



29  
94

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**

**IMPLANTACION DE VIA SOBRE LOSA DE  
CONCRETO EN EL TRAMO TACUBA-SAN  
JOAQUIN DE LA LINEA 7 DEL METRO  
DE LA CIUDAD DE MEXICO**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A:  
**FILIBERTO LOPEZ RODRIGUEZ**

**FALLA DE ORIGEN**

México, D. F. 1989



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## I N D I C E

I.-	INTRODUCCION	2
II.-	SISTEMA DE FIJACION	10
	II.1. ANTECEDENTES	10
	II.2. LOSA DE CONCRETO PARA LA FIJACION DE VIA	11
	II.3. ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA VIA	12
	II.4. PROYECTO DE LOCALIZACION DE ANCLAJES	18
III.-	IMPLANTACION DE VIA	20
	III.1. TRAZO	20
	III.2. PERFIL	102
	III.3. SOBREELEVACIONES	110
IV.-	PROYECTO GEOMETRICO DE LOSA Y NIVELES DE LOSA EN CURVA	118
	IV.1. PROYECTO GEOMETRICO	118
	IV.2. NIVELES DE LA LOSA EN CURVA	120
V.-	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	122
VI.-	RECTIFICACION DE NIVELES DE LOSA Y CONTROL TOPOGRAFICO DEL POSICIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA VIA.	128
	VI.1. RECTIFICACION DE NIVELES DE LOSA	128
	VI.2. CONTROL TOPOGRAFICO DEL POSICIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA VIA	133
VII.-	CONCLUSIONES	138

## I.- INTRODUCCION.

La Ciudad de México y su área Metropolitana, presentan desde hace varias décadas un crecimiento de población que resulta difícil de comprender en toda su magnitud.

Tal crecimiento no ha sido ordenado sino que los asentamientos -- humanos han desbordado todo plan de desarrollo, y la mancha urbana se ha extendido en forma desordenada ubicándose las áreas de -- trabajo en todas partes, las habitacionales alejadas de aquellas y las de servicio dispersas y pulverizadas en grandes extensiones. Hasta las montañas y cerros periféricos se han poblado así como -- zonas inundables de los lechos de lagos desecados.

En tales circunstancias todo queda distante de todo, en un completo desorden de asentamiento urbano.

En estas condiciones, dotar a los ciudadanos de servicios públicos representa esfuerzos mayúsculos: habitación, vialidades, ---

urbanización, agua potable, drenaje, alumbrado, vigilancia, limpieza, alimentación, centros de abasto, servicios médicos, escolaridad, recreación, trabajo, transporte, solo por mencionar algunos, son requerimientos cuya satisfacción es objetivo permanente de las autoridades.

El abrumador crecimiento de la ciudad y asentamientos humanos de la Zona Metropolitana han causado que el suministro de servicios vaya a la zaga de las necesidades satisfechas.

Uno de los principales problemas es el transporte público que - actualmente viven sus habitantes, provocando enormes deseconomías, principalmente por el tiempo que gasta el hombre en desplazarse. Esta inmovilidad produce una gran tensión en la población, así - como preocupantes situaciones de desaliento, irritación y hasta agresividad por no contar con un medio de transporte adecuado y eficiente, pero la experiencia de las grandes ciudades del mundo indica que no existe un medio de transporte que por sí solo sea capaz de resolver el problema de la transportación urbana. Es necesario contar con una coordinación y planeación de todos los medios existentes, solo así, se podrá afrontar el problema.

Apenas en los últimos gobiernos se ha entendido este problema. En septiembre de 1977, las autoridades del Distrito Federal crearon la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR), cuyas funciones principales son la de crear la infraestructura necesaria para la ampliación del Sistema Metro, así como la de coordinar - las acciones requeridas para agilizar la transportación en general en la Ciudad de México.

Primeramente ésta Comisión procedió a elaborar el **PLAN RECTOR DE VIALIDAD Y TRANSPORTE**, para cumplir con el objetivo de dotar a - la población de un sistema integral y coordinado de transportación

acorde con el crecimiento urbano y que desalentará el uso del --  
automóvil, como consecuencia del impulso al transporte colectivo.

En mayo de 1980, se dieron a conocer los alcances del Plan, deri-  
vados de una serie de acciones a corto, mediano y largo plazo.

El Plan es dinámico y se revisa y ajusta periódicamente de acuer-  
do con las nuevas condiciones citadinas y las innovaciones técni-  
cas. Lo constituyen los cuatro programas siguientes:

- 1.- **PROGRAMA DE METRO.**- Se plantea construir de 8 a 10 km de -  
líneas en forma sostenida. Si las obras avanzan a un ritmo  
de 8 km/ año se alcanzarían 331 km. de red y si fuera de -  
12 km/ año llegaría a más de 400 km hacia el año 2000.

El ritmo de construcción estará sujeto a las condiciones eco-  
nómicas y sociales regionales y nacionales.

En el corto plazo, hasta 1989, se contemplaron 10 líneas para  
un total de 185.9kms de las cuales únicamente se construyere-  
ron 8 líneas de una longitud total de 149.6 km.

- 2.- **PROGRAMA DE TRANSPORTE DE SUPERFICIE.**- Se enfocará a incre-  
mentar sistemáticamente el número de unidades.
- 3.- **PROGRAMA DE VIALIDAD.**- Incluye la terminación del Circuito -  
Interior, El Anillo Periférico y las trazas de 533 km. de --  
Ejes Viales, además de calles peatonales donde se necesiten.
- 4.- **PROGRAMA DE ESTACIONAMIENTO.**- Se tiene planeado construirlos  
en las zonas periféricas de la ciudad con fácil acceso a las  
estaciones de los Transportes Colectivos. El bajo costo de -  
su uso desalentará la tendencia de emplear estacionamientos

del centro de la Ciudad.

El Plan propone además medidas de seguridad y campañas de orientación al público para mejorar la circulación de vehículos y peatones, prevenir accidentes y capacitar a los conductores, así como reducir los niveles de contaminación originados por emisiones de gases y ruidos.

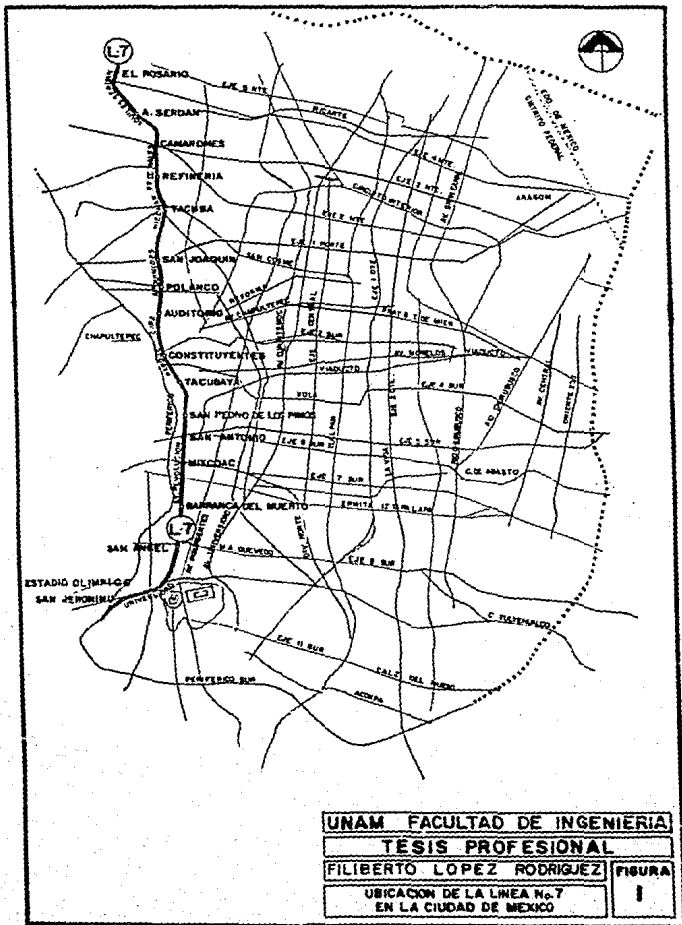
Dentro de este Plan Rector se le ha dado particular importancia al Metro, columna vertebral del Sistema de Transportación Colectivo dentro de las grandes concentraciones humanas.

En este programa de ampliación del "Metro" toca el turno de Construcción a la Línea No. 7, ubicada al poniente de la Ciudad de México comunicandola de norte a sur.

El trazo de la Línea se localiza sobre las Avenidas Universitaria, San Jerónimo, Revolución, Parque Lira, Arquímedes, Hielmar, FF.CC. Nacionales y Aquiles Serdón hasta llegar a El Rosario --- (Figura No. 1).

El proyecto de ésta línea cuenta con 17 estaciones de las cuales únicamente se encuentran actualmente 14 en servicio, desde la -- estación "Barranca del Muerto" (actualmente funciona como terminal provisional) hasta la estación de Tacuba, Tramo de 10 estaciones correspondiente a la 3ra. etapa de construcción y el tramo de 4 estaciones desde el muro tapón de ccla Tacuba hasta la terminal "El Rosario" de una longitud de 5205.734 m. correspondiente a la 4a. etapa de construcción.

La otra parte de la línea contemplada en el proyecto total que corresponde al tramo sur, desde el muro tapón "Barranca del Muerto" hasta la estación San Jerónimo ubicada en el terreno de San Jeró-



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

FILIBERTO LOPEZ RODRIGUEZ

FIGURA

UBICACION DE LA LINEA No. 7  
EN LA CIUDAD DE MEXICO

1



nimo su construcción dependerá de los estudios evaluadores de la línea que surgen de los objetivos del Plan Maestro del Metro.

Los estudios de planificación de los Transportes, se realizan mediante la utilización de Modelos Matemáticos y Algoritmos que -- auxiliados por ordenadores tienen como objetivo determinar la demanda de las diferentes zonas del área bajo estudios y analizar el conjunto de líneas de transporte que la satisfaga.

Por lo tanto, de esta línea como ya se dijo antes, dependerá del resultado de estos estudios.

Esta línea (denominada Línea 7), se construyó en su totalidad en túnel incluyendo las estaciones a excepción de las estaciones de Tacuba y El Rosario que se construyeron en Subterráneo Pesado y Superficial respectivamente.

Lo que respecta al tramo de Barranca del Muerto hasta San Jerónimo, se ha contemplado en el proyecto tres estaciones más.

El tramo que actualmente se encuentra en operación tiene correspondencia con las líneas 1 y 9 en la Estación Tacubaya con la línea 2 en la Estación Tacuba y con la línea 6 en la Estación Terminal El Rosario ( Figura No. 2 ).

El objetivo de este trabajo es dar a conocer los diferentes proyectos que se realizan para la obra de Implantación de Vía y Electromecánica para que se ejecute tal y como lo indican éstos y garantizar una buena terminación de la Obra de Vía. De no ser así, ocasionaría costosas modificaciones.



Cabe señalar que la vía con la cual se ha dotado al "METRO" de la Ciudad de México, es el tipo sobre neumático que fué usada desde su 1ra. Etapa de Construcción. Corresponde a un sistema que se desarrolló durante los años sesenta en Metros como el de París, para proporcionar mayor confort, rodamiento más silencioso y con menos vibraciones.

Por las ventajas y ahorros que representa tener un tipo de material rodante unificado se optó por continuar con éste mismo sistema para futuras líneas.

Para la línea No. 7 fué necesario realizar diversos estudios sobre el Sistema de Fijación y disponibilidad de los materiales con el fin de llegar a una solución óptima.

Dentro de los sistemas analizados tenemos la utilización de una cama de balasto la cual recibe a los durmientes soporte de la vía y la fijación sobre una losa de concreto simple.

Cuando la vía se asienta sobre balasto los durmientes se reacomodan de tal manera que se pierde la horizontalidad de la vía, lo que produce un movimiento de los rieles provocando desniveles entre éstos que se traduce en problemas de fijación de vía y confort de los viajeros. Esto obliga a un mantenimiento periódico que va de uno a dos años, al fin del cual hay que recompactar el balasto y realinear la vía, para conservar la horizontalidad y confort de los usuarios.

La fijación de la vía directa a una losa de concreto logra también al igual que la vía sobre balasto el mismo confort de los usuarios pero la frecuencia en el mantenimiento de la vía disminuye notablemente, logrando con esto, un ahorro a futuro.

Este sistema sin durmientes es aplicado en función de la estabilidad del terreno. Para el caso de esta línea se tiene estabilidad gracias a que se encuentra a una profundidad promedio de 27.70 m. y se encuentra ubicada en la zona de Lomas formadas por materiales de origen volcánico cuyas propiedades mecánicas son mejores que las de los suelos que se encuentran en la zona de Lago.

Por las ventajas que representa la losa de concreto, se decidió por este Sistema de Fijación de Vía para la Línea - 7 del Metro, ya que al utilizarse por primera vez en México, se adquiriría la experiencia en Proyectos e Implantación.

Este tipo de fijación se realizó en toda su longitud excepto entre los kilometrajes: 2+038.978 al 3+236.630, 4+670.714 al ---- 6+016.000, y 6+195.000 al 7+092.303, que fué la fijación sobre balasto y durmientes soporte, (Figura No. 2).

El Tramo Tacuba - San Joaquín al cual se refiere este trabajo, - está comprendido en una longitud de eje a eje de Estación es de 1583.337 m. cuyo trazo de la Estación Tacuba se localiza sobre la calle Golfo de México, continuando hacia el sur sobre Golfo de Aden, Lago Chiem y Lago Hielmar, se encuentra ubicada la Estación San Joaquín.

A lo largo de este tramo en estudio se localizan tres curvas horizontales, dos bayonetas de cambio de entreavía, una espuela de comunicación hacia la Línea 2, tres aparatos de cambio de vía con ángulo de desviación de tangente igual a 0.13 y cuatro lumbreras utilizadas para la construcción (Figura No. 3).

Se incluye también en este trabajo el Sistema de fijación, la -- Implantación de vía - trazo, Perfil y Sobreelevaciones, Pro ---- yecto geométrico de la losa, Niveles de losa en curva, Proce ---



dimiento constructivo, Rectificación de niveles de losa, Control topográfico de posicionamiento de los elementos de la vía y finalmente se presentan las Conclusiones.

## II. SISTEMA DE FIJACION.

### II.1. Antecedentes.

En el Metro de la Ciudad de México, durante sus primera etapas - de construcción, se utilizaron como elementos de soporte para la vía neumática, durmientes de madera, para lo cual se estudiaron las características del roble, pino, haya, cedro, abedul, madera roja del báltico, eucalipto y azobhe; siendo este último el seleccionado el que ofrece mejores características de elasticidad, soportabilidad, capacidad de fijación y aislamiento, sin embargo, - esta madera era importada de Africa y su costo fué incrementandose a consecuencia de las devaluaciones de nuestra moneda, por tal motivo se decide sustituir a la madera por concreto.

La sustitución de la madera por durmientes de concreto ha tenido que desarrollarse de tal manera que se satisfagan las necesidades geométricas de los elementos de fijación, lo cual ha llevado a -- una larga etapa de análisis, proyectos, ensayos de laboratorio y

pruebas físicas sobre vías en operación.

## II.2. Losa de Concreto para la Fijación de Vía.

Entre tanto, surgió como posibilidad de solución, la fijación de vía sobre concreto, la cual tiene como característica esencial, la sustitución de los elementos estructurales: balasto y durmientes por una losa de concreto simple y como consecuencia la utilización de elementos de fijación diferentes a los utilizados en las vías tradicionales.

Cabe mencionar que este tipo de solución es aplicable únicamente si se cumplen las siguientes condiciones:

- 1.- Se requiere que la construcción de una estructura contenedora para la vía, que no esté sujeta a variaciones diferenciales en su perfil geométrico, es decir, podrá utilizarse en estructuras desplantadas sobre suelos de baja o casi nula --compresibilidad, ya que cualquier asentamiento diferencial -- implicaría modificaciones a las vías en operación con un alto costo de mantenimiento.

Como el trazo de la Línea 7 correspondiente a la tercera etapa se sitúa en túnel profundo sobre una faja geologicamente estable, y por ende, puede ser halagüeño hacer la fijación -- sobre losa de concreto.

Los proyectos correspondientes a los elementos de fijación -- se integraron desde el establecimiento del proyecto, así como también en la definición de los plazos de fabricación, es to con el fin de no tener retrasos en la instalación de la vía.



- 2.- La aplicación estricta de un control de calidad de todas las etapas constructivas, así como la ejecución secuencial y precisa de la implantación de vía, tanto en trazo como en perfil.
- 3.- La construcción de una losa de fijación de vía de 20 cm de espesor, sin armado estructural, que permita las barrenaciones para la colocación de los elementos de fijación de la vía, sin interferencia con las instalaciones electromecánicas, las cuales deberán quedar colocadas por debajo de dicha losa.
- 4.- La previsión al drenaje del agua por filtraciones, que eliminen la posibilidad de inducciones de corrientes eléctricas, dada la posición de los rieles y pistas de rodamiento, colocadas casi directamente sobre la losa de fijación.

Por las condiciones antes indicadas, la realización de la vía directa sobre la losa de concreto necesita un personal calificado y experimentado, así como también de una excelente organización de las obras.

El ritmo de realización es, de manera general, lento para garantizar la precisión exigida sin tener que volver a trabajos posteriores, cuyo costo es muy elevado y los plazos de ejecución muy importantes.

### II.3. Elementos que Constituyen la Vía.

RIELES. - Son perfiles metálicos en normas ASCE de 80 lb/yd (39.694 kg/m) cuya función es la de asegurar el rodamiento del tren en el caso de que cualquiera de los neumáticos portadores o neumáticos laterales de guiado presenten una pérdida de presión.

Estos perfiles se colocan a lo largo de toda la línea excepto en zona de aparatos para los cambios de vía, a una separación entre riel y riel medida a la cara interior de 1.435 m (+ 3 mm., - 1.5 mm) en tramo tangente o curva de  $R > 500$  m y de 1.439 m (+3 mm., - 1.5 mm) para curva de  $R < 500$ m.

El suministro de los rieles se hace en tramos de 18 m  $\pm$  2 mm. pudiendo admitirse un 10% del total del suministro en peso con longitudes inferiores pero igual o mayor a 9.0 m. y en múltiplos a 0.75 m. para evitar desperdicios. La unión de estos perfiles es por medio de la soldadura del tipo aluminotérmico.

Desde el punto de vista alimentación - tracción, los rieles son el elemento conductor que permite el retorno de la corriente eléctrica al paso del tren; así como también son el medio por el cual se realiza la división en secciones denominadas: circuitos de vía, que permiten la señalización por medio del flujo de una corriente eléctrica de baja tensión ( Figura No. 4).

PISTA DE RODAMIENTO.- Son perfiles metálicos de calidad ordinaria que fundamentalmente soportan la carga de los trenes, coadyuvando del mismo modo en el retorno de la corriente eléctrica al paso de los trenes (Figura No. 4).

BARRA GUIA.- Son perfiles metálicos que tienen doble función: como conductor eléctrico, es energizado a una tensión nominal de - 750 volts durante el servicio diario, para alimentar a los motores de los trenes; igualmente es el soporte del tapiz electromagnético fijado en su cara horizontal que da la información al sistema de pilotaje automático, portador también, de la telefonía de la alta frecuencia de que son dotados los trenes fijados con el Puesto Central de Control (PCC) y las estaciones; mecánicamente sustituyen al riel en su función de guía del tren, para lo ---



cual cuatro neumáticos a cada lado de los carros e instalados sobre los boguies, hacen las veces de la caja de las ruedas metálicas.

AISLADORES.- Son elementos de unión entre la losa de fijación de la vía y la barra guía, como su nombre lo indica deben proporcionar un aislamiento perfecto y permanente a la barra guía y soportar los esfuerzos mecánicos a los que será sometido al paso de los trenes (Figura No. 4).

APARATOS DE CAMBIO DE VIA.- Son los dispositivos mecánicos mediante los cuales los trenes pueden cambiar de una vía a otra y están constituidos por bloques monolíticos de acero unidos mecánicamente mediante planchuelas.

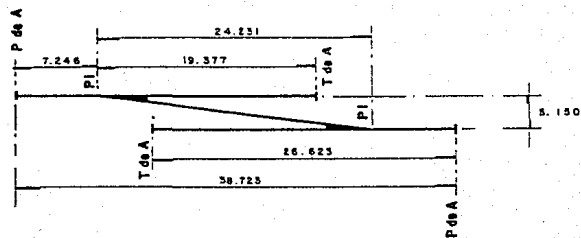
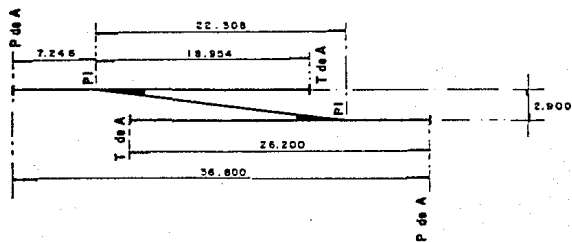
En el Tramo de Tacuba - San Joaquín se tienen los siguientes aparatos:

- a). Un aparato de enlace cuyo ángulo de desvío es tangente 0.13 - que tiene la función de enlazar la espuela que comunica la línea 2 con la línea 7.
- b). Dos aparatos de comunicación igualmente que el anterior tienen un ángulo de desvío tangente 0.13, uno de ellos tiene la función de hacer el cambio de una vía principal hacia la Línea 2, el otro, de hacer el cambio de dirección al llegar el tren a la Estación Tacuba.

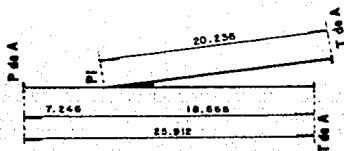
La operación de los aparatos se realiza por telecomandos teniendo además dispositivos para la operación manual en caso de que falle el sistema.

El riel utilizado en zona del aparato es de 100 lb/yard así como --

COMUNICACION TANGENTE 0.13



APARATO DE TANGENTE 0.13



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
FILIBERTO LOPEZ RODRIGUEZ	FIGURA
APARATOS PARA LOS CAMBIOS DE VIA	5

también el uso de un contrarriel de 100 RE para asegurar el guiado del tren (Figura No. 5).

ACCESORIOS DE FIJACION DE LA VIA.- Son elementos que integran la vía del metro, su fijación sobre la losa de concreto define si la vía se puede considerar como elástica o rígida (Figura No.4) - Estas son:

- a). Varillas de fijación.- Son las que se utilizan para fijar -- los rieles, pistas y aparatos de vía, son de acero de refuerzo corrugado con una parte lisa de  $\phi:25.4$  mm y una longitud de cuerda de 20 mm paso 2.5, cortadas a longitudes determinadas de 240 mm (RP-80) para vía normal y de 260 mm (100A) para zona de aparato de vía. El material debe de cumplir con la norma ASTM - A615 grado 40.
- b). Calzas aislantes.- Son las que sirven de apoyo a los perfiles de riel, pista y aparatos de vía, que deben ser fabricadas de polyester y cumplir con los requisitos mecánicos y eléctricos así como tener comportamiento auto - extingible.
- c). Grapas.- Las grapas para la fijación de los perfiles serán - de acero forjado o fundido dúctil grado 60 - 40 - 18 ASTM - 536 - 67. El acero forjado debe cumplir con lo estipulado en la norma AISI C - 1026, recubiertas con caucho para su aislamiento, las grapas tipo RP-80 se utilizan en vía normal.
- d). Arandelas elasticas.- Estos elementos se utilizan en la fijación de la vía son de acero SAE 1075 ó SAE 6150 cromo vanadio, deben ser perfectamente simétricas con respecto a su eje no debiendo presentar ningún defecto como torceduras, aristas cortantes, rebabas, fisuras etc., sus dimensiones serán de :

Ø exterior:40 mm , Ø interior:20.4 mm y espesor de 3 mm.

- e). Almohadillas aislantes.- Las almohadillas aislantes de riel y pista podrán ser de caucho natural, artificial o una mezcla de ambos, siempre y cuando sea aislante y satisfaga completamente lo especificado, su función es amortiguar el contacto entre los perfiles y las calzas aislantes de fijación.
- f). Arandela plana.- Tiene la función de dar el apriete uniforme y no maltratar en este caso la grapa de fijación. Las dimensiones de la arandela plana M 20 son: Ø interior:21 mm , Ø exterior:40 mm , con un espesor de 3 mm.
- g). Tuerca autofrenada.- La tuerca autofrenada M-20 tiene una longitud entre aristas de 33.53 mm y entre caras de 30 mm , su altura es de 18 mm, Ø:20 mm con paso de 2.5. Su material debe ser acero medio duro clase 10 con protección electrolítica.
- h). Calza de aislador .- La calza de aislador soporte de barra --guía, está constituida por un block homogéneo capaz de proporcionar un aislamiento eléctrico permanente a pesar de los esfuerzos mecánicos a los cuales será sometido, el espesor será de 60 mm para vía normal y de 80 mm en zona de aparato de -vía.
- i). Relleno bajo calza.- El relleno bajo calza aislante de apoyo de la vía debe cumplir con los requisitos de lo especificado, el producto que se utiliza pertenece a la categoría de los --morteros a base de pegamento para concreto, debe cumplir satisfactoriamente los ensayos siguientes:
  - 1.- La resistencia a la compresión será de acuerdo a la norma ---

ASTM - C - 190.

- 2.- La resistencia a la tensión será también de acuerdo a la norma ASTM - C - 190.

El piso de concreto debe ser limpiado y mojado previamente a fin de que el producto sea aplicado sobre una superficie húmeda.

- j). Tornillos para la fijación del aislador.- Los tornillos se fabricarán de una sola pieza, sin soldaduras y la cabeza del tornillo se obtendrá por forja en caliente de la masa. El material utilizado en la fabricación de los tornillos debe cumplir con uno de los procedimientos siguientes: SIMENS-MARTIN (ACIDO), SIMENS-MARTIN (BASICO), eléctrico insuflación de -- oxígeno.

