



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

136
26/4/85

**“PROYECTO GEOMETRICO DEL METROPOLITANO
DE LA CIUDAD DE MEXICO”
LINEA 7, TRAMO TACUBA - SAN JOAQUIN**

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

Agustín Osorio Guadalupe



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
I.- ANTECEDENTES HISTORICOS.....	4
I.1.- Principios fundamentales para la concepción de una "red del metro".....	8
II.- PROYECTO DE TRAZO	
II.1.-Aspectos Generales.....	13
II.2.-Planteamiento Preliminar.....	16
II.2.1 Restricciones.....	16
II.3.- Proyecto Definitivo de Trazo.....	19
II.3.1.-Procedimiento de cálculo de una curva horizontal.....	20
II.3.2.-Cálculo de la curva clotoide.....	23
II.3.3.-Trazo de curvas en campo.....	30
II.4.- Alineamiento en Perfil.....	36
II.4.1.-Alineamiento en perfil anteproyecto.....	36
II.4.2.-Restricciones en perfil.....	37
II.5.- Proyecto Definitivo de Perfil.....	39
II.5.1.-Ejemplo de cálculo de curvas verticales.....	40
III.- PROYECTO DE GALIBOS	
III.1.- Definición de Proyecto de Galibos.....	47
III.2.-Características Generales del Equipo de Rodamiento.....	49
III.2.1.-Sistema de vía.....	49
III.2.2.-Características de los carros de un tren.....	50

	Pág.
III.2.3.-Aparatos de vía.....	52
III.3.- Gálibo Horizontal.....	56
III.4.- Gálibo Vertical.....	67
III.5.- Aspectos Generales de la Construc- ción del Túnel.....	71
III.5.1.-Revestimiento definitivo.....	74
IV.- IMPLANTACION DE VIA	
IV.1.- Implantación de Vía-Trazo.....	76
IV.1.1.-Cálculo de la curva del eje de vía interior.....	79
IV.1.2.-Cálculo de la curva del eje de vía exterior.....	81
IV.1.3.-Cálculo del desplazamiento del PI....	83
IV.1.4.-Cálculo de la bayoneta.....	86
IV.2.- Perfil.....	88
IV.2.1.-Restricciones.....	89
IV.3.- Sobre-elevaciones.....	92
IV.3.1.-Ejemplo numérico para el cálculo de sobre-elevaciones.....	97
V.- CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....	101
BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCION

La Ciudad de México es en la actualidad una de las más pobladas del mundo, que si continúa con el mismo índice de crecimiento, ésta contará con más habitantes para el año 2000; por esta razón surgen infinidad de problemas, que requerirá las decisiones políticas contemplando cabalmente el desarrollo nacional, primordialmente en relación al proceso de industrialización y desarrollo urbano del país.

En atención a los problemas, la ciudad afronta uno de los principales; el problema del "tránsito". Este problema requiere de una solución inmediata, propiciando la búsqueda de varias alternativas de soluciones inmediatas para la vialidad y el transporte urbano, que se realizaban simultáneamente.

Obviamente que estas soluciones resultaban insuficientes, ya que la población seguía creciendo y consecuentemente el número de vehículos, provocando éstos grandes congestionamientos en avenidas y periferias principales, haciendo imposible el desplazamiento libre sobre éstas.

Posteriormente, viendo los resultados obtenidos antes nunca satisfacían los obtenidos, hubo que realizarse otros estudios, tomando como parámetros los estudios hechos en otros países, enfocándose a la búsqueda de un transporte capaz de mover grandes volúmenes de pasajeros, a un costo mínimo y una operación fácil de ejecutar.

Los estudios se realizaron sobre los siguientes puntos más importantes como son: estudios de factibilidad técnica, estudios financieros, etc. Uno de los principales problemas que se presentó son las características de los suelos para alojar las vías férreas, éstas vías serán para rodadura sobre neumáticos y ruedas metálicas de seguridad.

En el presente trabajo nos concretaremos a los análisis técnicos fundamentales para el proyecto de las características geométricas aplicados en una línea del Metro - en México, tomando un tramo en Túnel de la Línea No. 7 del Tramo: Tacuba-San Joaquín. Los análisis que se integrarán para el proyecto de trazo, son: alineamiento horizontal, alineamiento vertical (perfil), apoyándose con los levantamientos fotogramétricos y topográficos. Para la elaboración del proyecto de trazo, es necesario e importante la localización de las instalaciones municipales, como son : tubería de agua potable, alcantarillado, ductos de teléfonos de México, ductos de la comisión federal de electricidad, etc. con el fin de evitar la afectación de éstas, y minimizar al mismo tiempo el costo de la construcción. Se elaborarán los planos respectivos; este es el de Proyecto de Trazo, de Instalaciones Municipales y el de Proyecto de Perfil.

Una vez realizados los proyectos anteriores se procede al Proyecto de Gálibos, esto es el diseño de la geometría, que requerirá un tren para circular libremente

dentro del túnel ó cajón, tanto horizontal (transversal) y verticalmente, que se prevé, considerando las características del tren, balanceo por suspensión, por sobre-elevación, etc. llegándose a las soluciones diferentes según estudios de la mecánica de los suelos. Para el proyecto de gálidos se consideraron además de las instalaciones eléctricas, señalizaciones, y las ampliaciones en tramo curva, cuando los radios sean menores de 500 m. y cuando éstas tengan radios mayores se considerarán como en tramos tangente, y adicionalmente se toma en cuenta la entrevía que será necesario para que los trenes no se junten en el encuentro.

Las características del material rodante, es otra de las que se consideraron importantes para el buen dimensionamiento del gálido horizontal.

Finalmente se elabora el plano de Implantación de Vía, ésta se realiza después de haber concluido la construcción de la estructura que sustentará las vías, haciendo nuevos levantamientos topográficos, de trazo, nivelaciones y los gálidos correspondientes. De los levantamientos se dibujan para elaborar un plano respectivo a escalas adecuadas con el fin de poder observar bien de algunos puntos críticos de los gálidos, trazo y nivelaciones; que se compararán con los de proyecto, y se harán nuevos análisis para el trazo de los ejes de vía y de la rasante definitivo.

I.- ANTECEDENTES HISTORICOS

El Metropolitano nace en Londres hace más de un siglo, ésta ciudad necesitaba un transporte para la afluencia de miles de personas diariamente, estimada de aproximadamente ochocientos mil, fué cuando una compañía - constructura se dedicó a los estudios para la construcción del tren subterráneo. El proyecto fué realizado - por la compañía denominada North Metropolitan Railway Company, la cuál recibió el nombre de "Metropolitano". En la actualidad, la ciudad de México tiene una población muy numerosa, así pues se predice que para el año 2000, ésta se multiplicará y se verá saturada surgiendo infinidad de problemas que será necesario buscar - soluciones inmediatas .

Los problemas se crean cada vez más, debido al crecimiento de la población sin poder frenar dicho fenómeno y consecuentemente crecerá el número de vehículos. La población del Distrito Federal es muy notable, que se estima de aproximadamente de nueve y medio millones de habitantes, con una tasa de crecimiento anual en - la presente década de 2.95%.

Sumándose la población económicamente activa, que viven en las zonas adyacentes de la metrópoli y que requieren de los mismos servicios de transporte urbano, resultando ser un total de catorce millones aproximadamente.

Con los antecedentes anteriores se crearon graves y crecientes problemas del transporte urbano y el congestionamiento de tránsito, la cuál se distingue la coexistencia del problema de vialidad y el transporte, viéndose en la necesidad las autoridades del D.D.F. a resolver estos problemas simultáneamente e inmediato, ya que de no hacerlo sería catastrófico en tan pocos años, porque se paralizaría la zona urbana sin poder resolverse a corto plazo.

Motivados así para realizar estudios de encontrar posibles soluciones proponiendo diferentes alternativas, y que sólo resolvían parcialmente el problema. Encontrándose como primer medio de transporte los tranvías, estos vehiculos se desplazaban con baja velocidad y - que de los cuales fueron desplazados o substituidos - por los autobúses urbanos y trolebúses, abarcando en casi todas las zonas de la ciudad.

Estas resultaban sin embargo, insuficientes que fué necesario complementar con el transporte de los peseros con rutas asignadas que concurrían hacia el centro de la ciudad, disminuyendo así en su parcialidad al tránsito de vehículos particulares que estos habrían de recorrer.

Pero todos los servicios de transporte sólo resultaban un auxilio al problema, sin llegar a una solución que fuera realmente eficaz. Propiciando estudios de las posibilidades de la construcción de un sistema de trans-

porte colectivo en grandes volúmenes o masivo, de vía libre, operando y coordinado con los sistemas de transporte ya existentes para la solución del desplazamiento de los pasajeros y paralelamente al problema de tránsito, que diariamente se origina en el centro de la ciudad.

Evidentemente que la solución fundamental para el transporte masivo, es imposible orientar hacia el centro de la ciudad y en zonas congestionadas por el sistema superficial. Tal situación y mediante la planeación racional de los medios de transporte existentes en otros países del mundo, se vió la conveniencia de construir el ferrocarril Metropolitano que se convertiría en la columna vertebral del sistema integral del transporte. No obstante por la construcción de este transporte en la ciudad, su realización se vió paralizada durante varios años, por problemas diversos; algunos de estos fueron de la tecnología no disponible en México, los económicos, etc.

Un problema principal que se presentaba en la ciudad es el subsuelo, por las características que ésta tenía, impedía la construcción del desplante o la cimentación de las estructuras de gran magnitud y sobre todo para la ejecución de conductos subterráneos de grandes longitudes.

En cuanto a las tarifas, que estará a disposición del usuario, era más barato que en otros países, la cuál,

en un análisis económico de operación resulta ser muy costosa y que tendría que intervenir el gobierno federal mediante un subsidio. Por otra parte había que superar los problemas técnicos, los cuales fueron importados al principio para la construcción del metro en la ciudad de México y el financiamiento del extranjero. Para la determinación de las primeras líneas según experiencias internacionales, demuestran que el transporte es un problema de carácter dinámico, que no se pueden obtener soluciones integrales inmediatas, y que el desarrollo del transporte colectivo se va logrando a base de las experiencias y resultados obtenidos de los proyectos anteriores, la construcción y operación de cada línea.

Los trazos ideales estarán sujetos a modificaciones, consecuencia de las condiciones de servicio a determinadas zonas, del tipo de subsuelo, de interferencias con instalaciones municipales subterráneas, monumentos históricos, ductos de PEMEX, ductos de TELMEX, ductos de la C.F.E., etc. dichas modificaciones no deben ser radicales, si el trazo inicial se ha logrado mediante estudios fundamentados con los reales.

En términos generales, una red de transporte urbano - rápido se inicia con dos líneas principales, perpendiculares entre sí y se desarrolla mediante la construcción de líneas paralelas, formándose a futuro en una cuadrícula teóricamente.

En base a los criterios anteriores se creó el "PLAN. - RECTOR DE VIALIDAD Y TRANSPORTE URBANO" cuyo objetivo consiste principalmente en la implantación de un sistema integral, coordinado por el sistema de transporte y orientado por una clara política social que garantiza la prestación de un servicio eficiente de transporte.

El Plan Rector de Vialidad y Transporte Urbano, se llevan a cabo estas acciones mediante los planes de metro, del transporte superficial y el de estacionamientos, - que se requieren para aliviar o satisfacer gradualmente la movilidad urbana con prospectos hacia el año - 2000.

I.1.- Principios fundamentales que deben considerar para la concepción de una " red del metro " a saber:

A.- Tránsito; para este aspecto, las líneas del metro deben cumplir con las siguientes consideraciones:

1.- Corresponder con las corrientes establecidas de circulación sobre las que transitan diariamente los mayores volúmenes de pasajeros y cubrir la zona de mayor densidad.

2.- Dar servicio en las zonas más congestionadas, - eliminando en gran parte los medios de transporte de superficie y particularmente de vehículos

personales.

- 3.- Se pretende abarcar los centros de actividades principales de la metrópoli.
- 4.- Permitir a los usuarios un ahorro de tiempo en sus recorridos, procurando los trazos de las líneas del metro lo más rectas posibles e interconexiones múltiples.

B.- Operación; en relación a este aspecto debe el sistema:

- 1.- Obtener el máximo número de pasajeros, lo que dependerá la localización correcta de las líneas - en base a la información que se tengan.
- 2.- Lograr un movimiento regular de pasajeros , durante el día, con lo que se obtendrá en la operación de la red una mayor economía.
- 3.- Lograr una velocidad comercial alta, mediante un trazo con mínimo de curvas y estaciones, compatibles estas últimas con la población servida y su localización en los sitios de mayor movimiento.
- 4.- Asegurar el servicio con el menor número de trenes y con un mínimo de gastos de operación.
- 5.- Permitir la reestructuración progresiva y complemento de los transportes superficiales y la coordinación con el metro.

C.- Construcción; para este aspecto se debe considerar:

- 1.- El monto de la inversión que corresponde a los

puntos difíciles de las líneas.

- 2.- Las molestias y el costo que representarán los desvíos de tránsito durante la construcción de la obra.
- 3.- Las ventajas y desventajas de la solución elegida, en comparación con otras alternativas de trazo.
- 4.- El costo de las desviaciones y de las instalaciones municipales entre otros.
- D.- Condiciones particulares de la ciudad de México. Evidentemente que el establecimiento de la red de tránsito debía adaptarse a las condiciones particulares de nuestra metrópoli, se concretaron en los puntos siguientes:
 - 1.- El centroide de la población, se encontraba en la plaza de la constitución de hace algunos años, y que en la actualidad éste se encuentra desplazado hacia la colonia de los doctores localizándose aproximadamente entre Dr. Lavista y la Ave. Cuauhtémoc.
 - 2.- El servicio de transporte masivo y rápido se hacía necesario en las zonas muy transitadas; entre estas se encuentran en: la Calzada de Ignacio Zaragoza, Tacuba, Centro de la Ciudad principalmente, entre otras.
 - 3.- Debía preservarse el centro histórico y monumental de la capital.

- 4.- El trazo de las líneas no podía perjudicar ó anular las vías de transportación existentes.
- 5.- Era necesario seleccionar por lo menos una línea cuyo trazo contuviera el centroide de la población.

E.- Condiciones complementarias.

Otras condiciones referidas a la ciudad de México que se determinaron en la primera etapa del sistema fueron:

- 1.- Evitar el ingreso de los autobuses suburbanos y foráneos hacia el centro de la capital.
- 2.- Eliminar las líneas de tranvías que penetraban a la zona céntrica, destinando las unidades de esas rutas el servicio de las líneas que se conservarían.
- 3.- Cubrir al máximo la zona central con la red de trenes rápidos de manera tal, que la mayor parte del público de dicha zona, tenga acceso a una estación del metro con un corto recorrido.
- 4.- Permitir su adecuada integración con el futuro desarrollo de la red de tránsito rápido.

Después del difícil trabajo en estudios y proyectos, el 29 de abril de 1967 aparece en el diario oficial el decreto sobre la creación del sistema de transporte colectivo para construir, operar y explotar un ferrocarril urbano rápido, con recorrido subterráneo y superficial, para el transporte colectivo en la ciudad

del Distrito Federal. Las obras se inician el 19 de junio de 1967 y el 5 de septiembre de 1969 se inaugura la primera línea del metro de Zaragoza a Observatorio, con 11.5 Kms. de longitud y 16 estaciones.

La primera etapa del metro se constituyó con tres líneas básicas con una longitud operativa de 32 Kms. la cuál por acuerdo posterior, se amplía a 42.2 Kms. las cuales 32.1 Kms. son subterráneos y 10.1 Kms. en superficie, con un total de 48 estaciones simples y 3 de correspondencia.

Puede decirse que para éstas 3 líneas construidas, en el Distrito Federal, fueron sólo el principio, ya que cuando se inicia el metro, se concluye hasta llegar a integrarse en una verdadera red de servicio.

II.- PROYECTO DE TRAZO

II.1.- Aspectos Generales.

El planeamiento preliminar de la línea No. 7 del transporte Metropolitano se realiza después de haberse obtenido información de los estudios que se realizan con anterioridad sobre los factores importantes que intervienen para el proyecto de una línea de metro; tales como: flujo de pasajeros en el sistema de transporte existente de autobuses urbanos, suburbanos, taxis, peseros y otros, lo que indica la importancia que tendrá la línea de metro en toda su trayectoria, así como la densidad de la población es un factor muy importante para la justificación de dicha construcción.

Los estudios anteriores originaron diferentes alternativas de trazo. Es importante mencionar que se analizó íntegramente la línea, es decir, que los estudios se realizó en su totalidad, presentándose en cada una de estas alternativas diferentes, las combinaciones de la ubicación y el número de estaciones.

Posteriormente se analizaron para cada alternativa, la factibilidad técnica para el trazo y perfil; para esto fue necesario la elaboración de planos de localización de instalaciones municipales, ya que puede haber casos en que se desvíen dichas instalaciones según el tipo de solución.

En este caso para esta línea No. 7 , es en solución -

túnel, el cuál no fué tan problemático con las instalaciones municipales, ya que éstas se encontraban por encima del túnel, de donde sí pueden presentarse estas inconveniencias es en las soluciones siguientes: en solución tipo superficial, subterráneo y elevado por sus desplantes para éste último y de la estructura para las soluciones anteriores.

La toma de decisiones en esta etapa es muy importante para dar una solución adecuada, tomando la mejor de las alternativas. Además , para la decisión de una solución de una línea del metro, intervienen también los estudios de los suelos, desde su identificación hasta su comportamiento, para el buen dimensionamiento de las estructuras, la importancia de la vialidad en las avenidas en donde se tenderá el conducto y que para efectos de esta se alinearé sobre el centro del arroyo, procurando no afectar las vialidades existentes, las interferencias con otras líneas que conducirá a un ajuste en la reubicación de las estaciones, atendiendo de antemano la distancia especificada de 900 m. de longitud mínima de interestación y 150m. la longitud de estación, con la finalidad de atender al mayor número posible de pasajeros.

Después de realizados los estudios complementarios, se hacen los análisis comparativos de las ventajas y desventajas, de las diferentes alternativas que se -

presente, escogiendo la más conveniente tanto econó--
mico como en el aspecto funcional y estético.

Una vez definida la ruta de toda la línea No. 7 que -
partirá desde Tacuba hasta Barranca del Muerto; las
cuáles se iniciaron los trabajos con tramos de Tacuba
San Joaquín - Polanco - Auditorio y posteriormente se
prosiguió con los tramos de Auditorio - Constituyen-
tes - Tacubaya - San Pedro de los Pinos - San Antonio-
Mixcoac - Barranca del Muerto, teriendo un recorrido
por las calles de Ave. Lázaro Cárdenas y Golfo de Te-
huantepec, con una inflexión hacia la izquierda y lue-
go cambia de dirección a la derecha en Mar Okotsk, -
Golfo de México, continúa por Lago Hielmar, hacia el
Lago Onega, alineándose sobre Arquímedes, prolongándo-
se a un costado Pte. de la Calzada de Chivatito y Cal-
zada de Molino del Rey y finalmente sobre Parque Lira
y hasta Ave, Revolución con Tlacopac.

Esta línea cuenta con una lóngitud de 5832.141 m. y -
sumando 7976.405 m. que tiene para cada etapa de cons-
trucción que resulta ser un total de 13358.546 m. de -
longitud nominal desde Tacuba a Barranca del Muerto.

II.2.- Planteamiento Preliminar.

Una vez elegida y habiendo hecho los ajustes necesarios de la ruta, en planos fotogramétricos, considerando - los perfiles de nivelación, las interferencias más importantes que se encontraron y que por tal motivo se - tomó la solución en túnel para toda la línea.

En este trabajo trataremos de dar un criterio más usado para el proyecto geométrico del tramo: Tacuba- San Joaquín, sobre los proyectos de análisis técnicos.

El planteamiento preliminar se desarrolla en gabinete sobre una planta fotogramétrica escala 1:500 para el alineamiento horizontal y que simultáneamente se elaborará el estudio para el anteproyecto de perfil con la ayuda de las plantas fotogramétricas, se tienen elevaciones del terreno natural en m.s.n.m. donde se considera necesario llevar la línea de la subrasante aproximadamente paralela al nivel de terreno, esta etapa y para el proyecto definitivo.

II.2.1.- Restricciones.

- a.- El enlace o comunicación entre dos tangentes que se cruzan formando una deflexión, que se realizará por una curva circular compuesta - con clotoides en los extremos para la transición de la tangente a la curva circular y

viceversa, con radios mínimos de 150.00 m. para dar una mayor seguridad en la circulación de los trenes, teniendo así una sobre-elevación mínima.

- b.- En toda curva horizontal con radio menor a los 2500.00 m. existirá una sobre-elevación y se tomará el máximo que será de 160 mm.
- c.- Los aparatos de cambio de vía se localizan en tramos tangentes, tanto horizontal como verticalmente con pendiente igual a cero por ciento.
- d.- El enlace entre dos curvas horizontales consecutivas, deberá existir una distancia en tangente de 16.00 m. como mínima.
- e.- Se deberá utilizar el menor número posible de curvas.
- f.- Las estaciones tendrán 150.00 m. de longitud mínima entre cabeceras de andén y su ubicación será siempre en tangente con pendiente nula. En cuanto a la localización de las demás estaciones, se tomará en cuenta una longitud mínima de interestación de 900.00 m. considerando además los espacios disponibles para los accesos y evitar al máximo las afectaciones.
- g.- En toda curva horizontal en zona circular de-

berá ser de 12.00 m. de longitud como mínimo. Posteriormente en base a las restricciones dadas se trazan tangentes gráficamente, procurando pasar por el centro de la calle, y en ocasiones se alojan en un costado cuando son necesarios por las instalaciones. Las distancias y deflexiones se miden gráficamente entre las tangentes ayudándose con un transportador o por medio de distancias y la aplicación de la trigonometría para la obtención del ángulo, para la unión de las tangentes se realiza por medio de curvas compuestas con clotoides, calculándose aproximadamente estas, para tener una idea donde pasará el trazo, fijando un radio a cada curva no menor a 150.00 m. con velocidad mínima de 60Km/hr.

