.132$	$\Delta = 2^{\circ}56'32''$	$Lc  = 20.132$					
$Xc = 20.132$	$\Delta c = 1^{\circ}47'12''$	$Xc = 20.132$					
$Yc = 0.068$	$Lc = 31.134$	$Yc = 0.068$				$TC = 8+619.642$	
$H = 6.706$	$Sf = 15.568$	$H = 6.706$				$CC = 8+639.774$	
$U = 6.706$	$Gc = 1.147.743^{\circ}$	$U = 6.706$				$CC = 8+670.908$	
	$Dfm = 1.721614$					$CT = 8+691.040$	
	$Tc = 35.707$						
	$Rc = 998.408$						
	$Rn = 998.425$						

C L O T O I D E						
C O O R D E N A D A S			D E F L E X I O N E S			
L	X	Y				
TC-	00.000	00.000	00.000	00°	00'	00"
1-	1.985	1.985	0.000	00	00	06.7
2-	3.969	3.969	0.001	00	00	26.9
3-	5.954	5.954	0.002	00	01	00.6
4-	7.939	7.939	0.004	00	01	47.8
5-	9.923	9.923	0.008	00	02	48.5
6-	11.908	11.908	0.014	00	04	02.6
7-	13.892	13.892	0.022	00	05	30.2
8-	15.877	15.877	0.033	00	07	11.2
9-	17.862	17.862	0.047	00	09	05.8
10-	19.846	19.846	0.065	00	11	13.8
CC-	20.130	20.130	0.068	00	11	32.2

C I R C U L A R					
CADENAMIENTOS	DEFLEXIONES			COORDENADAS	
	X	Y		X	Y
CC- 8+639.774	00°	00'	00"	0.000	0.000
1- 8+640.774	00	00	23.4	0.226	0.000
2- 8+645.774	00	08	59.8	5.226	0.014
3- 8+650.774	00	17	36.3	10.226	0.052
4- 8+655.774	00	26	12.8	15.225	0.116
5- 8+660.774	00	34	49.3	20.225	0.205
6- 8+665.774	00	43	25.8	25.223	0.319
7- 8+670.774	00	52	02.3	30.221	0.457
8- 8+670.908	00	53	36.0	31.129	0.485
9-					
10-					
11-					
12-					
13-					
14-					
15-					
16-					
17-					

D A T O S D E C L O T O I D E			
$\mathcal{C} = 0^{\circ}34'40''$	$PI = 8+655.429$	$\mathcal{C} = 0^{\circ}34'40''$	
$Lcl = 20.195$	$\Delta = 2^{\circ}56'32''$	$Lcl = 20.195$	
$Xc = 20.195$	$\Delta c = 1^{\circ}47'12''$	$Xc = 20.195$	
$Yc = 0.068$	$Lc = 31.232$	$Yc = 0.068$	$TC = 8+619.609$
$H = 6.728$	$St = 15.617$	$H = 6.728$	$CC = 8+639.804$
$U = 6.727$	$Gc = 1.144133^{\circ}$	$U = 6.727$	$CC = 8+671.036$
	$D/m = 1.716222'$		$CT = 8+691.231$
	$Tc = 35.820$		
	$Rc = 1001.558$		
	$Rn = 1001.575$		

C L O T O I D E				DEFLEXIONES		
C O O R D E N A D A S			DEFLEXIONES			
L	X	Y	00°	00'	00"	
TC- 00.000	00.000	00.000	00°	00'	00"	
1- 1.991	1.991	0.000	00	00	06."7	
2- 3.982	3.982	0.001	00	00	26.9	
3- 5.973	5.973	0.002	00	01	00.6	
4- 7.964	7.964	0.004	00	01	47.8	
5- 9.954	9.954	0.008	00	02	48.5	
6- 11.945	11.945	0.014	00	04	02.6	
7- 13.936	13.936	0.022	00	05	30.2	
8- 15.927	15.927	0.033	00	07	11.2	
9- 17.918	17.918	0.047	00	09	05.8	
10- 19.909	19.909	0.065	00	11	13.8	
CC- 10.193	10.193	0.068	00	11	33.2	