Las características de la cuerda será conforme a las normas ISO para  $\varnothing$ M 22 y paso 2.5, su longitud será de 200 mm para vía normal y 250 mm para la zona de aparatos de vía.

- k). Anclajes con cono de plomo.- Los anclajes con cono de plomo se utilizan en la fijación de los aisladores a la losa de -- concreto, estan formados por cuatro elementos:

- 1 cono de acero, con cuerda M22 (22 mm) y paso 2.5 mm
- 1 cono de acero ordinario.
- 2 conos de plomo.

Teniendo la función de impedir la extracción del tornillo de fijación del aislador.

- l). Productos de sellamiento.- Es un mortero de expansión con --



trolada y sin contracciones que se utiliza para el sellamiento de las fijaciones de la vía sobre concreto. La mezcla deberá ser preparada y utilizada según las indicaciones dadas por el fabricante.

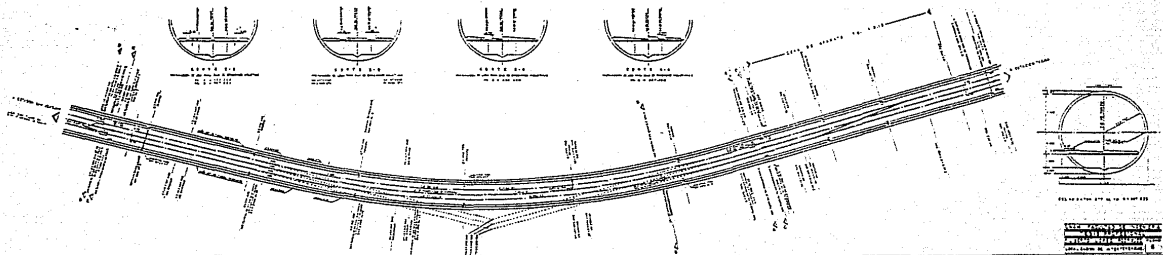
Para la fabricación de los elementos de fijación, los diferentes fabricantes y/o proveedores deberán estar en condiciones de efectuar todas las pruebas prescritas en las especificaciones.

#### II.4. Proyecto de localización de anclajes.

Para hacer el proyecto de la distribución de los anclajes sobre la losa de fijación en el tramo fué necesario primeramente considerar la presencia de las juntas aislantes, cupones neutros, aparatos de vía, drenes transversales, curvas horizontales y además instalaciones que integran la vía en el tramo.

Cada uno de los conceptos anteriores cuenta con una distribución tipo de anclajes, por lo que fué necesario conocer previamente su localización y poder hacer los ajustes necesarios al llegar a esta zona ( Plano No. 6).

- En tramo tangente o curva de  $R > 500$  m, la distancia entre ejes de anclajes debe ser de 0.75 m , en zona de curva con  $R < 500$  m., será de 0.60 m.
- La distancia entre ejes de aislador en tramo tangente o curva de  $R > 500$ m , debe ser de 3.00 m y para curva de  $R < 500$  m. será de 1.80 m.
- La posición relativa de los aisladores entre las dos vías no debe ser colineal, es decir, sus ejes no deben coincidir para facilitar las maniobras de mantenimiento para esta entrevía -



100 METRI  
 1:1000

1:1000  
 100 METRI  
 1:1000

de 2.90 m que se tiene en el tramo.

El proyecto de la distribución de los anclajes de la vía sobre la losa de concreto deberá contener los cadenamientos de los siguientes elementos.

- Trazo esquemático del tramo.
- Estaciones
- Drenes transversales.
- Puntos principales de cada curva.
- Ubicación de aparatos de vía.
- Ejes de juntas aislantes
- Cortes de barra guía (crucetas).
- Ejes de cupones neutros y en general todas las instalaciones importantes de la vía.

Deberá tenerse como base, la información de los planos de implantación de vía - trazo que estarán referidos al eje de trazo.

### III.- IMPLANTACION DE VIA.

- 1.- Trazo.
- 2.- Perfil.
- 3.- Sobreelevaciones.

Para la elaboración del proyecto de vía se requiere de actividades previas las cuales fundamentalmente son trabajos topográficos que permitan la verificación del proyecto original del trazo, nivel y gálibos, dentro de la estructura que alojará al sistema.

A continuación se explica el procedimiento a seguir para la revisión de la obra civil y la culminación de un excelente proyecto de vía.

#### III.1.- Trazo.

Una vez construida la estructura que sustentará la vía, se procedió a la reposición del eje de trazo del proyecto original con --

el cual se construyó la obra civil. Realizada esta actividad se inician los trabajos de medición de las tangentes, deflexiones - angulares ( $\Delta$ ) así como el levantamiento de todos los puntos importantes como cabeceras de estación, nichos, lumbreras e intersección de los ejes de trazo de la línea 7 con el de la espuela de comunicación a línea 2..

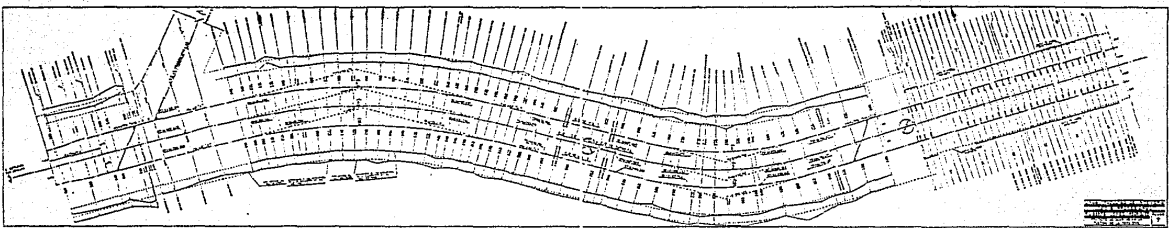
Esta información nos permitió verificar la longitud real del tramo y la posición que guardan los puntos importantes, comparando siempre con el proyecto original que deberá incluirse en el proyecto definitivo de vía, denominado Implantación de Vía - Trazo, para que sea tomado en cuenta por otras especialidades.

Para la revisión al levantamiento de tangentes y ángulos de deflexión se tomaron en cuenta los valores de tolerancia especificados de  $\pm 0.02$  m. en cada 100 m. para las distancias longitudinales y  $\pm 20''$  (segundos) para los valores angulares.

Este levantamiento de tangentes dentro del túnel, deflexiones, - así como la posición de cabeceras de estación, ejes de lumbreras, nichos fué satisfactorio ya que todo estuvo dentro de la tolerancia señalada anteriormente. Por tal motivo, no hubo necesidad de hacer modificaciones o igualación de cadenamientos.

Lo que respecta a la intersección de los ejes de túnel principal con la espuela de comunicación, se tuvo un pequeño desplazamiento de 0.155m. hacia el norte, ocasionando desplazamiento de los aparatos de vía hacia el mismo punto, en esa misma cantidad. Es decir, el kilometraje original disminuyó 0.155 para que al instalarse coincidan el eje de la espuela de comunicación con el talón de desvío del aparato ( plano No. 7).

Con esta revisión de tangentes y deflexiones únicamente se ha --



comprobado que la construcción del túnel longitudinalmente es -- aceptado. Pero aún no se puede afirmar si el eje repuesto se conserva o sufrirá desplazamiento, para esto es necesario checar el túnel transversalmente.

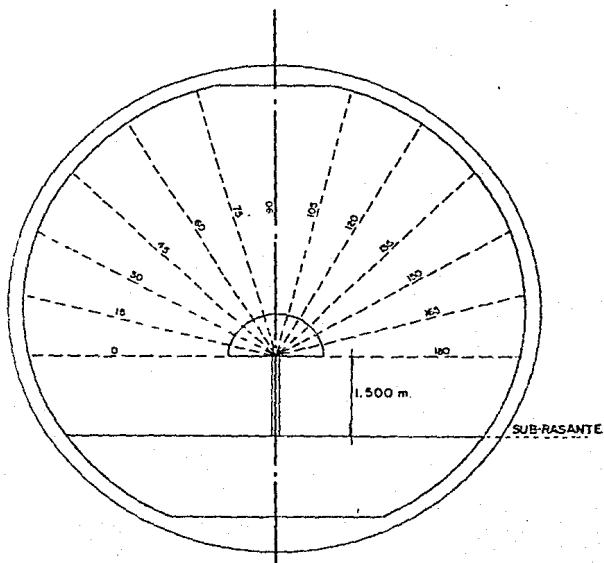
Habiendo checado el túnel longitudinalmente, se procede al levantamiento de secciones transversales a cada 20 m. en tangente y a cada 10 m. en zona de curva, utilizando el método práctico que consiste en medir la sección en forma radial auxiliándose con el instrumento llamado "girasol", graduados de 0° a 180° espaciados de 15 en 15 (Figura No. 8).

Teniendo esta información se inicia el análisis geométrico de cada una de las secciones del túnel en forma gráfica, calculando analíticamente (actualmente por medio de programas de computadoras) aquellos puntos críticos en los que se tenga alguna duda -- del gálibo libre (Figura No. 9).

Cada una de las secciones fué revisada, como ya se dijo antes, -- porque sólo así se verificaba la posición que guardaba el eje de trazo repuesto con el eje del túnel construído.

Con esta revisión se observó que el túnel tenía sus desplazamientos laterales, aceptables para el proyecto de vías. Por lo tanto, el eje marcado en el túnel es aceptado, procediendo inmediatamente a asignar kilometrajes definitivos los cuales deberán marcarse sobre las paredes de la estructura de sustentación de la vía a cada 20 m., así como también los puntos principales de la curva horizontal, la cual está constituida por dos curvas de transición y una curva circular.

Si las deflexiones angulares ( $\Delta$ ) reales hubiesen resultado diferentes a las de proyecto, la curva circular se recalculará -----



UNAM - FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

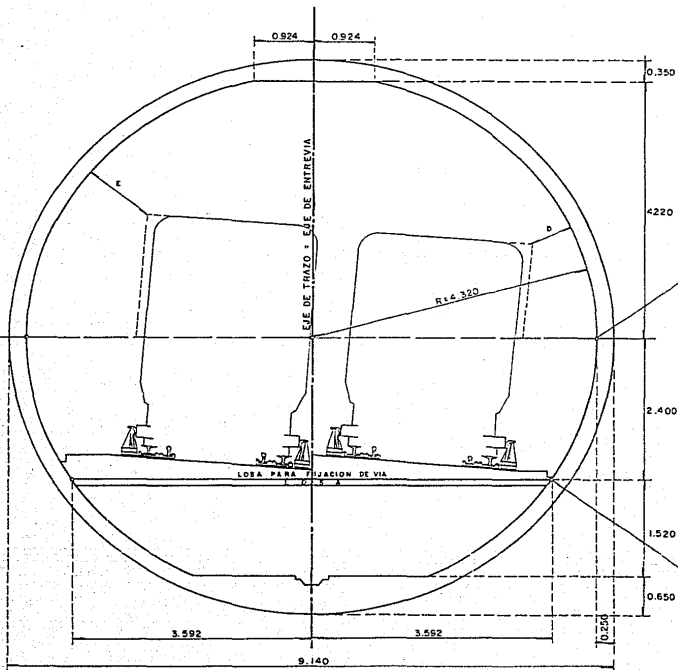
FILIBERTO LOPEZ RODRIGUEZ

FIGURA

LEVANTAMIENTO DE SECCIONES  
TRANSVERSALES EN FORMA RADIAL

8





PARO INTERIOR DEL TUNEL PROYECTO

CADENAMIENTOS	DISTANCIA (D) (ZONA CRITICA)	DISTANCIA (E)
8 + 856.698	0.597	1.362
8 + 860.000	0.572	1.373
8 + 870.000	0.576	1.378
8 + 880.000	0.606	1.308
8 + 890.000	0.617	1.305
8 + 900.000	0.567	1.242
8 + 905.002	0.573	1.278

INTERSECCION DE LOSA DE CONCRETO SOBRE CON EL RECUBRIMIENTO INT. DEL TUNEL PROYECTO

nuevamente, tratando de mantener siempre las mismas características de las curvas de transición.

Las curvas de transición se utilizan al pasar de un tramo tangente a una curva circular con radios menores a 2000 m., las cuales absorberán la sobreelevación requerida para contrarrestar la fuerza centrífuga, mantener la velocidad de los trenes, y asegurar el confort de los usuarios.

Las curvas de transición que usaremos se denominan Curvas Clotoides (Figura No.10).

En este caso los valores de las deflexiones de proyecto con respecto a las reales, estuvieron en el rango de tolerancia de  $\pm 20''$ , por lo tanto, las características de las curvas del eje de trazo del proyecto original se mantiene, es decir, lo que nos preocupa primeramente, es que el eje de trazo repuesto corresponda al eje del túnel construido en la tolerancia aceptable y como éste la satisface, se pasa al análisis de vías. Pero antes hagamos un ejemplo del cálculo de una de las curvas del eje de trazo.

Cuando existen grandes errores en la construcción se procede a una modificación profunda del trazo con la consecuente revisión del mismo, siguiendo la secuencia que a continuación se indica:

### III.1.1. Secuencia del cálculo de una curva de enlace.

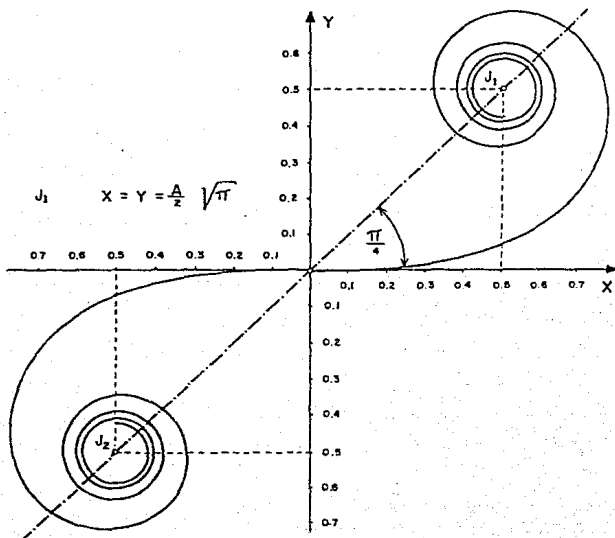
#### a). Velocidad máxima.

La velocidad máxima a la cual un tren debe de pasar una curva, se obtiene en función del radio nominal (Rn) por medio de la siguiente expresión:

$$V = 5.13 \sqrt{R_n}, \text{ en Km/hora}$$

CURVA DE TRANSICION :

$$R \times L = A^2$$



CLOTOIDE

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

FILIBERTO LOPEZ RODRIGUEZ

FIGURA

CURVA DE TRANSICION  
LLAMADA CLOTOIDE

10

El valor que se obtenga será redondeado al inmediato inferior en múltiplos de cinco.

La fórmula es aplicada únicamente para radios menores a los 245 m. para radios mayores, la velocidad será de 80 km/hora, ya que las características de potencia del tren no permite mayor velocidad.

b). Pendiente máxima de enlace.

Para el análisis de la curva de transición o clotoide, se considera una pendiente máxima de enlace, entre la zona de vías donde no hay peralte a la zona a peralte máxima de la curva, que deberá ser igual a :

$P \leq \frac{180}{V}$ , en mm/m. ( V, es la velocidad máxima en km/hora), y a su vez, este valor no será mayor a 3 mm/m.

c). Peralte de equilibrio.

Conocida la velocidad y la pendiente se procede al cálculo de peralte de equilibrio o peralte teórico mediante la siguiente expresión.

$$H_T = \frac{11.8 v^2}{Rn}, \text{ en mm}$$

d). Peralte práctico.

Al peralte de equilibrio se le restan 30 mm (por especificación) para obtener el peralte práctico, que se aplicará físicamente en la curva. El valor obtenido se aproxima al inmediato superior o inferior en múltiplos de cinco.

Este peralte se presenta con la siguiente expresión:

$$H_r = \frac{11.8 v^2}{R_n} - 30$$

Si  $H_r$  resulta mayor a 160 mm., se tomará como  $H_r=160$  mm. ya que por especificación es el máximo peralte que se debe considerar. En caso contrario se tomará el que resulte de la operación.

e). Longitud teórica de la clotoide mínima.

Después de haber obtenido la pendiente máxima de enlace (P) y el peralte práctico ( $H_r$ ), se calculará la longitud de la clotoide mínima calculada, utilizando la siguiente expresión:

$$L_{cl. \text{ mín.}} = \frac{H_r}{P}, \text{ expresada en m.}$$

f). Constante de cálculo.

Conocida la longitud teórica de la clotoide ( $L_{cl. \text{ mín.}}$ ) y el radio nominal ( $R_n$ ), se obtiene un valor unitario que le llamaremos "epsilon" ( $\epsilon$ ), a partir del cual se deducirán de las tablas de la clotoide (\*), las características de la curva en estudio. Esta expresión es la siguiente:

$$\epsilon = \frac{L_{cl. \text{ mín.}}}{R_n}$$

(\*) Tablas de la clotoide.

Por Pierre Klaus, Union des Professionels de la Route - Zurich.

III.1.2. Cálculo de la curva No. 5 del eje de trazo con cadenamien to  $PI=8+882.510$ .

Datos iniciales.

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

$$R_n = 200.000 \text{ m}$$

### III.1.2.1. Curva de enlace.

- a). Velocidad máxima :  $v = 5.13 \sqrt{R_n}$   
 $v = 5.13 \sqrt{200} = 72.549$ , que redondeado al inmediato inferior en multiples de cinco tenemos:

$$v = 70 \text{ Km/hora.}$$

- b). Pendiente máxima de enlace:  $P = \frac{180}{v}$

$$P = \frac{180}{70} = 2.571429 \text{ mm/m.}$$

- c). Peralte práctico :  $Hr = \frac{11.8 v^2}{R n} - 30$

$$Hr = \frac{11.8 (70)^2}{200} - 30 = 259.100 > 160 \text{ mm.}$$

Entonces  $Hr = 160 \text{ mm.}$

- d). Longitud teórica de la clotoide mínima:  $Lcl \text{ mín.} = \frac{Hr}{P}$

$$Lcl \text{ mín} = \frac{160}{2.571429} = 62.222212 \text{ m}$$

- e). Valor de "epsilon" :  $\xi = \frac{Lcl. \text{ mín.}}{R_n}$

$$\xi = \frac{62.222212}{200} = 0.311111$$

Con este valor entramos a las tablas de la clotoide, tomando en cuenta que de no encontrarse exactamente, se tomará el inmediato superior o inferior (el valor que más se aproxime).

A continuación tenemos una parte de la tabla de clotoide donde se localiza el valor de ( $\xi$ ) y los valores de la clotoide unitaria, que servirán para determinar los elementos principales de la curva.

Para  $\xi = 0.311111$ , el valor que más se aproxima es el inmediato superior  $\xi = 0.311364$ , por lo tanto, de este mismo renglón -

N	$\lambda$	$\xi$	$\tau^{\circ}$	$\rho$	X	y	$x_m$	t	f	r	e	s	$w^{\circ}$
556	0.003 978 29	0.309 136 1 113	08 51 22 1 55	0.556 000 1 000	0.554 673 988	0.028 598 154	0.277 779 498	0.559 129 1 028	0.028 943 158	1.798 561 3 229	0.007 155 39	0.555 410 994	02 57 05 38
557	0.004 007 29	0.310 249 1 115	06 53 17 1 55	0.557 000 1 000	0.555 661 988	0.028 752 155	0.278 277 498	0.560 157 1 029	0.029 101 159	1.795 332 3 217	0.007 194 39	0.556 404 995	02 57 43 39
558	0.004 036 29	0.311 364 1 117	08 55 12 1 55	0.558 000 1 000	0.556 649 988	0.028 907 155	0.278 775 498	0.561 186 1 029	0.029 260 160	1.792 115 3 206	0.007 233 39	0.557 399 995	02 58 22 38
559	0.004 065 29	0.312 481 1 119	08 57 07 1 55	0.559 000 1 000	0.557 637 988	0.029 062 156	0.279 273 498	0.562 215 1 029	0.029 420 161	1.788 909 3 195	0.007 272 39	0.558 394 994	02 59 00 39
560	0.004 094 29	0.313 600 1 121	08 59 02 1 56	0.560 000 1 000	0.558 625 987	0.029 218 156	0.279 771 498	0.563 244 1 029	0.029 581 161	1.785 714 3 183	0.007 311 39	0.559 388 995	02 59 39 38

TABLA DE LA CLOTOIDE



obtendremos los siguientes valores:

$$\lambda = 0.004036$$

$$\tau = 08^{\circ}55'12'' \text{ (ángulo total de la clotoide).}$$

$$\epsilon = 0.558$$

$$x = 0.556649$$

$$y = 0.028907$$

$$x_m = 0.278775$$

$$r = 1.792115$$

$$s = 0.557399$$

$$w = 02^{\circ}58'22'' \text{ (deflexión formada entre la subtan-} \\ \text{gente total (Tc) y la cuerda larga S).}$$

f). ordenada del punto B ó desplazamiento de la curva:  $E = \lambda \cdot R_n$ .

$$E = 0.004036 (200) = 0.807 \text{ m}$$

g). Radio de la curva circular real :  $R_c = R_n - E$

$$R_c = 200 - 0.807 = 199.193 \text{ m}$$

h). Parámetro de cálculo :  $A = \frac{R_c}{r}$

$$A = \frac{199.193}{1.792115} = 111.1495635 \text{ m}$$

i). Longitud real de la clotoide :  $L_{cl} = \epsilon \cdot A$ .

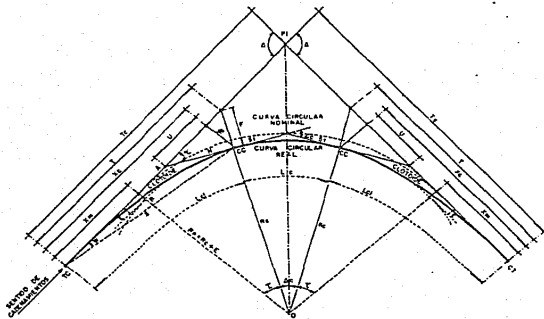
$$L_{cl} = 0.558 (111.1495635) = 62.021 \text{ m}$$

j). Abscisa del punto CC:  $X_c = x \cdot A$

$$X_c = 0.556649 (111.1495635) = 61.871 \text{ m}$$

k). Ordenada del punto CC :  $Y_c = y \cdot A$ .

$$Y_c = 0.028907 (111.1495635) = 3.213 \text{ m}$$



### SIMBOLOGIA

- TE = PUNTO DE PASO DE LA TANGENTE A LA CLOTOIDE
- CC = PUNTO DE PASO DE LA CLOTOIDE A LA CURVA Y VICEVERSA
- CT = PUNTO DE PASO DE LA CLOTOIDE A LA TANGENTE
- PI = PUNTO DE INFLEXION
- LU = CLOTOIDE
- LR = CURVA CIRCULAR REAL
- SI = SUBTANGENTE
- Δ = ANGULO DE DEFLEXION DE LA CURVA CIRCULAR REAL
- δ = ANGULO DE DEFLEXION TOTAL
- E = DESPLAZAMIENTO ENTRE CIRCULAR REAL Y CIRCULAR NOMINAL
- RN = RADIO DE LA CURVA CIRCULAR NOMINAL ( EN CLOTOIDE )
- RA = RADIO DE LA CIRCULAR REAL
- T = ASCISA ( SUBANGULO ) QUE DETERMINA LA POSICION RADIAL DEL PUNTO.
- Zn = ASCISA DEL PUNTO B.
- Zx = ASCISA DEL PUNTO CC.
- Tx = ORDENADA DEL PUNTO CC.
- W = PARAMETRO DE CALCULO PARA LA CLOTOIDE
- Σ = ANGULO DE DEFLEXION DE LA CLOTOIDE
- U = PROYECCION DE M CON RESPECTO A T.
- H = PROLONGACION DE LA SUBTANGENTE DE LA CURVA CIRCULAR REAL
- Tn = SUBTANGENTE TOTAL ( DISTANCIA DEL PI AL Tn AL CT )
- F = DISTANCIA RADIAL DEL PUNTO DE LA SUBANGULO.
- S = CUERDA LARGA ( DISTANCIA DEL Tn AL CC.
- Δ = DEFLEXION FORMADA ENTRE Tn Y S.

l). Abscisa del punto B:  $X_m = x_m \cdot A$

$$X_m = 0278775 (111.1495635) = 30.986 \text{ m}$$

m). Cuerda larga (distancia del TC al CC):  $S = s.A.$

$$S = 0.557399 (111.1495635) = 61.955 \text{ m}$$

n). Prolongación de la subtangente de la curva circular real:

$$H = \frac{Y_c}{\text{Sen } \tau} = \frac{3.2130004}{\text{Sen } 8^{\circ}55'12''} = 20.722 \text{ m}$$

ñ). Proyección de la distancia H:  $U = \frac{Y_c}{\text{Tang } \tau}$

$$U = \frac{3.2130004}{\text{Tang } 8^{\circ}55'12''} = 20.471 \text{ m}$$

Todos los elementos se pueden ver en la Figura No. 11.