Particularmente en la zona de Estación Tacuba, hubo problemas con el puente de la vialidad de Ave. Marina Nacional, Calzada México Tacuba y la Calzada de Legaria siendo esta una razón por la que el trazo desviará su dirección por el Golfo de México y Mar Okotsk.

En este tramo sólo se localizan tres curvas, de las cuales dos son de deflexión muy fuerte, escogiendo radios de curvatura de 200.00, 375.00 y 1000.00 m. respectivamente.

Después de ejecutados los trabajos preliminares sobre las plantas fotogramétricas, se enviaron estos datos a campo para su ubicación o trazado por brigadas de topografía, que marcarán los puntos de control como son:

PST (punto sobre tangente) , P.O. (puntos obligados) y P.I. (puntos de inflexión) necesarias para la localización de las tangentes, midiéndose las distancias respectivas reales. Los puntos antes mencionados se localizan en lugares accesibles y visibles, cercanos a los paramentos de las esquinas de las calles, marcando los puntos con pintura o clavo para la relocalización en cualquier momento.

Las distancias se miden, tomando como referencia los puntos mencionados en los párrafos anteriores, las estaciones algunas veces se pueden considerar como referencia pero no es aconsejable porque se sujetan a algunas modificaciones posteriores.

Con los datos que se tienen de campo, se hacen todas las modificaciones necesarias, para comenzar el proyecto definitivo, contando además con niveles de terreno natural que se elaboran los planos de perfil para tener apoyo en estos y es donde definiremos la línea de la sub-rasante, definiéndose a la vez las pendientes máximas y mínimas.

II.3.- Proyecto Definitivo de Trazo.

Como mencioné anteriormente sobre el trazo y la ubicación de los puntos de control, se obtienen distancias de las tangentes y deflexiones reales, se procede a calcular las curvas horizontales a todo lo largo del

tramo y que a la vez se va cadeneando. Las curvas horizontales se constituyen por una curva circular real con enlaces clotoides para la transición de la tangente a la curva circular y de la circular a la tangente que en la figura No. 1 se definen los puntos principales que la componen.

II.3.1.- Procedimiento de cálculo de una curva horizontal.

Para el cálculo de una curva se parte de las siguientes consideraciones:

- a.- Que la pendiente máxima de enlace por los peraltes no debe ser mayor a 4 mm/m. considerando la siguiente expresión:

$$S_m = \frac{180}{V} ;$$

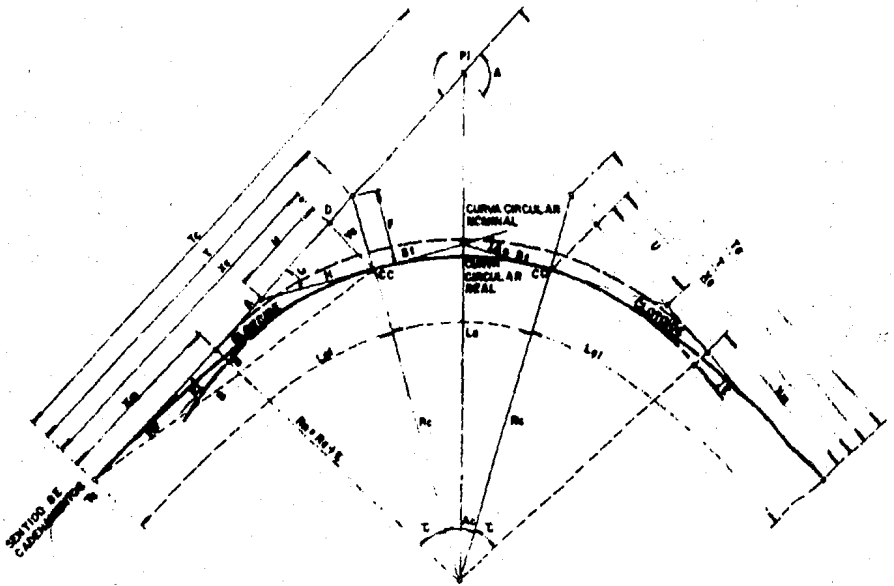
en donde;

V = velocidad máxima permitida.

- b.- De acuerdo a la expresión dada como condición para el cálculo de la pendiente máxima, se logra calculando la velocidad máxima permisible (V) que estará en función del radio nominal Rn con la expresión siguiente;

$$V = 5.13\sqrt{R_n} ;$$

el valor que se obtiene por medio de la expresión anterior, se redondea a un valor inmediato inferior en múltiplos de cinco.



S I M B O L O G I A

- PI : PUNTO DE INTERSECCION DE LAS TANGENTES.
- A : DEFLEXION EN EL PI.
- 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
- γ : ANGLULO TOTAL DE CADA CLOTOIDE
- Δc : ANGLULO CENTRAL DE LA CURVA CIRCULAR REAL
- g_c : GRADO DE LA CURVA CIRCULAR REAL
- R_n : RADIO DE LA CURVA CIRCULAR NOMINAL
- R_c : RADIO DE LA CURVA CIRCULAR REAL
- T_c : SUBTANGENTE TOTAL (DISTANCIA DEL PI. AL T.C.)
- T : ABCISA DE LA SUBNORMAL
- X_c : ABCISA DEL PUNTO CC
- Y_c : ORDENADA DEL PUNTO CC
- X_m : ABCISA DEL PUNTO "B"
- E : ORDENADA DEL PUNTO "B"
- U : DISTANCIA DEL PUNTO "A" AL X_c
- H : DISTANCIA DEL PUNTO "A" AL CC
- S : CUERDA LAMBA (DISTANCIA)
- W : DEFLEXION AL CC
- F : DISTANCIA NORMAL A LA CURVA CIRCULAR REAL DEL CC A LA SUBTANGENTE TOTAL
- Sl : SUBTANGENTE DE LA CURVA CIRCULAR REAL
- L_{cl} : LONGITUD DE LA CLOTOIDE
- L_c : LONGITUD DE LA CURVA CIRCULAR REAL

FIGURA - I

La expresión anterior solo es aplicable para radios - inferiores a los 250.00 m. Con esto se dá a entender de que para radios mayores ó iguales a 250.00 m. resultan velocidades superiores a los 80 Km/hr. la que por razones de orden práctico y de acuerdo a estudios realizados en otros países, se consideran de 80 Km/hr. c.- Unavez que ya se tenga conocida la velocidad, se calcula el peralte teórico (H_t) con la siguiente expresión:

$$H_t = \frac{11.8}{R_n} v^2$$

H_t es el peralte teórico calculado se restan 30 mm., y la diferencia de esta será el valor del peralte práctico calculado (H_{rc}), éste se redondeará al valor más próximo inmediato superior ó inferior en múltiplos de cinco para conocer el valor del peralte práctico (H_{ra}) que se aplicará a la curva para cálculos posteriores.

Esto no siempre sucede, debido a que se especifica - $H_r = 160$ mm. de peralte práctico siendo el valor anterior el máximo permitido.

Ejemplos:

1).- Para un $R_n = 150.00$ m.

$v = 5.13\sqrt{150} = 62.829$; que redondeando nos queda igual a 60Km/hr. luego para calcular el peralte teóri-

co (H_t) se calcula con la expresión dada :

$$H_t = \frac{11.8}{150}(60)^2 = 283.2 \text{ mm.}$$

Enseguida de tener H_t , se puede calcular

$H_r = 283.2 - 30 = 253.2 \text{ mm.}$, observamos que el valor obtenido es mayor a los 160 mm. lo cuál se considerará un $H_r = 160 \text{ mm.}$

y la pendiente se calcula de la siguiente manera:

$$S_m = \frac{180}{60} = 3 \text{ mm/m}$$

2.- Para un radio de 200.00 m.

$V = 5.13\sqrt{200} = 72.549$, redondeando resulta igual a 70 Km/hr.

$$H_t = \frac{11.8 (70)^2}{200} = 289.1 \text{ mra.}$$

$H_{rc} = 289.1 - 30 = 259.1 \text{ mm.}$

por lo que $H_r = 160 \text{ mm.}$

$$S_m = 180/70 = 2.571 \text{ mm/m}$$

3.- Para un radio de 500.00 m.

$V = 5.13\sqrt{500} = 114.71 \text{ Km/hr.}$

Por lo que resulta mayor, o sea bastante grande la velocidad, de donde por razones prácticos se considera una $V = 80 \text{ Km/hr.}$

Y para el cálculo del peralte teórico (H_t) se tiene que;

$$H_t = 11.8(80)^2 / 500 = 151.04 \text{ mm.}$$

$$H_r = 151.04 - 30 = 121.04 \text{ mm.}$$

se considerará un $H_r = 120 \text{ mm.}$

$$S_m = 180/80 = 2.25 \text{ mm/m.}$$

Obteniendo el peralte práctico (H_r) y la pendiente máxima de enlace (S_m) en función de la velocidad máxima permitida ó en su caso la velocidad calculado, se procede a calcular la longitud teórica de la clotoide requerida (L_{tc}), aplicando la fórmula siguiente:

$$L_{tc} = H_r / S_m$$

Calculada la (L_{tc}) se puede valorar una constante denominada "Epsilon" (ζ) de la expresión siguiente:

$\zeta = L_{tc}/R_n$, esta sirve para entrar a las tablas de clotoides unitarias, estas fueron elaborados por Pierre Klaus en Zurich, Suisse 1977. Así fué como se adoptó la implantación de las curvas con clotoides para el alineamiento horizontal en el trazo del transporte colectivo Metro, con ayuda de las tablas se obtienen todos los elementos principales y necesarios para el trazo en campo, en función del radio nominal.

II.3.2.- Cálculo de la curva clotoide.

Para el cálculo de una curva clotoide, tomaremos en cuenta las condiciones antes expuestas y como ejemplo

la curva No.1 del Tramo: Tacuba-San Joaquín ubicada so
bre la calle Hielmar, en la cuál se obtuvo una defle-
xión entre tangentes $\Delta = 31^{\circ}44' 03''$ con un radio nomi-
nal propuesto $R_n = 200.00$ m.

A.- Secuencia de cálculo.

1.- Cálculo de la velocidad máxima;

$$V = 5.13 \sqrt{200} = 72.549, \text{ por lo que se redondea a}$$
$$V = 70 \text{ Km/hr.}$$

2.- Cálculo del peralte práctico;

$$H_r = (11.8(70)^2/200) - 30 = 289.1 - 30 = 259.1 \text{ mm.}$$

de donde $259.1 > 160$ mm. valor del peralte práctico
máximo permitido, en tanto que se considerará un
 $H_r = 160$ mm.

3.- Cálculo de la pendiente máxima, $S_m = 180/V$

$$S_m = 180/70 = 2.577143$$

$$S_m = 2.5714 \text{ mm/m}$$

4.- Cálculo de la longitud teórica de la clotoide

$$L_{tc} = H_r/S_m = 160/2.571 = 62.222 \text{ m.}$$

$$L_{tc} = 62.222 \text{ m.}$$

5.- Cálculo de la constante $\xi = L_{tc}/R_n$

$$\xi = 62.222/200 = 0.31111$$

Con el valor obtenido para ξ , vamos a la tabla 1
parcialmente tomada de un cuaderno, entonces este
valor es buscado en la columna que corresponde a ,

N	A	5	T	T	T	X	Y	X _m	I	f	r	e	s	u
551	0.004987	0.303601	9.6639	08 41 51	0.535000	0.549732	0.027835	0.273289	0.553990	0.028159	1.044682	0.006984	0.550436	3.227
	20	1103	331	1 54	1000	968	151	498	1027	155	3268	36	995	117
552	0.0051865	0.304704	9.6990	08 43 45	0.535000	0.550720	0.027866	0.273787	0.555017	0.028334	1.045884	0.007002	0.553433	3.234
	28	1105	332	1 54	1000	968	152	498	1028	156	3276	36	995	117
553	0.0053893	0.305809	9.7342	08 45 39	0.535000	0.551708	0.027898	0.274289	0.558045	0.028470	1.047086	0.007030	0.555836	3.241
	29	1107	332	1 54	1000	969	153	498	1028	157	3284	39	994	117
554	0.0055922	0.306916	9.7694	08 47 33	0.535000	0.552697	0.027931	0.274793	0.561073	0.028627	1.048284	0.007079	0.558230	3.248
	28	1109	333	1 54	1000	968	153	498	1028	158	3292	36	995	118
555	0.0058000	0.308025	9.8047	08 49 27	0.535000	0.553686	0.027964	0.275291	0.564101	0.028785	1.049482	0.007117	0.560624	3.255
	28	1111	334	1 55	1000	969	154	498	1029	158	3301	38	995	118
556	0.0060178	0.309136	9.8401	08 51 22	0.535000	0.554673	0.028000	0.275779	0.567129	0.028943	1.050681	0.007155	0.563018	3.262
	29	1113	334	1 55	1000	968	154	498	1029	159	3309	39	994	118
557	0.0062407	0.310249	9.8755	08 53 17	0.535000	0.555661	0.028032	0.276277	0.570157	0.029101	1.051880	0.007194	0.565414	3.269
	29	1115	335	1 56	1000	969	155	498	1029	160	3317	39	986	118
558	0.0064636	0.311364	9.9110	08 55 12	0.535000	0.556650	0.028067	0.276775	0.573186	0.029260	1.053080	0.007233	0.567810	3.276
	29	1117	336	1 55	1000	967	155	498	1029	161	3325	39	994	118
559	0.0066865	0.312481	9.9466	08 57 07	0.535000	0.557638	0.028102	0.277273	0.576215	0.029420	1.054280	0.007272	0.570206	3.283
	29	1119	336	1 55	1000	968	156	498	1029	162	3333	39	994	119
560	0.0069094	0.313600	9.9822	08 59 02	0.535000	0.558626	0.028139	0.277771	0.579244	0.029579	1.055480	0.007311	0.572602	3.290
	29	1121	337	1 56	1000	967	156	498	1029	163	3341	39	995	119
561	0.0071323	0.314721	10.0179	09 00 58	0.535000	0.559614	0.028178	0.278269	0.582273	0.029738	1.056681	0.007350	0.575000	3.297
	30	1123	337	1 56	1000	968	157	498	1030	164	3349	39	994	119
562	0.0073553	0.315844	10.0535	09 02 54	0.535000	0.560602	0.028217	0.278767	0.585302	0.029897	1.057882	0.007389	0.577400	3.304
	30	1125	338	1 56	1000	968	158	498	1030	165	3357	40	985	119
563	0.0075783	0.316969	10.0891	09 04 50	0.535000	0.561590	0.028256	0.279265	0.588332	0.030056	1.059083	0.007429	0.579800	3.311
	30	1127	339	1 56	1000	967	158	498	1031	165	3365	41	994	120
564	0.0078013	0.318096	10.1247	09 06 46	0.535000	0.562578	0.028295	0.279763	0.591363	0.030215	1.060284	0.007468	0.582200	3.318
	29	1129	340	1 56	1000	967	159	497	1030	165	3373	39	995	120
565	0.0080243	0.319225	10.1603	09 08 42	0.535000	0.563566	0.028334	0.280261	0.594394	0.030374	1.061485	0.007507	0.584600	3.325
	30	1131	341	1 57	1010	968	159	498	1030	166	3381	40	994	120

TABLA I

y vemos que no existe un valor igual lo que nos conduce a tomar un valor inmediato superior ó en su caso interpolar entre los dos puntos en que se encuentre. Tomaremos los valores para $N = 557$ y $N = 558$, donde a continuación; anotando solo los valores más necesarios.

$N = 557$	$\lambda_1 = 0.004007$ $= 0.000022$	$\xi_1 = 0.310249$ $= 0.000862$	$\tau_1 = 8^\circ 53' 17''$ $= 0^\circ 01' 29''$
	$\lambda = 0.004029$ $= 0.000007$	$\xi = 0.311111$ $= 0.000253$	$\tau = 8^\circ 54' 46''$ $= 0^\circ 00' 26''$
$N = 558$	$\lambda_2 = 0.004036$	$\xi_2 = 0.311364$	$\tau_2 = 8^\circ 55' 12''$
	$\rho_1 = 0.557000$ 0.000773	$x_1 = 0.555661$ 0.000764	$y_1 = 0.028752$ 0.000120
	$\rho = 0.557773$ 0.000227	$x = 0.555425$ 0.000224	$y = 0.028872$ 0.000035
	$\rho_1 = 0.558000$	$x_2 = 0.556649$	$y_2 = 0.028907$
	$x_{m1} = 0.278277$ 0.000385	$r_1 = 1.795332$ 0.002487	$s_1 = 0.556404$ 0.000769
	$x_m = 0.278665$ 0.000113	$r = 1.791385$ $= 0.000073$	$s = 0.557173$ 0.000226
	$x_m = 0.278775$	$r_2 = 1.792115$	$s_2 = 0.557399$

3° 00' 30"

(continúa en la pág. que sigue)

$$w_1 = 2^\circ 57' 43''$$

$$0^\circ 00' 30''$$

$$w = 2^\circ 58' 13''$$

$$0^\circ 00' 09''$$

$$w_2 = 2^\circ 58' 22''$$

Ordenando los valores obtenidos tenemos:

$$\xi = 0.311111$$

$$y = 0.028872$$

$$\lambda = 0.004029$$

$$x_m = 0.278665$$

$$U = 08^\circ 54' 46''$$

$$r = 1791385$$

$$f = 0.557773$$

$$s = 0.557173$$

$$x = 0.556425$$

$$w = 02^\circ 58' 13''$$

y continuamos calculando los elementos principales de la curva del ejemplo:

6.- Cálculo de la ordenada del punto "B"

$$E = \lambda \cdot R_n = 0.004029 \times 200 = 0.8058$$

$$E = 0.806 \text{ m.}$$

7.- Cálculo del radio de la curva circular.

$$R_c = R_n - E = 200 - 0.8058 = 199.1942$$

$$R_c = 199.194 \text{ m.}$$

8.- Cálculo del parámetro $A = R_c/r$

$$A = 199.1942/1.791385 = 111.195639$$

Con este valor se calculen todos los siguientes valores.

a.- Cálculo de la longitud de la clotoide real.

$$L_{cl} = fA = 0.557773 \times 111.195639 = 62.021925$$

$$L_{cl} = 62.022 \text{ m.}$$

b.- Cálculo de la abcisa del punto CC.

$$X_c = x \cdot A = 0.556425(111.195639) = 61.872$$

$$X_c = 61.872 \text{ m.}$$

c.- Cálculo de la ordenada del punto CC.

$$Y_c = y \cdot A = 0.028872(111.195639) = 3.210$$

$$Y_c = 3.210 \text{ m.}$$

d.- Cálculo de la abcisa del punto B.

$$X_m = x_m \cdot A = 0.278665(111.195639) = 30.986$$

$$X_m = 30.986 \text{ m.}$$

e.- Cálculo de la cuerda larga del TC al CC.

$$S = s \cdot A = 0.557173(111.195639) = 61.955$$

$$S = 61.955 \text{ m.}$$

9.- Cálculo de la distancia U; del punto A al punto D en función de τ .

$$U = Y_c / \tan \tau = 3.210 / \tan(8^\circ 54' 46'') = 20.472$$

$$U = 20.472 \text{ m.}$$

10.- Cálculo de la distancia H del punto A al punto CC en función de τ .

$$H = Y_c / \sin \tau = 3.210 / \sin(8^\circ 54' 46'') = 20.722$$

$$H = 20.722 \text{ m.}$$

11.- Cálculo de la Subtangente Nominal Tc que parte del punto TC hasta el punto PI y estará en función de la deflexión total Δ .

$$T_c = R_n \tan(\Delta/2) + X_m = 200 \tan(31^\circ 44' 03'' / 2) + 30.986 = 87.834$$

$$T_c = 87.834 \text{ m.}$$

B.- Cálculo de la curva central (curva circular real).

a.- El ángulo central de la curva circular real se obtiene mediante la expresión que se encuentra a continuación.

$$\Delta c = \Delta - 2 \tau = 31^{\circ}44'03'' - 2(8^{\circ}54'46'') =$$

$$\Delta c = 13^{\circ}54'31''$$

b.- Cálculo de la longitud de curva circular real
Lc.

$$Lc = \Delta c \cdot \pi \cdot Rc / 180 = (13^{\circ}54'31'') \cdot \pi \cdot 199.194 / 180 =$$

$$Lc = 48.355 \text{ m.}$$

c.- Cálculo de la subtangente de la curva circular real St.

$$St = Rc \cdot \tan(13^{\circ}54'31''/2) = 199.194 \tan(13^{\circ}54'31''/2) =$$

$$St = 24.297 \text{ m.}$$

d.- Cálculo de la cuerda de la curva circular real
C.

$$C = 2 \cdot Rc \cdot \sin(\Delta c/2) = 2(199.194) \sin(13^{\circ}54'31''/2) =$$

$$C = 48.236 \text{ m.}$$

e.- Cálculo del grado de curvatura Gc.

$$Gc = 180 \times 20 / Rc = 3600 / 199.194 = 5.752756^{\circ}$$

$$Gc = 5.752756^{\circ}$$

f.- Cálculo de la deflexión por metro D/m .

$$D/m = 1.5 Gc = 1.5 \times 5.752756 = 8.629135'$$

C.- Cálculo de cadenas de la curva (compuesto)

Una vez determinados los elementos de las características geométricas de las curvas, se procede a asignar cadenas para cada uno de los puntos

TABLA DE CALCULO DE LA CLOTOIDE

$$PI = 8+882.510$$

$$\Delta = 3^{\circ}44'03'' \text{ (DER)}$$

$$Rn = 200000$$

$$\text{Vel. max.} = 70 \text{ Km/h}$$

$$Sm = 180/V = 2.571429$$

$$Ltc = Hr/Sm = 62.222$$

$$\lambda = Ltc/Rn = 0.311111$$

$$\lambda = 0.004020$$

$$r = 1.791305$$

$$\rho = 0.557773$$

$$E = \lambda \cdot Rn = 0.805800$$

$$Rc = Rn - E = 199.194200$$

$$A = Rc/r = 111.195639$$

$$Lcl = \rho \cdot A = 62.021925$$

$$\tau = 08^{\circ}54'46''$$

$$Xc = 61.872030$$

$$Yc = 3.210440$$

$$Xm = 30.986333$$

$$S = 61.955208$$

$$W = 02^{\circ}58'13''$$

$$\Delta c = \Delta - 2\tau = 13^{\circ}54'31''$$

$$Lc = (\pi \cdot \Delta) / (180 \cdot Rc) = 48.354603$$

$$Sl = Rc \cdot \text{Tang}(\Delta/2) = 24.296732$$

$$Tc = Rn \cdot \text{Tang}(\Delta/2) + Xm = 87.833627$$

$$U = Yc / \text{Tang} \tau = 20.471574$$

$$H = Yc / \text{Sen} \tau = 20.721782$$

UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	FACULTAD DE INGENIERIA
TABLA DE CALCULO DE LA CLOTOIDE	
TESIS PROFESIONAL	AGUSTIN OSORIO GUADALUPE

principales TC, CC, CT y PI.