C I R C U L A R					
CADENAMIENTOS	DEFLEXIONES	C O O R D E N A D A S			
		X		Y	
CC- 8+639.804	00° 00' 00"	0.000		0.000	
1- 640	00 00 20.2	0.196		0.000	
2- 645	00 08 55.0	5.196		0.013	
3- 650	00 17 29.9	10.196		0.052	
4- 655	00 26 04.8	15.195		0.115	
5- 660	00 34 39.6	20.195		0.204	
6- 665	00 43 14.5	25.193		0.317	
7- 670	00 51 49.3	30.191		0.455	
8- 671.036	00 53 36.0	31.227		0.487	
9-					
10-					
11-					
12-					
13-					
14-					
15-					
16-					
17-					

D A T O S		C L O T O I D E	
$\angle = 00^{\circ}34'40''$	$PI = 7+938.657$	$\angle = 00^{\circ}34'40''$	
$Lcl = 20.164$	$\Delta = 2^{\circ}44'46''$	$Lcl = 20.164$	
$Xc = 20.164$	$\Delta c = 1^{\circ}35'26''$	$Xc = 20.164$	
$Yc = 0.068$	$Lc = 27.760$	$Yc = 0.068$	$TC = 8+904.606$
$H = 6.717$	$Sf = 13.881$	$H = 6.717$	$CC = 8+924.770$
$U = 6.717$	$Gc = 1.145935^{\circ}$	$U = 6.717$	$CC = 8+952.530$
	$D/m = 1.718903^{\circ}$		$CT = 8+972.674$
	$Tc = 34.051$		
	$Rc = 999.983$		
	$Rn = 1000.000$		

C L O T O I D E			
C O O R D E N A D A S			DEFLEXIONES
L	X	Y	
TC-	00.000	00.000	00° 00' 00"
1-	1.988	1.988	00 00 00
2-	3.976	3.976	00 00 29.47
3-	5.964	5.964	00 00 58.93
4-	7.952	7.952	00 01 56.81
5-	9.940	9.940	00 02 47.95
6-	11.928	11.928	00 04 03.1
7-	13.916	13.916	00 04 30.44
8-	15.904	15.904	00 07 10.94
9-	17.892	17.892	00 09 05.13
10-	19.880	19.880	00 11 13.31
CC-	20.164	20.164	00 11 32.87

C I R C U L A R						
CADENAMIENTOS		DEFLEXIONES		C O O R D E N A D A S		
				X	Y	
CC-	8+924.770	00°	00'	00"	0.000	0.000
1-	8+925.000	00	00	23.72	0.230	0.000
2-	8+930.000	00	08	59.39	5.230	0.014
3-	8+935.000	00	17	35.06	10.230	0.052
4-	8+940.000	00	26	10.73	15.230	0.116
5-	8+945.000	00	34	46.4	20.229	0.205
6-	8+050.000	00	43	22.07	25.228	0.318
7-	8+952.530	00	47	43.01	27.757	0.385
8-						
9-						
10-						
11-						
12-						
13-						
14-						
15-						
16-						
17-						

D A T O S		C L O T O I D E	
$\alpha = 00^{\circ}34'40''$	$PI = 8+938.619$	$\alpha = 00^{\circ}34'40''$	
Lcl = 20.132	$\Delta = 2^{\circ}44'46''$	Lcl = 20.132	
Xc = 20.132	$\Delta c = 1^{\circ}35'26''$	Xc = 20.132	
Yc = 0.068	Lc = 27.716	Yc = 0.068	TC = 8+904.622
H = 6.706	St = 13.859	H = 6.706	CC = 8+924.754
U = 6.706	Gc = $1.247743^{\circ}$	U = 6.706	CC = 8+972.602
	Dm = 1.721614'		CT =
	Tc = 33.997		
	Rc = 998.408		
	Rn = 998.425		

C L O T O I D E					
C O R D E N A D A S	L		DEFLEXIONES		
	X	Y	00°	00'	00''
TC-	00.000	00.000	00°	00'	00''
1-	1.985	1.985	00	00	29.47''
2-	3.970	3.970	00	00	58.93
3-	7.939	7.939	00	01	46.81
4-	9.924	9.924	00	02	47.96
5-	11.909	11.909	00	04	03.10
6-	13.894	13.894	00	05	30.44
7-	15.879	15.879	00	07	10.94
8-	17.864	17.864	00	09	05.13
9-	19.848	19.848	00	11	13.31
10-	20.132	20.132	00	11	32.87
CC-					