### III.1.2.2. Cálculo de la curva circular real.

o). Angulo de deflexión de la curva circular real:  $\Delta c = \Delta - 2 \tau$

$$\Delta c = 31^{\circ}44'03'' - 2 (8^{\circ}55'12'') = 13^{\circ}55'39''$$

$$\Delta c = 13^{\circ} 55' 39''$$

p). Longitud de curva:  $L_c = \Delta c \cdot R_c \left( \frac{\pi}{180} \right)$

$$L_c = 13^{\circ}55'39'' (199.193) \frac{\pi}{180}$$

$$L_c = 48.304 \text{ m}$$

q). Subtangente de la curva circular:  $Stc = R_c \text{ tang } \frac{\Delta c}{2}$

$$Stc = 199.193 \text{ tang } \frac{13^{\circ}55'59''}{2}$$

$$Stc = 24.271 \text{ m}$$

r). Grado de curvatura:  $G_c = \frac{20}{R_c} \cdot \frac{180}{\pi}$

$$G_c = \frac{20}{199.193} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$G_c = 5.7528^\circ$$

s). Deflexión por metro:  $D/m = 1.5 G_c$ .

$$D/m = 1.5 (5.7528^\circ)$$

$$D/m = 8.6292'$$

t). Subtangente total :  $T_c = R_n \tan \frac{\Delta}{2} + X_m$

$$T_c = 200 \tan \frac{31^\circ 44' 02''}{2} + 30.986$$

$$T_c = 56.847 + 30.986$$

$$T_c = 87.833 \text{ m}$$

u). Resumiendo el cálculo de la curva.

$$PI = 8+882.410$$

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

$$R_n = 200.000$$

$$R_n \tan \frac{\Delta}{2} = ST = 56.847 \text{ M}$$

$$5.13 \sqrt{R_n} = V_{\text{máx}} = 70. \text{Km/ hora}$$

$$\frac{180}{v} = \text{pend. máx.} = 2.5714 \text{ mm/m}$$

$$\frac{11.8 v^2}{R_n} = H_r = 160 \text{ mm}$$

$$\frac{H_r}{P} = L_{cl} \text{ mín.} = 62.222 \text{ m}$$

$$\frac{L_{cl} \text{ mín.}}{R_n} = \xi = 0.311111$$

$$\lambda = 0.004036$$

$$\tau = 08^\circ 55' 12''$$

$$e = 0.558$$

$$\begin{aligned}
X &= 0.556649 \\
y &= 0.028907 \\
xm &= 0.278775 \\
r &= 1^{\circ}792115 \\
S &= 0.557399 \\
w &= 02^{\circ}58'22" \\
\lambda \cdot Rn = E &= 0.807 \text{ m.} \\
Rn - E = Rc &= 199.193 \text{ m} \\
A. \ell = Lc1 &= 62.021 \text{ m} \\
X-A. = Xc &= 61.871 \text{ m} \\
y.A. = Yc &= 3.213 \text{ m} \\
xm.A. = xm &= 30.986 \text{ m} \\
S.A. = S &= 61.955 \text{ m} \\
\frac{Yc}{Tangv} = U &= 20.471 \text{ m} \\
\frac{Yc}{Senv} = H &= 20.722 \text{ m} \\
\Delta - 2v = \Delta c &= 12^{\circ}53'39" \\
\Delta c.Rc \left( \frac{\pi}{180} \right) = Lc &= 48.304 \text{ m} \\
Rc \text{ Tang } \frac{\Delta c}{2} = Stc &= 24.271 \text{ m} \\
\frac{20}{Rc} \left( \frac{180}{\pi} \right) = Gc &= 5.7528^{\circ} \\
1.5 Gc = D/m &= 8.6292' \\
ST + Xm = Tc &= 87.833 \text{ m}
\end{aligned}$$

### III.1.2.3. Obtención de los cadenamientos.

Una vez obtenido los elementos geométricos de la curva se procedió a dar kilometrajes a los puntos principales del eje de trazo, partiendo del punto conocido  $PI = 8+882.510$  en el sentido que --- aumentan los cadenamientos.

Para obtener el kilometraje del punto de paso de la tangente a la clotoide denominada como TC, al PI se le resta la subtangente total (TC), a este nuevo punto conocido (TC) se le suma la longitud de la clotoide real para obtener el kilometraje del punto de paso de la clotoide a la circular (CC), nuevamente volvemos a sumarle a este otro punto, que se ha obtenido la longitud de la curva circular y obtendremos el punto de paso de la curva circular a la clotoide (CC) y finalmente a este kilometraje que se ha obtenido del CC, le sumamos la longitud de la clotoide para obtener el punto de terminación de la curva o sea el (CT).

Con los datos de la curva obtengamos los kilometrajes de los puntos principales:

$PI = 8+882.510$   
 $Tc = 87.833 \text{ m}$   
 $Lc1 = 62.021 \text{ m}$   
 $Lc = 48.304 \text{ m}$

Entonces tenemos que :

$PI = 8+882.510$   
 $- Tc = \underline{87.833}$   
 $TC = 8+794.677$   
 $+ Lc1 = \underline{62.021}$   
 $CC = 8+856.698$   
 $+ Lc = \underline{48.304}$   
 $CC = 8+905.002$   
 $+ Lc1 = \underline{62.021}$   
 $CT = 8+967.023$

III.- 1.2.4.- Presentación de los datos de la curva para el trazo de ésta en campo y procedimiento de cálculo de coordenadas de la clotoide.

DATOS DE LA CURVA NO. 5

$\gamma$ = 8°55'12"	PI = 8+882.510	$\gamma$ = 08°55'12"
Xc = 61.871	$\Delta$ = 31°44'03" (DER).	Xc = 61.871
Yc = 3.213	$\Delta c$ = 13°53'39"	Yc = 3.213
Lcl = 62.021	Gc = 5.75 28°	Lcl = 62.021
U = 20.471	Lc = 48.304	U = 20.471
H = 20.722	tc = 24.271	H = 20.722
	Tc = 87.833	
	D/m = 8.6292'	
	Rc = 199.193	
	Rn = 200.000	
	V = 70 km/hora	

Es necesario contar también con las coordenadas y deflexiones de la clotoide para que se facilite el trazado de esta. A continuación se presenta el método de obtención de las coordenadas y deflexiones.

De la fórmula de la longitud real de la clotoide tenemos:

$$Lcl = c \cdot A.$$

$$Lcl = 62.021 \text{ m}$$

$$c = 0.558$$

$$A = 111.1495635 \text{ m}$$

Las opciones que se tiene para el cálculo de las coordenadas son las siguientes:

- a). Se busca un número que divida al valor de ( $f$ ) en segmentos - exactamente iguales, el número de estas según a criterio del proyectista.

$$0.558 \div 9 = 0.062$$

Entonces tendremos 9 segmentos de  $f'=0.062$

- b). El valor de ( $f$ ) se divide en 10 segmentos (procedimiento --- práctico).

$$0.558 \div 10 = 0.0558, \text{ de aquí resultan}$$

10 segmentos de  $f' = 0.055$

1 segmento de  $f' = 0.008$

- c). Si queremos tener longitudes de segmentos cerrados ( $Lcl=4, 5, 6$  m. etc) es necesario interpolar, ya que el valor que resulta de la división del segmento deseado y el valor de  $A$ , no se encuentra en tablas con un valor cerrado.

De :  $Lcl = f.A$

$\frac{Lcl}{A} = ;$ , entonces para valores cerrados de  $Lcl$ .

tenemos:  $\frac{5}{A} =$  implica interpolar

Actualmente para la obtención de las coordenadas usamos las opciones (a) (b) y (c), para esta última se obtiene por medio de programas de computadora.

#### III.1.2.5.- Cálculo de las coordenadas de la curva de enlace.

Para la obtención de las coordenadas aplicaremos la opción (b).



Buscaremos cuerdas de ( $\rho$ ) cerradas aunque la longitud del segmento no lo sea. Por lo tanto, tenemos que  $\rho = 0.558$  que al dividirlo entre 10 segmentos y tomando unicamente hasta el milímetro resulta:

$$\frac{0.558}{10} = 0.0558 \text{ de aqui tenemos:}$$

$$10 \text{ segmentos de } \rho' = 0.055$$

$$1 \text{ segmento de } \rho' = 0.008$$

Con  $\rho' = 0.055$  entramos a las tablas de la clotoide para obtener los valores unitarios del primer segmento, que multiplicado por el parámetro de cálculo  $A = 111.1495635$  m. nos dará la longitud del primer segmento de la clotoide ordenada y abscisa, o sea:

$$\rho' = 0.055$$

$$x. = 0.055$$

$$y. = 0.000028$$

de donde:

$$Lc1 = \rho' A = 0.055 (111.1495635) = 6.113 \text{ m}$$

$$X = x. A = 0.055 (111.1495635) = 6.113 \text{ m}$$

$$Y = y. A = 0.000028 (111.1495635) = 0.003 \text{ m}$$

Para los siguientes valores el  $\rho' = 0.055$  se va sumando reciprocamente hasta la cuerda 10, es decir, para un valor  $\rho_{10} = 0.550$  y el último segmento se obtiene con  $\rho = 0.558$  repitiendo el cálculo anterior.

A continuación tenemos la tabla de las coordenadas para los once segmentos de la clotoide.

$\rho$	x	y	C O O R D E N A D A S    D E F L E X I O N E S			
			Lcl= $\rho$ .A.	X=x.A.	Y= y.A.	W
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	00°00'00"
0.055	0.055000	0.000028	6.113	6.113	0.003	00°01'44"
0.110	0.110000	0.000222	12.226	12.226	0.025	00°06'56"
0.165	0.164997	0.000749	18.340	18.339	0.083	00°15'36"
0.220	0.219987	0.001775	24.453	24.451	0.197	00°27'44"
0.275	0.274961	0.003466	30.566	30.562	0.385	00°43'20"
0.330	0.329902	0.005988	36.679	36.668	0.665	01°02'24"
0.385	0.384789	0.009507	42.792	42.769	1.057	01°24'55"
0.440	0.439588	0.014188	48.906	48.860	1.577	01°50'55"
0.495	0.494258	0.020193	55.019	54.936	2.244	02°20'22"
0.550	0.548743	0.027684	61.132	60.993	3.077	02°53'17"
0.558	0.556649	0.028907	62.021	61.871	3.213	02°58'22"

Como se dijo anteriormente, si la obra civil es diferente al proyecto original se buscará un trazo que se adapte a las condiciones reales de la obra y el cálculo anterior de la curva es el procedimiento a seguir.

### III.1.3. Cálculo de las vías interior y exterior (curvas, 51 y 52).

Definido el eje de trazo y tomando este como el eje de la entrevía, se procede al análisis de las curvas interior y exterior de los ejes de las vías.

De acuerdo al criterio establecido previamente se les ha denominado Vía 1 y Vía 2 la que sale y llega al depósito de trenes, -- respectivamente.

Se les ha dado también una numeración a todas las curvas existentes partiendo de Cola Tacuba hasta Cola Barranca del Muerto. Las curvas del tramo en estudio le corresponden los números 5, 6 y 7 para el eje de trazo, de donde las curvas de las vías tomarán -- primeramente el número de la curva del eje de trazo y después el número de la vía en estudio, (Figura No. 12).

Es decir:

Para la curva No. 5 del eje de trazo, las curvas de las vías tomarán el siguiente número:

Vía 1 : curva 51

Vía 2 : curva 52

Para el análisis de estas curvas se debe de considerar una entrevía de 2.900 m. para zona tangente, manteniendo una separación -- de 0.400 m. entre los dos carros, por lo tanto debemos de garantizar que en zona de curva se tendrá la misma separación.

Por estudios realizados sabemos que para mantener la separación mínima libre (0.400 m) entre los dos trenes en zona de curva, -- por regla general, la vía interior deberá desplazarse hacia el -- muro interior de la curva. Esto para contrarrestar el efecto de la



desviación del carro al "centro" y al "extremo" en esa zona, ---  
(Figura No. 13).

Este desplazamiento de la vía podrá ser de 0.100 m. ó 0.200 m -  
dependiendo del valor del radio de la curva, es decir:

0.200 m para  $150 \leq R_n \leq 300$

0.100 m para  $300 \leq R_n \leq 1000$

Para el caso de la curva No. 5 del eje de trazo, se tiene un radio nominal  $R_n = 200.000$  m y de acuerdo al levantamiento de gálilos en el cual se observan, pequeños desplazamientos de los muros oriente y poniente con respecto al proyecto original, lo cual nos obliga a ampliar en 0.100 m. cada vía para tener una entrevía en la zona de la curva circular de 3.100 m. (plano No. 7).

#### III.1.3.1. Cálculo de la vía interior (curva . 51).

Tomando los siguientes datos de la curva No. (5).

$R_n$  (trazo) = 200.000 m

$R_c$  (trazo) = 199.193 m

Que nos servirán para obtener los elementos de la clotoide de la vía interior.

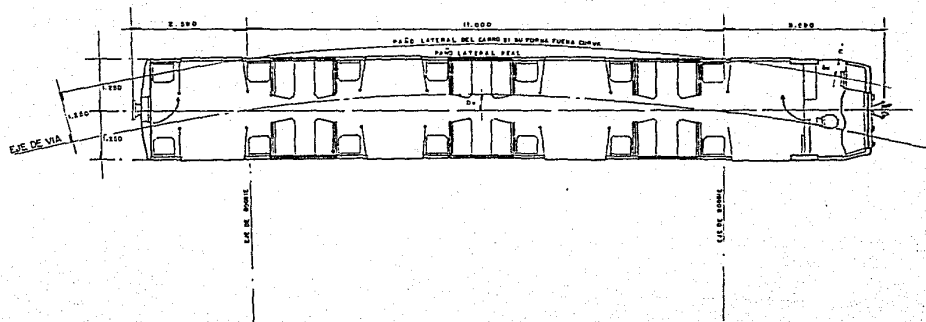
#### III.1.3.1.1.- Obtención de los elementos principales de la clotoide.

a).

Radio nominal ( $R_n$ )

$R_n = R_n (\tau) - \frac{1}{2}$  entrevía

$R_n = 200.000 - 1.450 = 198.550$  m



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
FILIBERTO LOPEZ RODRIGUEZ	
DESVIACION DEL TREN AL CENTRO (Dv) y AL EXTREMO (De)	
FIGURA	13

- b). Radio real (Rc).  
 $Rc = Rc (T) - (\frac{1}{2} \text{ entrevía} + \text{ampliación})$   
 $Rc = 199.193 - (1.450 + 0.100)$   
 $Rc = 199.193 - 1.550 = 197.643 \text{ m}$
- c). Desplazamiento necesario de la curva (En)  
 $En = Rn - Rc$   
 $En = 198.550 - 197.643$   
 $En = 0.907 \text{ m}$
- d). Conocidos los valores de Rc y En y de la fórmula que ya se vió anteriormente  $E = \lambda \cdot R$  Despejando y sustituyendo los valores de la Vía I, tenemos.

$$\lambda = \frac{En}{Rc} = \frac{0.907}{197.643} = 0.004589$$

con este valor entraremos a las tablas de las clotoides, - tomando en cuenta que de no encontrarse este valor exactamente, se tomará el inmediato superior o inferior.

De la siguiente tabla de la clotoide (de Pierre Klaus) vemos -- que para  $\lambda = 0.004589$  que se encuentra entre los valores de --  $N = 576$  y  $577$  de los cuales el más cercano es la clotoide unitaria  $N = 576$ .

Por lo tanto los valores de la clotoide buscada son:

N	$\lambda$	E	$\varphi^{\circ} ' ''$	P	x	y	Xm	t	f	r	e	s	$w^{\circ} ' ''$
576	0.004 582 32	0.331 776 1 153	09 30 17 1 59	0.576 000 1 000	0.5744 17 986	0.031 788 165	0.287 736 498	0.579 739 1 033	0.032 230 171	1.736 1 11 3 009	0.007 955 41	0.575 296 994	03 10 03 40
577	0.004 614 31	0.332 929 1 155	09 32 16 1 59	0.577 000 1 000	0.5754 03 986	0.031 953 166	0.288 234 498	0.580 772 1 033	0.032 401 172	1.733 1 02 2 998	0.007 996 41	0.576 290 994	03 10 43 39
578	0.004 645 33	0.334 084 1 157	09 34 15 1 59	0.578 000 1 000	0.576 389 986	0.032 119 167	0.288 732 497	0.581 805 1 033	0.032 573 172	1.730 1 04 2 988	0.008 037 42	0.577 284 993	03 11 22 40
579	0.004 678	0.335 241	09 36 14	0.579 000	0.577 375	0.032 286	0.289 229	0.582 838	0.032 745	1.727 1 16	0.008 079	0.578 277	03 12 02

TABLA DE LA CLOTOIDE



$$\begin{aligned}
\tau &= 09^{\circ}30'17'' \\
f &= 0.576 \\
x &= 0.574417 \\
y &= 0.031788 \\
xm &= 0.287736 \\
r &= 1.736111 \\
e &= 0.007955 \\
s &= 0.575296 \\
w &= 03^{\circ}10'03''
\end{aligned}$$

Siguiendo el mismo procedimiento que se hizo para la curva No. 5 del eje de trazo, esto es:

$$A = \frac{Rc}{r} = \frac{197.643}{1.736111} = 113.8423753 \text{ m}$$

$A = 113.8423753 \text{ m}$  parámetro de cálculo que sirve para transformar la clotoide unitaria a una clotoide real.

$$\begin{aligned}
f.A. &= Lc1 = 0.576(113.8423753) = 65.573 \text{ m} \\
&= 09^{\circ}30'17''
\end{aligned}$$

$$x.A. = Xc = 0.574417 (113.8423753) = 65.393 \text{ m}$$

$$y.A. = Yc = 0.031788 (113.8423753) = 3.619 \text{ m}$$

$$xm.A. = Xm = 0.287736 (113.8423753) = 32.756 \text{ m}$$

$$s.A. = S = 0.575296 (113.8423753) = 65.493 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Tang}\tau} = U = \frac{3.618821}{\text{Tang}(9^{\circ}30'17'')} = 21.614 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Sen}\tau} = H = \frac{3.618821}{\text{Sen}(9^{\circ}30'17'')} = 21.915 \text{ m}$$

El desplazamiento real de la curva es :

$$e.A. = Er = 0.007955 (113.8423753) = 0.9056 \text{ m}$$

comparandolo con el desplazamiento calculado o necesario  $E_n = 0.907$  m.

$$E_n - E_r = 0.907 - 0.9056 = 0.00138 \text{ m}$$

Se podrá aceptar una diferencia de  $\pm 0.002$  m para obtener resultados prácticos. Si esta resulta mayor se ajustará haciendo interpolación.

### III.3.1.2.- Cálculo de la curva circular real.

Conocemos el ángulo de deflexión de la curva ( $\Delta$ ) =  $31^\circ 44' 03''$  -- radio real de la curva circular ( $R_c$ ) = 197.643 m, los cuales nos servirán para determinar los elementos principales de la curva.

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

$$\Delta_c = 12^\circ 43' 29''$$

$$R_c \left( \frac{\pi}{180} \right) = L_c = 12^\circ 43' 29'' (197.643) \frac{\pi}{180} = 43.894 \text{ m}$$

$$L_c = 43.894 \text{ m.}$$

$$R_c \tan \frac{\Delta_c}{2} = S_{tc} = 197.643 \tan \frac{12^\circ 43' 29''}{2} = 22.038 \text{ m}$$

$$S_{tc} = 22.038 \text{ m.}$$

$$\frac{20}{R_c} \cdot \frac{180}{\pi} = G_c = \frac{20}{197.634} \cdot \frac{180}{\pi} = 5.7979^\circ$$

$$1.5 G_c = D/m = 1.5 (5.7979^\circ) = 8.69686'$$

$$D/m = 8.69686'$$

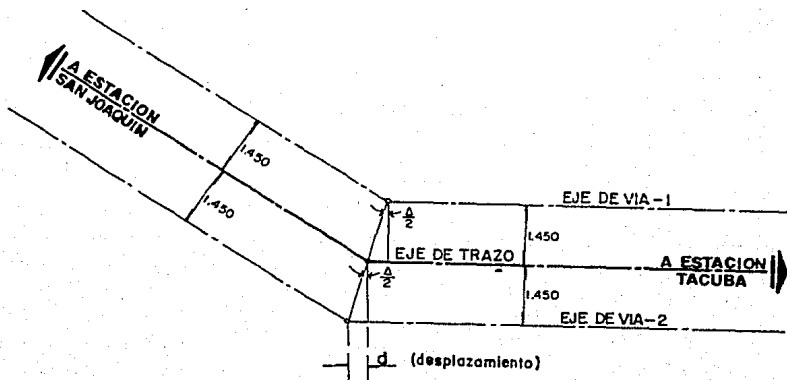
$$ST + X_m = T_c = R_n \tan \frac{\Delta}{2} + X_m$$

$$T_c = 198.550 \tan \frac{31^\circ 44' 03''}{2} + 32.756$$

$$T_c = 56.435 + 32.756 = 89.191 \text{ m}$$

III.1.3.1.3. Cálculos de los cadenamientos de los puntos principales de la curva.

Teniendo las características de la curva procedemos a determinar los desplazamientos de los PIS. de las vías con respecto al ---- PI = 8+882.510 del eje de trazo, esto es :



de la figura tenemos:

$$\text{Tang } \frac{A}{2} = \frac{d}{1.450}$$

$$d = 1.450 \text{ Tang } \frac{A}{2} = 1.450 \text{ tang } \frac{31^{\circ}44'03''}{2}$$

$$d = 0.412 \text{ m}$$

Para obtener el cadenamiento del PI de la vía 1, le restamos al

PI = 8+882.510 la distancia  $d = 0.412$  m. y para el cadenamamiento del PI de la Vía 2, se suma la distancia.

Por lo tanto:

$$\text{PI (Vía 1)} = \text{PI (trazo)} - d = 8+882.510 - 0.412 = 8+882.098$$

$$\text{PI (Vía 1)} = 8+882.098$$

$$\text{PI (Vía 2)} = \text{PI (trazo)} + d = 8+882.510 + 0.412 = 8+882.922$$

$$\text{PI (Vía 2)} = 8+882.922$$

Definido el cadenamamiento del PI de la vía 1, se procede a dar ca denamientos a los puntos principales de la curva. Se tiene que:

$$\text{PI (vía 1)} = 8+882.098$$

$$\text{Tc} = 89.191 \text{ m}$$

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

$$\text{Lc} = 43.894 \text{ m}$$

Los cadenamamientos son:

$$\text{PI (Vía 1)} = 8+882.098$$

$$- \text{Tc} = 89.191$$

$$\text{TC} = 8+792.907$$

$$+ \text{Lcl} = 65.573$$

$$\text{CC} = 8+858.480$$

$$+ \text{Lc} = 43.894$$

$$\text{CC} = 8+902.374$$

$$+ \text{Lcl} = 65.573$$

$$\text{CT} = 8+967.947$$

#### III.1.3.1.4. Obtención de las coordenadas.

Como ya se dijo antes, el proyectista debe de proporcionar además

del cálculo de la curva, un listado de las coordenadas para que la curva sea implantada correctamente.

De la fórmula de la longitud de la clotoide real tenemos:

$Lcl = f \cdot A$ , de donde:

$Lcl = 65.573 \text{ m}$

$f = 0.576$

$A = 113.8423753 \text{ m}$

Para el cálculo de las coordenadas dividimos el valor de  $f$  en segmentos exactos, esto es:

$0.576 \div 12 = 0.048$ , por lo tanto tendremos 12 segmentos de curva de  $f' = 0.048$ , que aplicando el mismo procedimiento de cálculo que para la curva No. 5 del eje de trazo.

f	x	Y	COORDENADAS			DEFLEXIONES
			Lcl= f A.	X=x.A.	Y= y.A.	W
0.000	0.096	0.000	0.000	0.000	0.000	00°00'00"
0.048	0.048	0.000018	5.464	5.464	0.002	00°01'19"
0.096	0.096	0.000147	10.929	10.929	0.017	00°05'17"
0.144	0.143998	0.000498	16.393	16.393	0.057	00°11'53"
0.192	0.191994	0.001180	21.858	21.857	0.134	00°21'07"
0.240	0.239980	0.002304	27.322	27.320	0.262	00°33'00"
0.288	0.287951	0.003981	32.787	32.781	0.453	00°47'31"
0.336	0.335893	0.006321	38.251	38.239	0.720	01°04'41"
0.384	0.383791	0.009434	43.715	43.692	1.074	01°24'29"
0.432	0.431624	0.013429	49.180	49.137	1.529	01°46'55"
0.480	0.479363	0.018415	54.644	54.572	2.096	02°12'00"
0.528	0.526975	0.024499	60.109	59.992	2.789	02°39'42"
0.576	0.574417	0.031788	65.573	65.393	3.619	03°10'03"

III.1.3.1.5. Presentación de los datos de la curva.