En primer lugar se da el kilometraje el PI, partiendo de las distancias que se miden en campo de PI a PI; - con puntos intermedios de PO (punto obligado) y PST (punto sobre tangente), para esto, los cadenamientos se darán en el sentido creciente y del cadenamiento - del PI se regresa al TC que significa paso del punto tangente a clotoide con la longitud de la subtangente nominal (Tc), luego se suma la longitud de la clotoide (Lcl) para obtener el cadenamiento del (CC) punto de - paso de la clotoide a la curva circular real, enseguida se suma la longitud (Lc) de la curva circular que se obtiene el otro punto (CC) punto de paso de la curva circular real a la clotoide y finalmente se suma la longitud de la clotoide (Lcl) obteniéndose el punto (CT) que indica punto de paso de la clotoide a la tangente.

Para visualizar en una forma más clara el procedimiento de cálculo de cadenamientos, se procede como sigue:

$$\begin{array}{r} \text{PI} = 8 + 882.510 \\ \text{Tc} = \quad - 87.834 \\ \hline \text{TC} = 8 + 794.676 \\ \text{Lcl} = \quad + 62.022 \\ \hline \text{CC} = 8 + 856.698 \\ \text{Lc} = \quad + 48.355 \\ \hline \text{CC} = 8 + 905.053 \\ \text{Lcl} = \quad + 62.022 \\ \hline \text{CT} = 8 + 967.075 \end{array}$$

En resumen se tienen los siguientes cadenamientos:

$$PI = 8 + 882.510$$

$$TC = 8 + 794.676$$

$$CC = 8 + 856.698$$

$$CC = 8 + 905.053$$

$$TC = 8 + 967.975$$

Estos cadenamientos se definen el Eje de Trazo, tal como se mencionan y estarán sobre la curva según sea el caso. Estos son pintados en campo ó con cualquier otro tipo, la cuál se explicará con más detalle en el siguiente punto.

II.3.3 Trazo de curvas en campo.

El trazo en campo de curvas, se lleva a cabo una vez que se tienen todos los datos de las curvas, requiriéndose para ello los datos principales que a continuación se anoten;

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

$$PI = 8 + 882.510$$

$$\tau = 08^{\circ} 54' 46'' \quad \Delta = 31^{\circ} 44' 03'' \quad \tau = 08^{\circ} 54' 46''$$

$$Xc = 61.872 \quad \Delta c = 13^{\circ} 54' 31'' \quad Xc = 61.872$$

$$Yc = 3.210 \quad Lc = 48.355 \quad Yc = 3.210$$

$$Lc1 = 62.022 \quad St = 24.297 \quad Lc1 = 62.022$$

$$U = 20.472 \quad Tc = 87.834 \quad U = 20.472$$

$$H = 20.722 \quad Gc = 5.752756^{\circ} \quad H = 20.722$$

$$D/m = 8.629134'$$

$$Rc = 199.194$$

$$Rn = 200.000$$

Con los datos enlistados son más que suficientes para el trazo de los puntos principales en campo, donde se marcarán dejando anotado sus respectivos cadenamientos para el TC, CC, CC, PI y CT. Para la localización de éstos puntos, fué necesario marcar primero los puntos TC y CT que se mide la longitud de Tc a partir del PI ubicado ya con anterioridad, luego apoyándose sobre estos se mide la longitud Xc y la ordenada Yc fijando de esta forma el CC, para la verificación del punto CC puede medirse una distancia S y con el ángulo w , ó bien con la distancia $(Xc - U)$ y girando un ángulo α una distancia H, deberá coincidir con el punto CC y finalmente se hace lo mismo con el otro punto del extremo opuesto, siendo estas curvas simétricas.

Como vemos de lo anterior sólo se logra la localización de los puntos principales, donde se hace necesario el cálculo de coordenadas, tanto para las curvas con clotoides y para la curva circular real que estarán referidas a sus respectivas tangentes ó subtangentes.

Para el cálculo de coordenadas existen dos métodos; - uno de estos métodos consiste en el uso de tablas unitarias y el otro método es por medio de dos ecuaciones matemáticas.

1.- El primer método contempla para el ejemplo, es con la ayuda de las tablas unitarias. La secuencia estará en función de la longitud de clotoides y del

y del parámetro ρ y que en función a este último valor se buscan los correspondientes a X y Y donde haciendo la operación (A.x) y (A.y) se obtiene las coordenadas en X y Y.

Tomaremos en cuenta la siguiente expresión:

$$Lcl = \rho \cdot A$$

de donde:

$$\rho = 0.558$$

$$A = 111.195639$$

El valor de ρ se divide entre 10 y para facilitar el cálculo se toman las tres primeras cifras del resultado y se irán sumando hasta llegar al valor total.

$$\rho/10 = 0.558/10 = 0.0558$$

donde se tomará el valor de 0.055 y 0.0008 se sumará en la última operación, con estos valores entramos a las tablas unitarias mencionadas para (x) y (y) tal como se muestra en tabla anexa.

Así para el primer punto tenemos:

$$x = 0.055$$

$$y = 0.000028$$

con estos valores se obtienen Lcl, X y Y .

$$Lcl = \rho \cdot A = 0.055 \times 111.195639 = 6.116$$

$$X = x \cdot A = 0.055 \times 111.195639 = 6.116$$

$$Y = y \cdot A = 0.000028 \times 111.195639 = 0.003$$

Los valores serán Lcl=6.116 , X=6.116 y Y=0.003 en

metros y que así se obtienen todas las coordenadas.

C I R C U L A R

P.	Obtenidos de las Tablas		Lc = A · A	COORDENADAS		PUNTO
	x	y		X = x · A	Y = y · A	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	TC-CT
0.055	0.055	0.000	6.116	6.116	0.003	
0.110	0.110	0.000	12.232	12.232	0.025	
0.165	0.165	0.001	18.347	18.347	0.083	
0.220	0.220	0.002	24.463	24.462	0.197	
0.275	0.275	0.004	30.579	30.574	0.385	
0.330	0.330	0.006	36.695	36.684	0.666	
0.385	0.385	0.010	42.810	42.787	1.057	
0.440	0.440	0.015	48.926	48.880	1.573	
0.495	0.495	0.021	55.042	54.959	2.245	
0.550	0.549	0.028	61.158	61.018	3.078	
0.558	0.557	0.029	62.022	61.872	3.210	CC-CC

C I R C U L A R

Lc	X	Y	DEFLEXIONES
0.000	0.000	0.000	00 00'00"
5.000	4.999	0.063	00 43'09"
10.000	9.996	0.251	01 26'18"
15.000	14.986	0.565	02 09'26"
20.000	19.966	1.003	02 52'35"
25.000	24.934	1.567	03 35'44"
30.000	29.887	2.255	04 18'52"
35.000	34.820	3.067	05 02'01"
40.000	39.732	4.003	05 45'10"
45.000	44.618	5.061	06 28'19"
48.355	47.881	5.840	06 57'15.5"

2.-El segundo método es por fórmulas matemáticas que generalmente se llegan a los mismos resultados como en el método anterior, estas ecuaciones estarán en función de la longitud parcial de clotoide, es una mejor herramienta para lo que no es necesario el uso de tablas, y más exacto. A continuación tenemos las expresiones mencionadas y que contamos con tres ecuaciones a saber:

$$\tau_p = \frac{(Lcl_p)^2}{(Lcl_t)^2} \tau_t = \text{-----} \quad (1)$$

$$X = Lcl_p \left(1 - \frac{\tau_p^2}{10} + \frac{\tau_p^4}{216} \right) \text{-----} \quad (2)$$

$$Y = Lcl_p \left(\frac{\tau_p^3}{3} - \frac{\tau_p^5}{42} + \frac{\tau_p^7}{1320} \right) \text{-----} \quad (3)$$

donde: Lclp: igual a la longitud parcial de la clotoide en el punto que se requieren las coordenadas.

Lcl: longitud total de la clotoide.

τ_t : ángulo total de la clotoide.

τ_p : ángulo parcial de la clotoide calculada en función de Lclp, Lcl, y τ_t .

X : es la coordenada sobre la abcisa.

Y : es la coordenada en el punto de la distancia X.

Nota: El ángulo total se convierte en radianes para el cálculo.

Con las fórmulas (1), (2) y (3) se tiene una mayor ventaja si se tiene calculadora programable, aunque es posible su realización manual, pero es más tardado por las sustituciones de los valores.

Para explicar mejor la aplicación de las fórmulas anteriores, propondremos dos ejemplos tomando las longitudes parciales de la tabla de coordenadas y como datos tenemos:

$$\tau_t = 08^\circ 54' 46''$$

$$\text{y } Lcl_t = 62.022$$

Se calcula primero $\tau_p = \frac{(Lcl_p)^2}{(Lcl_t)^2} \tau_t$ (rad)

τ_t = se introducirá en radianes, por lo que tenemos

$$\tau_p = \frac{(Lcl_p)^2}{(62.022)^2} \pi \left(\frac{8^\circ 54' 46''}{180} \right) = \frac{4.04388608 \times 10^{-5}}{K} Lcl_p^2$$

$$\tau_p = 4.04388608 \times 10^{-5} Lcl_p^2 = k \cdot Lcl_p^2$$

Con K multiplicamos por la longitud de la clotoide parcial (Lcl_p elevado al cuadrado), obtenemos τ_p y sustituyendo el valor buscado, en las ecuaciones (2) y (3) resulta:

1er caso:

Para $Lcl_p = 12.232$

$$\tau_p = k \cdot Lcl_p^2 = 4.04388608 \times 10^{-5} (12.232)^2 = 0.006050536$$

donde k es la constante del valor calculado, de donde resulta.

$$X = Lcl_p \left[1 - \frac{\tau_p^2}{10} + \frac{\tau_p^4}{216} \right]$$

$$X = 12.232 \left[1 - \frac{(0.00605)^2}{10} + \frac{(0.00605)^4}{216} \right] = 12.231955$$

Por lo tanto aproximando

$X = 12.232$ m. (coordenada sobre la abcisa)

$$Y = Lc1_p \left[\frac{\tau_p}{3} - \frac{\tau_p^3}{42} + \frac{\tau_p^5}{1320} \right]$$

$$Y = 12.232 \left[\frac{0.00605}{3} - \frac{(0.00605)^3}{42} + \frac{(0.00605)^5}{1320} \right] = 0.02467$$

donde aproximado

$Y = 0.025$ m. (coordenada de ordenada).

2^{do} caso :

Para $Lc1_p = 42.810$ m

$\tau_p = 0.074112142$

$$X = 42.810 \left[1 - \frac{(0.074112)^2}{10} + \frac{(0.074112)^4}{216} \right] = 42.787$$

$$Y = 42.810 \left[\frac{0.074112}{3} - \frac{(0.074112)^3}{42} + \frac{(0.074112)^5}{1320} \right] = 1.057$$

De donde observamos que los resultados son iguales, y comparados con los valores calculados con ayuda de la tabla, donde podemos decir que es una herramienta muy valiosa y sin necesidad del uso de las tablas unitarias.

II.4.- Alineamiento en Perfil

II.4.1.- El alineamiento en perfil para el anteproyecto se realizó simultáneamente con el de alineamiento horizontal, auxiliándose con las nivelaciones de la topografía del terreno, aprovechándose las existentes en las plantas fotogramétricas escala 1:500 y que en caso de no existir información sobre nivelaciones se harán levantamientos previos para la elaboración del anteproyecto.

Los anteproyectos en perfil son acondicionados a los requerimientos de la topografía del terreno, por los

estudios de los suelos se obtuvieron perfiles estratigráficos, donde pudo determinarse la factibilidad de la construcción del Metro en solución Túnel.

Considerando esta solución se procuró conservar el alineamiento de la sub-rasante más o menos paralelo a los niveles del terreno natural, que será en túnel profundo, esto fué determinado por el cruce de un puente en Ave. Marina Nacional, por las construcciones existentes, fué necesario el uso del escudo en el proceso constructivo en algunas zonas a lo largo de toda la ruta.

La sub-rasante en la estación Tacuba, fué definida a la elevación 2227.84 m.s.n.m. en función de las restricciones que se determinaron de los estudios que se realizaron para la factibilidad de la construcción de dicha obra en solución túnel.

II.4.2.- Restricciones en perfil.

En las restricciones se definieron los niveles de la sub-rasante para el anteproyecto y para el proyecto definitivo.

- 1.- La ubicación de las estaciones será con pendiente igual a 0 % para evitar el uso de los frenos, cuando el tren esté estacionado.
- 2.- La pendiente máxima permisible en el tramo se consideró de 4 % para aprovechar la máxima capacidad del material rodante en ascender una pendiente en

la marcha.

- 3.- La pendiente mínima permisible en el tramo, es de 0.15 % para permitir el drenado de las aguas filtradas, evitando en lo posible cambiar la pendiente longitudinal y solo una vez se hará cambio de signo ó manteniéndose el mismo signo hacia los cárcamos de bombeo.
- 4.- La transición entre dos tangentes con pendientes longitudinales diferentes; se hará por medio de curvas parabólicas de la forma:

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

de donde R es igual al radio mínimo de curvatura e igual a 1250.00 m.

- 5.- La tangente mínima entre dos curvas verticales es de 12.00 m., para evitar el cambio brusco por la sobre-elevación de las curvas.
- 6.- Los aparatos de vía se ubicarán en zona tangente con pendiente máxima de 2 %.
- 7.- La línea de la sub-rasante fué definido según estudios de la estratigrafía del terreno, procurando conservarse paralela al nivel del terreno natural, dependiendo del tipo de sección de la estructura utilizada.

El proyecto de perfil para la sub-rasante, tuvo que restringirse por los enunciados antes expuestas, re-

sultado de los estudios técnicos y de campo, variando para esto según el tipo de solución estructural. Los niveles de Intradós en las secciones de gálibos corresponde al lecho inferior de la losa de techo ó clave, encontrándose ésta en función de la sub-rasante resultante de los análisis de gálibo dinámico vertical en tramo y en zona de estaciones ó de ventilación; determinándose además los niveles de desplante de losa, los niveles de losa para la fijación de la vía y de rasante de proyecto.

II.5.- Proyecto Definitivo de Perfil.

Habiendo obtenido o determinado el alineamiento horizontal definitivo, se procedió el levantamiento topográfico de nivelaciones sobre el Eje de Trazo a cada 20.00 m., y que posteriormente se dibujan en papel milimétrico con escalas: horizontal 1:500 y vertical 1:50 donde aparecerán las líneas de desplante de plantilla, desplante de losa, sub-rasante, de la losa de fijación de vía, rasante de proyecto, intradós, extradós y el nivel de terreno natural.

En esta línea no hubo gran problema con las instalaciones municipales, pero sí con otras estructuras también de mucha importancia como son: puentes, vías de Ferrocarril, etc.

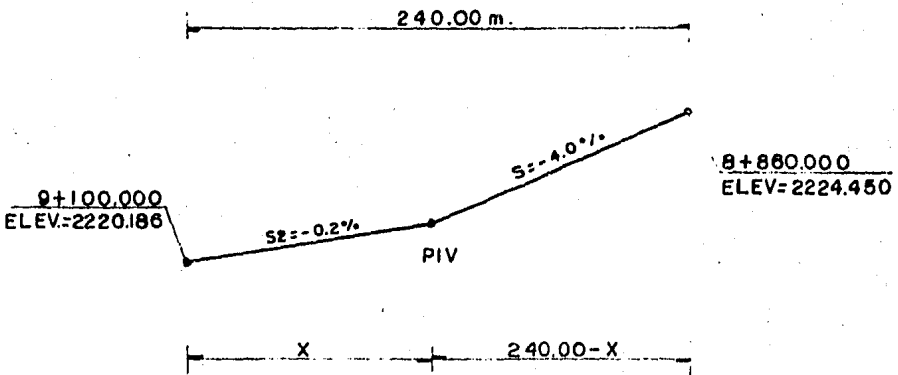
Para el tramo: Tacuba- San Joaquín tenemos algunas características que considero de mayor importancia:

Cruce del puente que se encuentra sobre la Ave. Marina Nacional, para esto la zona de estación Tacuba tiene una pendiente igual a 0 % y una elevación de 2227.84 m.s.n.m. a nivel de sub-rasante, la cuál partimos con una pendiente de -2.0 %, mínima aceptable por la ubicación de aparatos de cambio de vía, ya que se debe a la posición de un aparato en la cabecera sur de estación por ser una estación terminal provisional, formando un PIV en el Km = 8 + 741.500 enlazándose - estas tangentes por medio de una parábola de la forma mencionada anteriormente, pasando a otra pendiente de -4.0 % que provoca un punto de inflexión en el Km = 8 + 811 con la pendiente anterior y con radios de - curvatura $R = 1500.00$ m. para ambas curvas.

Continuamos con una pendiente de -2.0% y con la pendiente anterior de -4.0 % se tiene un PIV=8+959.579 con un radio de curvatura $R=2500.00$ m. Posteriormente asciende la tangente con una pendiente de +0.38 %, - hasta llegar a una pendiente de 0.0% en zona de estación San Joaquín, la cuál fué mencionado como especificación y se tuvieron los siguientes PIV=9+574.410 y PIV=10+140.000 con radios de curvatura igual a $R=2500$ m. estas curvas son todas destinadas para la línea de sub-rasante.

II.5.1.-Ejemplo de cálculo de curvas verticales.

Para el ejemplo de la curva vertical se tomará la curva No. 3 con dirección de la Estación Tecuba hacia la Estación San Joaquín, teniendo las siguientes pendientes $S_1 = -4.0\%$, $S_2 = -0.2\%$ y además como datos se tienen : Km=8+860.000 con elevación 2224.450 m. y en el Km=9+100.000 con elevación de 2220.186 m.



A.- Para calcular el cadenamiento del PIV, se plantean dos ecuaciones con sus respectivas pendientes, donde tenemos las siguientes:

$$y = 0.04(240 - x) + 2224.450$$

Simplificando tenemos:

$$y = 0.04x + 2214.850 \quad \text{_____} \quad (1)$$

$$y = 0.002x + 2220.186 \quad \text{_____} \quad (2)$$

igualando las ecuaciones (1) y (2)

$$0.04x + 2214.850 = 0.002x + 2220.186$$

$$0.038x = 5.336$$

$$x = 5.336 / 0.038$$

$$x = 140.421 \text{ m.}$$

por lo tanto el cadenamiento del PIV se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{array}{r} 9 + 100.000 \\ - 140.421 \\ \hline \text{PIV}=8 + 959.579 \end{array}$$

B.- Continuamos con el cálculo de la elevación del punto de inflexión vertical (PIV), procediendo de la siguiente forma:

$$y = 140.421 (0.002) = 0.280842$$

$$y = 0.281 \text{ m}$$

de donde :

$$\text{PIV} = 2220.186 + 0.281 = 2220.467$$

por tanto la elevación del PIV es igual a ;

$$\text{Elev.} = 2220.467 \text{ m.}$$

Puede comprobarse también con la tangente de entrada y con la pendiente de -4.0% :

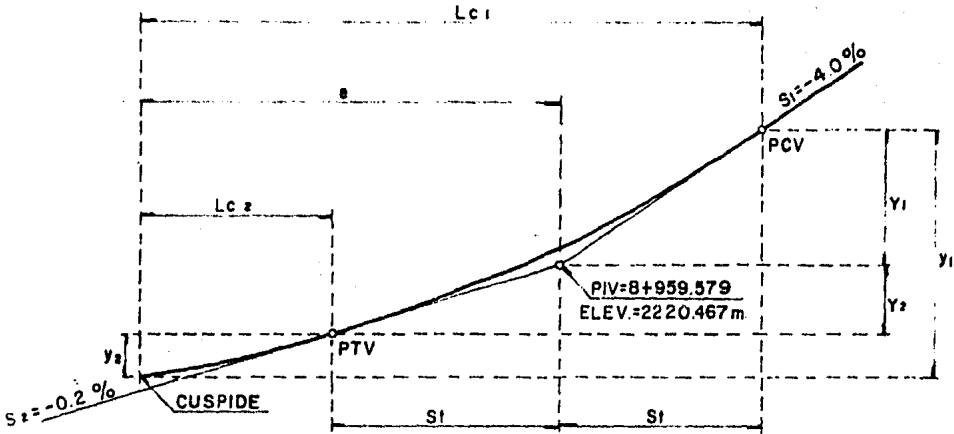
$$y = (240.00 - 140.421)(0.04) = 99.579(0.04) = 3.983$$

$$y = 3.983 \text{ m.}$$

$$\begin{array}{r} 2224.450 \\ - 3.983 \\ \hline \text{PIV}=2220.467 \text{ m.} \end{array}$$

Con los datos anteriores podemos continuar calculando los demás datos.