C I R C U L A R				
CADENAMIENTOS	DEFLEXIONES	COORDENADAS		
		X	Y	
CC- 8+924.754	00° 00' 00''	0.000	0.000	
1- 8+925.000	00 00 25.4	0.246	0.000	
2- 8+930.000	00 00 01.89	5.246	0.014	
3- 8+935.000	00 17 38.38	10.246	0.053	
4- 8+940.000	00 26 14.96	15.246	0.116	
5- 8+945.000	00 34 51.35	20.245	0.205	
6- 8+950.000	00 43 27.83	25.244	0.319	
7- 8+952.470	00 47 42.97	27.713	0.385	
8-				
9-				
10-				
11-				
12-				
13-				
14-				
15-				
16-				
17-				

D A T O S D E C L O T O I D E			
$\alpha = 00^{\circ}34'40''$	$PI = 8+938.695$	$\alpha = 00^{\circ}34'40''$	
$Lcl = 20.195$	$\Delta = 2^{\circ}44'46''$	$Lcl = 20.195$	
$Xc = 20.195$	$\Delta c = 1^{\circ}35'26''$	$Xc = 20.195$	
$Yc = 0.068$	$Lc = 27.804$	$Yc = 0.068$	$TC = 8+904.591$
$H = 6.727$	$Sf = 13.903$	$H = 6.727$	$CC = 8+924.786$
$U = 6.727$	$Gc = 1.144133^{\circ}$	$U = 6.727$	$CC = 8+952.590$
	$Dm = 1.716200'$		$CT = 8+972.785$
	$Tc = 34.104$		
	$Rc = 1001.558$		
	$Rn = 1001.575$		

C L O T O I D E			
C O O R D E N A D A S			DEFLEXIONES
L	X	Y	
TC-	00.000	00.000	00° 00' 00"
1-	1.991	1.991	00 00 00
2-	3.982	3.982	00 00 29.47
3-	5.973	5.973	00 00 58.93
4-	7.964	7.964	00 01 46.81
5-	9.955	9.955	00 02 47.96
6-	11.947	11.947	00 04 03.1
7-	13.938	13.938	00 05 30.44
8-	15.929	15.929	00 07 10.94
9-	17.920	17.920	00 09 05.13
10-	19.911	19.911	00 11 13.31
CC-	20.195	20.195	00 11 32.87

C I R C U L A R				
CADENAMIENTOS	DEFLEXIONES	C O O R D E N A D A S		
		X	Y	
CC-	00° 00' 00"	0.000	0.000	
1-	00 00 22.03	0.214	0.000	
2-	00 08 56.89	5.214	0.014	
3-	00 17 31.75	10.214	0.052	
4-	00 26 06.61	15.214	0.116	
5-	00 34 41.47	20.213	0.204	
6-	00 34 41.47	20.213	0.317	
7-	00 47 43.03	27.801	0.386	
8-				
9-				
10-				
11-				
12-				
13-				
14-				
15-				
16-				
17-				

D A T O S D E		C L O T O I D E	
$\angle C = 00^{\circ}40'14''$	$PI = 9+180,846$	$\angle C = 00^{\circ}40'14''$	
$Lcl = 22,238$	$\Delta = 3^{\circ}43'24''$	$Lcl = 22,238$	
$Xc = 22,238$	$\Delta c = 2^{\circ}22'56''$	$Xc = 22,238$	
$Yc = 0,087$	$Lc = 39,498$	$Yc = 0,087$	$TC = 9+138,849$
$H = 7,414$	$St = 19,752$	$H = 7,414$	$CC = 9+161,087$
$U = 7,414$	$Gc = 1,206255$	$U = 7,414$	$CC = 9+200,585$
	$D/m = 1,809382$		$CT = 9+222,823$
	$Tc = 41,997$		
	$Rc = 949,978$		
	$Rn = 950,000$		

C L O T O I D E				D E F L E X I O N E S		
C O R D E N A D A S		D E F L E X I O N E S		D E F L E X I O N E S		
L	X	Y				
TC- 00.000	00.000	00.000	00°	00'	00"	
1- 2,180	2,180	0,000	00	00	13,75	
2- 4,360	4,360	0,001	00	00	27,5	
3- 6,541	6,541	0,002	00	01	08,75	
4- 8,721	8,721	0,005	00	02	03,76	
5- 10,901	10,901	0,010	00	03	12,51	
6- 13,081	13,081	0,018	00	04	37,31	
7- 15,261	15,261	0,028	00	06	19,13	
8- 17,442	17,442	0,042	00	08	15,03	
9- 19,622	19,622	0,060	00	10	26,44	
10- 21,802	21,802	0,082	00	12	52,81	
CC- 22,238	22,238	0,087	00	13	24,84	