DATOS CURVA 51 (VIA INTERIOR)		
$T = 09^{\circ}30'17''$	$PI = 8+882.092$	$T = 09^{\circ}30'17''$
$X_c = 65.393$	$\Delta = 31^{\circ}44'03''$	$X_c = 65.393$
$Y_c = 3.619$	$\Delta c = 12^{\circ}43'29''$	$Y_c = 3.619$
$Lc1 = 65.573$	$Gc = 5.7979^{\circ}$	$Lc1 = 65.573$
$U = 21.614$	$Lc = 43.894$	$U = 21.614$
$H = 21.915$	$Stc = 22.038$	$H = 21.915$
	$Tc = 89.191$	
	$D/m = 8.69686'$	
	$Rc = 197.643$	
	$Rn = 198.550$	

C O R D E N A D A S			DEPLEXIONES.
$Lc1 = f . A .$	$X = x . A .$	$Y = y . A .$	W
0.000	0.000	0.000	00°00'00"
5.464	5.464	0.002	00°01'19"
10.929	10.929	0.017	00°05'17"
16.393	16.393	0.057	00°11'53"
21.858	21.857	0.134	00°21'07"
27.322	21.320	0.262	00°33'00"
32.787	32.781	0.453	00°47'31"
38.251	38.239	0.720	01°04'41"
43.715	43.692	1.074	01°24'29"
49.180	49.137	1.529	01°46'55"
54.644	54.572	2.096	02°12'00"
60.109	59.992	2.789	02°39'42"
65.573	65.393	3.619	03°10'03"

### III.1.3.2.-Cálculo de la vía exterior (Curva - 52).

Igualmente que para la curva 51, se toman los mismos valores de la curva No. 5 del eje de trazo; para determinar los elementos de la clotoide. Estos son:

$$R_n = 200.000 \text{ m}$$

$$R_c = 199.193 \text{ m}$$

#### III.1.3.2.1. Obtención de los elementos principales de la clotoide.

- a). Radio nominal ( $R_n$ ).

$$R_n = R_n(T) + \frac{1}{2} \text{ entrevía} = 200.000 + 1.450 = 201.450 \text{ m}$$

$$R_n = 201.450 \text{ m}$$

- b). Radio real ( $R_c$ ).

$$R_c = R_c(T) + (\frac{1}{2} \text{ entrevía} + \text{ampliación}) = 199.193 + (1.450 + 0.100)$$

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

- c). Desplazamiento ( $E_n$ ) necesario de la curva.

$$E_n = R_n - R_c = 201.450 - 200.743$$

$$E_n = 0.707 \text{ m}$$

- d). De la fórmula  $E = \lambda \cdot R$ , tenemos:

$$\lambda = \frac{E}{R_c} = \frac{0.707}{200.743} = 0.0035219$$

Haciendo la misma operación que para la curva no. 51, de la tabla de Pierre Klaus se obtiene:

$$\begin{aligned} \lambda &= 0.003514 \\ \tau &= 08^{\circ}19'22'' \\ f &= 0.539 \\ x. &= 0.537863 \\ y. &= 0.026059 \\ xm. &= 0.269311 \\ r. &= 1.855288 \\ S. &= 0.538495 \\ e. &= 0.006520 \\ W. &= 02^{\circ}46'26'' \end{aligned}$$

$$A = \frac{Rc}{r} = \frac{200.743}{1.855288} = 108.2004519 \text{ m}$$

A = 108.2004519 m Parámetro de cálculo

$$\begin{aligned} f. A = Lc1 &= 0.539 \quad (\lambda) = 58.320 \text{ m} \\ x. A = Xc &= 0.537863 \quad (\lambda) = 58.197 \text{ m} \\ y. A = Yc &= 0.026059 \quad (\lambda) = 2.820 \text{ m} \\ xm. A = Xm &= 0.269311 \quad (\lambda) = 29.140 \text{ m} \\ s. A = S &= 0.538495 \quad (\lambda) = 58.265 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{Yc}{\text{tang } \tau} = U = \frac{2.8195956}{\text{tang}(8^{\circ}19'22'')} = 19.274 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Sen } \tau} = H = \frac{2.8195956}{\text{Sen}(8^{\circ}19'22'')} = 19.479 \text{ m}$$

El desplazamiento real de la curva será:

$$Er=e.A. = 0.006520 (\lambda) = 0.7054669 \text{ m}$$

Por lo tanto, la diferencia entre el desplazamiento necesario -- (En) y el real (Er) resulta:

$$En - Er = 0.707 - 0.7054669 = 0.00153 \text{ m}$$

Como esta diferencia (0.00153 m) resulta menor a 0.002 m. por lo



tanto la curva que se tomó es correcta.

III.1.3.2.2. Cálculo de la curva circular real.

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

$$Rc = 200.743 \text{ m}$$

$$\Delta - 2\tau = \Delta c = 31^{\circ}44'03'' - 2 (8^{\circ}19'22'')$$

$$\Delta c = 15^{\circ}05'19''$$

$$c. Rc \left( \frac{\pi}{180} \right) = Lc = 15^{\circ}05'19'' (200.743) \frac{\pi}{180}$$

$$Lc = 52.865 \text{ m.}$$

$$Rc \text{ tang } \frac{\Delta c}{2} = Stc = 200.743 \text{ tang } \frac{15^{\circ}05'19''}{2}$$

$$Stc = 26.586 \text{ m.}$$

$$\frac{20}{Rc} \cdot \frac{180}{\pi} = Gc = \frac{20}{200.743} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$Gc = 5.70837^{\circ}$$

$$1.5 Gc = D/m = 1.5 (5.70837)$$

$$D/m = 8.56256'$$

$$ST + Xm = Tc = Rn \text{ tang } \frac{\Delta}{2} + Xm$$

$$Tc = 201.450 \frac{\text{Tang } 31^{\circ}44'33''}{2} + 29.140$$

$$Tc = 57.259 + 29.140$$

$$Tc = 86.399 \text{ m}$$

III.1.3.2.3. Cálculo de los cadenamientos de los puntos principales de la curva.

Como ya conocemos el cadenamiento del punto de inflexión (PI) - de la curva exterior y los datos principales, entonces tendremos.

$$\begin{aligned}
 PI &= 8+882.992 \\
 Tc &= 86.399 \text{ m} \\
 Lc1 &= 58.320 \text{ m} \\
 Lc &= 52.865 \text{ m}
 \end{aligned}$$

De aqui:

$$\begin{aligned}
 PI &= 8+882.992 \\
 - Tc &= 86.399 \\
 \hline
 TC &= 8+796.523 \\
 + Lc1 &= 58.320 \\
 \hline
 CC &= 8+854.843 \\
 \div Lc &= 52.865 \\
 \hline
 CC &= 8+907.708 \\
 + Lc1 &= 58.320 \\
 \hline
 CT &= 8+966.028
 \end{aligned}$$

#### III.1.3.2.4. Obtención de las coordenadas.

De la fórmula  $Lc1 = f \cdot A$ , y con los datos siguientes

$$\begin{aligned}
 Lc1 &= 58.320 \text{ m} \\
 f &= 0.539 \\
 A &= 108.2004519 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Formaremos once segmentos exactos y utilizando el procedimiento que se ha venido aplicando. Entonces tenemos:

$$\frac{0.539}{11} = 0.049 = f'$$

Con este valor y sumando recíprocamente obtenemos de la tabla de la clotoide los valores unitarios que multiplicados por el parámetro (A) de cálculo nos dará el siguiente cuadro de coordenadas y deflexiones.

LcL	C O O R D E N A D.		DEFLEXIONES W
	X	Y	
0.000	0.000	0.000	00°00'00"
5.302	5.302	0.002	00°01'22"
10.604	10.604	0.017	00°05'30"
15.905	15.905	0.057	00°12'23"
21.207	21.206	0.136	00°22'01"
26.509	26.507	0.265	00°34'24"
31.811	31.805	0.458	00°49'31"
37.113	37.100	0.727	01°07'24"
42.415	42.390	1.086	01°28'02"
47.716	47.671	1.546	01°51'25"
53.018	52.942	2.119	02°17'33"
58.320	58.197	2.820	02°46'26"

III.1.3.5.- Presentación de los datos de la curva.

$\tau = 08^{\circ}19'22''$	PI = 8+882.922	$\tau = 08^{\circ}19'22''$
Xc = 58.197	$\Delta = 31^{\circ}44'03''$	Xc = 58.197
Yc = 2.820	$\Delta c = 15^{\circ}05'19''$	Yc = 2.820
Lc1 = 58.320	Gc = 5.70837°	Lc1 = 58.320
U = 19.274	Lc = 52.865	U = 19.274
H = 19.479	Stc = 26.586	H = 19.479
	Tc = 86.399	
	D/m = 8.56256'	
	Rc = 200.743	
	Rn = 201.450	

#### III.1.4. Análisis de las curvas 61 y 62.

Continuando con el análisis para las curvas 61 y 62, se presentó un caso especial, ya que se cuenta con la presencia de un aparato de vía muy próximo a la curva que sirve para comunicar la línea No. 7 con la línea No. 2, originando un cambio de entrevía -- que varía de 2.900 m. a 3.150 m. entrada y salida de la curva -- respectivamente.

El análisis de estas curvas fué muy especial por presentarse una entrevía variable a lo largo de toda la curva y además el eje de trazo debería de cumplir con la condición de eje de entrevía, es decir, la distancia comprendida del eje de entrevía será la misma en cualquier punto de la curva circular.

Para resolver este problema se analizaron diferentes curvas de -- enlace que cumplieran con las condiciones de proyecto de vía, para este tipo de curva.

Entonces, tendremos una entrevía de 2.900 m. a la entrada de la curva, 3.160 m en zona de curva circular y 3.150 m. a la salida de la curva, es decir, la variación de la distancia a partir del eje de trazo al eje de vía será de 1.450 m. en la entrada de la curva de transición que irá variando hasta la curva circular a -- un valor de 1.580 m., toda la curva circular tendrá una separación de 1.580 m. con respecto al eje de trazo y de 1.580 m. a -- 1.575 a la salida de la curva de transición.

Cada curva se proyectó con dos clotoides de entrada y salida diferentes (Figura No. 14).



### III.1.4.1. Cálculo de la curva 6l (vía exterior).

De igual forma que hemos venido haciendo, tenemos dos datos del eje de trazo que utilizaremos, estos son:

$$R_n = 375.000 \text{ m}$$

$$R_c = 374.436 \text{ m}$$

Para la obtención de las curvas de enlace.

#### III.1.4.1.1. Cálculo de la curva de enlace "A" (de entrada).

Con los datos anteriores tenemos:

a). Radio nominal ( $R_n$ ).

$$R_n = R_n (T) + \frac{1}{2} \text{ entrevía} = 375.000 + 1.450$$

$$R_n = 376.450 \text{ m}$$

b). Radio real ( $R_c$ ) de la curva circular.

$$R_c = R_c (T) + \frac{1}{2} \text{ entrevía} = 374.436 + 1.580 = 376.016 \text{ m}$$

$$R_c = 376.016 \text{ m}$$

c). Desplazamiento necesario ( $E_n$ ).

$$E_n = R_n - R_c$$

$$E_n = 376.450 - 376.016 = 0.434$$

$$E_n = 0.434 \text{ m.}$$

$$d). \lambda = \frac{E_n}{R_c} = \frac{0.434}{376.016} = 0.001154$$

$$\lambda = 0.001154, \text{ valor para entrar a las tablas de la clotoide.}$$

De la siguiente tabla de clotoide se obtiene.

N	$\lambda$	$\xi$	$\tau^{\circ}$	$\rho$	X	y	Xm	l	f	r	e	s	$\omega^{\circ}$
406	0.001 132	0.164 836	04 43 20	0.406000	0.405724	0.011 148	0.202954	0.406645	0.011 187	2.463054	0.002788	0.405877	01 34 26
	11	813	1 24	1000	997	83	500	1008	83	6052	20	999	28
407	0.001 143	0.165 649	04 44 44	0.407000	0.406721	0.011 231	0.203454	0.407653	0.011 270	2.457002	0.002808	0.406876	01 34 54
	11	815	1 24	1000	996	83	499	1008	83	6022	21	998	28
408	0.001 154	0.166 464	04 46 08	0.408000	0.407717	0.011314	0.203953	0.408661	0.011 353	2.450980	0.002829	0.407874	01 35 22
	12	817	1 24	1000	997	83	500	1009	84	5992	21	999	28
409	0.001 166	0.167 281	04 47 32	0.409000	0.408714	0.011 397	0.204453	0.409670	0.001 437	2.444988	0.002850	0.408873	01 35 50

TABLA DE LA CLOTOIDE

$$\lambda = 0.001154$$

$$\tau = 04^{\circ}46'08''$$

$$\rho = 0.408$$

$$x = 0.407717$$

$$y = 0.011314$$

$$xm = 0.203953$$

$$r = 2.450980$$

$$e = 0.002829$$

$$s = 0.407874$$

$$W = 01^{\circ}35'22''$$

$$A = \frac{Rc}{r} = \frac{476.016}{2.450980} = 153.414553 \text{ m}$$

$$A = 153.414553 \text{ m. parámetro de cálculo}$$

$$A.\rho \rightarrow Lc1 = 0.408 \quad (A) = 62.593 \text{ m.}$$

$$= 04^{\circ}56'08''$$

$$x.A. = Xc \quad = 0.407717 \quad (A) = 62.550 \text{ m}$$

$$y.A. = Yc \quad = 0.011314 \quad (A) = 1.736 \text{ m}$$

$$xm.A. = Xm \quad = 0.203953 \quad (A) = 31.289 \text{ m}$$

$$S.A. = S \quad = 0.407874 \quad (A) = 62.574 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Tang } \tau} = U = \frac{1.735732}{\text{Tang } (4^{\circ}46'08'')} = 20.806 \text{ m}$$





$$\text{Diferencia de radios} = 376.575 - 376.450 = 0.125 \text{ m}$$

La distancia (d), es el desplazamiento de los PIs que se sumará o restará al Tc que se obtiene usualmente, es decir:

$$\text{Tc de entrada} = \text{ST} + \text{Xm} + d$$

$$\text{Tc de salida} = \text{ST} + \text{Xm} - d$$

Cálculo de la distancia (d).  
de la figura tenemos que:

$$\text{Sen } \Delta = \frac{0.125}{d} \quad \therefore d = \frac{0.125}{\text{Sen } 30^{\circ}23'59''} = 0.247 \text{ m}$$

$$d = 0.247 \text{ m}$$

f). Cálculo de la subtangente total de entrada (Tc).

$$\text{Tc} = \text{ST} + \text{Xm} + d$$

$$\text{Tc} = \text{Rn} \text{ Tang } \frac{\Delta}{2} + \text{Xm} + d$$

$$\text{Tc} = 376.450 \text{ tang } \frac{30^{\circ}23'59''}{2} + 31.289 + 0.247$$

$$\text{Tc} = 102.278 + 31.289 + 0.247$$

$$\text{Tc} = 133.814 \text{ m}$$

#### III.1.4.1.2. Cálculo de la curva de enlace "B" de salida

a). Radio nominal (Rn)

$$\text{Rn} = \text{Rn (T)} + \frac{1}{2} \text{ entrevía} = 375.000 + 1.575$$

$$\text{Rn} = 376.575 \text{ m}$$

b). Radio real (Rc) de la curva circular.

$$\text{Rc} = \text{Rc (T)} + \frac{1}{2} \text{ entrevía} = 374.436 + 1.580$$

$$\text{Rc} = 376.016 \text{ m}$$

c). Desplazamiento necesario (En).

$$En = Rn - Rc$$

$$En = 376.575 - 376.016$$

$$En = 0.559 \text{ m}$$

$$d). \quad \lambda = \frac{En}{Rc} = \frac{0.559}{376.016} = 0.001487$$

$$\lambda = 0.001487$$

De la tabla siguiente de la clotoide tenemos:

N	$\lambda$	$E$	$\rho^{\circ}$	$\epsilon$	x	y	$x_m$	t	f	r	e	s	$w^{\circ}$
432	0.001451	0.186624	05 20 47	0.432000	0.431624	0.013429	0.215937	0.432881	0.013487	2.314815	0.003358	0.431833	01 46 55
	13	865	1 29	1 000	996	93	500	1 010	95	5346	24	998	30
433	0.001464	0.187489	05 22 16	0.433000	0.432620	0.013522	0.216437	0.433891	0.013582	2.309469	0.003382	0.432831	01 47 25
	14	867	1 30	1 000	995	94	499	1 010	94	5322	23	998	30
434	0.001478	0.188356	05 23 46	0.434000	0.433615	0.013616	0.216936	0.434901	0.013676	2.304147	0.003405	0.433829	01 47 55
	13	869	1 29	1 000	996	94	499	1 011	95	5296	23	998	30
435	0.001491	0.189225	05 25 15	0.435000	0.434611	0.013710	0.217435	0.435912	0.013771	2.298851	0.003428	0.434827	01 48 25
	14	871	1 30	1 000	995	95	500	1 010	96	5273	24	999	29

'TABLA DE LA CLOTOIDE

$$\begin{aligned} T &= 05^{\circ}25'15'' \\ f &= 0.435 \\ x &= 0.434611 \\ y &= 0.013710 \\ x_m &= 0.217435 \\ r &= 2.298851 \\ e &= 0.003428 \\ s &= 0.434827 \\ W &= 01^{\circ}48'25'' \end{aligned}$$

$$A = \frac{RC}{r} = \frac{376.016}{2.298851} = 163.566930 \text{ m}$$

A = 163.566930 m parámetro de cálculo.

$$\begin{aligned} A \cdot A &= Lc1 = 0.435 & (A) &= 71.152 \text{ m} \\ A &= Xc = 0.434611 & (A) &= 71.088 \text{ m} \\ Y \cdot A &= Yc = 0.013710 & (A) &= 2.243 \text{ m} \\ X_m \cdot A &= X_m = 0.217435 & (A) &= 35.565 \text{ m} \\ S \cdot A &= S = 0.434827 & (A) &= 71.123 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{Yc}{\text{Tang } T} = U = \frac{2.242503}{\text{Tang } (5^{\circ}25'15'')} = 23.631 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Sen } T} = H = \frac{2.242503}{\text{Sen } (5^{\circ}25'15'')} = 23.737 \text{ m}$$

Tc = ST + Xm - Desplazamiento de PI por diferencia de radios (d).

$$Tc = Rn \text{ tang } \frac{\Delta}{2} + X_m - d = 376.575 \text{ tang } \frac{30^{\circ}23'59''}{2} + 35.565 - 0.247$$

$$Tc = 102.312 + 35.565 - 0.247$$

$$Tc = 137.630 \text{ m}$$

### III.1.4.1.3. Cálculo de la curva circular.

Conocemos la diferencia angular ( $\Delta$ ) y el radio (Rc) de la curva - circular:  $\Delta = 30^{\circ}23'59''$

$$Rc = 376.016 \text{ m}$$

$$\tau = 05^{\circ}25'15''$$

$$f = 0.435$$

$$x = 0.434611$$

$$y = 0.013710$$

$$x_m = 0.217435$$

$$r = 2.298851$$

$$e = 0.003428$$

$$s = 0.434827$$

$$W = 01^{\circ}48'25''$$

$$A = \frac{RC}{r} = \frac{376.016}{2.298851} = 163.566930 \text{ m}$$

$$A = 163.566930 \text{ m parámetro de cálculo.}$$

$$A \cdot A = Lc1 = 0.435 \quad (A) = 71.152 \text{ m}$$

$$A \cdot A = Xc = 0.434611 \quad (A) = 71.088 \text{ m}$$

$$Y \cdot A = Yc = 0.013710 \quad (A) = 2.243 \text{ m}$$

$$X_m \cdot A = X_m = 0.217435 \quad (A) = 35.565 \text{ m}$$

$$S \cdot A = S = 0.434827 \quad (A) = 71.123 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Tang } \tau} = U = \frac{2.242503}{\text{Tang } (5^{\circ}25'15'')} = 23.631 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Sen } \tau} = H = \frac{2.242503}{\text{Sen } (5^{\circ}25'15'')} = 23.737 \text{ m}$$

Tc = ST + X<sub>m</sub> - Desplazamiento de PI por diferencia de radios (d).

$$Tc = Rn \text{ tang } \frac{\Delta}{2} + X_m - d = 376.575 \text{ tang } \frac{30^{\circ}23'59''}{2} + 35.565 - 0.247$$

$$Tc = 102.312 + 35.565 - 0.247$$

$$Tc = 137.630 \text{ m}$$

### III.1.4.1.3. Cálculo de la curva circular.

Conocemos la diferencia angular ( $\Delta$ ) y el radio (Rc) de la curva circular:  $\Delta = 30^{\circ}23'59''$

$$Rc = 376.016 \text{ m}$$

Con esta información procederemos a calcular la curva circular real, esto es:

$$\Delta - 2\mathcal{V} = \Delta c = 30^{\circ}23'59'' - (A + B).$$

$$\Delta c = 30^{\circ}23'59'' - (4^{\circ}46'08'' + 5^{\circ}25'15'')$$

$$\Delta c = 20^{\circ}12'36''$$

$$\Delta c \cdot Rc \left( \frac{\pi}{180} \right) = Lc = 20^{\circ}12'36'' (376.016) \frac{\pi}{180}$$

$$Lc = 132.632 \text{ m}$$

$$Rc \tan \frac{\Delta c}{2} = STC = 376.016 \tan \frac{20^{\circ}12'36''}{2}$$

$$Stc = 67.012 \text{ m}$$

$$\frac{20}{Rc} \cdot \frac{180}{\pi} = Gc = \frac{20}{376.016} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$Gc = 3.04752^{\circ}$$

$$1.5 Gc = D/m = 1.5 (3.04752^{\circ})$$

$$D/m = 4.57128'$$

III.1.4.1.4. Obtención de las coordenadas para las curvas de enlace "A" y "B".

Aplicando uno de los procedimientos que ya conocemos se obtiene el siguiente cuadro de coordenadas para cada enlace.

E N L A C E "A"			
L	COORDENADAS.		DEFLEXIONES.
	X	Y	W
0.000	0.000	0.000	00°00'00"
5.000	5.000	0.001	00°00'41"
10.000	10.000	0.007	00°02'24"
15.000	15.000	0.024	00°05'30"
20.000	20.000	0.057	00°09'47"
25.000	25.000	0.111	00°15'15"
30.000	29.999	0.191	00°21'53"
35.000	34.998	0.304	00°29'51"
40.000	39.995	0.453	00°38'56"
45.000	44.992	0.645	00°49'16"
50.000	49.986	0.885	01°00'51"
55.000	54.977	1.178	01°13'39"
60.000	59.965	1.529	01°27'38"
62.593	61.550	1.736	01°35'22"



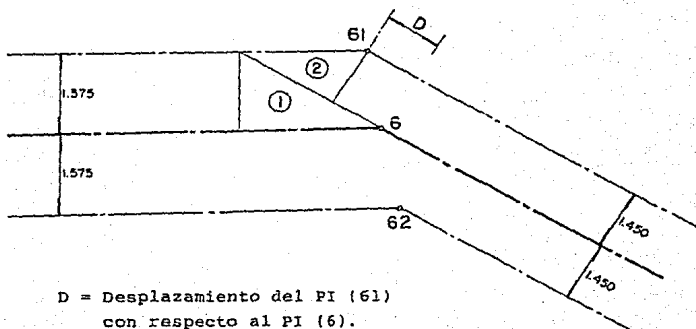
E N L A C E " B "			
L	COORDENADAS		DEFLEXIONES
	X	Y	W
0.000	0.000	0.000	00°00'00"
5.000	5.000	0.001	00°00'41"
10.000	10.000	0.006	00°02'04"
15.000	15.000	0.021	00°04'48"
20.000	20.000	0.050	00°08'35"
25.000	25.000	0.097	00°13'20"
30.000	29.999	0.168	00°19'15"
35.000	34.998	0.267	00°26'13"
40.000	39.996	0.399	00°34'17"
45.000	44.994	0.568	00°34'24"
50.000	49.989	0.779	00°53'34"
55.000	54.982	1.036	01°04'46"
60.000	59.973	1.345	01°17'05"
65.000	64.959	1.710	01°30'28"
71.152	71.088	2.243	01°48'25"

ENLACE "B"	DATOS DE LA CURVA (61) VIA EXTERIOR )	ENLACE "A"
$\tau = 5^{\circ}25'15''$ $Xc = 71.088$ $Yc = 2.243$ $Lc1 = 71.152$ $Tc = 137.630$ $U = 23.631$ $H = 23.737$ $Rn = 376.575$	$Pl = 9+168.679$ $\Delta = 30^{\circ}23'59''$ $\Delta c = 20^{\circ}12'36''$ $Gc = 3.047518^{\circ}$ $Lc = 132.632$ $Stc = 67.012$ $D/m = 4.571277'$ $Rc = 376.016$	$\tau = 4^{\circ}46'08''$ $Xc = 62.550$ $Yc = 1.736$ $Lc1 = 62.593$ $Tc = 133.815$ $U = 20.806$ $H = 20.878$ $Rn = 376.450$

III.1.4.1.5.- Presentación de los datos de la curva para el trazo de esta en campo.

III.1.4.1.6. Obtención de los cadenamientos de los puntos principales de la curva No. 61 (vía exterior).

Para poder definir los cadenamientos de los puntos principales, primeramente se calculan el desplazamiento del PI (61) con respecto al PI (6), esto es:



Cálculo de la hipotenusa del triángulo (1)

$$\text{Sen } (30^{\circ}23'59'') \frac{1.575}{\text{Hip.}} \therefore h = 3.112 \text{ m}$$

Cálculo del cateto adyacente del triángulo (2)

$$\text{Tang } (30^{\circ}23'59'') \frac{1.450}{\text{cat.ady.}} \therefore \text{Cat. ady.} = 2.471 \text{ m}$$

De aquí se deduce el desplazamiento (D)

$$D = 3.112 - 2.471 = 0.641 \text{ m}$$

Deducido el desplazamiento de los PIs (61) y (62) se obtiene los cadenamamientos de estos:

$$PI(61) = PI(6) + D = 9+168.038 - 0.641 = 9+168.679$$

$$PI(62) = PI(6) - D = 9+168.038 - 0.641 = 9+167.397$$

Definido el cadenamamiento PI (61) y los datos de las curvas circulares y enlaces, procedemos a calcular los cadenamamientos de los puntos principales de la curva.

ENLACE "B"  
Tc = 137.630  
Lcl = 71.152

PI(61) = 9-168.679  
Lc = 132.632

ENLACE "A"  
Tc = 133.815  
Lcl = 62.593

PI(61) = 9-168.679  
- Tc = 133.815

Tc = 9-034.864  
+ Lcl = 62.593

CC = 9-097.457  
+ Lc = 132.632

CC = 9-230.089  
+ Lcl = 71.152

CT = 9-301.241

En la figura 12 vemos que el CT = 9+301.241 de la curva cae dentro del talón del aparato de vía, con cadenamamiento 9+300.265 por lo tanto se tiene un traslape de 0.976 m.

Esto sucedió debido a que en el proyecto original de trazo, no se contempló la posición del CT de la vía debido al desplazamiento del PI (61) con respecto al PI (6) y definir la posición correcta del aparato de vía que comunica a la espuela de comunicación.

Para decidir si la longitud de la clotoide era correcta o si se acertaba, se analizó la flecha que ocasionaba ese traslape en la punta del talón. Se vió que esta era de  $f = 0.0004$  m que no perjudicaba en lo más mínimo el aparato. También se analizaron los efectos de la sobreelevación, concluyendo que era más conveniente dejar la curva con ese traslape que modificar la longitud de la clotoide, que de hacerlo se tendría una curva exterior con -- las distancias distintas de la vía al eje de trazo.

Se debe reconocer que al no poderse modificar para que quede según lo especificado, el proyecto de Implantación de Vía - Trazo tiene esta deficiencia ya que en el proyecto original se debió de contemplar todo, para que no suceda esto.

#### III.1.4.2. Cálculo de la curva No. 62 (vía exterior).

Los radios del eje de trazo (eje de entrevías) son:

$$R_n = 375.000 \text{ m}$$

$$R_c = 374.436 \text{ m}$$

que se utilizarán para definir los radios de esta curva.

