

17  
2ej.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
" A R A G O N "

" PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA LA  
IMPLANTACION DE VIA SOBRE LOSA DE  
CONCRETO EN EL S.T.C. 'METRO'  
(LINEA 7) "

## T E S I S

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

SALOMON HERNANDEZ GALICIA  
RAUL ADRIAN MARTINEZ HERNANDEZ

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## I N D I C E

|   |    |
|---|----|
| PROLOGO   | 1  |
| <b><u>CAPITULO I. ANTECEDENTES.</u></b>   |    |
| I.1. PROBLEMAS DEL TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MEXICO                            | 3  |
| I.2. TIPOS DE IMPLANTACION DE VIA UTILIZADOS EN EL METRO                        | 13 |
| I.3. SUJECION DE LA VIA   | 19 |
| I.4. LA PLANEACION Y CONSTRUCCION DE LA LINEA 7                                 | 21 |
| <b><u>CAPITULO II. INTRODUCCION AL PROYECTO GENERAL.</u></b>                    |    |
| II.1. PROYECTO GEOMETRICO   | 29 |
| II.2. IMPLANTACION DE VIA   | 57 |
| II.3. PROYECTO DE FIJACION DE VIA   | 69 |
| <b><u>CAPITULO III. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA LA LOSA DE FIJACION</u></b> |    |
| III.1. TRABAJOS PRELIMINARES  | 75 |
| III.2. PREPARATIVOS PARA EL COLADO DE LA LOSA                                   | 77 |
| III.3. ALINEACION Y NIVELACION DE LA CIMBRA METALICA                            | 79 |
| III.4. TROQUELAMIENTO DE LA CIMBRA  | 84 |
| III.5. UBICACION DE PREPARACIONES PARA INSTALACIONES ELECTROMECHANICAS          | 85 |
| III.6. SUMINISTRO Y COLOCACION DEL CONCRETO                                     | 86 |
| III.7. REPOSICION DEL TRAZO DE EJE DE VIAS SOBRE LA LOSA DE FIJACION            | 91 |
| III.8. VERIFICACION DE LOS NIVELES DE LOSA                                      | 91 |
| III.9. ELABORACION DEL PROYECTO DE RECTIFICACION DE NIVELES DE LOSA             | 93 |

**CAPITULO IV. CONTROL TOPOGRAFICO Y FIJACION DE VIA.**

|   |            |
|---|------------|
| IV.1. PERFORACION DE RIEL Y PISTA               | 96         |
| IV.2. FIJACION DE RIEL Y PISTA                  | 104        |
| IV.3. PERFORACION PARA EL ANCLAJE DE AISLADORES | 114        |
| IV.4. FIJACION DE AISLADORES                    | 120        |
| IV.5. COLOCACION Y AJUSTE DE BARRA GUIA         | 123        |
| IV.6. MONTAJE DE APARATOS DE VIA                | 124        |
| <b>CONCLUSIONES</b>                             | <b>130</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>                             | <b>132</b> |

## P R O L O G O

El área metropolitana de la ciudad de México se encuentra en camino de convertirse en la concentración urbana más grande del mundo.

En el año de 1900 se establecieron los límites que actualmente subsisten para el Distrito Federal y la mancha urbana se extendía únicamente dentro de ellos con una población de 340,000 habitantes. Desde entonces hemos sido testigos del crecimiento cada vez más vertiginoso del área metropolitana que para el año 2000 espera alojar, incluyendo a los pobladores de las áreas conurbadas del Estado de México, entre un máximo de 40 y un mínimo de 23 millones de habitantes, según se considere la tendencia histórica o la inducida, ésta última conforme a los planes que han elaborado las autoridades correspondientes.

Es así como se han acrecentado y agudizado los problemas de vivienda, abastecimiento de agua potable, drenaje, contaminación ambiental y transporte urbano, hasta alcanzar límites preocupantes.

En lo que se refiere al transporte urbano, el diagnóstico de la situación actual refleja una preocupante desigualdad social: de los dos millones trescientos mil vehículos que circulan en el Distrito Federal, el 97% son particulares que movilizan tan sólo al 16% de los viajes-persona por día, mientras que el 3% restante son colectivos (incluyendo al "Metro") para efectuar el 84% de los viajes-persona por día. Esta desigualdad afecta sobre todo a las clases económicamente débiles, que viven en la tensión y la angustia para lograr su transportación.

Es a partir de 1977 cuando las autoridades del Departamento del Distrito Federal, a través de la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR), elaboraron el Plan Rector de Vialidad y Transporte y el Plan Maestro del Metro, con el propósito de cambiar radicalmente la situación antes señalada, impulsando al transporte colectivo y en especial al "Metro".

Cabe destacar que en la organización y el equipo interdisciplinario que se requieren para planear y construir el "Metro" de la ciudad de México, es importante la contribución de los Ingenieros Civiles, lo que dió como resultado la posibilidad para lograr, por vez primera, la implantación de la vía sobre losa de concreto en la totalidad de la línea 7.