C I R C U L A R						
C A D E N A M I E N T O S		D E F L E X I O N E S			C O O R D E N A D A S	
					X	Y
CC-	9+161,087	00°	00'	00"	0,000	0,000
1-	9+165,000	00	07	04,8	3,913	0,008
2-	9+170,000	00	16	07,61	8,913	0,042
3-	9+175,000	00	25	10,43	13,913	0,102
4-	9+180,000	00	34	13,25	18,912	0,188
5-	9+185,000	00	43	16,06	23,911	0,301
6-	9+190,000	00	52	18,88	28,910	0,440
7-	9+195,000	01	01	21,69	33,908	0,605
8-	9+200,000	01	10	24,5	38,905	0,797
9-	9+200,585	01	11	28,01	39,489	0,821
10-						
11-						
12-						
13-						
14-						
15-						
16-						
17-						

D A T O S D E		C L O T O I D E	
$\angle = 00^{\circ}40'14''$	PI = 9+180,795	$\angle = 00^{\circ}40'14''$	
Lcl = 22,201	$\Delta = 3^{\circ}43'24''$	Lcl = 22,201	
Xc = 22,201	$\Delta c = 2^{\circ}22'56''$	Xc = 22,201	
Yc = 0.087	Lc = 39,432	Yc = 0.087	TC = 9+138.867
H = 7.402	St = 19,719	H = 7.402	CC = 9+161.068
U = 7.402	Gc = 1.208258°	U = 7.402	CC = 9+200.500
	Dm = 1.812387'		CT = 9+222.701
	Tc = 41.928		
	Rc = 948.403		
	Rn = 948.425		

C L O T O I D E			
C O O R D E N A D A S		D E F L E X I O N E S	
L	X	Y	
TC-	00.000	00.000	00° 00' 00"
1-	2.177	2.177	00 00 13.75
2-	4.353	4.353	00 00 27.50
3-	6.530	6.530	00 01 08.75
4-	8.706	8.706	00 02 03.76
5-	10.883	10.883	00 05 12.51
6-	13.060	13.060	00 04 37.31
7-	15.236	14.236	00 06 19.13
8-	17.413	17.413	00 08 15.04
9-	19.589	19.589	00 10 26.44
10-	21.766	21.766	00 12 52.81
CC-	22.201	22.201	00 13 24.84

C I R C U L A R						
CADENAMIENTOS		DEFLEXIONES			COORDENADAS	
					X	Y
CC-	9+161.068	00°	00'	00"	0.000	0.000
1-	9+165.000	00	07	07.57	3.932	0.008
2-	9+170.000	00	16	11.29	8.932	0.042
3-	9+175.000	00	25	15.01	13.932	0.102
4-	9+180.000	00	34	18.72	18.931	0.189
5-	9+185.000	00	43	22.44	23.930	0.302
6-	9+190.000	00	52	26.15	28.929	0.441
7-	9+195.000	01	01	29.87	33.927	0.607
8-	9+200.000	01	10	33.59	38.924	0.799
9-	9+200.500	01	11	27.96	39.423	0.820
10-						
11-						
12-						
13-						
14-						
15-						
16-						
17-						

D A T O S D E		C L O T O I D E	
$\angle = 00^{\circ}40'14''$	$PI = 9+180.897$	$\angle = 00^{\circ}40'14''$	
$Lcl = 22.275$	$\Delta = 3^{\circ}43'24''$	$Lcl = 22.275$	
$Xc = 22.275$	$\Delta c = 2^{\circ}22'56''$	$Xc = 22.275$	
$Yc = 0.087$	$Lc = 39.563$	$Yc = 0.087$	$TC = 9+138.830$
$H = 7.427$	$St = 19.785$	$H = 7.427$	$CC = 9+161.105$
$U = 7.426$	$Gc = 1.204258$	$U = 7.426$	$CC = 9+200.668$
	$Dm = 1.806387$		$CT = 9+222.943$
	$Tc = 42.067$		
	$Rc = 951.553$		
	$Rn = 951.575$		