Curva Vertical



C.- Ecuaciones indispensables para el cálculo de curvas verticales.

$$Y = X^2/2R$$

$$e = R(S_1 + S_2) / 2$$

$$Lc_1 = R S_1$$

$$Lc_2 = R S_2$$

$$St = (Lc_1 - Lc_2) / 2 \text{ (cuando } S_1 \text{ y } S_2 \text{ son del mismo signo)}$$

$$St = (Lc_1 + Lc_2) / 2 \text{ (cuando } S_1 \text{ y } S_2 \text{ son de signo contrario)}$$

$$Y_1 = St S_1$$

$$y_1 = (Lc_1)^2 / 2R$$

$$Y_2 = St S_2$$

$$y_2 = (Lc_2)^2 / 2R$$

D.- Cálculo de elementos principales, con la aplicación de las ecuaciones anteriores, para un radio de curvatura $R = 2500.00$ m.

$$e = 2500(-0.04 - 0.002)/2 = 1250(-0.042) = 52.50$$

$$e = 52.50 \text{ m.}$$

$$Lc_1 = 2500(0.04) = 100.00 \text{ m.}$$

$$Lc_2 = 2500(0.002) = 5.00 \text{ m.}$$

$$St = (100 - 5)/2 = 47.50 \text{ m.}$$

A continuación se calculan los niveles de los puntos principales del ejemplo:

$$Y_1 = 47.50(0.04) = 1.90 \text{ m.}$$

$$Y_2 = 47.50(0.002) = 0.095 \text{ m.}$$

$$y_1 = (100)^2 / 2(2500) = 2.00 \text{ m.}$$

$$y_2 = (5.00)^2 / 2(2500) = 0.005 \text{ m.}$$

Ahora para calcular los cadenamientos de los puntos principales, se parte del PIV y a la vez se calcularán las elevaciones de los mismos.

$$PCV = PIV - St = (8+959.579) - 47.50 = 8+912.079$$

$$\text{Elev.} = PIV + Y_1 = 2220.467 + 190 = 2222.367 \text{ m.}$$

$$PTV = PIV + St = (8+959.579) + 47.50 = 9+007.079$$

$$\text{Elev.} = PIV - Y_2 = 2220.467 - 0.095 = 2220.372 \text{ m.}$$

$$\text{Cusp.} = PIV + e = (8+959.579) + 52.50 = 9+012.079$$

$$\begin{aligned} \text{Elev.} &= PIV - Y_2 - y_2 = 2220.467 - 0.095 - 0.005 \\ &= 2220.367 \text{ m.} \end{aligned}$$

Luego de haber calculado las cotas y cadenamientos de los puntos principales de todas las curvas verticales, se pueden calcular niveles en los cadenamientos intermedios según se requieran y que éstas pueden ser a cada 5.00 m. ó en cualquier punto y que corresponderán a la sub-rasante con la fórmula general de la parábola:

$$Y = X^2/2R$$

y que para facilitar el cálculo se elabora una tabla;

CADENAMIENTOS	X	X ²	X ² /2R	DIF.	Niv. sub-ras.
PCV=8+912.079	100.000	10000.000	2.000	0.000	2222.367
8+915.000	97.079	9424.079	1.885	0.115	2222.252
8+920.000	92.079	8478.542	1.696	0.189	2222.063
8+925.000	87.079	7582.752	1.517	0.179	2221.884
8+930.000	82.079	6736.962	1.397	0.170	2221.714
8+935.000	77.079	5941.172	1.188	0.159	2221.555
8+940.000	72.079	5195.382	1.039	0.149	2221.406
8+945.000	67.079	4499.592	0.900	0.139	2221.267
8+950.000	62.079	3853.802	0.771	0.129	2221.138
8+955.000	57.079	3258.012	0.652	0.119	2221.019
8+960.000	52.079	2712.222	0.542	0.110	2220.909
8+965.000	47.079	2216.432	0.443	0.099	2220.810
8+970.000	42.079	1770.642	0.354	0.089	2220.721
8+975.000	37.079	1374.852	0.275	0.079	2220.642
8+980.000	32.079	1029.062	0.206	0.069	2220.573
CONTINUA ...					

(Continuación de la tabla de cálculo de elevaciones)

Cadenamiento	X	X ²	X ² /2R	Dif.	Elev. Sub-ras.
8+985.000	27.079	733.272	0.147	0.069	2220.514
8+990.000	22.079	487.482	0.097	0.050	2220.464
8+995.000	17.079	291.692	0.058	0.039	2220.425
9+000.000	12.079	145.902	0.029	0.029	2220.396
9+005.000	7.079	50.112	0.010	0.019	2220.377
PTV=9+007.079	5.000	25.000	0.005	0.005	2220.372
CUSP=9+012.079	0.000	0.000	0.000	0.005	2220.367

Una vez que se tienen los niveles de la sub-rasante, se dibujan en papel milimétrico para ser más rápido ó práctico, las escalas se escogen según convengan las necesidades, donde las escalas deben ser compatibles de acuerdo a la siguiente consideración; la escala vertical debe ser diez veces más grande que la escala ho-rizantal y además deberán ser en números enteros, que como ejemplo se tiene 1:500 horizontal y 1:50 vertical. En el ejemplo de perfil aparecerán todos los datos calculados y en la que se requerirán para la elaboración del proyecto de gálipos, dichos datos se encontrarán en la parte inferior del plano de perfil a cada 20.00 m. y niveles que se indican en casos necesarios; como pueden ser curvas y otros.

III.- PROYECTO DE GALIBOS

III.1.- El proyecto de gálibos es el diseño de los espacios geométricos necesarios para la libre circulación de los trenes que estará en función de todas sus características, bien pueden ser: del tipo de solución, del perfil de la ruta, de las dimensiones del equipo de rodamiento, de las dimensiones de los carros del tren, en fin son muchos los acondicionamientos primordiales para el buen dimensionamiento, adecuando según las necesidades se darán los espacios.

En la actualidad existen cuatro tipos de soluciones y las secciones se definen en base a estas, de las cuales se encuentran las siguientes:

- a.- Solución tipo elevada.
- b.- Solución tipo superficial.
- c.- Solución tipo subterráneo.
- d.- Solución tipo túnel.

Así para cada tipo de solución, tendrá una sección con geometrías diferentes; de lo anterior es definido según la disponibilidad de los espacios, de las características de los suelos, la importancia de la viabilidad, de las transferencias con instalaciones que se presenten en la trayectoria de la ruta, para alojar la estructura del transporte Metro.

La línea No. 7 es en su totalidad de solución túnel,

de donde se aplican varios tipos de secciones en tramo dependiendo de los requerimientos necesarios para un buen funcionamiento, las cuales se tienen dos tipos de secciones que se denominan:

- 1.- Sección túnel convencional.
- 2.- Sección túnel con escudo.

Estas secciones se determinaron de acuerdo a las necesidades técnicas. Presentándose restricciones generales con variantes de acuerdo al tipo de solución, tomando las siguientes consideraciones entre otras:

- a.- Los gálibos dinámicos, debido a la inestabilidad en la circulación de los trenes en operación y estáticos del convoy, contando además de sus instalaciones.
- b.- La estabilidad de la sección durante la construcción, considerando el período que transcurre entre la excavación, el colado del revestimiento definitivo y el comportamiento de la estructura ante las cargas gravitacionales que le transmiten el terreno.

Bajo las condiciones antes expuestas, la sección del túnel para tramos de interestación, se diseñó utilizando una sección semicircular con diámetro igual a 8.64 m., intersectándose en su parte interior con una losa a una distancia de 2.41 m. del centro geométrico de la sección, siendo estas las dimensiones que rigie-

ron para el diseño de las demás secciones.

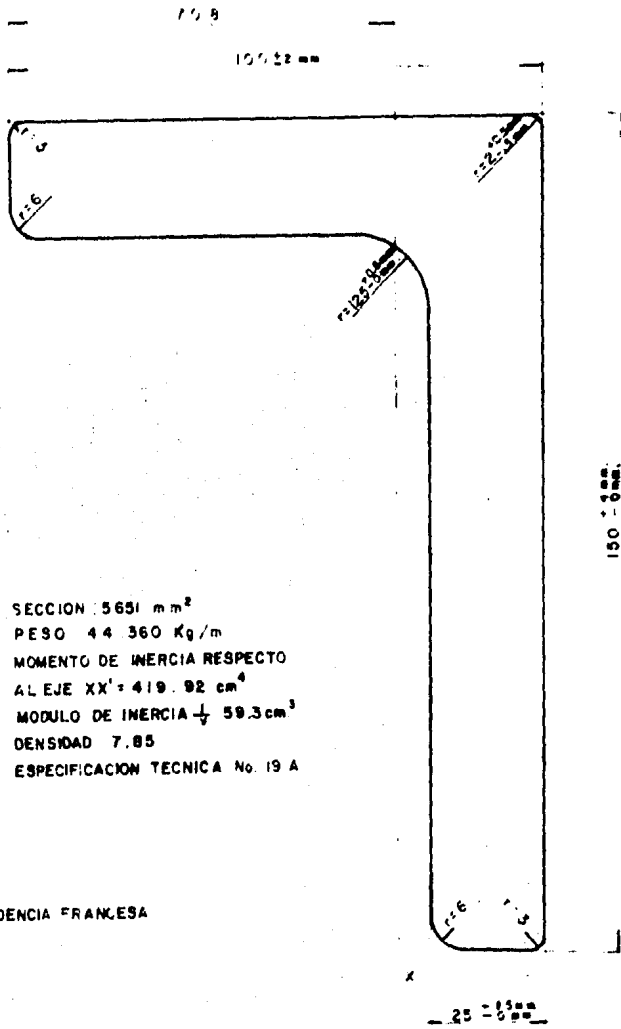
III.2.- Características Generales del Equipo de Rodamiento.

Las características del equipo de rodamiento son tan importantes debido a que es la base principal para el dimensionamiento geométrico, tanto del gálibo vertical y del gálibo horizontal, por esta razón se hace necesario conocer las características del sistema de vía ó de equipo de rodamiento.

III.2.1.- Sistema de vía.

El sistema de vía, se encuentra compuesto por tres pares de perfiles de acero y soporte aislador principalmente con sus funciones respectivas.

- a.- Dos vigas de sección I de patín ancho, que funciona como pista de rodamiento para los neumáticos portadores y la superficie superior representará el nivel de la rasante de proyecto en perfil, éstas pistas soportarán la carga de los trenes en su totalidad.
- b.- Dos rieles de 80 ASCE que estará casi al mismo nivel que el de la pista de rodamiento, la función de estos, es operar como un elemento de seguridad en casos de pérdidas de presión de los neumáticos portadores y al pesar por un cambio de la vía no funcionarán en condiciones normales de operación,



UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	FACULTAD DE INGENIERIA
PEFIL DE BARRA GUIA	
TESIS PROFESIONAL	AGUSTIN OSORIO GUADALUPE

donde tendremos 2 mm. abajo del nivel respecto a las pistas de rodamiento o nivel de la rasante, además funge como retroalimentador de corriente - que se realiza por medio de escobillas colocados en la parte inferior de los carros, permitiendo el uso constante de corriente.

c.- Dos secciones angulares llamadas Barra Guía, estas tienen como función para el guiado del tren y conducir el paso de corriente directa, que es tomado por los carros mediante escobillas colocadas en las laterales de los carros. El guiado se realiza por medio de los neumáticos guía, la barra guía estará sujeta sobre un soporte aislador de fibra de vidrio.

Los rieles, pista de rodamiento y el soporte aislador para la barra guía son anclados y fijados sobre losa de concreto, los anclajes se realizan a cada 0.75 m. en tramo tangente y a cada 0.60 m. en tramo curva con radios menores a los 500.00 m. Estos anclajes estarán intercalados de los del riel y de la pista de rodamiento, los soportes aisladores para la barra guía se fijan a cada 3.00 m., todas las separaciones para ambos trabajos se dan a ejes de dichos elementos de anclaje.

III.2.2.- Características de los carros de un tren.

Los trenes están^{*} por cuatro tipos de carros; los cuá-

* Compuestos

les cuentan con con la siguiente nomenclatura:

M: Motriz con cabina de conducción.

N: Motriz sin cabina de conducción.

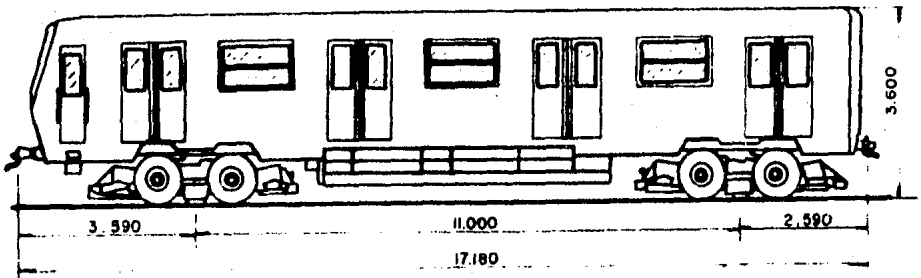
R: Carro remolqué y con captor de pilotaje automático.

a.- La longitud total de un tren es de 147.62 m. integrado por nueve carros (seis motrices y tres remolques), teniendo como longitud de 17.18 m. los motrices con cabina de conducción, 16.18 m. los motrices sin cabina de conducción, también para los remolques y con un ancho de 2.50 m. para ambos carros.

b.- La altura total de los carros desde la parte inferior de los neumáticos hasta la parte superior de éstos es de 3.60 m. del piso de los mismos a la parte superior es de 2.40 m. y del piso al inferior de los neumáticos es igual a 1.20 m. que hace contacto con la superficie (pista) de rodamiento.

c.- La velocidad máxima de 80 Km/hr. siendo ésta la que se usa para los cálculos de las curvas horizontales necesarias en el trazo y de los ejes de vía, así como se contempla una velocidad comercial de 35 Km/hr.

d.- Los carros regularmente tienen 4 puertas de 1.87 m. de altura por 1.30 m. de ancho para cada lado, siendo estos para el uso en sus dos direcciones, con el fin de tener una mayor movilidad de los pasajeros en horas pico y además el nivel de piso



PERFIL



PLANTA

UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	FACULTAD DE INGENIERIA
CARACTERISTICAS GRALES. DE UN CONVOY	
TESIS PROFESIONAL	AGUSTIN OSORIO GUADALUPE

terminado de los andenes será de 1.20 m. de la rasante con el objeto de hacer coincidir con el piso de los carros.

e.- Las carretillas son elementos comunes a las motoras comunes y a las portadoras, teniendo dos ejes en cuyo caso estarán fijas las ruedas (neumáticos) portadoras y solidarias a dos ruedas de acero llamadas de seguridad.

Los neumáticos o ruedas portadoras, se desplazarán sobre la pista ó superficie de rodamiento, tomando en cuenta la posibilidad de la pérdida de presión de estos y al suceder lo anterior entran en función las ruedas que rodarán sobre los rieles metálicos, que sirven además en caso de la pérdida de presión de las ruedas guía que se encuentran horizontales. Estas ruedan sobre la barra guía que se encuentra en el lado de riel exterior, al perder la presión de éstas ruedas conducen a que las ruedas metálicas hagan contacto con las vías de seguridad.

Hay cuatro casos diferentes funcionamientos de los neumáticos y de las ruedas metálicas.

III.2.3.- Aparatos de vía.

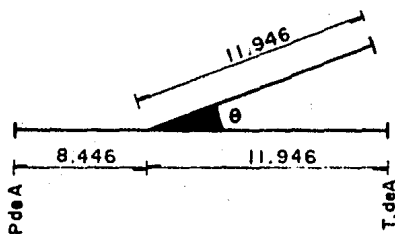
Los aparatos de vía son generalmente utilizados para las maniobras de cambio de vía de los trenes. Normalmente se usan dos tipos de aparatos de vía en lo que

respecta al ángulo de desviación se tienen: aparato - de Tg. = 0.20 y el aparato de Tg. = 0.13, siendo los del primer tipo usados en talleres y naves de depósito que se utilizan como aparatos de vía para transferencia o en espuela y los del segundo tipo se usan para comunicación y también para vías de enlace ó espuela, su uso es más frecuente en tramo ó en zona de cola, aquí es donde vemos el uso principal de los aparatos y que influye en el análisis del dimensionamiento geométrico de las líneas para el requerimiento del gálibo, cumpliendo según especificaciones; evitando los riesgos de hacer contacto el convoy con las paredes a paños interiores.

1.- Representación gráfica de los aparatos de vía:

a.- aparatos de Tg.=0.20

$$\theta = 11^{\circ} 18' 35.76''$$

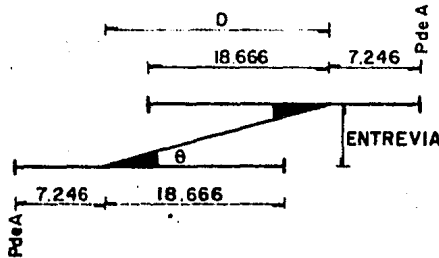
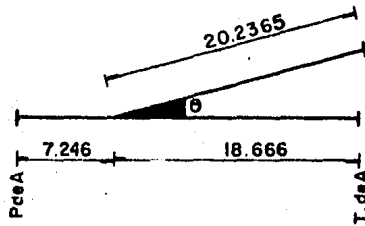


Estos aparatos los podemos encontrar en dos clases : aparatos con desviación a la izquierda y aparatos con desviación a la derecha, que se identifican así, si -

nos paramos en la punta de aparato (P de A) y visando hacia el Talón de Aparato, observamos la otra punta del otro talón que efectivamente está en otra dirección con un ángulo θ .

b.- Aparatos de Tg. = 0.13

$$\theta = 07^{\circ}24'24.88''$$

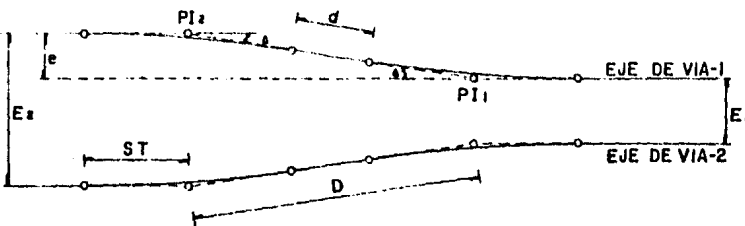


Entrevía	D
2.900 m.	22.308 m.
3.150 m.	24.231 m.
3.350 m.	25.769 m.
4.200 m.	32.308 m.

2.- Bayonetas.

Las bayonetas son empleadas en cuanto hay necesidad - del cambio de entrevía, de donde por la diferencia entre estas distancias de entrevía, que se obligará a absorber la diferencia por medio de dos curvas invertidas en ambos ejes de vía, siendo estas simétricas, es decir, que las curvas tendrán las mismas características y habrá una tangente mínima entre las dos curvas de 12.00 m. En este trecho (Tacuba-San Joaquín), se tuvieron dos tipos de bayonetas:

a.- Bayonetas con curvas invertidas, representándose en el croquis para el caso; en solución con clotoides y con curvas circulares.



Analizando; tenemos las siguientes ecuaciones:

$$e = \frac{E_2 - E_1}{2}$$

$$\text{Sen}\Delta = \frac{e}{D} \quad ; \quad D = \frac{e}{\text{Sen}\Delta}$$

$$D = 2St + d$$

$$D = 2R \operatorname{Tan} \frac{\Delta}{2} + d$$

El radio mínimo recomendable para estas bayonetas es de 3000.00 m. y para algunos casos especiales.

$$\frac{e}{\operatorname{Sen} \Delta} = 2(3000) \operatorname{Tan} \frac{\Delta}{2} + d$$

si d es igual a 12.00 m. de tangente permitida para enlace entre dos curvas tenemos:

$$\frac{e}{\operatorname{Sen} \Delta} - 600 \operatorname{Tan} \frac{\Delta}{2} = 12.00$$

La ecuación anterior se resuelve por tanteos, poniendo la deflexión " Δ " ó en su caso resolver por iteraciones para cuando se tenga un programa de calculadora hasta igualar la ecuación, ya que los valores de " e " y " d " serán conocidos, considerando un caso especial para $d=5.00$ m. por problemas de tipo técnico y que generalmente del valor especificado d debe ser igual a los 12.00 m, esto se debe a que un carro no puede entrar a otra curva estando en una al mismo instante por los pe raltos causados por la fuerza centrífuga.

III.3.- Gálido Horizontal.

El gálido horizontal, es la distancia requerida para la libre circulación del tren como ya se había mencionado anteriormente, tratándose éste un túnel de doble vía, teniendo una entrevía variable de 2.90 m. en tra-

mo, 3.15 m. en la zona de la vía de enlace y de 4.00 m en zona de estación San Joaquín como en las otras que fué necesario por la ubicación de apoyos centrales de la estructura.

Los apoyos se localizan en el centro del túnel, es decir entre las dos vías, dividiéndose de esta forma en doble túnel.

Los análisis y consideraciones que tienen para el diseño del gálibo horizontal; son para tramo tangente y en tramo curva.

1.- Gálibo horizontal en tangente con vía doble.

Entre vía _____ 3.15 m.