##### III.1.4.2.1. Cálculo de la curva de enlace "A" (entrada).

###### a). Radio nominal ( $R_n$ )

$$R_n = R_n (T) - \frac{1}{2} \text{ entrevía} = 375.000 - 1.450$$

$$R_n = 373.550 \text{ m}$$

###### b). Radio real ( $R_c$ ) de la curva circular.

$$R_c = R_c (T) - \frac{1}{2} \text{ entrevía} = 374.436 - 1.580$$

$$R_c = 372.856 \text{ m}$$

c). Desplazamiento necesario (En) de la curva.

$$En = Rn = Rc = 373.550 - 372.856$$

$$En = 0.694 \text{ m}$$

d).  $\lambda = \frac{En}{Rc} = \frac{0.694}{372.856} = 0.001861$

$$\lambda = 0.001861$$

A continuación tenemos una parte de la tabla de la clotoide (de Pierre Klaus). Entrando con  $\lambda$  y tomando el valor que más se -- aproxime tenemos:



$$\tau = 06^{\circ}03'43''$$

$$f = 0.460$$

$$x = 0.459485$$

$$y = 0.016210$$

$$xm = 0.229914$$

$$r = 2.173913$$

$$e = 0.004054$$

$$s = 0.459771$$

$$W = 02^{\circ}01'14''$$

$$A = \frac{Rc}{r} = \frac{372.856}{2.173913} = 171.513763$$

$$A = 171.513763 \text{ m. parámetro de cálculo}$$

$$r.A = Lc1 = 0.460 \quad (A) = 78.896 \text{ m}$$

$$\tau = 06^{\circ}03'43''$$

$$x.A = Xc = 0.459485 \quad (A) = 78.808 \text{ m}$$

$$y.A = Yc = 0.016210 \quad (A) = 2.780 \text{ m}$$

$$xm.A = Xm = 0.229914 \quad (A) = 39.433 \text{ m}$$

$$s.A = S = 0.459771 \quad (A) = 78.857 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{tang } \tau} = U = \frac{2.7802338}{\text{tang } (6^{\circ}03'43'')} = 26.180 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Sen } \tau} = H = \frac{2.78238}{\text{Sen } (6^{\circ}03'43'')} = 26.327 \text{ m}$$

$$e.A = Er = 0.004054 \quad (A) = 0.695 \text{ m}$$

$$Er - En = 0.695 - 0.694 = 0.001 \text{ m}$$

e). Cálculo de la subtangente total de entrada.

$$\Delta = 30^{\circ}23'59''$$

$$Tc = ST + Xm - \text{desplazamiento (d) con respecto a los radios.}$$

$$Tc = Rn \text{ tang } \frac{\Delta}{2} + 39.433 - 0.247 \text{ m}$$

$$Tc = 373.550 \text{ tang } \frac{30^{\circ}23'59''}{2} + 39.433 - 0.247$$

$$Tc = 101.491 + 39.433 - 0.247$$

$$Tc = 140.677 \text{ m}$$



III.- 1.4.2.2.- Cálculo de la curva de enlace "B" (salida).

a). Radio nominal (Rn)

$$Rn = Rn (T) - \frac{1}{4} \text{ entrevía} = 375.000 - 1.575$$

$$Rn = 373.425 \text{ m}$$

b). Radio Real (Rc) de la curva circular.

$$Rc = Rc (T) - \frac{1}{4} \text{ entrevía} = 374.436 - 1.580$$

$$Rc = 372.856 \text{ m}$$

c). Desplazamiento necesario (En) de la curva.

$$En = Rn - Rc = 373.425 - 372.856$$

$$En = 0.569 \text{ m}$$

d). 
$$\lambda = \frac{En}{Rc} = \frac{0.569}{372.856} = 0.001526$$

$$\lambda = 0.001526$$

En la siguiente tabla vemos que  $\lambda$  se encuentra entre los - dos valores de N = 447 y 438. Para no interpolar tomamos - N = 437 de aquí obtenemos:

N	$\lambda$	$\xi$	$\rho^{\circ}$	$c$	$x$	$y$	$x_m$	$l$	$f$	$r$	$e$	$s$	$w^{\circ}$
437	0.001519 14	0.190969 875	05 28 13 130	0.437000 1000	0.436602 995	0.013900 95	0.218434 499	0.437933 1011	0.013964 96	2.288330 5225	0.003476 24	0.436824 997	01 49 25 30
438	0.001535 14	0.191844 877	05 29 45 131	0.438000 1000	0.437597 995	0.013995 96	0.218933 499	0.438944 1011	0.014060 97	2.283105 5201	0.003500 24	0.437821 998	01 49 55 30
439	0.001547 14	0.192721 879	05 31 16 130	0.439000 1000	0.438592 996	0.014091 97	0.219432 499	0.439955 1011	0.014157 98	2.277904 5177	0.003524 24	0.438819 998	01 50 25 30
440	0.001561 14	0.193600 891	05 32 46 131	0.440000 995	0.439588 995	0.014188 97	0.219931 500	0.440966 1011	0.014255 98	2.272727 5153	0.003548 24	0.439817 998	01 50 55 30

TABLA DE LA CLOTOIDE

$$\begin{aligned} \tau &= 05^{\circ}28'15'' \\ f &= 0.437 \\ x &= 0.436602 \\ y &= 0.013900 \\ xm &= 0.218434 \\ r &= 2.288330 \\ e &= 0.003476 \\ s &= 0.436824 \\ W &= 01^{\circ}49'25'' \end{aligned}$$

$$A = \frac{Rc}{r} = \frac{372.856}{2.288330} = 162.938038$$

A = 162.938038 m, parámetro de cálculo.

$$\begin{aligned} f.A. = Lc1 &= 0.437 \quad (A) = 71.204 \text{ m} \\ \tau &= 05^{\circ}28'15'' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x.A. = Xc &= 0.436602 \quad (A) = 71.139 \text{ m} \\ y.A. = Yc &= 0.013900 \quad (A) = 2.265 \text{ m} \\ xm.A. = Xm &= 0.218434 \quad (A) = 35.591 \text{ m} \\ s.A. = S &= 0.436824 \quad (A) = 71.175 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{Yc}{\text{Tang } \tau} \quad U = \frac{2.264839}{\text{Tang } (5^{\circ}28'15'')} = 23.647 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Sen } \tau} \quad H = \frac{2.264839}{\text{Sen } (5^{\circ}28'15'')} = 23.755 \text{ m}$$

$$e.A. = Er = 0.003476 \quad (A) = 0.566373$$

$$En - Er = 0.569 - 0.566373 = 0.002627$$

Esto quiere decir que la vía en el punto CC, de salida tendrá una separación con el eje de trazo de 1.5774 m y no de 1.580m

e). La subtangente total (Tc) de salida será:

$$Tc = ST + Xm + \text{desplazamiento con respecto a los radios (d)}.$$

$$Tc = Rn \text{Tang } \frac{A}{2} + Xm + d$$

$$Tc = 373.425 \operatorname{tang} \frac{30^{\circ}23'59''}{2} + 35.591 + 0.247$$

$$Tc = 101.456 + 35.591 + 0.247$$

$$Tc = 137.294 \text{ m.}$$

III.1.4.2.3.- Obtención de los elementos de la curva circular.

Partiendo con la deflexión angular ( $\Delta$ ) =  $30^{\circ}23'59''$  y el radio de curva circular ( $Rc$ ) = 372.856 m, obtenemos:

$$\Delta - 2\tau = \Delta c = 30^{\circ}23'59'' - (A + B)$$

$$\Delta c = 30^{\circ}23'59'' - (6^{\circ}03'43'' + 5^{\circ}28'15'')$$

$$\Delta c = 18^{\circ}52'01''$$

$$\frac{\Delta c \cdot Rc (\pi)}{180} = Lc = 18^{\circ}52'10'' \quad (372.856) \quad \frac{\pi}{180}$$

$$Lc = 122.778 \text{ m}$$

$$Rc \operatorname{Tang} \frac{\Delta c}{2} = Stc = 372.856 \operatorname{tang} \frac{18^{\circ}52'01''}{2}$$

$$Stc = 61.950 \text{ m}$$

$$\frac{20 \cdot 180}{Rc \pi} = Gc = \frac{20}{372.856} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$Gc = 3.073346^{\circ}$$

$$1.5 \quad Gc = D/m = 1.5 (3.073346^{\circ})$$

$$D/m = 4.610019'$$

III.1.4.2.4.- Obtención de las coordenadas para las curvas de enlace "A" y "B"

Igualmente que para la curva No. 61 se obtienen las coordenadas para estas curvas.

III.1.4.2.4.- Obtención de las coordenadas para las curvas de enlace "A" y "B". Igualmente que para la curva No. 61 se obtienen las coordenadas para estas curvas.

ENLACE "A"			
L	COORDENADAS		DEFLEXIONES
	X	Y	W
0.000	0.000	0.000	00°00'00"
5.000	5.000	0.001	00°00'41"
10.000	10.000	0.006	00°02'04"
15.000	15.000	0.019	00°04'21"
20.000	20.000	0.045	00°07'44"
25.000	25.000	0.088	00°12'06"
30.000	29.999	0.153	00°17'32"
35.000	34.998	0.243	00°23'52"
40.000	39.997	0.363	00°31'12"
45.000	44.995	0.516	00°39'25"
50.000	49.991	0.708	00°48'41"
55.000	54.985	0.942	00°58'53"
60.000	59.977	1.223	01°10'05"
65.000	64.966	1.555	01°22'16"
70.000	69.951	1.942	01°35'25"
75.000	74.931	2.389	01°49'34"
78.896	78.808	2.780	02°01'14"

ENLACE "B"			
L	COORDENADAS		DEFLEXIONES
	X	Y	Y
0.000	0.000	0.000	00°00'00"
5.000	5.000	0.001	00°00'41"
10.000	10.000	0.006	00°02'04"
15.000	15.000	0.021	00°04'49"
20.000	20.000	0.050	00°08'36"
25.000	25.000	0.098	00°13'28"
30.000	29.999	0.169	00°19'22"
35.000	34.998	0.269	00°26'25"
40.000	39.996	0.402	00°34'33"
45.000	44.993	0.572	00°43'42"
50.000	49.989	0.785	00°53'59"
55.000	54.982	1.044	01°05'16"
60.000	59.972	1.356	01°17'43"
65.000	64.959	1.723	01°31'10"
71.204	71.139	2.265	01°49'25"

III.1.4.2.5.- Presentación de los datos de la curva.

ENLACE "B"	DATOS DE LA CURVA G2 (VIA INTERIOR)	ENLACE "A"
$\alpha = 5^{\circ}28'15$	PI = 9+167.397	$\alpha = 6^{\circ}03'43''$
Xc = 71.139	$\Delta = 30^{\circ}23'59''$	Xc = 78.808
Yc = 2.265	$\Delta c = 18^{\circ}52'01''$	Yc = 2.780
Lc1 = 71.204	Gc = 3,073346°	Lc1 = 78.896
Tc = 137.294	Lc = 122.778	Tc = 140.677
U = 23.647	Stc = 61.950	U = 26.180
H = 23.755	D/M = 4.610019'	H = 26.327
RN = 373.425	Rc = 372.856	RN = 373.550

III.1.4.2.6.- Obtención de los cadenamientos de puntos principales de la curva.

Conocemos al PI (62) = 9+167.397 y los datos de la curva, por lo tanto, los cadenamientos son los siguientes:

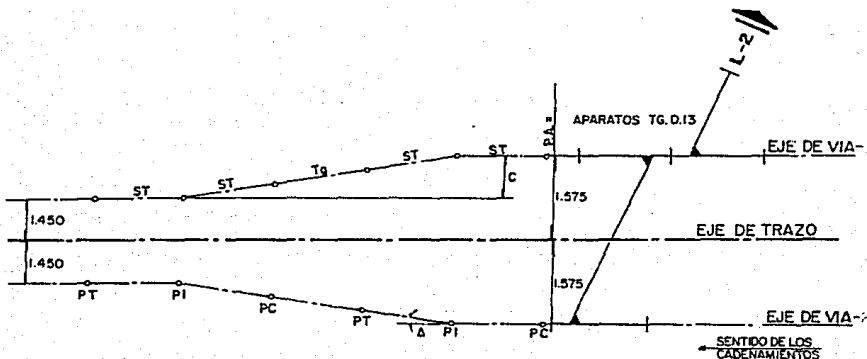
ENLACE "B"		ENLACE "A"	
Tc = 137.294	PI (62) = 9+167.397	Tc = 140.677	
Lcl = 71.204	Lc = 122.778	Lcl = 78.896	
	PI (62) = 9+167.397		
	<u>-Tc = 140.677</u>		
	Tc = 9+026.720		
	<u>+Lcl = 78.896</u>		
	CC = 9+105.616		
	<u>+Lc = 122.778</u>		
	CC = 9+228.394		
	<u>+Lcl = 71.204</u>		
	CT = 9+299.598		

III.1.5.- Solución de cambio de entrevista.

A la salida de la curva No. 61 tenemos inmediatamente el aparato de vía que comunica a la espuela de comunicación a la línea 2, - seguido por otro aparato que tiene la función de hacer los cambios de vía. En esta zona de aparatos tenemos una entrevista de -- 3.150m y para regresar a 2.900m es necesario hacerlo por medio - de una bayoneta.

Una bayoneta está constituida por dos curvas invertidas que sirven para efectuar cambios de entrevista.

A continuación tenemos una figura con el planteamiento para pasar de 3.150 a 2.900m utilizando dos curvas circulares.



De la figura tenemos:

$$\text{Sen } \Delta = \frac{C}{2ST + Tg}$$

$$\frac{C}{\text{Sen } \Delta} - 2ST = Tg$$

Donde C, es la diferencia de las entrevías.

$$C = 3.150 - 2.900 = 0.125\text{m}$$

y Tg, es la tangente mínima que debe de haber entre el PT y PC que por especificación será de 12.000m.

Sustituyendo estos valores tenemos:



$$\frac{0.125}{\text{Sen } \Delta} - 2 R \text{ tang } \frac{\Delta}{2} = 12.000$$

Para un radio de  $R=3000.000$  m. y resolviendo por tanteos obtenemos un  $\Delta = 00^{\circ}16'21''$ . Por lo tanto:

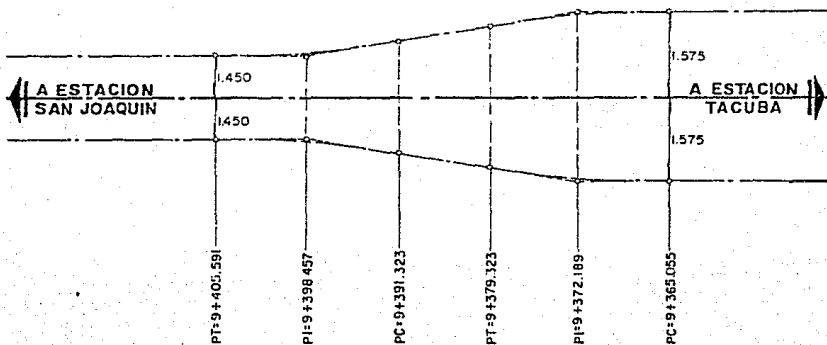
$$ST = 7.134 \text{ m}$$

$$Lc = 14.268 \text{ m}$$

$$Gc = 0.38197^{\circ}$$

$$D/m = 0.57296'$$

Iniciando con el cadenamiento del PC y obteniendo estos con respecto a los ejes de vías se tiene:



### III.1.6. Análisis de las curvas 71, eje de entrevista y 72.

### III.1.6.1. Cálculo de la curva No. 71 (Vía Exterior).

Aplicando el mismo procedimiento que se hizo para la curva No. 52 tenemos los radios de la curva No. 7 que son:

$$R_n(T) = 1000.000 \text{ m}$$

$$R_c(T) = 999.983 \text{ m}$$

#### III.1.6.1.1. Obtención de los elementos principales de la clotoide.

a). Radio nominal ( $R_n$ )

$$R_n = R_n(T) + \frac{1}{2} \text{ entrevía} = 1000.000 + 1.450$$

$$R_n = 1001.450 \text{ m.}$$

b). Radio real ( $R_c$ ) de la curva circular.

$$R_c = R_c(T) + \frac{1}{2} \text{ entrevía} = 999.983 + 1.450$$

$$R_c = 1001.433 \text{ m.}$$

c). Desplazamiento necesario ( $E_n$ ) de la curva.

$$E_n = R_n - R_c = 1001.450 - 1001.433$$

$$E_n = 0.017 \text{ m}$$

$$d). \lambda = \frac{E_n}{R_c} = \frac{0.017}{1001.433} = 0.000017$$

$$\lambda = 0.000017$$

Entrando a las tablas de clotoides, vemos que hay tres renglones con el valor de  $\lambda = 0.000017$ , por lo tanto, primeramente deberemos de encontrar el valor del parámetro de cálculo "A" para cada curva y este a su vez multiplicarlo por el valor unitario e y obtener el valor de (E) calculado. El valor que se obtenga y más se aproxime al desplazamiento necesario ( $E_n$ ), esa será la curva que tomaremos.

Enseguida tenemos una parte de la tabla.

$$\text{Para la curva 141 : } A = \frac{R C}{r} = \frac{1001.433}{7.092199} = 141.202045 \text{ m}$$

$$E_r = e.A. = 0.000117 (A) = 0.016521 \text{ m}$$

$$\text{Para la curva 142 : } A = \frac{R c}{r} = \frac{1001.433}{7.042254} = 142.203476 \text{ m}$$

$$E_r = e.A. = 0.000119 (A) = 0.016922 \text{ m}$$

$$\text{Para la curva 143 : } A = \frac{R c}{r} = \frac{1001.433}{6.993007} = 143.204919 \text{ m}$$

$$E_r = e.A. = 0.000122 (A) = 0.017471 \text{ m}$$

El valor  $E_r$  que más se aproxima al  $E_n = 0.017$  es la curva No. - 142, por lo tanto, se tomará ésta para el cálculo de la curva.

$$\tau = 00^{\circ}34'40''$$

N	$\lambda$	$\xi$	$\tau^{\circ} ' ''$	C	x	y	$x_m$	t	f	r	e	s	$w^{\circ} ' ''$
141	0.000017	0.019881	00 34 10	0.141000	0.140999	0.000467	0.070500	0.141004	0.000467	7.092199	0.000117	0.140999	00 11 23
	0	283	30	1000	1000	10	500	1000	10	49945	2	1000	10
142	0.000017	0.020164	00 34 40	0.142000	0.141999	0.000477	0.071000	0.142004	0.000477	7.042254	0.000119	0.141999	00 11 33
	0	285	29	1000	1000	10	500	1000	10	49247	3	1000	10
143	0.000017	0.020449	00 35 09	0.143000	0.142999	0.000487	0.071500	0.143004	0.000487	6.993007	0.000122	0.142999	00 11 43
	1	287	30	1000	999	11	500	1000	11	48563	2	1000	10
144	0.000018	0.020736	00 35 39	0.144000	0.143998	0.000498	0.072000	0.144004	0.000498	6.944444	0.000124	0.143999	00 11 53

TABLA DE LA CLOTOIDE

$$\begin{aligned}
 f &= 0.142 \\
 x &= 0.141999 \\
 y &= 0.000477 \\
 x_m &= 0.071000 \\
 r &= 7.042254 \\
 e &= 0.000119 \\
 s &= 0.141999 \\
 W &= 00^{\circ}11'33''
 \end{aligned}$$

$$A = \frac{Rc}{r} = \frac{1001.433}{7.042254} = 142.203476 \text{ m}$$

$$A = 142.203446 \text{ m}$$

$$f.A. = Lc1 = 0.142 (A) = 20.193 \text{ m}$$

$$\tau = 00^{\circ}34'40''$$

$$x.A. = Xc = 0.141999 (A) = 20.193 \text{ m}$$

$$y.A. = Yc = 0.000477 (A) = 0.068 \text{ m}$$

$$x.A. = X_m = 0.071000 (A) = 10.096 \text{ m}$$

$$s.A. = S = 0.141999 (A) = 20.193 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{tang } \tau} = U = \frac{0.067831}{\text{tang}(0^{\circ}34'40'')} = 6.726 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Sen } \tau} = H = \frac{0.067831}{\text{Sen}(0^{\circ}34'40'')} = 6.727 \text{ m}$$

$$e.A. = E_r = 0.000119 (A) = 0.016922 \text{ m}$$

$$E_n - E_n = 0.017 - 0.016922 = 0.000078 \text{ m}$$

### III.1.6.1.2.- Cálculo de la curva circular real.

El ángulo de deflexión de la curva ( $\Delta$ ) =  $7^{\circ}26'27''$ , entonces tenemos que:

$$\Delta - 2\tau = \Delta_c = 7^{\circ}26'27'' - 2(0^{\circ}34'40'')$$

$$\Delta_c = 6^{\circ}17'07''$$

$$\Delta_c \cdot Rc \left( \frac{\pi}{180} \right) = Lc = 6^{\circ}17'07'' (1001.433) \frac{\pi}{180}$$

$$Lc = 109.856 \text{ m}$$

$$Rc \tan \frac{\Delta c}{2} = Stc = 1001.433 \tan \frac{6^\circ 17' 07''}{2}$$

$$Stc = 54.983 \text{ m}$$

$$\frac{20 \cdot 180}{Rc \pi} = Gc = \frac{20}{1001.433} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$Gc = 1.144276^\circ$$

$$1.5 Gc = D/m = 1.5 (1.144276)$$

$$D/m = 1.716414'$$

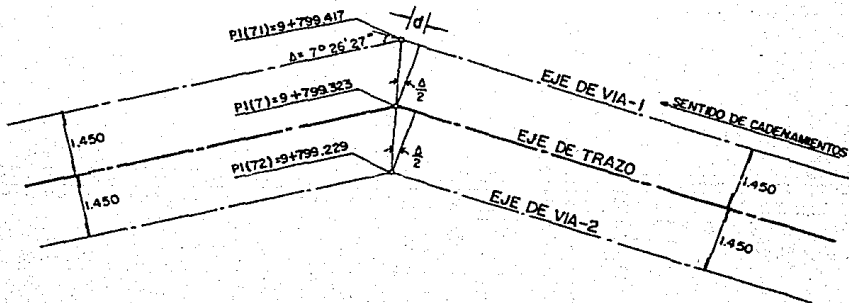
$$Tc = ST + Xm = Rn \tan \frac{\Delta}{2} + Xm$$

$$Tc = 1001.450 \tan \frac{7^\circ 26' 27''}{2} + 10.096$$

$$Tc = 65.119 + 10.096 = 75.215 \text{ m}$$

### III.1.6.1.3. Obtención de los cadenamientos.

Primeramente procedemos a determinar los desplazamientos de los - PIs de las vías con respecto al eje de trazo.



$$\begin{aligned} \text{tang } \frac{\Delta}{2} &= \frac{d}{1.450} & d &= 1.450 \text{ tang } \frac{\Delta}{2} \\ & & d &= 1.450 \text{ tang } \frac{7^{\circ}26'27''}{2} \\ & & d &= 0.094 \text{ m} \\ \text{PI (71)} &= \text{PI (7)} + d = 9+799.323 + d \\ \text{PI (71)} &= 9+799.323 + 0.094 \\ \text{PI (71)} &= 9+799.417 \\ \text{PI (72)} &= \text{PI (7)} - d = 9+799.323 - 0.094 \\ \text{PI (72)} &= 9+799.229 \end{aligned}$$

Determinado el cadenamiento del PI (71) y con los datos de la -- curva, se obtienen los cadenamientos de los puntos principales -- de esta:

$$\begin{aligned} \text{Tc} &= 75.215 \text{ m} \\ \text{Lc1} &= 20.193 \text{ m} \\ \text{Lc} &= 109.856 \text{ m} \\ \text{PI} &= (71) = 9+799.417 \\ - \text{Tc} &= \underline{75.215} \\ \text{Tc} &= 9+724.202 \\ + \text{Lc1} &= \underline{20.193} \\ \text{CC} &= 9+744.395 \\ + \text{Lc} &= \underline{109.856} \\ \text{CC} &= 9+854.251 \\ + \text{Lc1} &= \underline{20.193} \\ \text{CT} &= 9+874.444 \end{aligned}$$

#### III.1.6.1.4. Obtención de las coordenadas.

Dividiendo el valor de  $f' = 0.142$  entre 4, tenemos entonces:

$$\begin{aligned} 0.142 \div 4 &= 0.0355 \\ 4 \text{ segmentos de curva de } f' &= 0.035 \end{aligned}$$

1 segmento de la curva de  $\rho = 0.002$

y aplicando el mismo procedimiento que sabemos, tenemos pués :

$\rho$	x	y	L	COORDENADAS		DEFLEXION.
				X	Y	W
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	00°00'00"
0.035	0.035	0.000007	4.977	4.977	0.000	00°00'42"
0.070	0.070	0.000057	9.954	9.954	0.008	00°02'48"
0.105	0.105	0.000193	14.931	14.931	0.027	00°06'19"
0.140	0.139999	0.000457	19.908	19.908	0.065	00°11'14"
0.142	0.141999	0.000477	20.193	20.193	0.068	00°11'33"

III.1.6.1.5.- Representación de los datos de la curva para el trazo de esta en campo.

DATOS DE LA CURVA 71 (VIA EXT.)	L	COORDENADAS		DEFLEXION.
		X	Y	W
$\tau = 00^{\circ}34'40''$ $PI = 9+799.417$ $\tau_1 = 00^{\circ}34'40''$	0.000	0.000	0.000	00°00'00"
$XC = 20.193$ $\Delta = 7^{\circ}26'27''$ $XC = 20.193$	4.977	4.977	0.000	00°00'42"
$YC = 0.068$ $\Delta c = 6^{\circ}17'07''$ $YC = 0.068$	9.954	9.954	0.008	00°02'48"
$Lcl = 20.193$ $Gc = 1.144276^{\circ}$ $Lcl = 20.193$	14.931	14.931	0.027	00°06'19"
$U = 6.726$ $Lcl = 109.856$ $U = 6.726$	19.908	19.908	0.065	00°11'14"
$H = 6.727$ $Stc = 54.983$ $H = 6.727$	20.193	20.193	0.068	00°11'33"
$Tc = 75.215$				
$D/m = 1.716414'$				
$Rc = 1001.433$				
$Rn = 1001.450$				



### III.1.6.1. Cálculo de la curva del eje de la entrevista.

Para que cumpliera con la condición de eje de entrevista, fué necesario desplazar la curva No. 7 hacia el centro 0.05 m y así tener una distancia de esta a las vías de 1.500 m.