C L O T O I D E			
C O O R D E N A D A S		D E F L E X I O N E S	
L	X	Y	
TC-	00.000	00.000	00° 00' 00"
1-	2.184	2.184	00° 00' 13.75
2-	4.368	4.368	00 00 27.5
3-	6.551	6.551	00 01 08.75
4-	8.735	8.735	00 02 03.76
5-	10.519	10.919	00 03 12.57
6-	13.103	13.103	00 04 37.31
7-	15.287	15.287	00 06 19.13
8-	17.471	17.471	00 08 15.04
9-	19.654	19.654	00 10 26.44
10-	21.838	21.838	00 12 52.81
CC-	22.275	22.275	00 13 24.84

C. I R C U L A R				
CADENAMIENTOS	DEFLEXIONES	C O O R D E N A D A S		
		X	Y	
CC-	9+161.105	00° 00' 00"	0.000	0.000
1-	9+165.000	00 07 02.15	3.895	0.008
2-	9+170.000	00 16 04.06	8.895	0.042
3-	9+175.000	00 25 05.98	13.895	0.101
4-	9+180.000	00 34 07.90	18.894	0.188
5-	9+185.000	00 43 09.81	23.893	0.3000
6-	9+190.000	00 52 11.73	28.892	0.439
7-	9+195.000	01 01 13.64	33.890	0.624
8-	9+200.000	01 10 15.56	38.887	0.795
9-	9+222.668	01 11 27.96	39.554	0.822
10-				
11-				
12-				
13-				
14-				
15-				
16-				
17-				

D A T O S D E		C L O T O I D E	
$\alpha = 00^{\circ}40'14.23''$	$PI = 9+337.772$	$\alpha = 00^{\circ}40'14.23''$	
$Lcl = 22.2380$	$\Delta = 7^{\circ}54'35''$	$Lcl = 22.2380$	
$Xc = 22.238$	$\Delta c = 6^{\circ}34'06.55''$	$Xc = 22.238$	
$Yc = 0.08761$	$Lc = 108.907116$	$Yc = 0.08761$	$TC = 9+260.975$
$H = 7.414419$	$St = 54.513$	$H = 7.414419$	$CC = 9+283.213$
$U = 7.413912$	$Gc = 1.206255^{\circ}$	$U = 7.413912$	$CC = 9+392.122$
	$D/m = 1.8093$		$CT =$
	$Tc = 76.797$		
	$Rc = 949.978150$		
	$Rn = 950.000$		

C L O T O I D E			
C O R D E N A D A S		D E F L E X I O N E S	
L	X	Y	
TC-	00.000	00.000	00° 00' 00"
1-	2.180	2.180	00 00 13.75
2-	4.360	4.360	00 00 27.5
3-	6.541	6.541	00 01 08.75
4-	8.721	8.721	00 02 03.76
5-	10.901	10.901	00 03 12.51
6-	13.081	13.081	00 04 37.31
7-	15.261	15.261	00 06 19.13
8-	17.442	17.441	00 08 15.04
9-	19.622	19.622	00 10 26.44
10-	21.802	21.802	00 12 52.81
CC-	22.238	22.238	00 13 24.84

C I R C U L A R				
CADENAMIENTOS		DEFLEXIONES	C O O R D E N A D A S	
			X	Y
CC-	9+283.213	00° 00' 00"	0.000	0.000
1-	9+290.000	00 12 16.81	6.782	0.022
2-	9+300.000	00 30 22.44	16.786	0.133
3-	9+310.000	00 48 28.07	26.785	0.340
4-	9+320.000	01 06 33.7	36.781	0.641
5-	9+330.000	01 24 39.33	46.776	1.037
6-	9+340.000	01 42 44.95	56.766	1.527
7-	9+350.000	02 00 50.59	66.754	
8-	9+360.000	02 18 56.21	76.736	2.792
9-	9+370.000	02 37 01.85	86.714	3.567
10-	9+380.000	02 55 07.48	96.685	4.436
11-	9+390.000	03 13 13.10	106.650	5.399
12-	9+392.122	03 17 03.26	108.762	5.616
13-				
14-				
15-				
16-				
17-				