Diferencia del eje de vía al punto más alejado del aislador (1.4147x2) _____ 2.830 m.

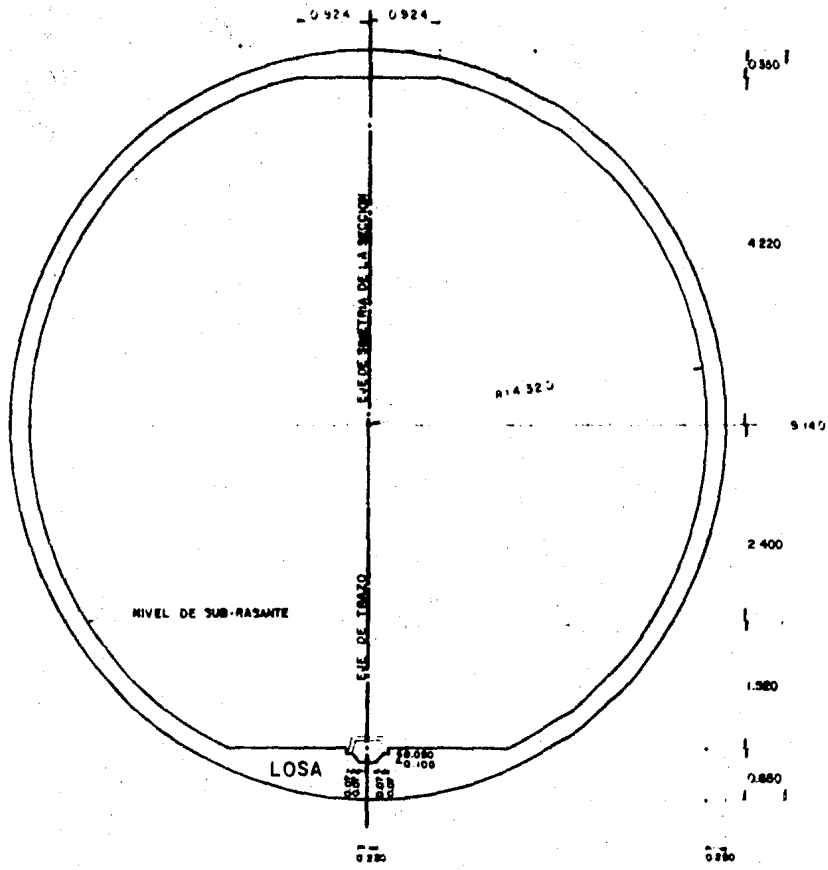
Distancia del aislador al inicio del andador 2x0.10 _____ 0.200m.

Dos andadores de concreto rugoso de 0.597 _____ 1.194 m.

Dos canaletas ó canales de drenes de 0.150 _____ 0.300 m.

7.674 m.

Del análisis anterior se determinó un radio mínimo para el túnel semicircular de 4.32 m., para tramo en tangente y en curva y sólo en el tramo donde se une con la vía de enlace a la línea No. 2, el radio será de 4.650 m. También para la zona de transición de -



UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	FACULTAD DE INGENIERIA
SECCION TUNEL SEMICIRCULAR CON ESCUDO	
TESIS PROFESIONAL	AGUSTIN OSORIO GUADALUPE

2.90 m. a 4.00 m. de entrevía en la entrada a la estación San Joaquín, la distancia mínima requerida del eje de vía al paño interior del muro es de 2.15 m. al nivel de la rasante, teniendo una separación entre los carros de 0.40 m. en entrevía de 2.90 m. y de 0.65 m. cuando la entrevía es de 3.15 m.

2.- Gálibo horizontal en curva con vía doble.

El gálibo horizontal en curva es muy variable que dependerá principalmente de las deflexiones, de ahí la aplicación de los análisis de gálibos dinámicos, eligiendo curvas con radios mínimos especificados.

Para curvas horizontales de radios mayores a 500.00 m. el gálibo se considera como en tramo tangente, por ser las curvas más abiertas y para curvas más cerradas con radios iguales ó menores a 500.00 m. y mayores o iguales a 150.00 m. que se ampliará el gálibo para permitir mejor la inscripción del material rodante.

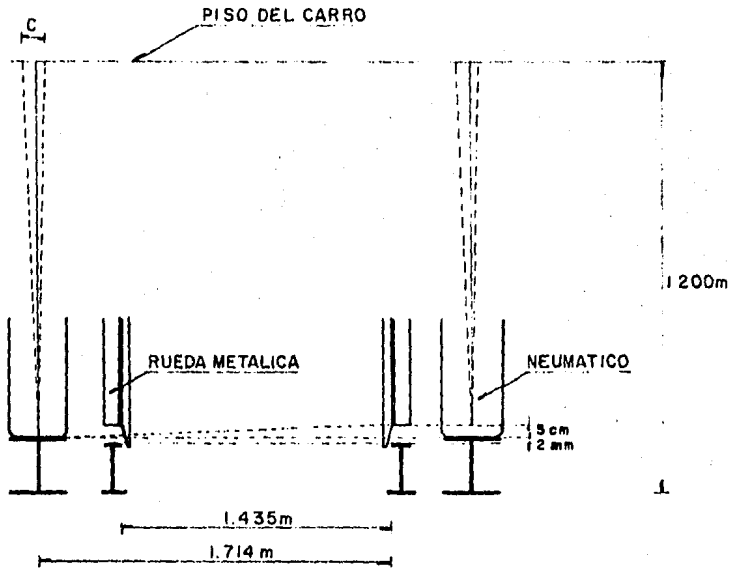
A manera de ejemplo; consideremos una curva horizontal con radio igual a 200.00 m. con vía doble, compuesta por clotoides de transición por ser la más crítica en este tramo y para curvas circulares el radio mínimo - permisible será de 3000.00 m.

2.1.- Análisis del gálibo dinámico en curva.

a.- Desplazamiento debido a la ponchadura de un neumático.

Los neumáticos y las ruedas metálicas tienen radios -- radios diferentes y además hay una diferencia de 2 mm.

abajo del nivel de la rasante ó sea de la superficie de rodamiento, donde tenemos el siguiente croquis.



Radio del neumático cargado	_____	0.480 m.
Radio de la rueda metálica	_____	0.450 m.

Diferencia		0.030 m.

y de la diferencia que existe entre la superficie de rodamiento (rasante) con el hongo del riel de 0.002 m. Resolviendo por triángulos semejantes para determinar el valor de c tenemos la operación siguiente:

$$c = \frac{0.030}{1.714} 1.20 + \frac{0.002}{1.714} 1.20 = 0.022$$

$$c = 0.022 \text{ m.}$$

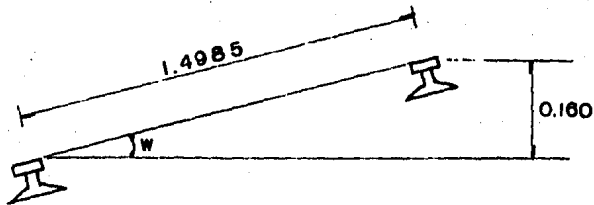
b.- Desplazamiento por balanceo de la suspensión.

El desplazamiento por balanceo, es obtenido empíricamente, de donde resulta de 0.01 m, esta no siempre se cumple debido a que las vías pueden estar desniveladas y a causa de ésta, provoca un desbalanceo completamente diferente.

c.- Angulo de giro de un carro debido al efecto de la sobre-elevación.

Este ángulo se presenta por el efecto de la fuerza de la gravedad en las curvas, donde el carro se incline hacia dentro de la curva con la máxima sobre elevación permisible.

$$e = 160 \text{ mm.}$$



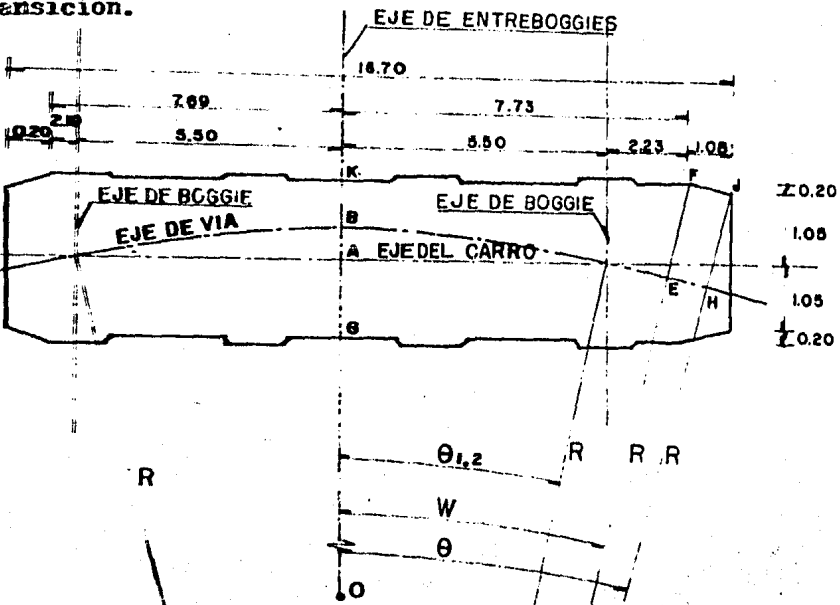
$$\text{Sen } w = \frac{0.1600}{1.4985} = 0.106773$$

$$w = 06^{\circ} 07' 46''$$

d.- Cálculo del desplazamiento del carro hacia adentro de la curva.

Analizando para un caso crítico, que sería para un carro motriz con cabina de conducción, ya que este tiene mayor dimensión longitudinalmente siendo la longitud de éste igual a 17.18 m. y una distancia de 11.00 m. entre los ejes de boggies. De lo anterior se puede deducir que el mayor desplazamiento se presenta en el centro de entre-ejes de los boggies, la distancia de 11.00 m, es la misma para los tres tipos de carros.

Ejemplo de cálculo, para una curva del eje de trazo con radio $R_m = 200.00$ m. pero debemos tomar las curvas de los ejes de vía, constituida con clotoides de transición.



Apoyándonos del croquis anterior, procedemos a calcular los datos que se requieran.

1.- Cálculo del ángulo θ_1 .

$$\text{Sen } \theta_1 = \frac{5.50}{R}$$

donde R es el radio para la vía interior y se obtiene de la siguiente manera:

$$R = 199.193 - 1.55 = 197.643$$

$$R = 197.643 \text{ m.}$$

por lo tanto :

$$\theta_1 = \text{Ang Sen} \frac{5.5000}{197.643} = 1.594630^\circ$$

$$\theta_1 = 1^\circ 35' 41''$$

2.- Obtención de la distancia \overline{GB} .

$$\overline{OA} = R \cdot \text{Cos } \theta_1 = 197.566458$$

$$\overline{OA} = 197.566 \text{ m.}$$

$$\overline{AB} = R - R \cdot \text{Cos } \theta_1 = R(1 - \text{Cos } \theta_1) \quad (1)$$

$$\overline{AB} = 197.643(1 - 0.999613) = 0.07655$$

$$\overline{AB} = 0.077 \text{ m.}$$

En tanto que \overline{GB} es igual a la suma de \overline{AB} más -
1.250 m.

$$\overline{GB} = \overline{AB} + 1.250 = 0.077 + 1.250 = 1.327 \text{ m.}$$

$\overline{GB} = 1.327 \text{ m.}$ (desplazamiento hacia adentro de la curva)

3.- Se obtiene el radio R para la vía exterior.

$$R = 199.193 + 1.550 = 201.743$$

$$\overline{AB} = R(1 - \text{Cos } \theta_2)$$

$$\theta_2 = \text{Ang Sen } \frac{5.500}{201.743} = 1.562214^\circ$$

$$\theta_2 = 01^\circ 33'44''$$

$$\overline{OA} = 201.743 \times \text{Cos } (1^\circ 33'44'') = 201.668014$$

$$\overline{OA} = 201.668 \text{ m.}$$

$$\overline{AB} = 201.743(1 - 0.999628) = 0.074986$$

$$\overline{AB} = 0.075 \text{ m.}$$

de donde :

$$\overline{GB} = 0.075 + 1.250 = 1.325$$

$$\overline{GB} = 1.325 \text{ m. (desplazamiento hacia adentro)}$$

e.- Desplazamiento del carro hacia afuera de la curva.

El desplazamiento hacia afuera, en la parte central del carro con respecto a las distancias \overline{EF} y \overline{HJ} , - en las cuáles se tendrá mayor desplazamiento en esta última que estará en zona de curva.

Analizando los desplazamientos de las distancias mencionadas, considerando estos radiales a la curva.

1.- Desplazamiento \overline{EF} para la vía interior.

$$\overline{BK} = 1.250 - \overline{AB} = 1.250 - 0.077 = 1.173$$

$$\text{Tan } w = \frac{7.730}{R + \overline{BK}} = \frac{7.730}{197.643 + 1.173} = \frac{7.730}{198.816} =$$

$$w = \text{Ang Tan } (0.038880) = 2.226543^\circ$$

$$w = 2^\circ 13'36''$$

$$\overline{EF} = (R + \overline{BK}) \frac{1}{\text{Cos } w} - R = (197.643 + 1.173) \frac{1}{\text{Cos } w} -$$

$$-197.643 = 198.967 - 197.643 = 1.324$$

$\overline{EF} = 1.324 \text{ m. (desplazamiento hacia afuera del carro interior)}$

2.- Desplazamiento \overline{HJ} para la vía interior.

$$\tan \theta = \frac{8.810}{\overline{OA} + 1.05} = \frac{8.810}{197.566 + 1.05} = 0.044357$$

$$\theta = 2^{\circ}32'23''$$

$$\overline{HJ} = (\overline{OA} + 1.05) + (8.81) - R$$

$$\text{como } \overline{OA} = 197.566$$

$$\overline{HJ} = (197.566 - 1.05) + 8.81 - 197.643 = 1.169$$

$$\overline{HJ} = 1.169 \text{ m.}$$

\overline{HJ} resulta menor que el desplazamiento \overline{EF} .

3.- Desplazamiento \overline{EF} para la vía exterior.

$$\overline{OK} = \overline{OA} + 1.250 = 201.668 + 1.250 = 202.918$$

$$w = \text{Ang Tan } \frac{7.730}{2020.918} = 2.181582^{\circ}$$

$$w = 2^{\circ}10'54''$$

$$\overline{EF} = \overline{DF} - R = \frac{202.918}{\cos(2^{\circ}10'54'')} - 201.743 = 1.322$$

$\overline{EF} = 1.322 \text{ m.}$ (desplazamiento hacia afuera del carrero exterior).

4.- Desplazamiento \overline{HJ} para la vía exterior.

$$\overline{OK} = \overline{OA} + 1.05 = 201.668 + 1.05 = 202.718$$

$$\theta = \text{Ang Tan } \frac{8.810}{201.718} = 2.488473^{\circ}$$

$$\theta = 2^{\circ}29'19''$$

$$\overline{HJ} = \overline{OJ} - R = \frac{202.718}{\cos(2^{\circ}29'19'')} - 201.743 = 1.166$$

$$\overline{HJ} = 1.166 \text{ m.}$$

\overline{EF} resulta mayor que \overline{HJ} y que para fines prácticos, tomaremos las distancias mayores, para los dos casos.

A.- Distancia de entre ejes de vía.

Para un carro de la vía interior:

Desplazamiento del carro hacia afuera de la curva interior \overline{EF} _____ 1.324 m.
 Desplazamiento debido al balanceo de la suspensión. $\frac{b}{\text{-----}}$ 0.010 m.
 Desplazamiento debido a la ponchadura de un neumático c. ----- 0.021 m.
 Desplazamiento hacia afuera del carro interior 1.355 m.

Para un carro de la vía exterior hacia el interior.

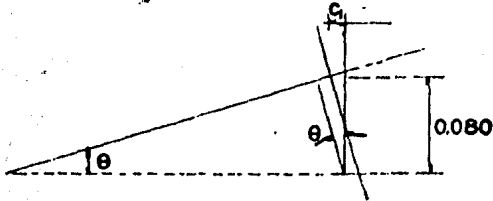
Desplazamiento hacia adentro de la curva—1.325 m.
 Desplazamiento debido a la suspensión $\frac{b}{\text{-----}}$ 0.010 m.
 Desplazamiento debido a la ponchadura c—0.021 m.
 Desplazamiento hacia adentro del carro.... 1.356 m.

B.- Sumando las distancias obtenidas en inciso anterior y la separación de los carros para una entrevía de 2.900 m. es de 0.40 m. de donde tenemos:

Desplazamiento hacia afuera del carro exterior - 1.355 m.
 Desplazamiento hacia adentro del carro exterior 1.356 m.
 Separación de los carros E=2.90 ——— 0.400 m.
 3.111

La traza vertical del eje de vía debida a la sobre-elevación se proyecta a una distancia c_1 .

$$\theta = 6^{\circ}07'46''$$



$$c_1 = 0.080 \tan (\theta/2) = 0.004$$

$$c_1 = 0.004$$

Por lo que resulta : 3.111
 $+ 0.004$

$$\underline{\hspace{1.5cm}} 3.115 \text{ (distancia de entrevía E)}$$

Entrevía = 3.100 m. (proyectado)

C.- Distancia de la vía exterior al muro.

$\overline{EF} = 1.324$ Desplazamiento hacia afuera de la vía exterior del carro.

$$\text{Proyección} = \overline{EF} \cos \theta = 1.325 \cos(6^{\circ}07'46'') =$$

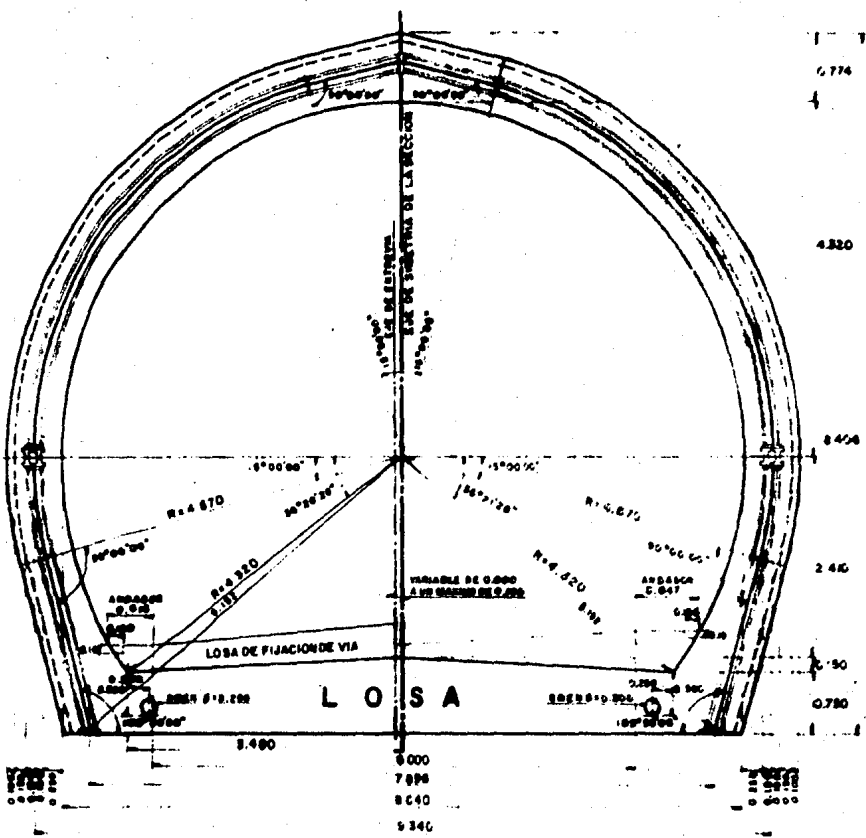
$$= 1.317$$

$$\text{Andadores} \dots\dots\dots 0.597$$

$$\underline{\hspace{1.5cm}} 1.914 \text{ m.}$$

Por lo que $D_1 = 1.914$ m.

D.- Distancia de la vía interior al muro.



UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
	FACULTAD DE INGENIERÍA
SECCIÓN TUNEL SEMICIRCULAR EN TRAMO CURVA	
TESIS PROFESIONAL	AGUSTIN OSORIO GUADALUPE

D.- Distancia de la vía interior al paño interior del muro.

$$\text{Desplazamiento hacia adentro } 1.325 \cos(6^\circ 07' 46'') = \\ = 1.317$$

Proyección de la rasante al techo del carro;

$$3.600 \text{ Sen } (6^\circ 07' 46'') = 0.384$$

$$\text{Andador} = 0.597$$

$$\text{Desplazamiento por ponchadura de un neumático} = 0.022$$

$$\text{Desplazamiento por balanceo de la suspensión} = 0.010$$

$$\text{Distancia de la vía interior al muro} = \underline{\underline{2.331}}$$

5.- Se tiene finalmente el gálibo total, sumando las distancias calculadas, las cuáles se toman las siguientes:

$$\text{Distancia de la vía exterior al muro.} \quad 1.914 \text{ m.}$$

$$\text{Distancia de la vía interior al muro.} \quad 2.331 \text{ m.}$$

$$\text{Distancia de la entrevía en curva.} \quad \underline{\underline{3.100 \text{ m.}}}$$

$$\text{Gálibo Total.} \quad 7.345 \text{ m.}$$

Donde con fines prácticos se considera de 7.40 m.

III.4.- Gálibo Vertical.

El gálibo vertical, es la altura necesaria para que un tren circule libremente sin tener obstáculos, como ocurre con el gálibo horizontal; pero en este caso es en sentido vertical.

a.- Para esto, se toma en cuenta las características del material rodante y tipo de fijación de la vía,

tal es el caso para tramo tangente:

Losa de fijación de vía (concreto simple).	0.200 m.
Peralte de la pista y almohadillas.	0.180 m.
Altura del carro.	3.600 m.
Espacio libre superior a intradós.	<u>0.500 m.</u>
	4.480 m.