La curva del eje de trazo se proyectó originalmente con un desplazamiento de la curva real de  $E = 0.017$  que se obtiene de la diferencia de radios. Esto es:

$$R_n = 1000.000$$

$$R_c = 999.983$$

$$E_n = R_n - R_c = 1000.000 - 999.983 = 0.017 \text{ m}$$

que al desplazar la curva 0.05 m más, se tiene un desplazamiento de  $E_n = 0.017 + 0.05 = 0.067$  m que será el que utilizaremos para el cálculo de la curva del eje de la entrevista y así garantizar que se tendrá una entrevista de 3.000 m, o sea 1.500 m. del eje de la entrevista al eje de cada vía.

### III.1.6.2.1. Obtención de los elementos principales de la Clotoide

a).- Radio real de la curva ( $R_c$ ) circular.

$$R_c = R_c (T) - 0.05$$

$$R_c = 999.983 - 0.05$$

$$R_c = 999.933$$

$$b). \quad \lambda = \frac{E_n}{R_c} = \frac{0.067}{999.933} = 0.000067$$

$$\tau = 01^{\circ}08'45''$$

$$f = 0.200$$

$$X = 0.199992$$

N	$\lambda$	$\xi$	$W^{\circ}$	$\epsilon$	$x$	$y$	$x_m$	$t$	$f$	$r$	$g$	$s$	$W^{\circ}$
196	0.000061	0.038416	01 06 02	0.196000	0.195993	0.001255	0.097999	0.196017	0.001254	5.102041	0.000314	0.195997	00 22 01
	2	393	40	1000	1000	19	500	1000	19	25899	4	1000	13
197	0.000063	0.038809	01 06 42	0.197000	0.196993	0.001274	0.098499	0.197017	0.001274	5.076142	0.000318	0.196997	00 22 14
	1	595	41	1000	999	20	500	1001	20	25637	5	1000	14
198	0.000064	0.039204	01 07 23	0.198000	0.197992	0.001294	0.098999	0.198018	0.001294	5.050505	0.000323	0.197997	00 22 28
	1	397	41	1000	1000	19	500	1000	19	25379	5	1000	13
199	0.000065	0.039601	01 08 04	0.199000	0.198992	0.001313	0.099499	0.199018	0.001313	5.025126	0.000328	0.198997	00 22 41
	2	399	41	1000	1000	20	500	1001	20	25126	5	999	14
200	0.000067	0.040000	01 08 45	0.200000	0.199992	0.001333	0.099999	0.200019	0.001333	5.000000	0.000333	0.199996	00 22 55
	2	401	40	1000	1000	20	500	1000	20	24876	5	1000	14

TABLA DE LA CLOTOIDE

$$\begin{aligned}
 y &= 0.001333 \\
 xm &= 0.099999 \\
 r &= 5.000000 \\
 e &= 0.000333 \\
 s &= 0.199996 \\
 w &= 00^{\circ}22'55''
 \end{aligned}$$

$$A = \frac{Rc}{r} = \frac{999.933}{5.000} = 199.986600$$

$$A = 199.986600 \text{ m. parámetro de cálculo}$$

$$e.A. = Lc1 = 0.200 (A) = 39.997 \text{ m}$$

$$x.A. = Xc = 0.199992 (A) = 39.996 \text{ m}$$

$$y.A. = Yc = 0.001333 (A) = 0.267 \text{ m}$$

$$xm.A. = Xm = 0.099999 (A) = 19.998 \text{ m}$$

$$s.A. = S = 0.199996 (A) = 19.996 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Tang } \mathcal{U}} = U = \frac{0.266582}{\text{Tang}(01^{\circ}08'45'')} = 13.328 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Sen } \mathcal{U}} = H = \frac{0.266582}{\text{Sen}(01^{\circ}08'45'')} = 13.331 \text{ m}$$

$$e.A. = Er = 0.000333 (A) = 0.066596 \text{ m}$$

$$En = -Er = 0.067 - 0.066596 = 0.0004 \text{ m}$$

III.1.6.2.2. Cálculo de la curva circular real.

$$\Delta = 7^{\circ}26'27''$$

$$\Delta - 2\tau = \Delta c = 7^{\circ}26'27'' - 2 (01^{\circ}08'45'')$$

$$\Delta c = 5^{\circ}08'57''$$

$$\Delta c \cdot Rc = \left( \frac{\pi}{180} \right) = Lc = 5^{\circ}08'57'' (999.933) \frac{\pi}{180} = 89.864m$$

$$Rc \tan \frac{\Delta c}{2} = Stc = 999.933 \tan \frac{5^{\circ}08'57''}{2} = 44.962 m$$

$$\frac{20}{Rc} \cdot \frac{180}{\pi} = Gc = \frac{20}{999.933} \cdot \frac{180}{\pi} = 1.145992^{\circ}$$

$$1.5 G = D/m = 1.5 (1.145992^{\circ}) = 1.718989'$$

$$Tc = ST + Xm = Rn \tan \frac{\Delta}{2} + Xm$$

$$Tc = 1000 \tan \frac{7^{\circ}26'27''}{2} + 19.998$$

$$Tc = 65.025 + 19.998$$

$$Tc = 85.023 m$$

III.1.6.2.3. Obtención de los cadenamientos.

$$PI (7) = 9+799.323$$

$$- Tc = \underline{\quad 85.023 \quad}$$

$$TC = 9+714.300$$

$$+Lc1 = \underline{\quad 39.997 \quad}$$

$$CC = 9+754.297$$

$$+Lc = \underline{\quad 89.864 \quad}$$

$$CC = 9+844.161$$

$$+Lc1 = \underline{\quad 39.997 \quad}$$

$$CT = 9+884.158$$

III.1.6.2.4.- Obtención de las coordenadas.

Sabemos que la fórmula para calcular la longitud de clotoide real

es  $Lc1 = f \cdot A$  , de donde:

$$Lc1 = 39.997 \text{ m}$$

$$f = 0.200$$

$$A = 199.986600 \text{ m}$$

formando ocho segmentos iguales tendremos entonces:

$$0.200 \div 8 = 0.025$$

$$8 \text{ segmentos de } f' = 0.025$$

Con este valor y sumandolo recíprocamente pasamos a las tablas de la clotoide para obtener los valores unitarios (x,y), que multiplicados por el parámetro de cálculo (A), se tiene el siguiente cuadro de coordenadas.

Lc1	COORDENADAS		DEFLEXIONES
	X	Y	W
0.000	0.000	0.000	00°00'00"
5.000	5.000	0.000	00°00'21"
9.999	9.999	0.004	00°01'26"
14.998	14.998	0.014	00°03'13"
19.999	19.999	0.033	00°05'44"
24.998	24.998	0.065	00°08'57"
29.998	29.997	0.112	00°12'54"
34.998	34.997	0.179	00°17'33"
39.997	39.996	0.267	00°22'55"

III.1.6.2.5. Representacion de los datos de la curva para el trazo en campo.

DATOS DE LA CURVA DEL EJE DE ENTREVIA.			L	COORDENADAS		DEFLEXIO.
				X	Y	W
$\bar{U} = 01^{\circ}08'45''$	$PI = 9+799.323$	$\bar{U} = 01^{\circ}08'45''$	0.000	0.000	0.000	00°00'00"
$Xc = 39.996$	$\Delta = .7^{\circ}26'27''$	$Xc = 39.996$	5.000	5.000	0.000	00°00'21"
$Yc = 0.267$	$\Delta c = 5^{\circ}08'87''$	$Yc = 0.267$	9.999	9.999	0.004	00°01'26"
$Lc1 = 39.997$	$Gc = 1.145992^{\circ}$	$Lc1=39.997$	14.998	14.998	0.014	00°03'13"
$U = 13.328$	$Lc = 89.864$	$U=13.328$	19.999	19.999	0.033	00°05'44"
$H = 13.331$	$Stc = 44.962$	$H=13.331$	24.998	24.998	0.065	00°08'57"
	$Tc = 85.023$		29.998	29.997	0.112	00°12'54"
	$D/m=1.718989'$		34.998	34.997	0.179	00°17'33"
	$Rc = 999.933$		39.997	39.996	0.267	00°22'55"
	$Rn = 1000.000$					

### III.1.6.3. Cálculo de la curva No. 72 (vía interior).

Tenemos los datos de la curva del eje de la entrevista

$$R_n = 1000.000 \text{ m}$$

$$R_c = 999.933 \text{ m}$$

III.1.6.3.1. Obtención de los elementos principales de la clootilde.

a). Radio nominal ( $R_n$ )

$$R_n = R_c (T) - \frac{1}{2} \text{ entrevista} = 1000.000 - 1.450$$

$$R_n = 998.550 \text{ m}$$

b). Radio real de la curva circular ( $R_c$ )

$$R_c = R_c (\text{entrevía}) - \left\{ \frac{1}{2} \text{ entrevista} + \text{ampliación} \right\}$$

$$R_c = 999.933 - \{1.450 + 0.05\}$$

$$R_c = 999.933 - 1.500$$

$$R_c = 998.433 \text{ m}$$

c). Desplazamiento necesario ( $E_n$ ) de la curva.

$$E_n = R_n - R_c = 998.550 - 998.433$$

$$E_n = 0.117 \text{ m}$$

$$d). \lambda = \frac{E_n}{R_c} = \frac{0.117}{998.433} = 0.000117$$

$$\lambda = 0.000117$$

pasando a las tablas tenemos:

N	$\lambda$	$\tau$	$\tau^2$	$\rho$	x	y	$X_m$	t	t	r	$\theta$	s	$w^2$
228	0.000 113	0.051 984	01 29 21	0.228 000	0.227 985	0.001 975	0.113 988	0.228 036	0.001 976	4.385 965	0.000 493	0.227 993	00 29 47
	2	457	47	1 000	999	26	499	1 001	26	19 153	7	1 000	16
229	0.000 115	0.052 441	01 30 08	0.229 000	0.228 984	0.002 001	0.114 497	0.229 037	0.002 002	4.366 812	0.000 500	0.228 993	00 30 03
	2	459	48	1 000	1 000	27	501	1 001	26	18 986	7	1 000	15
230	0.000 117	0.052 900	01 30 56	0.230 000	0.229 984	0.002 028	0.114 998	0.230 038	0.002 028	4.347 826	0.000 507	0.229 993	00 30 18
	2	461	47	1 000	1 000	26	500	1 000	27	18 822	7	1 000	16

TABLA DE LA CLOTOIDE



$$\zeta = 01^{\circ}30'56''$$

$$p = 0.230$$

$$x = 0.229984$$

$$y = 0.002028$$

$$xm = 0.114998$$

$$r = 4.347826$$

$$e = 0.000507$$

$$s = 0.229993$$

$$w = 00^{\circ}30'18''$$

$$A = \frac{Rc}{r} = \frac{998.433}{4.347826} = 229.639595$$

$$A = 229.639595 \text{ m}$$

$$.A. = Lc1 = 0.230 \quad (A) = 52.817 \text{ m}$$

$$x.A. = Xc = 0.229984 \quad (A) = 52.813 \text{ m}$$

$$y.A. = Yc = 0.002028 \quad (A) = 0.466 \text{ m}$$

$$xm.A. = Xm = 0.114998 \quad (A) = 26.408 \text{ m}$$

$$s.A. = S = 0.229993 \quad (A) = 52.815 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{tang } \zeta} = U = \frac{0.465709}{\text{tang}(1^{\circ}30'56'')} = 17.602 \text{ m}$$

$$\frac{Yc}{\text{Sen } \zeta} = H = \frac{0.465709}{\text{Sen}(1^{\circ}30'56'')} = 17.608 \text{ m}$$

$$e.a. = Er = 0.000507 \quad (A) = 0.1164 \text{ m}$$

$$\text{en donde } En - Er = 0.117 - 0.1164 = 0.0005 \text{ m}$$

### III.1.6.3.2. Cálculo de la curva circular real.

$$\Delta = 7^{\circ}26'27''$$

$$\Delta - 2\zeta = \Delta c = 7^{\circ}26'27'' - 2(1^{\circ}30'56'') = 4^{\circ}24'35''$$

$$\Delta c = 4^{\circ}24'35''$$

$$\Delta c. \frac{Rc}{180} = Lc = 4^{\circ}24'25'' (998.433) \frac{\pi}{180} = 76.844 \text{ m}$$

$$Rc \tan \frac{\Delta c}{2} = Stc = 998.433 \tan \frac{4^{\circ}24'25''}{2} = 38.441 \text{ m}$$

$$\frac{20}{Rc} \cdot \frac{180}{\pi} = Gc = \frac{20}{998.433} \cdot \frac{180}{\pi} = 1.147714^{\circ}$$

$$1.5 Gc = D/m = 1.5 (1.147714) = 1.721571^{\circ}$$

$$Tc = ST + Xm = Rn \tan \frac{\Delta}{2} + Xm$$

$$Tc = 998.550 \tan \frac{7^{\circ}26'27''}{2} + 26.408$$

$$Tc = 64.931 + 26.408$$

$$Tc = 91.339 \text{ m}$$

### III. 1.6.3.3.- Obtención de los cadenamientos.

Sabemos que PI (72) = 9+799.229, entonces:

$$\begin{array}{r} \text{PI (72)} = 9+799.229 \\ - \quad Tc = 91.339 \\ \hline Tc = 9+707.890 \\ + \quad Lc1 = 52.817 \\ \hline CC = 9+760.707 \\ + \quad Lc = 76.844 \\ \hline CC = 9+837.551 \\ + \quad Lc1 = 52.817 \\ \hline CT = 9+890.368 \end{array}$$

### III.1.6.3.4.- Obtención de las coordenadas.

$$f = 0.230$$

$$0.230 \div 10 = 0.023$$

$$10 \text{ segmentos de } f' = 0.023$$

Haciendo las mismas operaciones, tenemos:

III.1.6.3.5. Representación de los datos de la curva para el trazo de esta en campo.

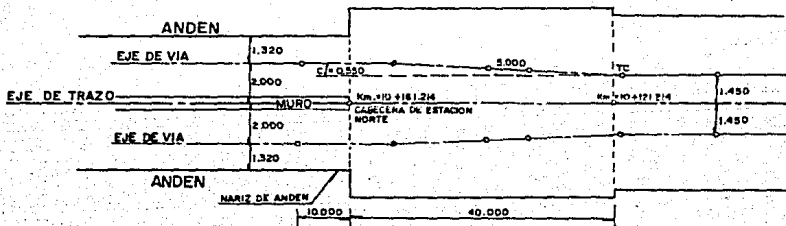
DATOS DE LA CURVA NO.72 (VIA INTERIOR)	COORDENADAS			DEFLEXIONES
	L	X	Y	W
$\tau = 01^{\circ}30'56''$ PI(72)=9+799.229 $\tau = 01^{\circ}30'56''$	0.000	0.000	0.000	00°00'00"
Xc=52.813 $\Delta = 7^{\circ}26'27''$ Xc=52.813	5.282	5.282	0.000	00°00'18"
Yc=0.466 $\Delta c = 4^{\circ}24'35''$ Yc=0.466	10.563	10.563	0.004	00°01'13"
Lc1=52.817 $Gc = 1.147714^{\circ}$ Lc1=52.817	15.845	15.845	0.013	00°02'43"
U=17.602 Lc=76.844 U=17.602	21.127	21.127	0.030	00°04'51"
H=17.608 Stc=38.441 H=17.608	26.408	26.408	0.058	00°07'35"
"Pn=01.130	31.690	31.690	0.101	00°10'55"
D/m=1.72157'	36.972	36.971	0.160	00°14'51"
Rc =998.433	42.254	42.252	0.238	00°19'24"
Rn =998.550	47.535	47.533	0.339	00°24'33"
	52.817	52.813	0.466	00°30'18"

III.1.7. Bayoneta de cambio de entrevía a la entrada Estación San Joaquín.

Para terminar el proyecto de implantación de vía - trazo, sólo -- falta explicar la solución que se tomo para la entrada a la estación de San Joaquín ya que por sus características geométricas te nemos una separación de vías de 4.000 m.

Originalmente se proyectó una bayoneta de cambio de entrevía de - 2.900m, a 4.000m, y construir el túnel necesario para esta separación de vías. Esta bayoneta debería de tener las siguientes condi ciones:

- a). Se debería de tener un tramo de túnel de 40.000m y diámetro interior de 9.300m, indicandose en la cabecera de la estación hacia Tacuba, que servira para alojar a la bayoneta.
- b). Donde termina la sección del tramo normal con diámetro interior de 8.640m, e iniciar la de 9.300m se debería de tener - un andador libre de 0.600 m.
- c). La bayoneta se meteria a la estación 10.000 m.



Con las condiciones anteriores y una velocidad de 80 km/hora y haciendo iteraciones se encontró un radio de  $R_n=1830.788$  m. con una deflexión  $\Delta = 00^\circ 50' 49.12''$ .

Siguiendo el mismo procedimiento utilizado para la curva No. 5 -- obteniéndose los siguientes datos:

$\bar{v} = 00^\circ 04' 50''$	PI=10+117.909	$\bar{v} = 00^\circ 04' 50''$
Xc= 5.143	PI=10+155.111	Xc= 5.143
Yc=0.002	$\Delta = 00^\circ 50' 49.12''$	Yc= 0.002
Lcl=5.143	$c=00^\circ 41' 09.12''$	Lcl=5.143
U=1.725	Tc=16.103	U=1.725
H=1.725	Gc=0.625914°	H=1.725
	Lc=21.916	
	Stc=10.958	
	D/m=0.938871'	
	Rc=1830.788	
	Rn=1830.788	

Teniendo ya efectuados todos los cálculos de las curvas, eje de trazo, ejes de vías y la separación entre ejes de vía, se dibujará el eje de trazo a escala longitudinal 1:500 y escala transversal 1:10, con todos los cadenamamientos de los puntos principales de las curvas, las dos estaciones, la localización de aparatos de cambio de vía y los puntos que corresponden a los gálibos del levantamiento topográfico, indicando los casos en donde se presentan gálibos críticos por ser reducidos, a fin de obligar a tener un mayor cuidado al hacer la implantación de vía. se dibujará -- también los ejes de ambas vías, anotando su separación con respecto al eje de trazo, a fin de verificar la entrevía correspondiente al proyecto geométrico y los cadenamamientos de los puntos principales de las curvas de sus ejes.

Con los datos del plano de implantación de vía - trazo, se trazarán sobre la estructura los puntos de referencia de cada una de las vías, a cada 20 m. en tangente y en zona de curva a cada 5m, que servirán para el control del trazo en el momento del tendido de la vía.

### III.2.- PERFIL.

Después de haber definido el eje de trazo del túnel, paralelamente al levantamiento de secciones transversales se llevó a cabo -- la medición de los niveles reales que presenta la obra ya cons--- truida, a cada 20 y 10 m. en tangente y curva respectivamente.

Contando con esta información se gráfica sobre papel milimétrico a una escala horizontal 1:500 y vertical 1:10, teniendo el perfil de la subrasante real e intrados graficados iniciamos la ejecución del proyecto de Implantación de Vía - Perfil, para esto proyectamos primeramente una subrasante corregida tomando en cuenta las irregularidades de la obra civil, tratando siempre de mantener las mismas pendientes (S) del proyecto de perfil original.

La pendiente longitudinal especificada en las estaciones deberá ser nula para evitar que un convoy estacionado tenga necesidad de aplicar los frenos para ascenso y descenso de los usuarios.

Una vez definida la subrasante corregida y teniendo las pendientes calculadas se procede al cálculo de la transición entre las dos tangentes de diferente pendiente longitudinal utilizando la curva vertical parabólica de la forma:

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

En donde R, es el radio que para velocidades de 80 /km hora es - conveniente que sea igual o mayor de 2,500 m, para mayor comodidad del pasajero. Para nuestro caso, se calcularon dos curvas -- con radio mínimo de 1,500 m ya que se presentaba el problema de que la cabecera sur de la Estación Tacuba se encontraba muy próxima a la curva vertical y la existencia de una tangente mínima en el perfil para alojar un aparato de cambio de vía que se localiza entre los cadenamientos 8+756.877 y 8+793.677.

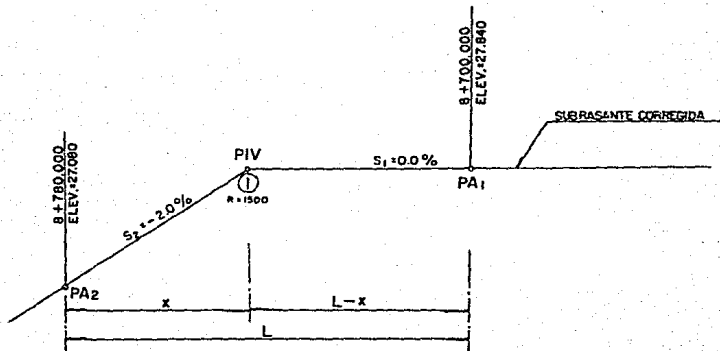
Al proyectar la subrasante de la primera curva próxima a la Estación Tacuba, vemos que se mete 0.123 m, a la estación e inmediatamente se revisó lo que se metería la rasante y en la que se -- tiene una diferencia de espesores de losa de 0.35m en la esta--- ción contra 0.20m en tramo observandose que la curva se metía a la estación una longitud de 7.377m, alcanzando un desnivel en la cabecera de 2 cm. Como la variación de niveles de la rasante de 0 a 2 cm era muy poca se optó por dejar así el proyecto, en caso contrario se buscaría otra solución más conveniente.

A lo largo de todo el tramo resultaron ocho curvas verticales de las cuales como ya se dijo antes se calcularon dos de ellas con un radio mínimo de 1,500 m y las seis restantes con  $R = 2,500$  m.