D A T O S		D E		C L O T O I D E	
$\angle = 00^{\circ}40'14.2''$	PI = 9+337.881	$\angle = 00^{\circ}40'14.2''$			
Lcl = 22.275	$\Delta = 7^{\circ}54'3$	Lcl = 22.275			
Xc = 22.275	$\Delta c = 6^{\circ}3$	Xc = 22.275			
Yc = 0.087	Lc = 109.088	Yc = 0.087	TC = 9+260.956		
H = 7.425	St = 54.604	H = 7.425	CC = 9+283.231		
U = 7.425	Gc = 1.2042579°	U = 7.425	CC = 9+392.319		
	Dm = 1.8063869'		CT = 9+414.594		
	Tc = 76.925				
	Rc = 951.553				
	Rn = 951.575				

C L O T O I D E				D E F L E X I O N E S		
C O O R D E N A D A S						
L	X	Y				
TC-	00.000	00.000	00.000	00°	00'	00"
1-	2.184	2.184	0.000	00	00	13.75
2-	4.368	4.368	0.001	00	00	27.5
3-	6.551	6.551	0.002	00	01	08.75
4-	8.735	8.735	0.005	00	02	03.76
5-	10.919	10.919	0.010	00	03	12.51
6-	13.103	13.103	0.018	00	04	37.31
7-	15.287	15.287	0.028	00	06	19.13
8-	17.471	17.470	0.042	00	08	15.04
9-	19.654	19.654	0.060	00	10	26.44
10-	21.838	21.838	0.082	00	12	52.81
CC-	22.275	22.275	0.087	00	13	24.84

C I R C U L A R						
CADENAMIENTOS		D E F L E X I O N E S			C O O R D E N A D A S	
					X	Y
CC-	9+283.231	00°	00'	00"	0.000	0.000
1-	9+290.000	00	12	13.64	6.769	0.024
2-	9+300.000	00	30	17.48	16.768	0.148
3-	9+310.000	00	48	21.31	26.766	0.377
4-	9+320.000	01	06	25.13	36.762	0.710
5-	9+330.000	01	24	28.97	46.755	1.149
6-	9+340.000	01	42	32.8	56.744	1.693
7-	9+350.000	02	00	36.64	66.728	2.342
8-	9+360.000	02	18	40.46	76.707	3.096
9-	9+370.000	02	36	44.3	86.679	3.955
10-	9+380.000	02	54	48.13	96.644	4.918
11-	9+390.000	03	12	51.97	106.601	5.987
12-	9+392.319	03	17	03.31	108.909	6.250
13-						
14-						
15-						
16-						
17-						

D A T O S D E		C L O T O I D E	
TC = 00°40'14.2"	Pt = 9+337.663	TC = 0°40'14.2"	
Lcl = 22.201	Δ = 7°54'35"	Lcl = 22.201	
Xc = 22.201	Δc = 6°34'06.5"	Xc = 22.201	
Yc = 0.087	Lc = 108.727	Yc = 0.087	TC = 9+260.993
H = 7.400	St = 54.423	H = 7.400	CC = 9+283.194
U = 7.400	Gc = 1.2082581	U = 7.400	CC = 9+391.921
	Dm = 1.8123871		CT = 9+414.122
	Tc = 76.670		
	Rc = 948.403		
	Rn = 948.425		

C L O T O I D E				D E F L E X I O N E S		
C O R D E N A D A S			D E F L E X I O N E S			
L	X	Y	00°	00'	00"	
TC- 00.000	00.000	00.000	00	00	13.75	
1- 2.177	2.177	0.000	00	00	27.5	
2- 4.353	4.353	0.001	00	01	08.75	
3- 6.530	6.530	0.002	00	02	03.76	
4- 8.706	8.706	0.005	00	03	12.51	
5- 10.883	10.883	0.010	00	04	37.31	
6- 13.060	13.060	0.018	00	06	19.13	
7- 15.236	15.236	0.028	00	08	15.04	
8- 17.413	17.413	0.042	00	10	26.44	
9- 19.589	19.589	0.059	00	12	52.81	
10- 21.766	21.766	0.082	00	13	24.84	
CC- 22.201	22.201	0.087				