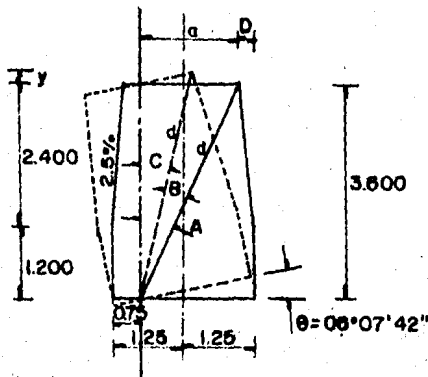
Debido a las diferencias de desplante de la estructura tiende a incrementarse para mayor seguridad, para tramos en tangente y en curva.

b.- Gálibo vertical en curva horizontal .

Los gálibos verticales en curvas horizontales, deben considerarse las sobre-elevaciones en curvas, cuyos radios sean menores ó iguales a 500.00 m. y para curvas mayores a 500.00 m. de radio se consideran como en tramo tangente por tener una sobre-elevación menor que a las anteriores.

Analizando así para curvas horizontales con radios menores ó iguales a 500.00 m.

Tomando la siguiente consideración de 160 mm. de sobre elevación máxima permisible.



Partiendo del croquis anterior tenemos:

$$D = 2.40 \frac{2.50}{100} = 0.060 \text{ m.}$$

$$a = 1.250 + 0.75 - D = 2.00 - 0.06 = 1.940 \text{ m.}$$

Luego tenemos :

$$A = \text{Ang Tan } \frac{1.940}{3.600} = 28.319734^\circ$$

$$A = 28^\circ 19' 11''$$

$$C = A - \theta = 28.319734 - 6.129444 = 22.19029^\circ$$

$$C = 22^\circ 11' 25''$$

Resultando :

$$d = \frac{a}{\text{Sen}A} = \frac{1.940}{0.474391} = 4.089$$

$$y = d \cdot \text{Cos}c - 3.600 = 3.787 - 3.600 = 0.187$$

$$y = 0.187 \text{ m.}$$

Para tener mayor seguridad, puede incrementarse este valor, sustituyendo por 0.250 m. resultando el gálibo en curva de 5.15 m. como mínimo permisible.

1.- Nichos.

Los nichos son espacios limitados, que se requieren para diferentes usos según las necesidades de una línea del Metro. Los nichos se clasifican en tres tipos a saber:

a.- Nichos de seguridad

b.- Nichos de aparatos de vía

c.- Nichos especiales

a.- Los nichos de seguridad; son los destinados a la protección del personal de operación y para pro-

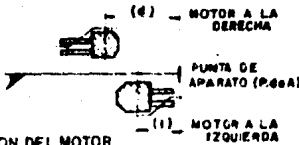
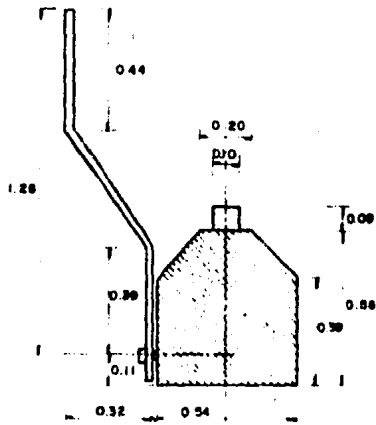
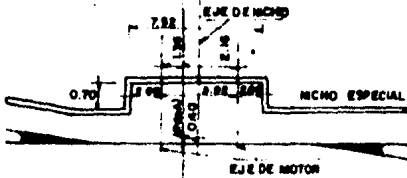
porcionar un mantenimiento adecuado a una línea del metro con dimensiones de 1.50 m. de longitud, 0.30 m. de profundidad y de 2.10 m. de altura. Estos se localizan en líneas subterráneas y se ubicarán a cada 50.00 m. y a cada 25.00 m. en tramos tangente y en curva respectivamente.

- b.- Los nichos de aparato, tienen la siguiente finalidad: alojar el motor de los aparatos para el cambio de vía y su localización será en las puntas de aparatos. Sus dimensiones dependerán de las características del tramo elevado, superficial, subterráneo ó en túnel y el eje del nicho se localizará a una distancia especificada también en condiciones del mencionado anteriormente.
- c.- Nichos especiales, estos son generalmente para el uso de las instalaciones electromecánicas tales como : Seccionadores, puestos de rectificación eléctrica, interruptores, visitadores, contactores, etc. y para su dimensionamiento o localización dependerá de los estudios correspondientes para cada caso.

Nichos de Aparatos anexo;

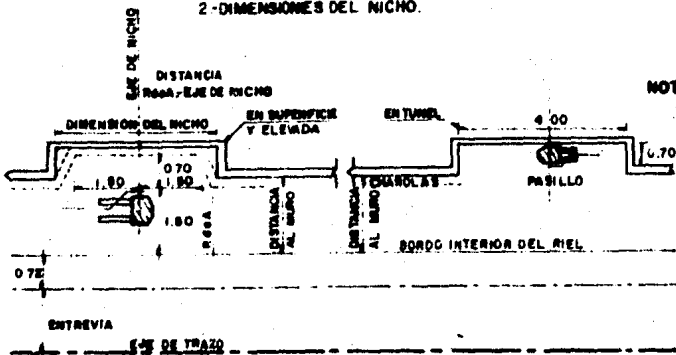
NICHOS DE MOTOR DE APARATO TANG O.13

LINEA	EN SUPERFICIE Y ELEVADA		EN TUNEL		
	POSICION DEL MOTOR	PEGADO A LA VIA		LEJANO A LA VIA	
% VIA					
% APARATO	DISTANCIA	DIMENSIONES DE NICHOS		DISTANCIA	DIMENSION
		Para EJE DE NICHOS	MURO A 1.80		
ALA DERECHA (d)	2 295	3M CHAROLAS 115 X 6.00	5 X 0 70	1 38	4 X 0 70
ALA IZQUIERDA (i)	1 508	SIN CHAROLAS 115 X 6.00	5 X 0 70	2 18	4 X 0 70



1- POSICION DEL MOTOR CON RELACION AL APARATO CUALQUIERA QUE SEA EL SENTIDO DE DESVIACION DEL APARATO.

2- DIMENSIONES DEL NICHOS.



NOTA: ACOTACIONES EN METROS

UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	FACULTAD DE INGENIERIA
POSICION PARA NICHOS DE MOTOR DE APARATO	
TESIS PROFESIONAL	AGUSTIN OSORIO GUADALUPE...

III.5.- Aspectos generales de la construcción del túnel.

Debido a que, en la mayoría de los casos, el eje del túnel coincide con el eje de la vialidad superficial, fué necesario construir las lumbreras hacia las laterales y también de los túneles de conexión perpendiculares al eje de la línea del Metro. En la intersección de ambos túneles se provoca una discontinuidad, que forma una zona de encapillado misma que ameritan un procedimiento cuidadoso. Viéndose en la práctica, la conveniencia de que la clave del túnel de conexión fuera de mayor altura que la correspondiente al túnel en tramo o de interestación.

El ataque del túnel se inicia con un empotramiento en la intersección con la lumbrera, colando en una ranura perimetral, una trabe de borde de concreto, así como enclas de fricción en la parte superior del portal. Este mismo procedimiento constructivo se aplica en todas las intersecciones de túneles, dejando enclajes en la trabe de borde para integrarlos con el revestimiento definitivo.

El ademe de los túneles consistió en concreto lanzado y la combinación de éste con marcos metálicos, que estará de acuerdo con las características de los suelos y los techos existentes en cada tramo, llevándose a cabo una zonificación sobre los procedimientos de excavación y propiedades del ademe primario y en todos los casos el concreto lanzado remata en la zona inferior -

de la sección en una zapata de 40x80 cm. bajo el nivel de la plantilla.

En lo que respecta al concreto lanzado, este será la mezcla de un mortero (aglutinante), arena-grava y agua que son lanzados a presión, haciéndose la mezcla un poco antes de salir del ducto, evitando así el taponeo de éste. El espesor del concreto lanzado es muy variable, que va desde 15 hasta 25 cm. como máximo, la colocación de una ó dos mallas electrosoldada o en su caso para las zonas críticas se reforzó con marcos metálicos, así como la distancia máxima excavada sin ademe; 2.40, 1.20 y 1.00 m. el ataque a sección completa ó con banqueo y la distancia máxima de este último.

Descripción de un ciclo típico de excavación; se inicia en la zona de clave, utilizando pistolas neumáticas, equipo de corte especializado (rozaduras), traspaleando manual o mecánicamente al material excavado, según sea el caso. Cuando es especificada la longitud máxima de excavación, una vez concluida, se procede a lanzar el concreto que servirá como ademe primario hasta el piso del banqueo.

La excavación del banco inferior puede hacerse con traxcavo por su propia geometría ó con la misma rozadura, también para alojar la zapata de apoyo del concreto lanzado en la parte inferior y así como para afine con las pistolas neumáticas, suspendiendo la excavación hasta que no se haya completado el concreto lanzado apoyados en las zapatas extremas.

En algunos casos se presentan zonas en la cuál se requieren marcos metálicos, se coloca la media sección superior a restras, colocando después las patas. Para la zona en donde el túnel encuentra el derrame basáltico, el ciclo de trabajo cambia como sigue: barrenación con perforadoras de pierna (barrenos de 38 mm. y 2.40 m. de profundidad) cargas de explosivos (cartuchos de 150 gramos. Se excava en tres etapas, una central en la parte superior, ampliaciones laterales en ambos lados de la media sección superior y finalmente el banco inferior. Las mayores dificultades de excavación se presentan en el frente mixto de basalto y contacto con el tepetate.

En todos los túneles, el manejo de la rezaga se llevó a cabo mediante camiones de volteo ó botes colocados sobre plataformas de camiones.

En algunos casos fué necesario el uso del escudo de frente abierto, tales como en las cercanías de la estación Tacuba, tanto en la zona de cola y en el tramo: Tacuba-San Joaquín y también entre Constituyentes-Tacubaya. Para en estos casos, previo al inicio de la excavación se construyó un atraque de concreto, para apoyar los gatos hidráulicos y transmitir el empuje. Cuando está el escudo en contacto con el terreno, se efectúa un precorte que facilita su avance; accionando los gatos, se avanza en incrementos de 80 cm. de longitud. Una vez que el escudo haya recorrido la distancia espe

cificada, se excava el núcleo del túnel en la zona de la camisa a la vez se coloca un anillo de dovelas dentro del faldón. En el siguiente avance, queda un anillo de dovelas de la zona del faldón con el terreno que se expande con gatos hidráulicos, para garantizar un contacto adecuado, para obtener una mayor adherencia y así se distribuirán más uniformemente los empujes que el suelo transmitirá sobre la estructura.

Equipo utilizado para la excavación de los túneles son:

- a.- Pistolas neumáticas y trexcavo, cargando la rezaga con botes que se transportan mediante camiones con plataformas.
- b.- Rozadura con capacidad de 20 a 40 m³/hr., ó bien un brazo cortador montado sobre un equipo caterpillar, la carga y transporte de la rezaga se efectúa con camión de volteo ó por medio de un trexcavo.
- c.- Torres de manteo en las lumbreras ó dragas para izar los botes hasta la superficie, sacando de esta forma la rezaga de los túneles.

III.5.1.- Revestimiento definitivo.

El revestimiento definitivo de los túneles secundarios, se realizó por medio del lanzado de concreto, así como en aquellas secciones de geometría variables tales como: en zonas de transición, encapillados, etc. En los demás casos se efectuó, utilizando cimbras seccionales metálicas, en módulos de 6.00 m. de longitud, que servirán para la guarnición y la clave, así como el cola-

do directo de la losa de fondo, confinada por las propias guarniciones; en ocasiones se efectuó en una sola operación, el colado de la losa de fondo y las guarniciones.

El suministro o abastecimiento del concreto fué realizado por medio de camiones revolvedores, los cuáles - descargaban en una tolva, estando ésta colocada en la lumbrera o en pozos perforados especialmente sobre el eje del túnel, aprovechando además los pozos de control topográfico. La tolva se conecta a una tubería de 12", existiendo en la parte inferior un tanque amortiguador del cuál se descarga directamente a las bombas de concreto, conduciendo éste a través de otra tubería en la parte superior de la cimbra.

La estructura metálica de la cimbra se desliza sobre rieles, colocados sobre la guarnición y se desplazará mediante Tirfor, después de haberse colado la clave, considerando un tiempo de 12 horas para fraguado, se procede a descimbrar y se correrá a una nueva posición. Finalmente para la construcción de los túneles, cabe - mencionar que en la etapa de construcción se implantó una instrumentación detallada previa y posterior, a las actividades de excavación, revestimientos primarios y definitivos. Esta instrumentación permitió conocer los desplazamientos horizontales y movimientos verticales, tanto dentro del túnel como en la superficie, colaborando de esta forma contundente a la definición de los parámetros. los cuáles rigieron en las especificaciones de construcción.

IV.- IMPLANTACION DE VIA .

La implantación de vía, es el proyecto que se realiza nuevamente, una vez terminada la construcción de la estructura que sustentará la vía, ajustándose a los nuevos levantamientos topográficos, de las características que presenta el túnel debido a las imperfecciones que se tiene en las paredes, aunque se tenga cimbra metálica quedan irregularidades desplazándose con respecto al eje de trazo.

IV.1.- Implantación de Vía - Trazo.

La implantación de vía-trazo es la elaboración de plano con los nuevos levantamientos topográficos después de concluidos los trabajos de obra civil, es decir, de la estructura que sustentará la vía,

Los levantamientos se hacen primero de la verificación del trazo, alineándose por el centro de la sección del túnel, obteniéndose nuevas distancias y deflexiones, con estos se hará comparaciones con el de proyecto e inmediatamente se realiza los levantamientos de los gálidos reales, que posteriormente se dibujan en secciones tipo de control del túnel.

La elaboración de un plano de implantación de vía Trazo, tiene las siguientes características:

- a.- El plano será sin planimetría.
- b.- Deberá contener los datos de curvas tanto de eje de trazo como de los ejes de vía y de las bayonetas.

- c.- Trazo esquemático de la línea, que contiene cadenas y los elementos principales de las curvas con clotoides de enlace TC y CT, indicando los radios respectivos.
- d.- Este presentará una comparación de los gálidos reales con el de proyecto, para detectar los puntos críticos.
- e.- El levantamiento topográfico de los gálidos, se realiza a cada 20.00 m. en tramo tangente y a cada 10.00 ó 5.00 m. en zona de curva.
- f.- La localización de los aparatos de vía de comunicación y los de enlace en caso de existir.
- g.- La simbología constituyen el eje de trazo, eje de vía, gálido de proyecto, gálido real transversales.
- h.- Las escalas son aplicadas en este caso, dos diferentes para apreciar mejor los puntos críticos; que normalmente es de 1:500 longitudinal y 1:50 transversal.

El proyecto de implantación de Vía - Trazo se elabora bajo las condiciones anteriores. Los levantamientos de tangentes, deflexiones y secciones transversales, se verificarán con los de proyecto del trazo original con tolerancias de 2 cm. en cada 100.00 m. para las longitudinales y 20 Seg. para los ángulos de deflexión.

Posteriormente se procede al cálculo de curvas exteriores e interiores de los ejes de vía, calculando los cadenas desplazados a partir de PI del eje de tra

zo, esto es cuando las deflexiones angulares no sufre modificación alguna, en caso contrario calcular nuevamente los elementos de curvas para el eje de trazo y posteriormente continuar con los ejes de vía.

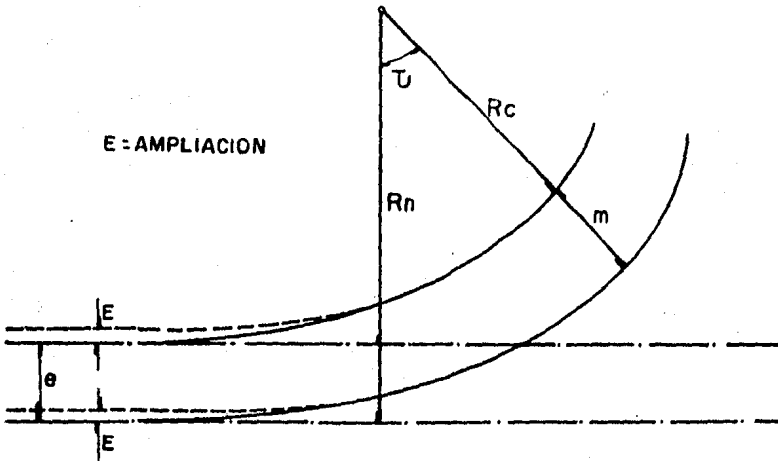
El cálculo de los ejes de vía, es similar al cálculo de curvas del eje de trazo, sólo que en este caso se considera la entrevía, los desplazamientos que tienen hacia adentro de la vía interior. Después de haber observado las zonas críticas, se determinó que el eje de trazo debía coincidir con la línea de entrevía, donde las curvas circulares serán paralelas como el ejemplo siguiente.

Datos de curva de eje de trazo = Eje de entrevía.

$\tau = 08^{\circ} 55' 12''$	PI=8+882.510	$\tau = 08^{\circ} 55' 12''$
Xc= 61.871	$\Delta = 31^{\circ} 44' 03''$	Xc= 61.871
Yc=3.213	$\Delta c=13^{\circ} 53' 39''$	Yc=3.213
Lcl=62.021	St=24.271	Lcl=62.021
U=20.471	Tc=87.833	U=20.471
H=20.722	Gc=5.752790°	H=20.722
	D/m=8.629186'	
	Rc=199.193	
	Rn=200.000	

Estos cálculos se realizaron en el capítulo de Trazo.

A continuación se tiene el procedimiento de cálculo de curvas de ejes de vía, que se tiene los mismos pasos que para el eje de trazo.



E = AMPLIACION

IV.1.1.- Cálculo de la curva del eje de vía interior.

A.- Elementos de la clotoide.

a.- Cálculo del radio nominal para la vía interior R_n .

$$R_n = 200.00 - 1.45 = 198.550$$

$$R_n = 198.550 \text{ m.}$$

b.- Cálculo del radio de la curva circular real R_c .

$$R_c = R_n - (m + L/2)$$

donde: E = entrevía

m = es distancia en zona circular de eje de trazo a eje de vía.

$$R_c = 199.193 - (1.45 + 0.10) = 199.193 - 1.550 = 197.643$$

$$R_c = 197.643 \text{ m.}$$

c.- Se calcula el parámetro λ en función del radio nominal:

$$\lambda = E/R_n \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$E = R_n - R_c \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$E = 198.550 - 197.643 = 0.907 \text{ m.}$$

Sustituyendo E en la ecuación (1), se tiene;

$$\lambda = 0.907/198.550 = 0.004568$$

Una vez calculado el parámetro λ , se va a las tablas unitarias mencionadas, tomando el valor inmediato superior más próximo.

$$\rho = 0.576000$$

$$x = 0.574417$$

$$y = 0.031788$$

$$x_m = 0.287736$$

$$r = 1.736111$$

$$\tau = 9^\circ 30' 17''$$

d.- Calculando el parámetro A, que sirve para calcular los elementos principales.

$$A = Rc/r = 197.643/1.736111 = 113.842375 \text{ (adimensional)}$$

e.- Cálculo de Lcl.

$$Lcl = \rho A = 0.576 \times 113.842375 = 65.573$$

$$Lcl = 65.573 \text{ m.}$$

f.- Cálculo de Kc.

$$Kc = x \cdot A = 0.574417 \times 113.842375 = 65.393$$

$$Kc = 65.393 \text{ m.}$$

g.- Cálculo de Yc .

$$Yc = y \cdot A = 0.031788 \times 113.842375 = 3.619 \text{ m.}$$

h.- Cálculo de Xm.

$$Xm = x_m \cdot A = 0.287736 \times 113.842375 = 32.757 \text{ m.}$$

i.- Cálculo de U; en función de $\tau = 9^\circ 30' 17''$

$$U = Yc / \tan(9^\circ 30' 17'') = 21.614 \text{ m.}$$

j.- Cálculo de H.

$$H = 3.619 / \text{Sen}(9^\circ 30' 17'') = 21.915 \text{ m.}$$

k.- Cálculo de Tc .

$$Tc = Rn \cdot \text{Tan}(\Delta / 2) + Ym$$

Se considera la misma deflexión del eje de trazo.

$$\Delta = 31^\circ 44' 03''$$

sustituyendo valores en la ecuación anterior:

$$Tc = 198.55 \text{ Tan}(31^\circ 44' 03'' / 2) + 32.757 = 89.192 \text{ m.}$$

B.- Cálculo de los elementos de la curva circular.

a.- Cálculo de Δ_c (deflexión de la curva circular real) en grados, minutos y segundos.

$$\Delta_c = \Delta - 2\tau = 31^\circ 44' 03'' - 2(9^\circ 30' 17'') = 12^\circ 43' 29''$$

b.- Cálculo de Lc.

$$Lc = \Delta \text{ rad. } R_c = (12^\circ 43' 29'') 197.643 \cdot \pi / 180 = 43.894 \text{ m.}$$

c.- Cálculo de la subtangente St.

$$St = R_c \text{ Tan}(\Delta_c / 2) = 197.643 \text{ Tan}(12^\circ 43' 29'' / 2) = 22.038 \text{ m.}$$

d.- Cálculo del grado de curvatura Gc, que estará en grados decimales.

$$Gc = 1145.91559 / 197.643 = 5.797906^\circ$$

e.- Cálculo de la deflexión por metro D/m en minutos.

$$D/m = 1.5 Gc = 1.5(5.797906) = 8.696859'$$

IV.1.2.- Cálculo de la curva del eje de vía exterior.