Calculando a continuación las dos primeras curvas como un ejemplo del procedimiento manual, ya que actualmente por la rapidez con que se requiere el proyecto para que este sea implantado en campo el



proyectista se auxilia de programas de computadora.



$$27.080 + 0.02 (X) = 27.840$$

$$X = \frac{27.840 - 27.080}{0.02} = \frac{0.760}{0.02}$$

$$X = 38$$

$$L-X = 80 - 38 = 42 \text{ m}$$

$$\text{Cad. PIV} = PA_2 - X = 8+780.000 - 38 = 8+742.000$$

$$\text{Cad. PIV} = PA_1 + (L-X) = 8+700.000 + 42 = 8+742.000$$

$$\text{Elev. PIV} = 38(0.02) + 27.080 = 27.840$$

$$\text{Elev. PIV} = 42(0) + 27.840 = 27.840$$

$$\text{LC} = R (S_2 - S_1) = 1500 (0.02 - 0) = 30 \text{ m.}$$

$$\text{ST} = \text{LC}/2 = 30/2 = 15.00 \text{ m.}$$

$$\text{Cad. PCV} = \text{PIV} - \text{ST} = 8+742.00 - 15.00 = 8+727.000$$

$$\text{Cad. PTV} = \text{PCV} + \text{LC} = 8+727.00 + 30.00 = 8+757.000$$

$$\text{Elev. PCV} = \text{Elev. PIV} - (\text{ST}) S_1 = 27.840 - 15.00 (0) = 27.840$$

$$\text{Elev. PTV} = \text{Elev. PIV} - (\text{ST}) S_2 = 27.840 - 15.00 (0.02) = 27.540$$

$$\text{Lc}_1 = S_1 R ; \text{Lc}_2 = S_2 R$$

$$\text{Cad. CUSP} = \text{Lc}_1 + \text{Cad. PVC} = 8+727.000$$

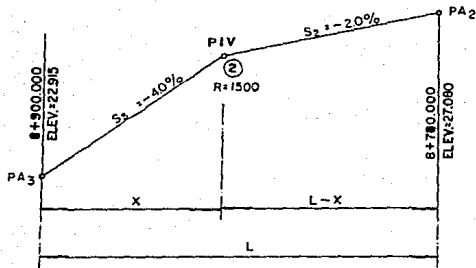
$$\text{Cad. CUSB} = \text{Cad. PTV} - \text{Lc}_2 = 8+757.00 - 0.02 (1500) = 8+727.000$$

$$\text{Elev. CUSP} = \frac{(\text{Lc}_1)^2}{2R} + \text{Elev. PCV} = 27.840$$

$$\text{Elev. CUSB} = \frac{(\text{Lc}_2)^2}{2R} + \text{Elev. PTV} = \frac{(30)^2}{3000} + 27.540 = 27.840$$

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

PTO.	CADENAMIENTO	X	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup> /2R	COTA
CUPS	8+727.000				27.840
PCV	8+727.000	0.000	0.000	0.000	27.840
	8+730.000	3.	9.	0.003	27.837
	735	8.	64.	0.021	27.819
	740	13.	169.	0.056	27.784
	745	18.	324.	0.108	27.732
	750	23.	529.	0.176	27.664
	755	28.	784.	0.261	27.579
PTV	8+757.000	30.	900.	0.300	27.540



Planteando la ecuación tenemos:

$$22.915 + 0.04 X = 27.080 - 0.02 (L-X)$$

$$22.915 + 0.04 X = 27.080 - 0.02 (120-X)$$

$$22.915 + 0.04 X = 27.080 - 2.400 + 0.02 X$$

$$0.04 X - 0.02 X = 27.080 - 2.400 - 22.915$$

$$0.02 X = 1.765$$

$$X = 88.250$$

$$L - X = 120.000 - 88.250 = 31.750$$

$$\text{Cad. PIV} = PA_3 - X = 8+900.000 - 88.250 = 8+811.750$$

$$\text{Cad. PIV} = PA_2 + (L-X) = 8+780.000 + 31.750 = 8+811.750$$

$$\text{Elev. PIV} = 88.250 (0.04) + 22.915 = 26.445$$

$$\text{Elev. PIV} = 31.750 (0.02) + 27.080 = 26.445$$

$$Lc = R (S_2 - S_1) = 1500 (-0.02 + 0.04) = 30.000$$

$$ST = 15.000$$

$$\text{Cad. PCU} = \text{PIV} - \text{ST} = 8+811.750 - 15.000 = 8+796.750$$

$$\text{Cad. PTV} = \text{PIV} + \text{ST} = 8+811.750 + 15.000 = 8+826.750$$

$$\text{Elev. PCU} = \text{Elev. PIV} + (\text{ST} \cdot S_2) = 26.445 + 15.000 (0.02) = 26.745$$

$$\text{Elev. PTV} = \text{Elev. PIV} - (\text{ST} \cdot S_3) = 26.445 - 15.000 (0.04) = 25.845$$

$$\text{LC}_2 = S_2 R = 0.02 (1500) = 30.000$$

$$\text{LC}_3 = S_3 R = 0.04 (1500) = 60.000$$

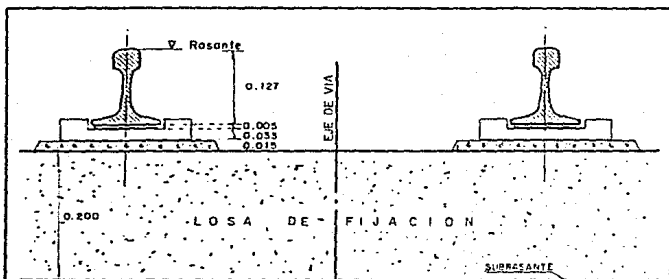
$$\text{Cad. CUSP.} = \text{Cad. PCV} - \text{LC}_2 = 8+796.750 - 30.000 = 8+766.750$$

$$\text{Cad. CUSP.} = \text{Cad. PTV} - \text{LC}_3 = 8+826.750 - 60.000 = 8+766.750$$

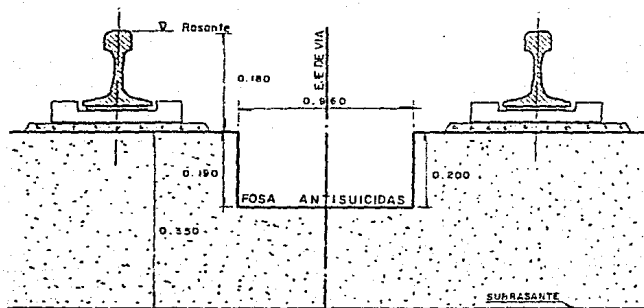
$$\text{Elev. CUSP} = \frac{(\text{LC}_2)^2}{2 R} + \text{ELEV PCV} = \frac{(30)^2}{3000} + 26.745 = 27.045$$

$$\text{Elev. CUSP} = \frac{(\text{LC}_3)^2}{2 R} + \text{Elev PTV} = \frac{(60)^2}{3000} + 25.845 = 27.045$$

PTO	CADENAM.	X	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup> /2R	COTAS
CUSP	8+766.750				27.045
PCV	8+796.750	30	900	0.300	26.745
	800	33.250	1105.563	0.369	26.676
	805	38.250	1463.063	0.488	26.557
	810	43.250	1870.563	0.624	26.421
	815	48.250	2328.063	0.776	26.269
	820	53.250	2835.563	0.945	26.100
	825	58.250	3393.063	1.131	25.914
PTV	8+826.750	60.000	3600.000	1.200	25.845



CORTE DE UNA VIA  
EN TRAMO



CORTE DE UNA VIA  
EN ESTACION

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

FILIBERTO LOPEZ RODRIGUEZ

FIGURA

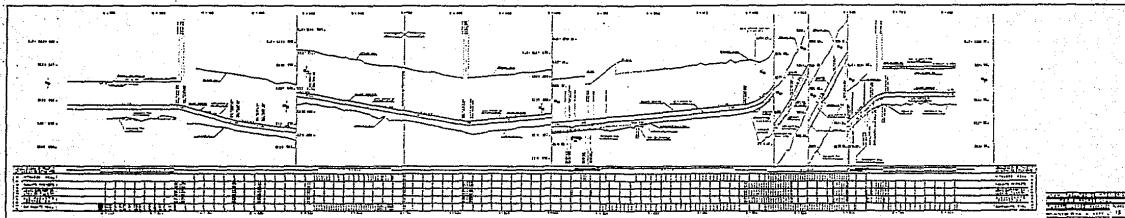
ESPESOR DE LOSA EN TRAMO  
Y ESTACION

15

Posteriormente cuando se tiene el perfil de la subrasante corregida se procede a determinar el perfil de la rasante, para esto se contempla el espesor de la losa, mortero de relleno bajo la calza, calza aislante, almohadilla y altura de riel. Para tramo se tiene 0.380 m de donde el espesor de losa es de 0.200 m y --- 0.180 m para riel, calza, etc. dentro de las estaciones se tiene un espesor de losa de 0.350m por existir al eje de las vías una fosa antisuicidas de una profundidad de 0.200 m y un ancho de -- 0.960 m la cual facilitará las maniobras de rescate en caso de - que suceda algún accidente (Figura No. 15).

Cuando se tiene definido el perfil de la rasante se tendrá el -- cuidado de las necesidades que requieran otros proyectos para -- instalarse sobre la losa de fijación, como pueden ser los aparatos de vía, que por su diseño geométrico cuenta con piezas moldeadas de espesores diferentes que no podrían instalarse sobre la losa de concreto si a ésta no se le dejan las preparaciones con sus diferencias de niveles para recibir dicho aparato, y así evitar demoliciones. Otro tipo de instalación sería la prevención de ductos ahogados para el paso de cables.

Esto es con el fin de que el constructor vea en el perfil la --- existencia de las necesidades del proyecto y pueda ser contempla do previamente y evitar retrasos de la obra. (Figura No. 16).





### **III.3.- SOBREELEVACIONES.**

La sobreelevación se define como la pendiente transversal que se proporciona al riel exterior de la vía en zona de curva horizontal, para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga sobre el tren.

Los valores teóricos de la sobreelevación aplicada a cada curva dependen fundamentalmente del proyecto definitivo de trazo, de la velocidad estimada y de las condiciones de confort que se pretende proporcionar.

Los valores reales de la sobreelevación con la cual se generará el proyecto de sobreelevaciones para la implantación de la vía, se obtienen en función de la "Marcha Tipo" los cuales por condiciones de confort no serán mayores a 160 mm.

Antes de generar el proyecto de sobreelevaciones para cada curva es necesario primeramente, conocer las velocidades a las cuales -

el tren estará sometido a lo largo del tramo de interestación.- Para ello se genera el Proyecto General de Sobreelevaciones (Fig. No.17), en el cual se indican los valores reales de sobreelevación de ida y de regreso, teniendo esta información ahora sí se ejecuta el proyecto de sobreelevaciones para cada curva.

### III.3.1. Teoría General.

Los vehículos que circulan dentro de una curva horizontal a cierta velocidad son sometidos a la acción de una fuerza centrífuga igual a:

$$F = \frac{P}{g} \times \frac{v^2}{R} \quad (1)$$

donde:

g = La aceleración de la gravedad igual a 9.81 metros por segundo al cuadrado.

V = La velocidad del vehículo expresada en metros por segundo.

P = El peso del vehículo en toneladas.

R = El radio de la curvatura en metros.

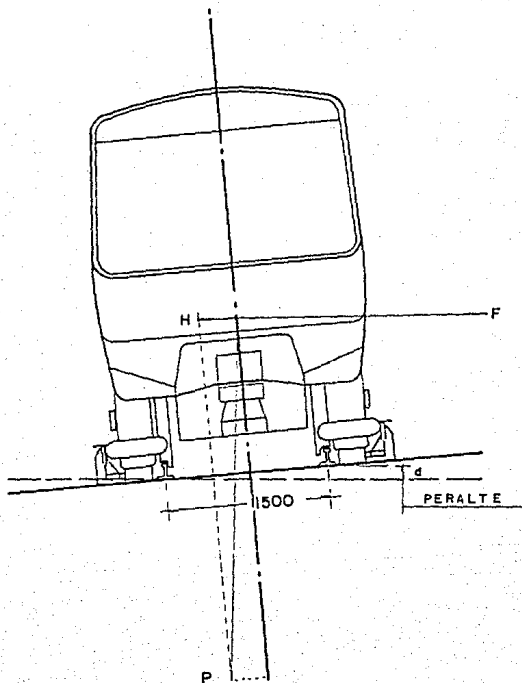
Si la vía esta montada a nivel, la fuerza centrífuga no será --- equilibrada por la reacción de la pista de rodamiento y de la barra de guiado exterior. Las ruedas horizontales de guiado, equipadas de neumáticos y dispuestas en las esquinas del bogie, permiten asegurarlo sobre la barra de guiado exterior y ejercer un incremento importante de esfuerzo dentro de las curvas. Para altas velocidades, los vagones arriesgaran a deteriorar el material fijo de la vía. De esta manera los pasajeros sufrirán los inconvenientes del empuje transversal.



Esos inconvenientes son, si no suprimidos dentro de todos los -- casos, al menos atenuados en gran medida, dando a la vía una pen diente transversal dirigida al centro de la curva. Esta inclinación de la superficie de rodamiento es medida por el desnivel en tre los ejes de los rieles, llamada como ya se dijo antes sobre-elevación, dada en milímetros.

El proyecto de sobreelevaciones tiene como plano de referencia - los niveles de rasante del proyecto de implantación de vía - per fil.

De la figura - No. 4	tenemos que:
Trocha de la vía	= 1435 mm
Ancho del hongo del riel	= <u>63.5 mm</u>
	1498.5 ≈ 1500 mm



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

FILIBERTO LOPEZ RODRIGUEZ

FIGURA

POSICION DE UN CARRO EN ZONA  
DE CURVA CON PERALTE

18

La figura No.18, nos muestra que al dar la pendiente transversal nace una componente H del peso P, paralela al nivel de rodamiento y en dirección opuesta a la fuerza centrífuga F.

Si h es el peralte en milímetros y si admitimos que la distancia entre los ejes de los rieles es 1500 mm la componente H se calculará así:

$$\frac{H}{P} = \frac{h}{1500}$$

$$H = \frac{Ph}{1500} \quad \text{--- ( 2 )}$$

La presión transversal resultante Q ejercida sobre las barras de guiado por los vagones será:

$$Q = F - H \quad \text{--- ( 3 )}$$

o bien:

$$Q = \frac{P}{g} \times \frac{v^2}{R} - \frac{Ph}{1500} \quad \text{--- ( 4 )}$$

Lo ideal será tener el peralte de manera de equilibrar las fuerzas opuestas H y F. Ahora será lo mismo  $Q = F - H = 0$ ; dentro de esta condición, se puede escribir:

$$\frac{P}{g} \times \frac{v^2}{R} = \frac{Ph}{1500}$$

Despejando el peralte (h), tenemos:

$$h = \frac{1500 v^2}{g R}$$

donde:

v. en m/ seg.

Obteniendo V en km/ hora.

$$h = \frac{1500}{g} \frac{v^2}{R (3.6)^2} = 11.8 \frac{v^2}{R} \text{ ---- (5)}$$

Entonces tenemos que:

h = peralte, en mm

v = velocidad del tren, en km/hora

R = radio de la curva horizontal, en m

El valor h obtenido de esta manera es el peralte teórico. Así pa-  
ra un tren que circula a una velocidad constante de 72 Km/hora --  
dentro de una curva de 600 m de radio, la aceleración centrífuga  
será equilibrada por una fuerza opuesta engendrada por el camino  
de rodamiento construido con un peralte igual a 102 mm (mediante  
la fórmula 5, nosotros podremos calcular el peralte teórico de -  
102 mm).

Al hacer un peralte, se busca compensar la fuerza centrífuga lo -  
más exactamente posible.

Las fórmulas 4 y 5 que suponen las condiciones ideales, permiten  
deducir que, para una velocidad constante, el tamaño del peralte  
será inversamente proporcional al radio de curvatura. A una velo-  
cidad constante de 72 Km/h, el peralte teórico del camino de ro--  
damiento dentro de una curva de 1000 m, 600m, y 250 m. será res--  
pectivamente de 61 mm, 102 mm, 153 mm, y 245 mm.

Teóricamente, el peralte podrá tener un valor elevado que es nece-  
sario, pero tenemos dos consideraciones que conducen a limitarlo,  
estas son:

- La estabilidad de los vehículos en el caso de arranque al -- frenado en plena curva.
- Confort de los viajeros.

En la práctica el peralte está limitado a un máximo no pasable - ( como ya se dijo antes) de 160 mm., de manera que la pendiente longitudinal para alcanzar esa sobreelevación no deberá ser mayor a 3 mm/m. (por especificación).

### III.3.2.- Cálculo de la sobreelevación.

La sobreelevación se dará gradualmente a lo largo de la clotoide de entrada, empezando con una sobreelevación igual a cero en un punto (I), que se localiza antes del TC de la curva y terminando con el valor máximo de la sobreelevación en el punto (M), ubicado después del CC de la curva, conservandose la sobreelevación - máxima a lo largo de toda la curva hasta el siguiente punto (M). De manera inversa se aplica la sobreelevación en la clotoide de salida, (Figura No. 19).

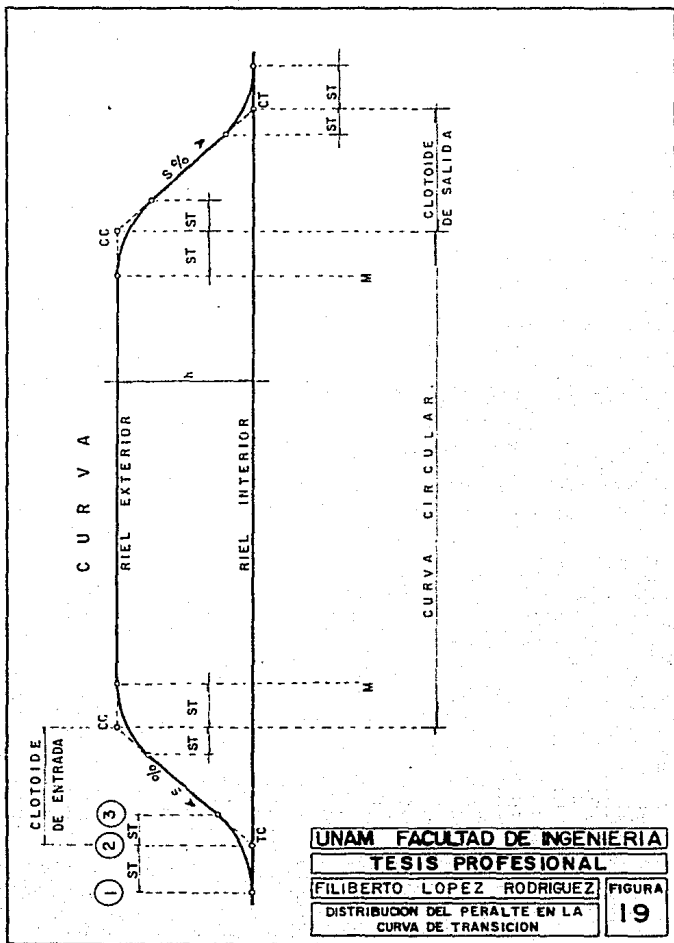
Por confort, la transición entre el punto (I) y el punto (M) con clotoide de entrada y de salida, se hará por medio de dos curvas verticales parabólicas con radio de curvatura de 2500 m, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$y = \frac{x^2}{2R} = \frac{x^2}{5000} \quad - - (6)$$

Para el cálculo de las sobreelevaciones se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$S = \frac{h}{Lc1} \quad - - - (7)$$





donde:

S = Pendiente, adimensional

h = Peralte, en m.

Lc1= Longitud de la clotoide, en m.

Para ligar la tangente con la transición vertical en el punto -- (2) de la figura No.19 se procederá a introducir una curva vertical cuyas características podrán calcularse con las fórmulas siguientes:

$$LC = RS \quad - - - - (8)$$

donde:

LC = Longitud de curva, en m.

R = Radio de curvatura igual a 2500 m.

$$ST = \frac{LC}{2} \quad - - - - (9)$$

donde:

ST = Longitud de subtangente, en m.

$$Y_2 = \frac{ST^2}{2R} \quad - - - - (10)$$

$$Y_3 = \frac{LC^2}{2R} \quad - - - - (11)$$

donde:

$Y_2$  y  $Y_3$  = sobreelevaciones en los puntos (2) y (3), respectivamente, en m.

Para el cálculo de la sobreelevación a lo largo de la clotoide, se usará la siguiente expresión:

$$Y_n = Y_3 + S \sum_{i=1}^n C \quad \text{--- (12)}$$

donde:

C = Longitud de cuerda, en m

Como regla practica, C = 2.500 m. ajustándose al final.

Como ejemplo tenemos a continuación el resultado del cálculo de sobreelevaciones de las curvas No. 51 y 52 (Figura No. 20).



#### IV.- PROYECTO GEOMETRICO DE LOSA Y NIVELES DE LOSA EN CURVA.

##### IV.1. Proyecto Geométrico de Losa.

Para el desarrollo de este proyecto, es necesario contar con el proyecto de gálibos que usaremos para dibujar en planta el área necesaria para la instalación de la vía, en la cual se dibujarán todas las instalaciones para que el constructor tenga todo a la mano y evitar que se tengan omisiones ya que esto ocasionaría costosas modificaciones y retrasos para la terminación de la obra de implantación de vía.

Cabe señalar que sin este plano sería prácticamente imposible la terminación de un buen trabajo del colado de la losa para la fijación de la vía. Por lo tanto, para generar este plano se necesita contar con:

- a). El proyecto de trazo de las vías así como del eje de la entree vía, para que las instalaciones que están sobre las vías se -

les verifique con respecto al kilometraje de éstas así como - del eje de trazo, es decir, algunas instalaciones tendrán doble cadenamiento, del eje de la vía y del eje de trazo.

- b). La localización de juntas aislantes y cupones neutros, que -- se refiere a los puntos sobre la vía en la cual irá una caja inductiva o preparación en la losa de fijación de 0.80 x 1.80 m para la señalización del tramo.
- c). El proyecto de todas las instalaciones electromecánicas, elec trónicas e hidráulico-sanitarias, cuya ubicación quede dentro del área de las vías.
- d). El levantamiento topográfico de registros para descarga de -- drenes longitudinales y trasversales.

Toda esta información (como ya se dijo antes), se deberá dibujar en planta, debiéndose indicar todas las preparaciones que irán en la losa de fijación de la vía, tales como: cajas inductivas, re-- gistros para pasos de ductos o cables, instalaciones para pilotaje automático, aparatos de vía, registros hidráulicos, canaletas ---- transversales a cada 60 m. que deberán comunicarse a los registros mediante dos drenes longitudinales (Plano No.6 ).

Para zona tangente o curva de  $R \geq 500$  m, se utilizarán canaletas y para curvas de  $R < 500$  m, se proyectarán ductos entre el eje de entrevía y los registros localizados sobre la curva de menor radio (Plano No.6).

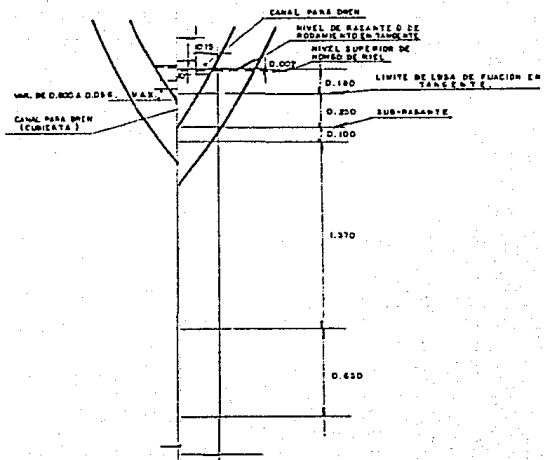
#### IV.2.- Niveles de Losa en Curva.

Antes de llevarse a cabo la construcción de la losa para la fijación de la vía en zona de curvas horizontales que tengan sobre-elevación, es necesario que se realice el proyecto de niveles de losa el cual nos indicará la geometría con los niveles de la losa en los puntos que queramos, así como los niveles de los andadores laterales a lo largo del túnel.

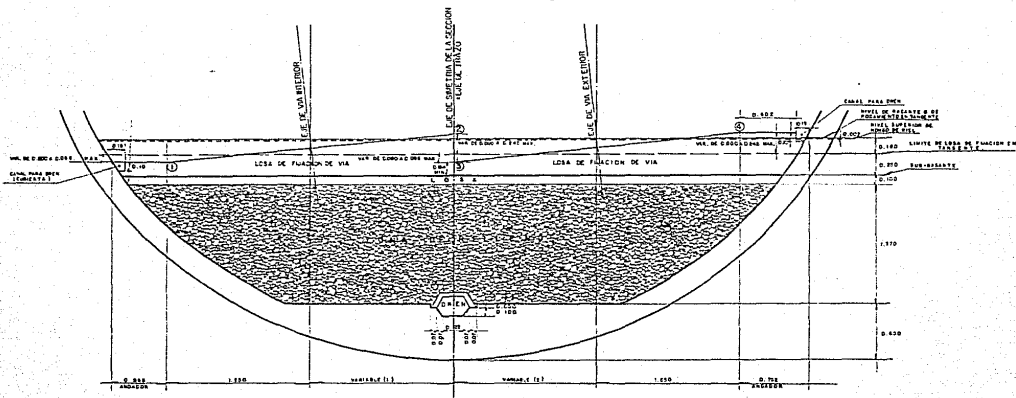
Una vez definidos los ejes de vía así como el eje de trazo o eje de entrevías ya que este nos servirá para fijar el eje del escalón de la losa, se fijarán cadenamientos a cada 2.50 m, sobre las vías los cuales coincidirán con los cadenamientos del proyecto de sobre-elevaciones. Con estos cadenamientos de las vías se calculará otro cadenamiento pero sobre el eje de trazo que corresponda - al kilometraje de la vía sobre el eje de trazo, estos serán radiales al eje de trazo con las vías, por lo tanto tendremos dos kilometrajes sobre la vía, de ésta y del eje de trazo. Al ir determinando la igualación de los cadenamientos se va obteniendo la variación de la entrevía en ese punto.

Pasando ahora a la determinación de la superficie mínima de contacto para la fijación de la vía, es decir, necesitamos una distancia mínima a partir del eje de la vía para permitir la fijación del aislador que soportará la barra guía. Esta distancia nos define los quiebres de la losa para zona de curva horizontal y se ha determinado en base a la experiencia mediante un profundo estudio para la vía fijada a una losa de concreto.

Para definir la distancia a los quiebres de la losa de fijación a partir del eje de vía para los puntos 1 y 4 (figura 21), será de 1.55 m para curvas de  $150 \text{ m} \leq R < 300 \text{ m}$  y de 1.50 m para curvas de  $300 \text{ m} \leq R \leq 500 \text{ m}$ , esto con el fin de que el cálculo sea un --







UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
FILIBERTO LOPEZ RODRIGUEZ	FIGURA
CARACTERISTICA GEOMETRICAS DE LA LOSA DE FUNDACION EN CURVA	21

poco más sencillo de revisar y además tener una distancia mínima de 10 cm., entre la fijación del aislador y el escalón y quiebre de la losa puntos 1, 2 y 4 de la (Figura No. 21).

Hecho esto, se determinan los niveles en los puntos marcados previamente a cada 2.50 m y que coinciden como ya se dijo antes con las sobreelevaciones, se calcularán entonces con respecto a la subrasante proyecto. Se fija entonces el nivel de piso en tangente y en el TC de la curva horizontal se darán los niveles de los puntos 1, 2, 3 y 4 (Plano 22), haciendo una sencilla relación geométrica entre el peralte de la vía en cada uno de los cadenasamientos y el valor de la entrevía, se obtienen las proyecciones verticales y dar niveles a los ya referidos puntos.

Este procedimiento, es muy laborioso dada la cantidad de cadenasamientos en donde se requiera dar igualaciones y la variación de la entrevía entre curvas complejas (clotoide), por lo que es ideal la aplicación de programas de computadora para obtener los niveles en los puntos sobre la curva.









#### V.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

Antes de iniciar los trabajos para el colado de la losa de fijación, es necesario realizar previamente los siguientes trabajos:

##### 1.- Ubicación de los ejes de vía, trazo y entrevía.

Con el proyecto de trazo de las vías ya definido se procede a ubicarlos dejando marcas a cada 20 m en tramo tangente y a 5 m en zona de curva, marcando los puntos importantes (TC, CC, CC, CT y PST) en el intrados y que una vez colada la losa de fijación, puedan reponerse sobre ésta. El eje de entrevía será ubicado únicamente en zona de curva, ya que este define la junta constructiva de las losas de cada vía. Los puntos importantes de la curva se referenciarán sobre los muros, de acuerdo a sus gálibos horizontales.

##### 2.- Ubicación de niveles.

Implantado de los ejes de vía se colocarán niveles a cada 20 m. en tangente y a cada 5m. en zona de curva horizontal, localizadas

a 0.70 m arriba del nivel de rasante marcadas sobre los muros.

Cabe mencionar la importancia que representa el realizar adecuadamente el trabajo topográfico y su correspondiente verificación para las dos actividades atrás mencionadas; ya que de este dependerán las actividades siguientes, para obtener así el mínimo de errores.

### 3.- Limpieza gruesa y tecateo.

La limpieza gruesa es el retiro del escombros y de todo el material inutilizado de la zona de trabajo y el tecateo es la actividad en donde se hará quitar la escoria de la losa estructural para obtener una adecuada adherencia entre esta losa con la losa de fijación de vía.