C I R C U L A R				
CADENAMIENTOS	D E F L E X I O N E S	C O O R D E N A D A S		
		X	Y	
CC- 9+283.194	00° 00' 00"	0.000	0.000	
1- 9+290.000	00 12 20.11	6.806	0.024	
2- 9+300.000	00 30 27.53	16.805	0.149	
3- 9+310.000	00 48 34.97	26.803	0.379	
4- 9+320.000	01 06 42.40	36.799	0.714	
5- 9+330.000	01 24 49.83	46.792	1.155	
6- 9+340.000	01 42 57.26	56.781	1.701	
7- 9+350.000	02 01 04.7	66.765	2.352	
8- 9+360.000	02 19 13.13	76.743	3.109	
9- 9+370.000	02 37 19.56	86.715	3.971	
10- 9+380.000	02 55 26.99	96.680	4.938	
11- 9+390.000	03 13 34.43	106.637	6.011	
12- 9+391.921	03 17 03.32	108.548	6.229	
13-				
14-				
15-				
16-				
17-				

*LISTA DE NOMENCLATURA*

## LISTA DE NOMENCLATURA

## CLOTOIDE

O	Origen de la clotoide.
X, Y	Coordenadas rectangulares.
S, w	Coordenadas polares.
Lcl	Longitud del arco de clotoide.
Rc	Radio de la curva circular.
Xm	Abscisa del punto B.
E	Desplazamiento de la curva circular.
T	Abscisa de la subnormal.
F	Normal.
H	Tangente.
U	Subtangente.
$\varphi$	Angulo de la tangente.
$\Delta$	Angulo de intersección de dos tangentes.

$$\lambda = \frac{e}{R} = \frac{E}{R}$$

$$\xi = \frac{\rho}{r} = \frac{L}{R}$$

Constantes independiente del parámetro.

## CIRCULAR

PI	= Punto de intersección de dos tangentes.
$\Delta$	= Deflexión en el PI.
R	= Radio de curvatura.
ST	= Subtangente de la curva.
Lc	= Longitud de la curva.
D/m	= Deflexión por metro en minutos.
G°	= Grado de curvatura.
E	= Externa
F	= Flecha.
M	= Ordenada media.
C	= Cuerda.

## CALCULO DE CURVAS COMPUESTAS.

V	= Velocidad máxima autorizada.
Sm	= Pendiente máxima de enlace.
Ltc	= Longitud teórica de clotoide.
Rn	= Radio nominal.
Rc	= Radio real.
Lcl	= Longitud real de clotoide.
C	= Cuerda de la curva circular real.
STcn	= ST de la curva circular nominal.

## LETRAS DEL ALFABETO GRIEGO,

 $\lambda$  = lamda. $\xi$  = epsilon. $\tau$  = tau. $\rho$  = ro. $\omega$  = omega. $\frac{dy}{dx}$  = Derivada de  $y=f(x)$  con respecto a  $x$ . $\frac{d^2y}{dx^2}$  = Segunda derivada de  $y=f(x)$  con respecto a  $x$ . $\int_a^b$  = Integral entre los límites  $a$  y  $b$ .

## *GLOSARIO DE TERMINOS*

## GLOSARIO DE TERMINOS

- Andén : Espacio físico dentro de la estación destinado para el ascenso y descenso de pasajeros del tren.
- Azimut : Es el ángulo que forma una línea con la dirección Norte - Sur, medido de 0° a 360° a partir del Norte, en el sentido del movimiento del reloj.
- Balasto : Material pétreo que cumple con ciertas características y sirve para apoyar la vía.
- Boque : Unidad motriz sobre los cuales van montados los vagones del convoy.
- Bateado : Operación mecánica con la cual se compacta el balasto.
- Cadenamiento : Medida a partir de un punto fijo previamente establecido con la cual conocemos longitudes.
- Cajón Normal : Estructura que aloja a la vía y sus instalaciones, desplantada lo más cerca de la superficie, pero bajo ella.
- Cárcamo de Bombeo : Depósito para la recolección de aguas pluviales y su bombeo al sistema de alcantarillado.
- Clotoide : Curva de transición, entre la tangente y una curva circular.
- Convoy : Se llama así al conjunto de vagones que forman el tren.
- Crucetas : Se refiere a la barra guía con un plano inclinado en el extremo, se utiliza para absorber la dilatación térmica ó para seccionar un tramo de otro de energía eléctrica.
- Entrevía : La distancia existente entre los dos ejes de vías, comunmente 2.90, 3.15, 3.35, 4.20 mts.
- Gálibo : Espacio mínimo requerido para alojar las instalaciones y los trenes en movimiento.
- Interestación : Distancia longitudinal medida entre dos estaciones.
- Paramento : Límite entre la vialidad y los predios adyacentes, dentro de la zona urbana.
- Paramento : Valor constante que representa una cantidad física y con la cual se realizan comparaciones.
- Pasarela : Conducto para el paso de pasajeros de un andén a otro, en las estaciones de correspondencia.
- Planchuelas : Elemento de fijación para una unión mecánica de riel y pista de rodamiento, pueden ser metálicas o aislantes.