## CAPITULO I. ANTECEDENTES

## I.1. PROBLEMAS DEL TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MEXICO.

En la actualidad, el transporte urbano se ha convertido en un problema que afecta a millones de habitantes en las grandes ciudades, principalmente por el tiempo que utilizan en transportarse. La falta de movilización adecuada produce una gran tensión en la población.

La experiencia mundial manifiesta que no existe un medio de transporte que sea capaz de resolver el problema de la transportación urbana por sí solo, sino que se requiere emplear todos los medios existentes en forma coordinada y hacer una adecuada planeación para afrontar éste problema.

Es evidente que las grandes ciudades se enfrentan a un problema de espacio físico y de acondicionamiento natural, en el que sobresale el aspecto de movilidad de los habitantes dentro de las urbes y se ha demostrado que el proceso de desarrollo urbano está estrechamente ligado a las acciones que se tomen en materia de vialidad y transporte.

Para una posible solución al transporte urbano de pasajeros debe tenerse presente el concepto de mover el mayor número de personas con el menor número de vehículos. Sin embargo esto no ha sido así, ya que contrariamente y por efecto del desarrollo de la industria automotriz, el medio individual de transporte que representa el automóvil, debido a sus innegables ventajas de autonomía, flexibilidad y confort, aumenta constantemente invadiendo y saturando las áreas urbanas.

Nuestro país no ha sido ajeno a este fenómeno y sus ciudades, principalmente la capital, han tenido que afrontar esta problemática que alcanza ya una magnitud alarmante, tal como lo demuestran las cifras estadísticas que se mencionan a continuación.

### **I.1.1. DESARROLLO DEMOGRAFICO.**

En 1829 surgió como entidad el Distrito Federal, en cuya superficie original de 200 Km<sup>2</sup>, quedó comprendida la ciudad de México.

En el año de 1900 se fijaron los límites del Distrito Federal, los cuales perduran a la fecha y dan a la entidad una superficie total de 1 479 Km<sup>2</sup>, 23 de los cuales ocupaba en aquel entonces la ciudad de México.

En los años subsecuentes, el área urbana de la ciudad alcanzó los valores que se mencionan en la tabla I.1.1 siguiente.

TABLA I.1.1

| AÑO  | DENTRO D.F.<br>(Km2) | AREAS CONURBADAS DEL<br>EDO. DE MEX. (Km2) | TOTAL ZONA<br>METROPOLITANA (Km2) |
|------|----------------------|--|-----------------------------------|
| 1930 | 86                   |  | 86                                |
| 1940 | 92                   |  | 92                                |
| 1950 | 200                  | 42   | 242                               |
| 1960 | 320                  | 70   | 390                               |
| 1970 | 432                  | 128  | 560                               |
| 1980 | 540                  | 460  | 1 000                             |

Por otra parte, los resultados definitivos del X Censo General de Población y Vivienda 1980 permiten conocer las cifras reales de ése año. En la tabla I.1.2 se registran las correspondientes a este siglo:

TABLA I.1.2

POBLACION DEL DISTRITO FEDERAL (1900-1980)

| AÑO  | NUMERO DE HABITANTES |
|------|----------------------|
| 1900 | 541 516              |
| 1910 | 720 753              |
| 1920 | 906 063              |
| 1930 | 1 229 576            |
| 1940 | 1 757 530            |
| 1950 | 3 050 442            |
| 1960 | 4 870 876            |
| 1970 | 6 874 165            |
| 1980 | 8 831 079            |

Considerando los municipios del Estado de México que se encuentran conurbados con el Distrito Federal se tenía, a 1980, una población total de 13'651,160 habitantes en el área metropolitana.

Para el año de 1986, el crecimiento estimado de la ciudad de México se había incrementado a 17'500,000 habitantes y a 1 257 Km2.

I.1.2. VEHICULOS REGISTRADOS.

El número de vehículos en el Distrito Federal ha crecido a un ritmo mayor que el de la población. La razón principal es la mejoría económica de la clase media, que se traduce en un mayor



poder adquisitivo. Aún así, a partir de 1982 se ha registrado una disminución en las ventas de vehículos automotores.

A continuación se presenta la variación en población y vehículos en el D. F. cada 10 años (tabla I.1.3).

**TABLA I.1.3 HABITANTES POR VEHICULO EN EL DISTRITO FEDERAL**

| AÑO  | POBLACION | VEHICULOS | HABITANTES/VEHICULO |
|------|-----------|-----------|---------------------|
| 1950 | 3 050 442 | 74 327    | 41.0                |
| 1960 | 4 870 876 | 248 048   | 19.6                |
| 1970 | 6 874 165 | 717 672   | 9.6                 |
| 1980 | 8 831 079 | 1 754 000 | 5.0                 |

**I.1.3. VIAJES - PERSONA POR DIA.**

Así mismo, los análisis sobre el número de viajes que se producen en el Distrito Federal, los medios de transporte y en un día hábil, señalaron en 1984 un total de 20.9 millones de pasajeros en 24 horas (fig. I.1.4).