### 4.- Habilitado y colocación de cimbra.

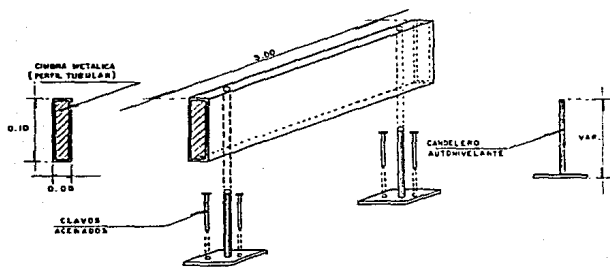
Consistirá en el transporte y acarreo de la cimbra a la zona de trabajo para su posterior colocación, la cual será fijada a la losa estructural por medio de candeleros autonivelantes, previamente ubicados ( Figura No. 23).

### 5.- Alineación y nivelación de cimbra.

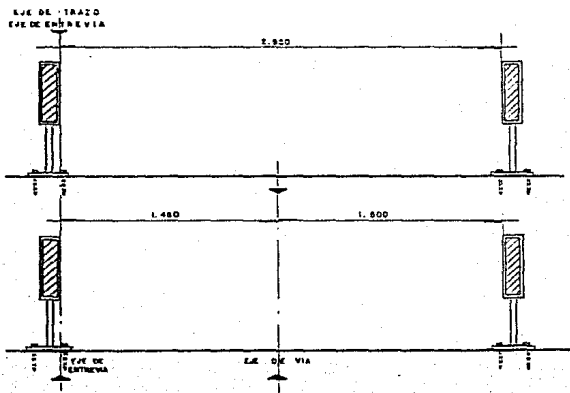
#### a). Alineación.

Para alinear la cimbra en tramo tangente, basta con verificar los ejes de vía y entrevía que está colocado sobre la losa estructural del túnel, ya que siguiendo el eje de entrevía se alineará la primera parte de la cimbra, para el cimbrado es suficiente con medir la distancia de 2.95 m a partir del eje de entrevía y mantenerla constante en todo el trayecto de la tangente para una sola vía. De otra manera, podemos tomar como referencia el eje de vía y medir 1.45 y localizar el eje de entrevía y alinear la cimbra sobre este eje en toda su





C I M B R A



U B I C A C I O N D E C I M B R A

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
FILIBERTO LOPEZ RODRIGUEZ	FIGURA
COLOCACION DE CIMBRA	23

longitud en tangente, y para ubicar la cimbra lateral se localiza midiendo 1.50 m a partir del eje de vía a la zona del andador.

El control de la cimbra a utilizar se llevará a cabo al revisar que la cara que va a recibir el concreto no tenga pandeo, para que pueda alinearse correctamente de acuerdo a la línea de trazo correspondiente.

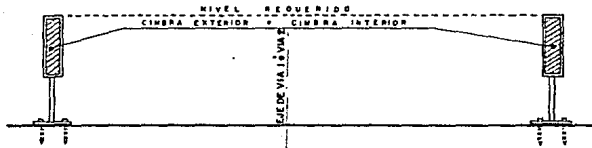
Para llevar a cabo la alineación de la cimbra en zona de curva, es importante analizar previamente el comportamiento de la geometría de la curva y que el trazo implantado de la misma, este hecho correctamente.

Debido a que la cimbra metálica tiene una longitud de 3.00 m. y las marcas plasmadas en curva se encuentran localizadas a cada 5.00 m., se hizo necesario determinar puntos intermedios para cada candelero de la cimbra. Primeramente se localiza la cimbra para la vía interior de la curva y posteriormente la de vía exterior, ya que esto nos permite una adecuada colocación del concreto (Figura No.24), lo contrario provocará problemas con la fijación de los aisladores.

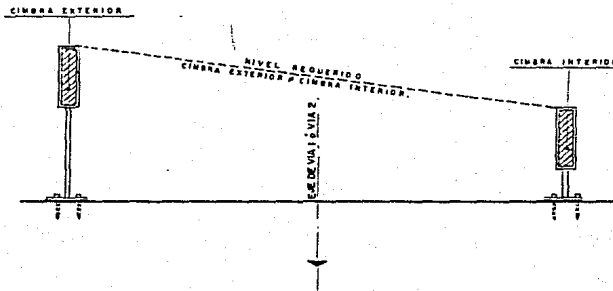
b). Nivelación.

Para llevar a cabo la nivelación de la cimbra, es necesario checar previamente los puntos de liga (PL) colocados a lo largo del túnel.

En tramo tangente es necesario para la ejecución de esta actividad, consultar el plano de implantación de vía - perfil que contiene los datos referentes a cotas de nivel y pendientes del lado superior de la losa de fijación a cada 20.00 m, que auxiliados en éstos se calcularán los nuevos niveles ---



NIVEL DE LA CIMBRA INTERIOR IGUAL AL  
NIVEL DE LA CIMBRA EXTERIOR



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
FILIBERTO LOPEZ RODRIGUEZ	FIGURA
COLOCACION DE CIMBRA PARA TRAMO TANGENTE Y CURVA	24

correspondientes a las diferentes posiciones de la cimbra. Los niveles obtenidos serán igual para las cimbras exterior e interior en un cadenamiento dado (Figura No. 24).

En zona de curva, para el desarrollo de esta actividad consultar el plano de niveles de losa en curva, que contiene los datos referentes a las cotas de nivel que nos servirán de apoyo para calcular al igual que en tangente las nuevas cotas correspondientes a las diferentes posiciones de las puntas de cada cimbra, debido a que su longitud de 3.00 m. difiere con las cotas plasmadas a cada 2.50 m en el plano mencionado -- (Figura No. 22).

Los niveles obtenidos serán diferentes tanto para la cimbra interior como para la cimbra exterior de cada vía, debido a la sobreelevación en un cadenamiento dado.

El control de la cimbra a utilizar también se llevará a cabo al igual que en la alineación y la revisión del perfil de la cimbra que se utilice, de manera que no tenga deformaciones o irregularidades ya que no se prestaría a una adecuada nivelación y al mismo tiempo a un deslizamiento de la regla para llegar al nivel del concreto deseado.

Es recomendable que se tome todo el tiempo necesario en la nivelación y garantizar con ello una mayor precisión.

#### 6.- Troquelamiento de la cimbra.

El troquelamiento de la cimbra deberá realizarse inmediatamente después de la alineación para confinarse por medio de madera y evitar con esto los desplazamientos de la misma.

7.- Ubicación de preparaciones.

Antes de colar la losa de fijación se ubicarán las diferentes preparaciones o instalaciones que se indican en el proyecto geométrico de losa.

8.- Preparación de la losa estructural para el colado de la losa de fijación.

Después de haber colocado la cimbra alineada y nivelada y las preparaciones que irán en la losa, se tienen las siguientes actividades:

a).- Lavado de la losa.- Se deberá eliminar la materia orgánica, primeramente con agua libre de impurezas y posteriormente se aplicará un segundo lavado con ácido muriático rebajado y retirado con agua.

b).- Engrasado de la cimbra.- Se deberá aplicar diesel como material desmoldante, cuya función será de evitar la adherencia del concreto a la cimbra.

c).- Aplicación.- Se colocará un material de liga entre el concreto viejo y el concreto nuevo, distribuyéndolo uniformemente sobre la zona de colocación del concreto.

9.- Desarrollo utilizado en la colocación del concreto.

Es el proceso efectuado en base a una serie de actividades continuas en el transcurso y el término de la colocación del concreto, en el cual la losa de fijación quedará dentro de las condiciones requeridas. Estas actividades se enuncian a continuación:

a). Suministro y colocación del concreto.

En la transportación del concreto desde la planta al lugar reque-

rído, que será vaciado en un pozo cercano al área de trabajo, recibido por un deflector y guiado por un canalón a la bomba que lo distribuirá por medio de tubería al lugar de su colocación, la -- cuál se realizará paleando el concreto para distribuirlo y posteriormente se vibrará para el acomodamiento homogéneo de éste; en seguida se usará la regla vibratoria para darle un segundo vibrado y el nivel requerido, dándole un acabado liso por medio del -- pulido.

b). Aplicación del curado de la losa.

Finalizando la actividad anterior se aplicará una película de concreto (curado), para evitar la pérdida brusca de agua de la losa.

c). Descimbrado.

Después de un tiempo considerable de fraguado de la losa, se retirará la cimbra para ser utilizada posteriormente.

Con todas estas actividades a realizar se da por terminado este tema del proceso constructivo.

VI.- RECTIFICACION DE NIVELES DE LOSA Y CONTROL TOPOGRAFICO DEL -  
POSICIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA VIA.

VI.1.- Rectificación de Niveles de Losa.

Antes de iniciar las actividades correspondientes a la fijación de la vía sobre concreto, deberán de verificarse los niveles reales de la losa de fijación con los niveles de la losa de proyecto con el fin de detectar las zonas donde la losa quedó arriba o abajo. Si el exceso o deficiencia en los niveles de losa fuera mayor a 10 mm , entonces diríamos que nos encontramos ante una zona por desbastar o rellenar según sea el caso y así garantizar que el -- proyecto de rasante podrá ser implantado sin ningún problema.

Para generar el proyecto de rectificación de Niveles de Losa, se realizarán las actividades que a continuación se explican.

1.- Reposición de ejes de vía.

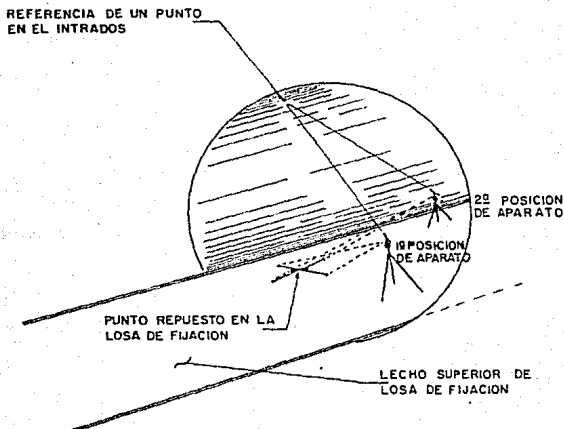
Esta actividad consiste en marcar los ejes de las vías sobre ----

la losa, dejando marcas a cada 2.50 m y 5.00m en zona de curva y tangente respectivamente, así como las marcas que definen los puntos principales de las curvas (interior y exterior) pintando sobre la losa los kilometrajes correspondientes.

La reposición de los ejes de vía debe hacerse con la mayor precisión que sea posible ya que estos ejes serán el apoyo para todos los trabajos que deberán ejecutarse para la instalación de la --  
vía.

La reposición de los ejes de vía se facilita ya que el apoyo principal son las referencias que se dejaron en el intrados o sea punto inferior de la losa superior del túnel. Esto quiere decir, que se marcarán sobre la losa todos los puntos principales de la curva, los puntos de la curva (P.S.C) que se encuentren referenciados, así como los puntos sobre tangentes (P.S.T.) a cada 100 m. El método para reponer estos puntos será el mismo que se empleo para referenciarlo en el intrados, esto es, utilizando un aparato zenital o por medio de la intersección de dos visuales realizadas con un teodolito, este último método es el más recomendable por la --  
precisión que se obtiene ya que puede verificarse el punto con --  
una tercera línea.





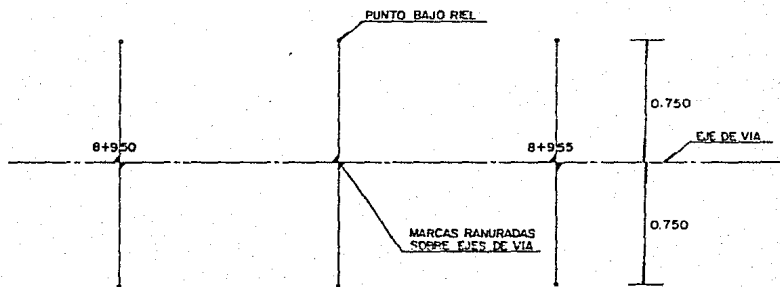
En esta figura se muestra el método de reponer sobre la losa un punto que se encuentra referenciado en el intrados, utilizando teodolito y realizando dos visuales.

Después de haber repuesto los puntos importantes de las curvas y verificado el cierre de las mismas, se procede a trazar la curva a cada 2.50 m dejando marcas ranuradas sobre la losa de fijación y quedar el trazo así por tiempo indefinido. Estas marcas que se dejan sobre la losa de fijación y que físicamente materializan los ejes de vía, servirán de apoyo para todos los trabajos previos a la fijación de la vía y para un mantenimiento futuro, por esta razón se debe tener mucho cuidado que la topografía reponga este

trazo con una precisión mínima que acepta el proyecto, siendo esta igual 1:10000.

## 2.- Nivelación de Losa Bajo Riel.

Para obtener el perfil de la losa Bajo riel, se llevará a cabo el siguiente procedimiento; se marcarán con crayón o pintura puntos a 0.75 m perpendiculares o radiales si fuera tangente o curva respectivamente, en cada marca de los ejes de vía.



Terminando esto se procede a realizar un doble levantamiento del perfil de la losa bajo riel calculando las cotas de las dos nivelaciones comparandose los resultados, si se encontrara una diferencia entre éstas mayor a 2 mm se realizará una tercera nivelación, si las diferencias fueran igual o menores a los 2 mm, entonces se envían las nivelaciones del perfil de la losa a gabinete para su revisión y elaboración de los planos de rectificación de

niveles de losa.

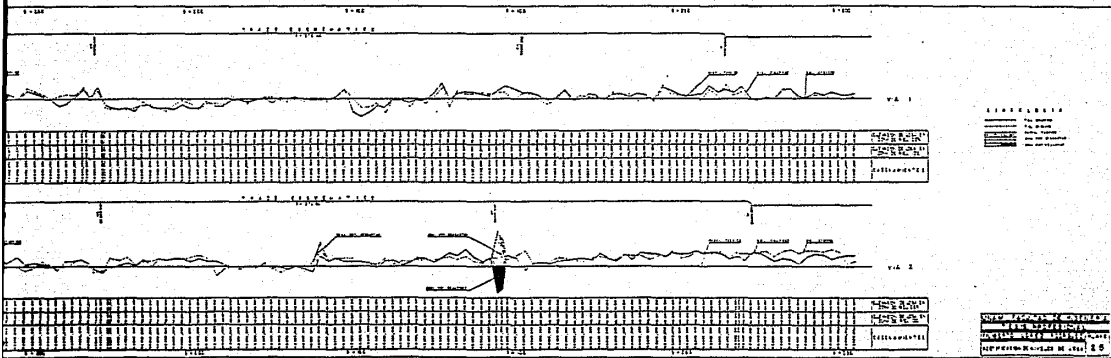
3.- Elaboración de Planos de Rectificación de Losa.

Con el levantamiento de los niveles de losa de fijación, se elaborará el plano de rectificación de losa, que no es otro que el de una verificación de dichos niveles y comparando estos con el proyecto de perfil de la losa.

Este plano de rectificación contiene las diferencias entre el nivel de la losa proyecto y los niveles de losa reales, haciendo el análisis para conocer las zonas donde pudiesen efectuarse trabajos de relleno o desbaste sobre ésta.

En caso de encontrar zonas longitudinalmente grandes por desbatar o rellenar, se estudiará la posibilidad de modificar la rasante para evitar o reducir en la mayor medida posible estos trabajos, quedando como definitivo éstos en el plano de rectificación de losa y los niveles de implantación de Vía - Perfil, como nivel teórico. (Ver plano No. 25).





## VI.2.- Control topográfico del posicionamiento de los elementos - de la vía.

Después de tener repuesto los ejes de vía y haber verificado los niveles de la losa, se iniciará el proceso de perforación para la fijación de riel y pista, para este fin se diseñaron dos tipos de plantillas, una de 5.55m de largo para perforar en zona de tangente y curvas de  $R > 500m$ , otra de 3.30m de largo para perforar en zona de curva de  $R \leq 500m$ . Se presta especial atención al proceso de perforación ya que de estas depende que se realice la implantación de la vía sin ningún problema. Se utilizará un escantillón para verificar cada una de las perforaciones, indicando en el caso donde se requiera abocardar la magnitud y sentido. Inmediatamente después de terminar la verificación de las perforaciones se inicia el habilitado de la vía, que consiste en colocar -- las calzas y anclas al riel distribuidas sobre las perforaciones de riel, colocar tirantes a cada 2.00m con el fin de mantener la trocha constante, a estos tirantes se les coloca en los extremos una cuña provista de 2 tornillos que permiten movimientos verticales y horizontales que serán además el soporte de la vía armada en el proceso de alineamiento, nivelación y sellado. Posteriormente se inician los trabajos de limpieza de todas las perforaciones utilizando aire comprimido para extraer todo el residuo existente en los barrenos producto de la perforación.

A continuación se inician los trabajos topográficos de alineación y nivelación de la vía hasta lograr la posición de proyecto. Iniciando primeramente la alineación en zona de curva utilizando cinta y plomada, tomando como apoyo las marcas existentes sobre la losa que físicamente materializan al eje de la vía, verificandose la trocha a cada 2.50m, en zona de tangente se utilizará un teodolito el cual se centrará tomando como punto de referencia un punto del hongo de una fila de riel que previamente fué alineado, se

toma línea a un punto lejano con la distancia proyecto, con la visual del aparato se harán las indicaciones necesarias para mover la vía hasta dejar el paño del hongo de riel de referencia colineal a la visual, después solo se verificará la trocha.

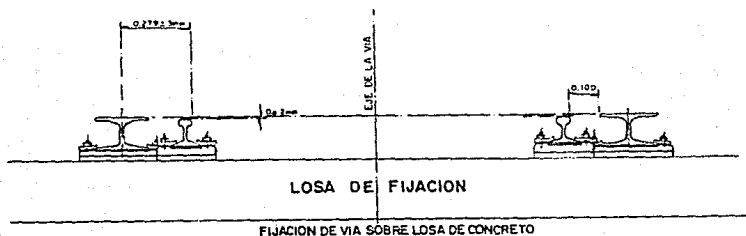
Terminando el proceso de alineamiento de la vía, se procede a colocarla al nivel que le corresponde según el proyecto usando para ello un nivel fijo y estadales, moviendo la vía verticalmente hasta lograr la lectura que de la cota que marca el proyecto. -- Con el fin de evitar errores, terminada la nivelación de la vía se verifica el alineamiento, ya que pudo moverse transversalmente debido a los movimientos propios de la nivelación.

Cuando la vía está perfectamente alineada y nivelada se vierte en las perforaciones el producto de sellamiento y al día siguiente se cuele el relleno bajo calza y tres días después de colar el relleno se retiran todos los tirantes y cuñas que sirvieron de apoyo para los trabajos de alineamiento y nivelación.

Terminado el trabajo de fijación del riel según proyecto, se inician los trabajos para la instalación de la pista de rodamiento.

Primeramente y antes de bajar los perfiles de la pista al túnel, se verificará para zona de curva el rolado o curvatura que se le dió a cada perfil por medio de un levantamiento de flechas. Satisfecha esta condición se autoriza entonces que los perfiles --- sean depositados en la losa de fijación y en la curva que correspondan, soldando los perfiles del tramo que se va a fijar, habilitado con calzas, anclas y a cada tres metros una placa metálica que se coloca en el patín inferior del perfil de la pista, la --- cual cuenta con cuatro tornillos que funcionan como un gato mecánico ya que accionando los tornillos podremos subir o bajar la -- pista.

Para implantar la pista de rodamiento, el procedimiento a seguir es utilizando tránsito y nivel de igual manera que para la fijación del riel. Este método resulta muy lento, razón por la cual se implementó un procedimiento más sencillo, más rápido pero --- igual de efectivo. Se aprovecha la condición de proyecto de la pista respecto al riel, es decir, existe una distancia del paño



exterior del riel de 10 cm según proyecto y el nivel de rodamiento de la pista queda por arriba del hongo de riel de 2 mm y siendo estas dos condiciones constantes entonces se puede simplificar el trabajo. Se cortan tramos de 10 cm. de varillas de 3/8" que se utilizarán en forma de troquel entre el riel y la pista de rodamiento, también se utiliza una regla metálica (aluminio) de forma rectangular de 0.05m x 0.10m x 2.50m, perfectamente horizontal.

El alineamiento de la pista se inicia colocando junto a las placas que permiten el movimiento vertical, el escantillón de 10 cm. de longitud en forma de troquel entre el paño exterior del hongo de riel y el patín de la pista, para evitar que la pista pueda --



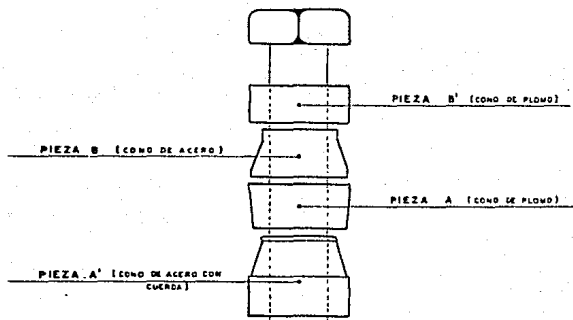
tener movimiento hacia afuera, esta se troquela con polines contra el muro del túnel.

Hecha esta actividad se procede a nivelar la pista utilizando la regla metálica, la cual se coloca transversalmente a la vía en la zona de la placa, se accionarán los tornillos niveladores de cada placa hasta lograr que el nivel de la pista sea igual a 2mm por arriba de la superficie del hongo del riel y que el plano de la superficie de la pista sea el mismo que el formado por los dos rieles en ese punto.

Después de alinear y nivelar la pista se sopletean todas las perforaciones y se procede al colado de los barrenos y posteriormente al colado del relleno bajo calza.

Finalmente se fijarán los aisladores que soportarán la barra - guía. Primeramente se realiza el marcaje de la distribución de los aisladores de acuerdo al proyecto y perforar utilizando la plantilla fija que es utilizada para tangentes y curva de radio mayor a 500 m, para curvas de radio menor se utiliza una plantilla ajustable, la cual previamente se ajustará a una distancia -- tal que garantice que la barra guía esté a la distancia proyecto con respecto al paño interior del hongo de riel.(Figura No. 4).

Conforme se va perforando se van colocando los conos de la sujeción del aislador, cuya función es la de impedir la extracción -- del tornillo de fijación probado a esfuerzos laterales. Para montar el aislador se utiliza un ascantillón que permite dar la separación y el nivel del aislador, se cuela entonces el relleno bajo el zoclo que recibirá al aislador. Con los perfiles de la barra - guía ya soldados se monta ésta a los aisladores manteniendo la - distancia que nos marca el proyecto con sus tolerancias especificadas. Con esta actividad se termina el proceso del posicionamien



**MONTAJE**

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
FILIBERTO LOPEZ RODRIGUEZ	FIGURA
CONOS DE SUJECION DEL AISLADOR	26

to de la vía para fijación de ésta sobre concreto, ( Figura No.-  
26 ).

## VII.- CONCLUSIONES.

La búsqueda de alternativas que suplan a la tradicional implantación de vía sobre durmientes y balasto se inició con el fin de - minimizar costos. Entre otras cosas se planteó la construcción - de vías fijadas directamente sobre el concreto. Para ser ejecutada ésta es condición básica asegurar que la estructura contenida no presente movimientos diferenciales a lo largo de la línea, por lo que solo es rentable en zonas de baja compresibilidad del terreno.

Esta tecnología se aplicó con buenos resultados en la Línea - 7 cuya construcción se efectuó con el sistema de túnel profundo.

La prueba de procedimiento de la vía sobre concreto se efectuó - en el tramo Tezozomoc - El Rosario de la Línea 6 en ese entonces en construcción donde los requisitos de compresibilidad eran razonablemente suficientes. En virtud de los altos costos del concreto premezclado acondicionado para el bombeo, el precio de ---

instalación de la vía sobre concreto resulta mayor que el de vía sobre balasto, pero se reducen notablemente las labores de mantenimiento.

Mayor comodidad para el usuario, menor desgaste del material rodante - eliminados los cambios bruscos en el perfil, mejor limpieza de los túneles y un mantenimiento mínimo, ya que no es necesaria la renivelación periódica, son las principales ventajas del nuevo sistema.

Actualmente se trabaja en la identificación de líneas donde no existen movimientos diferenciales, o éstos sean mínimos, para adaptar en ellas este sistema, al mismo tiempo que se mejoran los métodos de suministro y se optimiza el rendimiento de los concretos utilizados.

La implantación de vía sobre concreto es uno de los mayores avances tecnológicos alcanzado en la historia del Sistema de Transporte Colectivo de la Ciudad de México, porque garantiza una vida útil más larga y un mejor servicio a los usuarios.

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

- 1.- ESPECIFICACIONES, REGLAMENTOS Y BOLETINES DE LAS SIGUIENTES ENTIDADES INTERNACIONALES.
  - A). BTM.- BUREAU DE TRANSPORT METROPOLITAN.
  - B). RATP.- REGIE AUTONOME DES TRANSPORTS PARISIENS
  - C). SNCF.- SOCIETE NATIONALE DES CHEMINS DE FER FRANCAIS
  - D). SOFRETU.- SOCIETE FRANCAISE D'ETUDES ET DE REALISATIONS DE TRANSPORTS URBAINS
  
- 2.- TRATADO DE FERROCARRILES TOMO I, VIA.  
POR ANDRES LOPEZ PITA Y  
FERNANDO OLIVEROS RIVES  
COPY RIGHT 1977
  
- 3.- TABLA DE CLOTHOIDE  
POR PIERRE KLAUS, UNION DE PROFESSIONALS DE LA ROUTE, ZURICH, SUISSE, 1977.
  
- 4.- PUBLICACIONES DEL METRO DE MEXICO, EDITADAS POR LA COMISION DE VIALIDAD Y TRANSPORTE URBANO (COVITUR).
  
- 5.- ESTUDIOS, ESPECIFICACIONES Y PROYECTOS DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE VIA Y PROYECTO GEOMETRICO DE LA CIA. DE ---  
" INGENIERIA DE SISTEMAS DE TRANSPORTE METROPOLITANO, SOCIEDAD ANONIMA " (ISTME, S.A. ).