A.- Elementos de la clotoide.

a.- Cálculo del Radio Nominal Rn.

$$Rn = 200.000 + 1.450 = 201.450 \text{ m.}$$

b.- Cálculo del radio de la curva circular real R_c .

$$R_c = 199.193 + 1.550 = 200.743 \text{ m.}$$

c.- Cálculo del parámetro λ .

$$\lambda = (201.450 - 200.743) / 201.450 = 0.707 / 201.45 =$$

$$\lambda = 0.003510$$

de la tabla se obtienen los datos siguientes.

$$\rho = 0.532000$$

$$x = 0.537863$$

$$y = 0.026059$$

$$x_m = 0.269311$$

$$r = 1.855288$$

$$\tau = 8^\circ 19' 22''$$

d.- Cálculo del parámetro A (edimensional)

$$A = R_c / r = 200.743 / 1.855288 = 108.200452$$

e.- Cálculo de Lcl.

$$L_{cl} = 0.539 \times 108.200452 = 58.320 \text{ m.}$$

f.- Cálculo de Xc .

$$X_c = 0.537863 \times 108.200452 = 58.197 \text{ m.}$$

g.- Cálculo de Yc.

$$Y_c = 0.026059 \times 108.200452 = 2.820 \text{ m.}$$

h.- Cálculo de X_m.

$$X_m = 0.269311 \times 108.200452 = 29.140 \text{ m.}$$

i.- Cálculo de U.

$$U = 2.820 / \tan(8^\circ 19' 22'') = 19.274 \text{ m.}$$

j.- Cálculo de H.

$$H = 2.82 / \text{Sen}(8^\circ 19' 22'') = 19.479 \text{ m.}$$

k.- Cálculo del Tc.

$$T_c = 201.45 \tan(31^\circ 44' 03'' / 2) + 29.140 = 86.399 \text{ m.}$$

B.- Cálculo de los elementos de la curva circular.

a.- Cálculo de la deflexión de la curva circular real

Δ_c ,

$$\Delta_c = 31^\circ 44' 03'' - 2(8^\circ 19' 22'') = 15^\circ 05' 19''$$

b.- Cálculo de la longitud de L_c .

$$L_c = 15^\circ 05' 19'' (200.743 \times \pi) / 180 = 52.865 \text{ m.}$$

c.- Cálculo de subtangente St .

$$St = 200.743 \times \tan(15^\circ 05' 19'' / 2) = 26.587 \text{ m.}$$

d.- Grado de curvatura G_c .

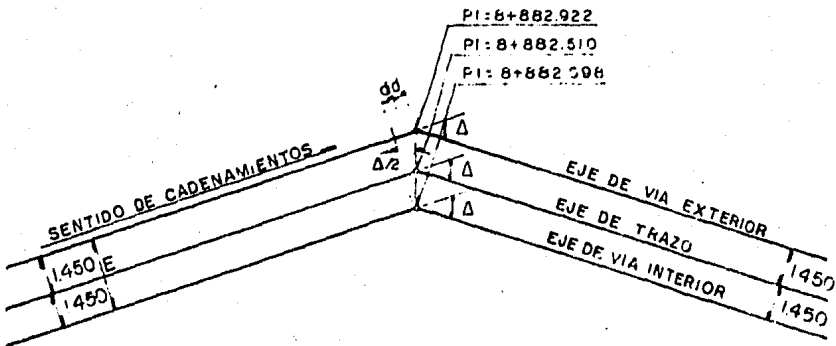
$$G_c = 1145.91559 / 200.743 = 5.708571^\circ$$

e.- Deflexión por metro D/m .

$$D/m = 15(5.708371) = 8.562557'$$

IV.1.3.- Cálculo del desplazamiento del PI.

Este desplazamiento se realiza con respecto al eje de trazo para los ejes de vía exterior e interior, para dar cadenamientos de los puntos de inflexión cuando existe simetría la entrevista.



$$E = 2.900 \text{ m.}$$

$$\Delta = 31^\circ 44' 03''$$

a.- Cálculo del desplazamiento del PI del eje de trazo calculando los puntos de inflexión de las curvas de los ejes de vía.

$$d = E \times \tan(\Delta/2)/2$$

$$d = 1.45 \times \tan(31^\circ 44' 03''/2)/2 = 0.412 \text{ m.}$$

b.- Cálculo del PI de la curva exterior.

$$PI = 8 + 882.510 + 0.412 = 8 + 882.922 \text{ (vía exterior)}$$

c.- Cálculo del PI de la curva interior.

$$PI = 8 + 882.510 - 0.412 = 8 + 882.098 \text{ (vía interior)}$$

Reordenando los datos de curvas de ejes de vía:

$\tau = 9^\circ 30' 17''$	Vía interior $PI = 8 + 882.098$	$\tau = 9^\circ 30' 17''$
$Xc = 65.393$	$\Delta = 31^\circ 44' 03''$	$Xc = 65.393$
$Yc = 3.619$	$\Delta c = 12^\circ 43' 29''$	$Yc = 3.619$
$Lcl = 65.573$	$St = 22.038$	$Lcl = 65.573$
$U = 21.614$	$Lc = 43.894$	$H = 21.915$
	$Gc = 5.797906^\circ$	
	$D/m = 8.696859'$	
	$Rc = 197.643$	
	$Rn = 198.550$	

Cadenamientos de los puntos principales:

$$PI = 8 + 882.098$$

$$TC = 8 + 792.906$$

$$CC = 8 + 858.479$$

$$CC = 8 + 902.373$$

$$CT = 8 + 967.946$$

Datos de clotoide (vía exterior)

$\tau = 8^{\circ}19'22''$	PI=8+882.922	$\tau = 8^{\circ}19'22''$
Xc=58.197	$\Delta = 31^{\circ}44'03''$	Xc=58.197
Yc= 2.820	$\Delta c=15^{\circ}05'19''$	Yc= 2.820
Lcl=58.320	St=26.586	Lcl=58.320
U=19.274	Lc=52.865	U=19.274
H=19.479	Tc=86.399	H=19.479
	Gc=5.708371°	
	D/m=8.562557'	
	Rc=200.743	
	Rn=201.450	

Cadenamientos de los puntos principales:

PI=8+882.922
TC=8+796.523
CC=8+854.843
CC=8+907.708
CT=8+966.028

Partiendo de los análisis anteriores hechos en la parte del proyecto de gálibos, podemos observar que la entrevía varía de 1.45 m. a 1.55 m. en la vía exterior e interior y que esta ampliación se produce en la vía interior, teniendo los casos siguientes:

Para	Ampliación de la <u>entrevía interior</u>	Entrevía
$150 \leq Rn < 300$	20 cm.	3.10 m.
$300 \leq Rn < 500$	10 cm.	3.00 m
$Rn \geq 500$	Nula	2.900 m.

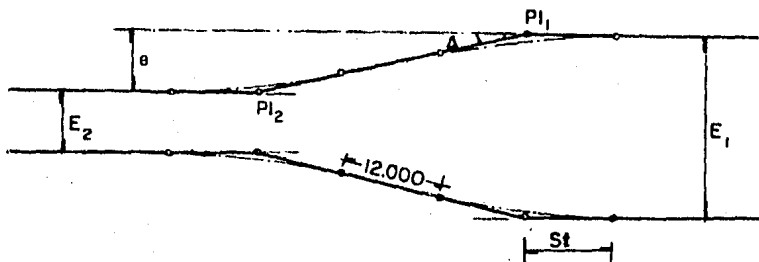
De esta forma deben considerarse para el cálculo de todas las curvas para los ejes de vía interior, aunque algunos casos resulte imposible aplicar esta teoría como en el caso anterior, resultando que debía coincidir el de trazo con el eje de entrevía, como podemos concluir que la máxima ampliación se presenta en la zona central de la curva circular que es de 1.450 m. a 1.55 m. tanto el exterior e interior y que los cálculos se efectuaron similares al de trazo.

IV.1.4.- Cálculo de la bayoneta.

El cálculo de la bayoneta que corresponde debido al cambio de la entrevía de 2.90 m. a 3.15 m.

Como se vió en el capítulo anterior, que se consideró para el dimensionamiento de éste, cuando existen dos entrevías diferentes y que fué necesario absorber por medio de curvas invertidas llamada "Bayoneta".

a.- Primer caso: tenemos una bayoneta con curvas circulares invertidas, que serviría para incorporar la distancia de entre ejes de vía de 3.150 m. a 2.900 m. con un radio mínimo de 3000.00 m., dejando 12.0 m. de distancia para el enlace de las curvas.



$$D = \frac{PI_1 - PI_2}{2}$$

$$e = (E_1 - E_2)/2 = (3.15 - 2.90)/2 = 0.125$$

$$D = e / \text{Sen } \Delta \quad \text{-----} (1)$$

$$St = 3000.00 \text{ Tan } (\Delta / 2) \quad \text{-----} (2)$$

$$D = 2St + 12.00 = 6000 \text{ Tan } (\Delta / 2) + 12.00 \quad \text{-----} (3)$$

igualando las ecuaciones (1) y (3)

$$e / \text{Sen } \Delta = 6000 \text{ Tan } (\Delta / 2) + 12.00 \quad \text{-----} (4)$$

Resolviendo por tanteos la ecuación (4), proponiendo valores de la deflexión Δ , se llega al siguiente valor de la ecuación.

$$\Delta = 00^\circ 16' 21''$$

Substituyendo en la ecuación (4), tenemos;

$$\text{Sen } \Delta = 0.004756$$

$$\text{Tan } \frac{\Delta}{2} = 0.002378$$

$$0.125 / 0.004756 - 6000(0.002378) = 12.00$$

$$26.283 - 14.268 = 12.00$$

$$12.015 \cong 12.000$$

Resulta igual a 12.015 en el primer miembro y que relativamente es mayor que 12.00 m. la que puede aceptarse como bueno el valor de la deflexión. Calculando los datos necesarios de las curvas.

$$\Delta = 00^\circ 16' 21''$$

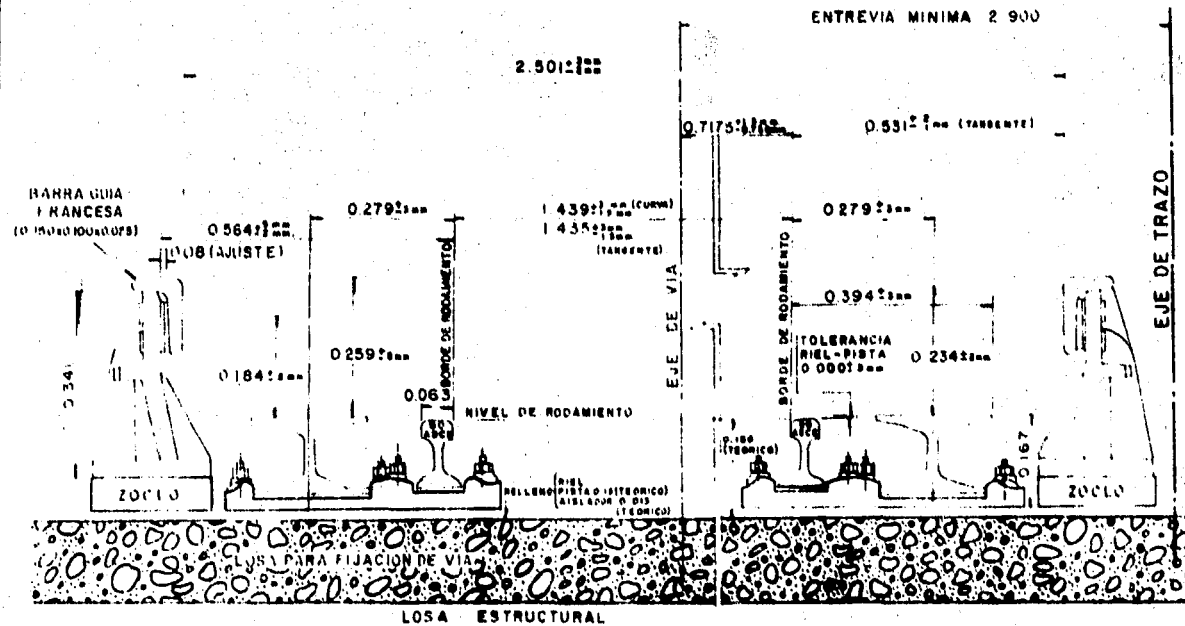
$$St = 7.134$$

$$Lc = 14.268$$

$$Gc = 0.381972^\circ$$

$$D/m = 0.572958'$$

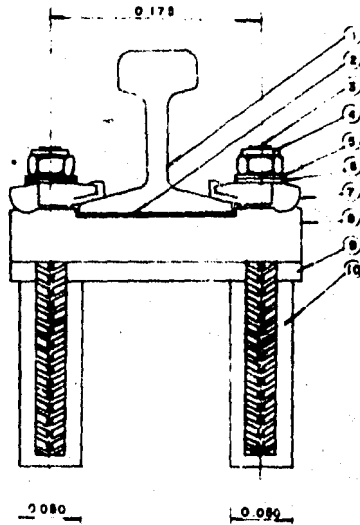
$$R = 3000.00$$



NIVELACION TRANSVERSAL ENTRE RIELES 1mm
 NIVELACION TRANSVERSAL ENTRE PISTAS 2mm
 SOBRE EL EVACION (CURVA VARIABLE) 12mm

UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
	FACULTAD DE INGENIERIA
VIA PRINCIPAL (SOBRE CONCRETO)	
TESIS PROFESIONAL	AGUSTIN OSORIO GUADALUPE

0.323 DISEÑO TÉCNICO
 0.078
 0.45 TEBUDO
 0.078



D E S C R I P C I O N

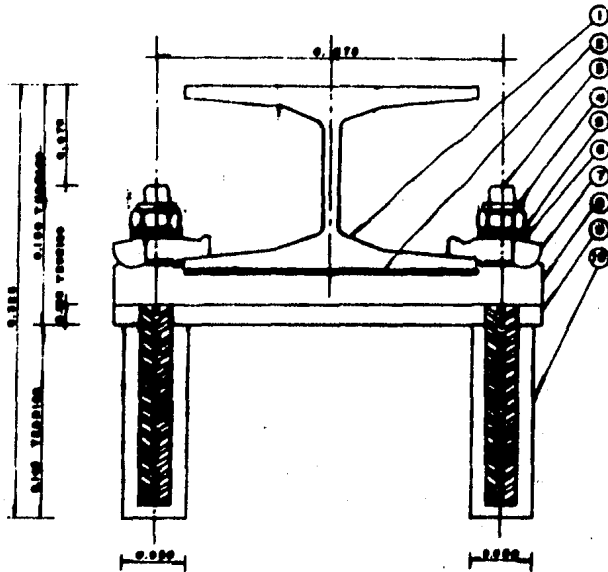
- | | |
|----|----------------------------------------|
| 1 | RIEL DE 80 ASCE |
| 2 | ALMOMABILLA AISLANTE DE RIEL 80 ASCE |
| 3 | VAPILLA DE FIJACION RP 80 |
| 4 | TUERCA AUTOPRENADA 8 M 20 |
| 5 | BOLDANA ELASTICA PARA TORNILLO 8 20 MM |
| 6 | BOLDANA PLANA M 20 |
| 7 | GRAPA RP 80 |
| 8 | CALZA AISLANTE DE RIEL 80 ASCE |
| 9 | PRODUCTO DE RELLENO |
| 10 | PRODUCTO DE BELLAMENTO |

UNAM UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA

DETALLE DE FIJACION DE RIEL 80 ASCE

TESIS PROFESIONAL

AGUSTIN OSORIO GUADALUPE



B E S C R I P C I O N

- 1 PISTA METALICA
- 2 ALMIRALLA ANILANTE DE PISTA METALICA
- 3 VARNILLA DE FIJACION RP-80
- 4 TUERCA AUTOPRESIONADA S 20
- 5 BOLAANA ELASTICA PARA TORNILLO S 20 MM.
- 6 BOLAANA PLANA B-20
- 7 GRAPA RP-80
- 8 CALZA AISLANTE DE PISTA METALICA
- 9 PRODUCTO DE RELLENO
- 10 PRODUCTO DE SELLAMIENTO

UNAM

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

DETALLE DE FIJACION DE PISTA METALICA

TESIS PROFESIONAL

AGUSTIN ORRIO GUADALUPE

Una vez que se tengan todos los cálculos de los ejes de trazo (en caso de modificación), ejes de vía y bayonetas entre otros: se procede a la elaboración del plan de implantación de Vía - Trazo.

Se dibuja el eje de trazo a escala 1:500 y 1:50 transversal, complementando con datos de curvas de los ejes de vía con el de trazo y de los cadenamientos de los mismos de sus puntos principales, las dos estaciones y puntos que corresponden a los gálibos del levantamiento topográfico obteniéndose distancias reales, que se indicarán los puntos críticos de donde se consideran para la implantación de los ejes de vía, indicando las separaciones con respecto al eje de trazo, la ubicación de las bayonetas (con detalles a escalas mayores) con sus respectivos cadenamientos de las curvas sobre los ejes de vía referidos al eje de trazo si es necesario. Posteriormente se trazan en el túnel marcando los puntos para control de trazo de los ejes de vía, para la colocación de las vías paralelas a éste, los puntos de control se marcarán en el piso de la estructura a cada 20.00 m. en tramo tangente y a cada 5.00 ó 10.00 m. en curvas para referenciar mejor éstos ejes de vía como al de trazo.

IV.2.- Perfil

EL levantamiento del perfil se realiza simultáneamente con el de trazo después de que se hayan concluido las

obras, es decir, de la construcción estructural del túnel que sustentará la vía, la nivelación se hace de la sub-rasante, intradós y además las estaciones que deberá ser en los andenes a nivel piso terminado. Los levantamientos, regularmente se hacen a cada 5.00 m. en zona de andenes y en curvas y a cada 20.00 en tramo tangente para los proyectos y que en este caso se harán a cada 5.00 m. también con el fin de tener mejor representado los perfiles de la obra (el piso) para el proyecto definitivo de rasante, dibujándose en papel milimétrico. La finalidad de este plano es poder definir los niveles de la losa para fijación de la vía, que en base a los niveles que se tengan de la sub-rasante se repiten los cálculos necesarios para determinar los niveles de la rasante de proyecto definitivo a la superficie de la pista de rodamiento y a la vez se verifican los gálibos verticales de proyecto, requeridos para la circulación del tren.

IV.2.1.- Restricciones.

a.- El peralte de losa para fijación de vía es de 20 cm. a 25 cm. para tramos en túnel convencional y 35 cm. para tramo en túnel con escudo, este último llevará además un relleno de grava-arena como lo permita el gálibo vertical. En algunos casos especiales se reducirá al mínimo, ya que ésta losa se perforará para permitir la fijación de la vía.

b.- Pendientes Longitudinales.

Las pendientes longitudinales estarán entre 0.15 % y

4.0 %. La pendiente mínima es la requerida para permitir el drenaje del túnel, procurando conservarse los mismos signos y en el caso que no sea posible se procurará el mínimo de cambios de los signos, para evitar la construcción el número excesivo de cárcamos de bombeo.

c.- Gálidos verticales.

En los gálidos verticales en zona tangente será de 4.9 m. y 5.15 m. en curvas horizontales, éstos gálidos son los permitidos en la circunscripción de un rectángulo en una sección circular.

d.- Intersección entre dos tangentes.

La intersección entre dos tangentes, se realiza por medio de curvas parabólicas cuando se tienen cambios de pendientes de la forma:

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

El radio de curvatura mínima R será mayor ó igual a - 1250.00 m.

e.- Aparatos de vía.

Estos aparatos deberán localizarse en tramo tangente, con una pendiente máxima de 2.0 %. Los aparatos no podrán modificarse, ya que los nichos para alojar el motor del aparato de cambio de vía, están contruidos.

f.- Estaciones.

Las estaciones como ya hemos mencionado en el capítulo II, que estas deberán ubicarse en tramo tangente tanto horizontal como verticalmente para evitar el uso de

los frenos de un convoy estacionado.

g.- Tolerancia en los andenes.

La altura del nivel de la rasante al piso terminado de los andenes deberá ser de 1.08 m. con una tolerancia de \pm 2 cm. con el fin de evitar mayor desnivel entre el piso del carro y del andén para no entorpecer el descenso de los pasajeros.

IV.2.2.- Procedimiento para el proyecto.

Teniendo dibujado el perfil de sub-rasante, intradós y los andenes, se deberán trazar líneas promedio sobre los puntos correspondientes en la sub-rasante en zona de estación y tendrán que ser horizontales, considerando además la tolerancia especificada.

Una vez trazadas las líneas más convenientes, considerando las restricciones especificadas, se proceden las revisiones del tramo, para gálibos verticales con el de proyecto y en caso de que no se cumplan se harán modificaciones al respecto. Enseguida se trazan líneas paralelas a las fijadas que corresponderá al nivel de la losa de fijación y otra que corresponderá para el nivel de la rasante que será el de la superficie de rodamiento del neumático. Con esta última se tendrán los PIV y se calcularán las pendientes de las tangentes. Teniendo ubicados los PIV de la rasante con sus elevaciones respectivas, se calculan todas las curvas verticales con las cotas a cada 5.00 m., de la misma forma que para el proyecto del alineamiento vertical. Estas cotas se le restan el peralte de la pista y de las

almohadillas que es de 18 cm. para obtener las cotas superiores de la losa de fijación.

Para la presentación del plano, se deberán incluir en el perfil dibujado, todas las pendientes de las tangentes, los radios de las curvas verticales, alineamiento horizontal esquemático, las cotas del levantamiento - (intradós, sub-rasante, andenes, etc.), anotando los niveles a cada 5.00 m. en curva y cada 20 m. en tramo tangente. En el tramo ya construido se ubicarán los niveles de la rasante proyecto, en ambos lados del túnel para facilitar el tendido de la vía.