Postensado ; Es el tensado que se le da al acero de refuerzo para lograr el preesfuerzo,

Sobreelevación: Elevación que se le da a la vía en zona de curva para limitar los efectos de la fuerza centrífuga.

Tirafondo : Elemento de sujeción del riel y la pista de rodamiento al durmiente.

Traviesa : Denominación dada a los durmientes.

Trocha : Separación nominal entre los hongos de los rieles que constituyen la vía, su valor es de 1.435 y 1.439 mts en tangente y en curva respectivamente.

Zapata: Elemento para el frenado de los carros, que trabaja por fricción con las ruedas metálicas del bogie.

Velocidad

Comercial: Es la relación de la distancia recorrida de un extremo de la Línea a otro, entre el tiempo empleado en su recorrido, considerando, entre otros, la marcha tipo en cada tramo interestación y los tiempos de parada (constantes) en los diferentes tipos de estación.

## *CONCLUSIONES*

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

Esta tesis es la recopilación de datos del proyecto y de la mayoría de especificaciones y criterios de diseño geométrico, por lo que es pertinente aclarar que no ha sido necesario realizar investigaciones más profundas, este hecho se justifica en parte por la escasez de publicaciones con este tema en México.

El objetivo principal es el mostrar las técnicas y métodos de que se auxilia el ingeniero civil para realizar el Proyecto Geométrico y de Ingeniería de vía.

Como antecedente más inmediato del proyecto geométrico del Metro tenemos el proyecto de Ferrocarriles y el proyecto de carreteras y aunque guardan alguna similitud, el proyecto geométrico de Metro tiene otras exigencias, todas ellas nuevas en un país en desarrollo y sin tecnología propia como es el caso de México.

Hasta el momento la metodología existente aplicada al proyecto ha sido operante, pero con el transcurso de los años, la evolución del material de rodamiento, los avances en electrónica, incluso la demanda misma de transporte, hará que estas disposiciones se modifiquen. esto es fácil de apreciar ya que la concepción de la Línea - 4 no se ha realizado con los mismos criterios de las primeras líneas en la etapa inicial, en la que intervinieron directamente los técnicos europeos.

Los trabajos actuales distan mucho de los desarrollados - 15 años atrás en lo que se refiere a la topografía por ejemplo, se utiliza equipo con mayor precisión y más fácil manejo y así se pueden enumerar otros ejemplos en especialidades como Mecánica de Suelos, Estructuras, Hidráulica, Etc.

La aportación que constituye este trabajo es para aquellas personas relacionadas con el proyecto del Metro, en donde el proyecto geométrico es sólo una parte de todo el conjunto de acciones necesarias para lograr poner en marcha el servicio al público si se llevan a cabo las disposiciones con que se cuenta, se logrará que el Metro opere con las máximas exigencias de confort, seguridad, rapidez y economía de costo y tiempo, todo ello en beneficio del público usuario por lo que es importante el conocer y manejar íntegramente los requerimientos y especificaciones existentes en materia de proyecto geométrico del Metro.

## *BIBLIOGRAFIA*

- CUESTA LEDESMA RAMON, Proyecto geométrico del tramo: Tacubaya Observatorio del Metropolitano de la -- Ciudad de México. Tesis profesional --- UNAM.
- DAMIAN GARCIA HUGO. Proyecto geométrico del Metropolitano. Tesis profesional IPN.
- M. TOGNO FRANCISCO. Ferrocarriles. Representaciones y Servi--- cios de Ingeniería, México.
- SALAZAR TORRES ALFREDO. Topografía. México 1978.
- ASOCIACION MEXICANA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, A.C. La industria automotriz en México en cifras 1982.
- COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MEXICO. Revista de ingeniería civil,
- DEPARTAMENTO DE DISTRITO FEDERAL. Plan de desarrollo urbano -- del Distrito Federal. 1982.
- S.A.H.O.P. Manual de Proyecto Geométrico para carreteras. México.
- REGIE AUTONOME DE TRANSPORTS PARISIENS (RATP). Construcción -- des metros établissement des projects. Francia.