IV.3.- Sobre-elevaciones.

Existe una teoría que dice: al recorrer una curva horizontal con una cierta velocidad, se produce una fuerza centrífuga inversamente proporcional al radio de curvatura y directamente proporcional al cuadrado de la velocidad tangencial (Mv/R).

Esta fuerza transversal, provoca mayor presión hacia el riel exterior y una sobre-elevación que crea una fuerza que equilibre a la fuerza centrífuga, produciéndose reacciones iguales en ambos rieles. Esta sobre-elevación se define como la pendiente transversal en zona de curva horizontal, para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de cualquier vehículo en movimiento, debido a que ésta teoría es generalizada.

Para obtener la fórmula teórica de la sobre-elevación, es necesario considerar el estado dinámico en que se encuentre el vehículo por una curva horizontal con una cierta velocidad, la cuál provoca una inclinación al realizar un giro en una curva, de donde se presenta una fuerza centrífuga y que para equilibrar esta fuerza, es necesario sobre-elevar en el riel exterior que se encontrarán paralelos al plano de referencia de la vía siendo esta fórmula la siguiente:

$$F_c = WV^2/gR$$

donde : F_c : fuerza centrífuga en Kg.

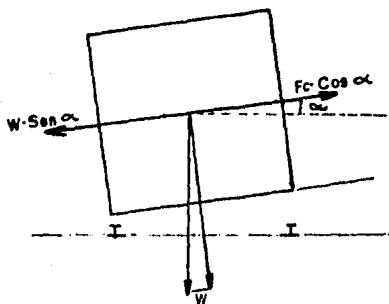
W : peso del vehículo en Kg.

V : velocidad en m/seg.

g : aceleración de la gravedad en m/seg^2

R : radio de la curva horizontal, en m.

De la siguiente figura podemos realizar algunos análisis del comportamiento dinámico.



igualando las fuerzas paralelas al plano de la vía.

$$F_c \cos \alpha = W \operatorname{Sen} \alpha$$

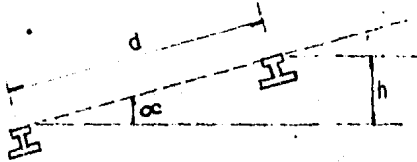
teniendo F_c , podemos sustituir en la ecuación anterior.

$$(WV^2/gR) \cos \alpha = W \operatorname{Sen} \alpha$$

Eliminando el peso W tenemos:

$$V^2 \cos \alpha = \text{Sen } \alpha \text{ _____ (1)}$$

Observando la figura siguiente:



$$\text{Escantillón} = 1.4350$$

$$\text{Hongo del riel} = \frac{0.0635}{1.4985 \text{ m. semejante a } 1.50 \text{ m.}}$$

Por lo tanto $d = 1.50 \text{ m.}$

$$\text{Sen } \alpha = h/1.50$$

Sustituyendo en la ecuación (1)

$$V^2 \cos \alpha = h/1.50$$

despejando h .

$$h = (1.50 V^2 \cos \alpha) / gR$$

Para calcular h , con la velocidad en Km/hr.

$$h = (0.1529 V^2 \cos \alpha) / R$$

donde: h ; en (m)

V ; en Km/hr

R ; en m.

Y para obtener h en mm. observando además que α es muy pequeño, el coseno se aproxima a la unidad.

$$h = 11.8 V^2 / R \text{ _____ (2)}$$

donde: h ; en mm.

V ; en Km/hr.

R ; en m.

La sobre-elevación se dará gradualmente a lo largo de las clotoides de entrada; empezando con una sobre-elevación igual a cero en el punto (1) que se localiza antes del TC de la curva y finaliza con la sobre-elevación máxima en un punto (M) que se ubica después del CC de la curva, conservándose esta a todo lo largo de la curva circular y de manera inversa se aplica a las clotoides de salida.

La transición entre el punto (1) con clotoide de entrada y el punto (M) con clotoide de salida, se hará por medio de dos curvas verticales parabólicas con radios de curvatura de 2500.00 m.

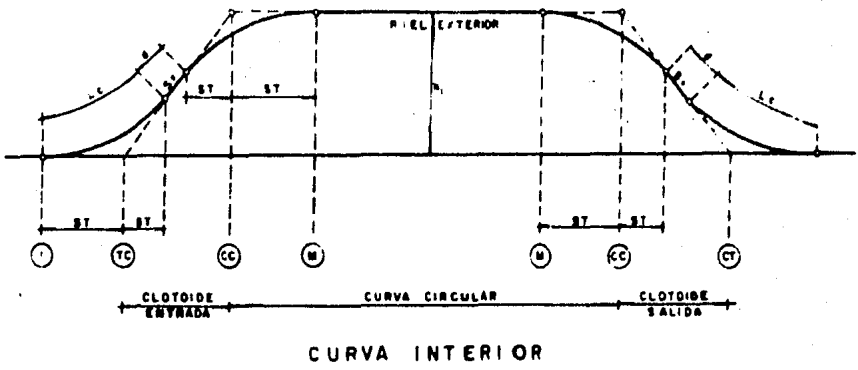
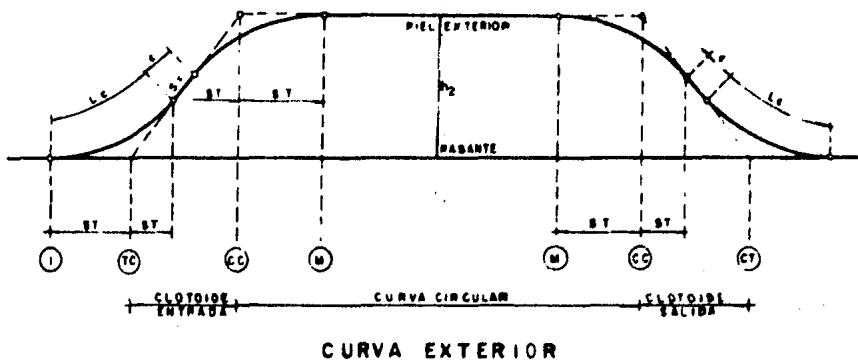
$$Y = X^2/2R$$

Con el fin de mantener la separación entre carros lo más amplio posible, al pasar por una curva horizontal, la sobre-elevación de las vías se distribuyen de la siguiente manera que se muestra en la figura anexa.

Empíricamente se ha determinado, que para dar un mayor confort o comodidad de los pasajeros, se tenga un paralelismo máximo permisible no mayor a 160 mm. de manera que la pendiente para alcanzar esa sobre-elevación no deberá ser mayor a los 4 mm/m.

Debido a esta restricción, es necesario utilizar todos los recursos del sistema de vía que pueden absorber parte del empuje ocasionado por la fuerza centrífuga; se ha calculado que el sistema de sujeción de las vías, rieles y barra guía, soporten una parte de la fuerza centrífuga, equivalente a 1/10 el peso del vehículo.

$$F_c = W/10$$



UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	FACULTAD DE INGENIERIA
PARA VIA EN TUNEL SOBRE CONCRETO	
TESIS PROFESIONAL.	AGUSTIN OSORIO GUADALUPE

Por lo tanto, para la máxima sobre-elevación se tendrá con la ecuación siguiente:

$$\text{Sen } \alpha = h/1.50 \text{ ----- (1)}$$

La fuerza centrípeta F_i es :

$$F_i = W \cdot \text{Sen } \alpha$$

luego

$$\text{Sen } \alpha = F_i/W \text{ ----- (2)}$$

igualando las ecuaciones (1) y (2)

$$h/1.50 = F_i/W$$

$$h/1.50 = (W/10)/W$$

$$h/1.50 = 1/10$$

$$h = 0.150 \text{ m.}$$

$$h = 150 \text{ mm.}$$

De hecho, se admite una insuficiencia de sobre-elevación igual a 150 mm. debido a que se tiene un peralte real de 160 mm. y el peralte teórico máximo podrá ser de 310 mm. siendo esta última, calculada en función de la velocidad de operación, que funcionará al máximo el sistema de vía.

Para el cálculo de sobre-elevación se presentan las ecuaciones siguientes, que ayudará este procedimiento.

$$Lc1 = h/S$$

donde: $Lc1$; longitud de clotoide del tramo en el cuál se obtiene el peralte.

h ; valor del peralte con respecto a la velocidad del tren.

S ; pendiente.

Para la longitud de curva es:

$$Lc = R \cdot S ; R = \text{radio y } Lc = \text{longitud de curva.}$$

Luego tenemos que:

$$St = Lc/2 ; St = \text{subtangente.}$$

Por lo tanto, para la sobre-elevación en el TC, se tendrá:

$$TC = St^2/2R$$

La sobre-elevación en tramo Lc, tendremos ;

$$Lc = St(S)$$

Y finalmente para calcular la sobre-elevación en tramo tangente tenemos:

$$S/\text{Tangente} = (St + \text{cte.})(S) \dots\dots\dots \text{Sobre tangente.}$$

IV.3.1.- Ejemplo numérico para el cálculo de sobre-elevaciones:

A.- Tomando como ejemplo, la curva que hemos estado analizando para no interrumpir todos los pasos hechos con anterioridad, y que además ya tenemos todos los datos necesarios para calcular las sobre-elevaciones, correspondientes a las curvas Núm. 51 y 52, con un radio $R_n=200.00$ m. del eje de trazo y procedemos tomando las siguientes consideraciones.

$$V \text{ máx.} = 70 \text{ Km/hr.}$$

$$V \text{ mín.} = 35 \text{ Km/hr.}$$

a.- Sustituyendo estos valores en la secuencia de cálculo, en la ecuación para la obtención de la sobre-elevación teórica en función de las velocidades.

$$h = 11.8V^2/R$$

$$h = 11.8(70)^2/200 = 289 \text{ mm.}$$

$$h = 11.8(35)^2/200 = 72 \text{ mm.}$$

En este caso podemos observar que existe una autosuficiencia de sobre-elevación de 289 mm. menos 160 mm. es igual a 129 mm. que corresponderá el valor para la velocidad máxima, pero en este caso se aceptará una sobre-elevación máxima permisible, por confort de los pasajeros de 160 mm. que tendrá una pendiente de 4 mm/m.

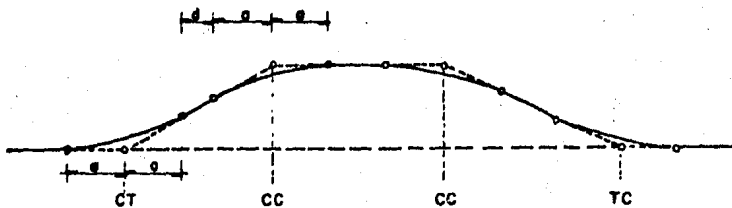
b.- Una vez que se haya obtenido el peralte práctico de la sobre-elevación, se procede como siguiente paso, el cálculo de niveles en la zona de transición,

Para la vía interior (curva No. 51), teniendo $h=160$ mm. y una longitud de curva $L_{cl}=65.573$ m. del cuál obtendremos S.

$$S = h/L_{cl} = 0.160/65.573 = 0.00244$$

$$S = 0.24 \%$$

Luego aplicamos la fórmula parabólica, se calcularán los datos que ligará los extremos del enlace en perfil del riel que adquiere la sobre-elevación y cuyas tangentes definen como punto de inflexión en los puntos TC, CC, CC y CT.



c.- La longitud de curva es:

$$L_c = R \cdot S = 2500 \times 0.00244 = 6.10 \text{ m.} = 2a$$

$$St = 3.05 \text{ m.}$$

d.- La longitud con pendiente constante d será:

$$L_{cl} - L_c = 65.573 - 6.10 = 59.473 \text{ m.}$$

Esta se divide en cuerdas a cada 5.00 m. de longitud para dar niveles.

Aplicando la ecuación parabólica:

$$Y = X^2/5000 = 0.0002 X^2$$

Calculemos los tres puntos principales de la parábola (puntos 1, 2 y 3).

$$Y_1 = 0.0002 (0)^2 = 0.000$$

$$Y_2 = 0.0002 (St)^2 = 0.002$$

$$Y_3 = 0.0002 (L_c)^2 = 0.007442$$

B.- Vía exterior (curva No. 52)

a.- La pendiente .

$$S = 0.075 / 58.320 = 0.001286$$

$$S = 0.13 \%$$

b.- Longitud de curva .

$$L_c = 2500 \times 0.001286 = 3.215 \text{ m.} = 2a$$

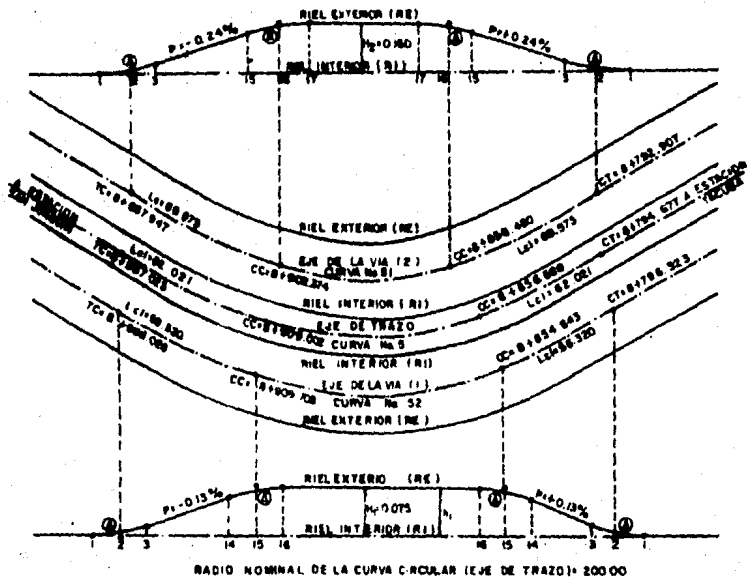
$$St = 1.608 \text{ m.}$$

c.- Longitud con pendiente constante d .

$$L_{cl} - L_c = 58.320 - 3.215 = 55.105 \text{ m.}$$

Entonces para los puntos sobre tangente se sumarán los niveles, el incremento a la distancia constante que se tengan, para obtener las cotas necesarias.

Una vez que se tengan todos los datos, se elabora el plano de sobre-elevaciones, del cuál anexo en esta parte una tabla de sobre-elevaciones de las curvas calculadas teniendo sus puntos principales y que posteriormente se trazan en campo para la fijación de vía en curva.



HOJA No. 1 de 2

UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	FACULTAD DE INGENIERIA
CURVAS 51 Y 52 DE SOBRE-ELEVACIONES	
TESIS PROFESIONAL	AGUSTIN OSORIO GUADALUPE

CURVA Nº 51	NUM DE SECCION	DISTAN- CIA	SOBRE ELEVACION TOTAL	R E		R I		CADENAMIENTOS	ENTRE- VIA
				VIA(2)	VIA(1)	VIA(2)	VIA(1)		
TC ZCT	1	3.550	0.000	0.000	+0.000	8+788.857	8+875.897	1 480-1 580 -1 480	
	2	3.550	+0.002	0.000	+0.002	8+792.857	8+867.347		
	3	3.550	+0.007	0.000	+0.007	8+798.857	8+854.897		
	4	3.000	+0.020	0.000	+0.020	8+800.857	8+838.897		
	5	3.000	+0.032	0.000	+0.032	8+805.857	8+824.897		
	6	3.000	+0.044	0.000	+0.044	8+810.857	8+810.897		
	7	3.000	+0.056	0.000	+0.056	8+815.857	8+796.897		
	8	3.000	+0.068	0.000	+0.068	8+820.857	8+783.897		
	9	3.000	+0.081	0.000	+0.081	8+825.857	8+770.897		
	10	3.000	+0.093	0.000	+0.093	8+830.857	8+757.897		
	11	3.000	+0.106	0.000	+0.106	8+835.857	8+744.897		
	12	3.000	+0.117	0.000	+0.117	8+840.857	8+731.897		
	13	3.000	+0.129	0.000	+0.129	8+845.857	8+718.897		
	14	3.000	+0.142	0.000	+0.142	8+850.857	8+705.897		
	15	4.473	+0.153	0.000	+0.153	8+855.850	8+692.824		
	16	3.000	+0.188	0.000	+0.188	8+868.888	8+679.374		
	17	3.050	+0.180	0.000	+0.180	8+881.530	8+665.324		

CURVA Nº 52	NUM DE SECCION	DISTAN- CIA	SOBRE ELEVACION TOTAL	R E		R I		CADENAMIENTOS	ENTRE- VIA
				VIA(2)	VIA(1)	VIA(2)	VIA(1)		
TC ZCT	1	1.808	0.000	+0.000	0.000	8+794.915	8+976.510	1 480-1 580 -1 480	
	2	1.808	+0.001	+0.001	0.000	8+798.523	8+966.228		
	3	1.808	+0.002	+0.002	0.000	8+798.131	8+964.420		
	4	3.000	+0.008	+0.008	0.000	8+803.131	8+959.420		
	5	3.000	+0.015	+0.015	0.000	8+808.131	8+954.420		
	6	3.000	+0.021	+0.021	0.000	8+813.131	8+949.420		
	7	3.000	+0.028	+0.028	0.000	8+818.131	8+944.420		
	8	3.000	+0.034	+0.034	0.000	8+823.131	8+939.420		
	9	3.000	+0.041	+0.041	0.000	8+828.131	8+934.420		
	10	3.000	+0.047	+0.047	0.000	8+833.131	8+929.420		
	11	3.000	+0.054	+0.054	0.000	8+838.131	8+924.420		
	12	3.000	+0.060	+0.060	0.000	8+843.131	8+919.420		
	13	3.000	+0.066	+0.066	0.000	8+848.131	8+914.420		
	14	3.104	+0.073	+0.073	0.000	8+853.235	8+909.318		
	15	1.608	+0.074	+0.074	0.000	8+854.843	8+907.708		
	16	1.808	+0.075	+0.075	0.000	8+866.431	8+908.100		

UNAM	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	FACULTAD DE INGENIERIA
TABLA DE SOBRE ELEVACIONES CURVAS 51 Y 52	
TESIS PROFESIONAL	AGUSTIN CSOPIO GUADALUPE

V.- CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Dentro del Plan Rector de Vialidad y Transporte Urbano se ha obtenido experiencias y que han servido para las soluciones de nuevas líneas del Metro, es decir, que en base a las soluciones múltiples dadas anteriormente eran tan prematuros, así pueden considerarse en la actualidad debido al avance tecnológico.

La tecnología en la actualidad se ha superado bastante y que ha hecho posible la construcción del túnel de la línea No. 7, donde da muestras de la capacidad Tecnológica Mexicana, aunque se haya visto estancada por mucho tiempo pero que con el transcurso se han mejorado los resultados.

Es muy posible que hasta hoy en día sea la mejor solución adoptada, evitando ser un obstáculo en su etapa constructiva, sin provocar desviaciones serias a su peso de la obra y que además no se afectan las instalaciones municipales, entre otros.

Las afectaciones de los terrenos en esta línea, fueron nulas, por el tipo de solución, éstas afectaciones, ocurren con mayor frecuencia en las soluciones tipo - subterráneo, superficial y elevado, principalmente en los cambios de dirección de las tangentes en el alineamiento horizontal, causado por el mal alineamiento de las calles y a veces por ser muy angostas. Para el caso de los cambios de dirección de las tangentes,

es posible evitar muchas afectaciones, utilizando radios mínimos de 150.00 m. y deflexiones pequeñas para que las curvas sean más tendidas y la excentricidad de la curva serán pequeñas.

Las afectaciones de terrenos provoca gastos extras y que debe evitarse a toda costa. Es una de las ventajas del túnel, por ser tan profundo que no afecta demasiado, ni la desviación de instalaciones municipales, evitando erogaciones extraordinarias. Además de las nuevas técnicas de la implantación de vía para la fijación de estas sobre concreto, que es mejor todavía con respecto a la fijación de vía sobre balasto, esta última tiene la desventaja de desnivelarse con mayor facilidad tanto verticalmente y transversalmente.

En el aspecto de perfiles es otro problema que que afecta a nuestra ciudad, debiendo adecuarse a los niveles del terreno natural, evitando profundizarse demasiado para que los usuarios no se incomoden en abordar este transporte y que evita costos fuertemente elevados en la construcción del túnel por la elevación del material excavado (rezaga) y el transporte del material; como el concreto, las varillas, entre otros.

Aparatos de vía, estos deberán utilizarse sólo en casos muy necesarios, optimizando el número de aparatos en cada línea para los cambios de vía y que deberán instalarse en zonas estratégicas, procurando ubicarse con las pendientes mínimas y tener mayor cuidado en la co-

locación de éstos, porque sucede que en algunas líneas presentan anomalías y que estos aparatos son necesarios para el cambio de vía en estaciones terminales provisionales ó definitivas.

En la geometría de la sección deberá optimizarse más utilizando secciones tipo herradura, aunque sabemos -- que estructuralmente es la más conveniente. Para esto es necesario llevar una supervisión más eficaz con el fin de evitar fisuras en donde puede filtrarse el agua en grandes cantidades, pero que con el tiempo sabemos se podrá mejorar más las soluciones futuras sobre el Transporte Colectivo y La Vialidad.

B I B L I O G R A F I A

1.-Procedimiento constructivo del túnel línea No. 7.

ISTME, S.A.

2.-Estudios, proyectos y memorias del Depto. de Proyectos Geométricos.

ISTME, S.A.

3.-Ferrocarriles.

Ing. Francisco M. Togno.

4.-Manual de transporte urbano.

John W. Dickey .

5.-Revista de Ingeniería, Núm. 1 (1982)

Facultad de Ingeniería

6.-Revista de COVITUR (1977-1982)

D.D.F.

7.-Apuntes elaborados en Francia.