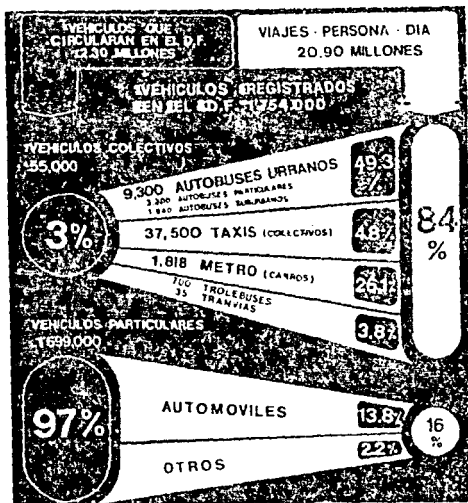


FIG. I.1.4

Los medios con que disponía la ciudad para movilizar tal cantidad de viajes eran:

- a) Los autobuses, que participaban con el 49.3% del total.
- b) Los taxis, con el 4.8%.
- c) El Metro con el 26.1%.
- d) Los trolebuses y tranvías con el 3.8%.
- e) Los automóviles con el 13.8%, y
- f) Otros vehículos (bicicletas y motocicletas) participaban con el 2.2%.

Conviene observar que de los 2.3 millones de vehículos, solamente el 3% eran de transporte colectivo y efectuaban el 84% de los viajes; en cambio el 97% del resto de los vehículos, compuestos básicamente por automóviles particulares, sólo atendían al 16% de los viajes.

Se puede decir que aquí radicaba el origen del problema de la vialidad y el tránsito, por lo que gran parte de la solución consistía en invertir dicha situación, con el fin de incrementar el número y la eficiencia de los vehículos colectivos y constituir una alternativa viable para los que se transportaban en automóviles. Ante esta situación y dentro de una planeación racional, se vio la necesidad de construir el Metro para que constituyera la columna vertebral de un sistema integral de transporte que tanto estaba haciendo falta a la ciudad, debido a su rapidez, regularidad y capacidad del servicio, y por supuesto la accesibilidad de su tarifa. Sin embargo, es bien conocido que a pesar de su alta eficiencia, el Metro no puede resolver el total de viajes que se dan en la urbe y se requiere de su integración con los otros medios.

Para tal efecto se formuló el Plan Rector, que mediante los planes de Metro, de transporte de superficie, de vialidad y de estacionamientos, está llevando a cabo las acciones que se requirieron para satisfacer gradualmente las necesidades de movilidad urbana.

Nos referiremos a continuación solamente al primero de estos planes, ya que engloba al sistema de transporte del cual forma parte este estudio.

#### I.1.4. PLAN MAESTRO DEL METRO.

A partir de 1965, se iniciaron los estudios de factibilidad técnica, económica y financiera y la primera etapa de planeación para un sistema rápido de transportación colectiva en la ciudad de México, apoyados en una investigación que a nivel internacional se llevó a cabo en relación con los sistemas de transportación colectiva existentes en ese año en otras ciudades: sus orígenes, desarrollo y experiencias acumuladas.

El primer estudio de factibilidad tomó en cuenta más de 30 alternativas de trazo, para seleccionar aquella que cubriera las necesidades más urgentes del transporte colectivo y solucionara al

mismo tiempo los problemas de congestionamiento del primer cuadro y zona central de la ciudad.

En el aspecto técnico, se analizaron los hundimientos del Valle de México, sus causas y efectos en las estructuras del Metro, su estabilidad y los principios de la cimentación compensada. Se estudiaron y seleccionaron los tipos de vía y sus procedimientos constructivos.

En los aspectos económicos y financieros, se estudió la estimación de la captación de pasajeros, costos preliminares, programas para la ejecución de la obra, de lo que resultó el primer antepresupuesto que dió como resultado las posibilidades para el financiamiento.

La factibilidad del Metro en la ciudad de México quedó demostrada, por lo que las autoridades decidieron implementar el sistema. Fue así como en 1967 dieron comienzo los estudios definitivos para las primeras líneas y el proyecto ejecutivo de la primera etapa del Metro de México.

Para llegar al trazo definitivo de las líneas, se analizaron dos soluciones: la primera en cruz, con una línea norte-sur y la otra oriente-poniente y la segunda en anillo, que cubría prácticamente todo el primer cuadro. Esta cobertura estaba planteada de modo que los pasajeros no tendrían que recorrer a pie más de 500 metros. De las dos soluciones se concluyó que el trazo que brindaba mayores ventajas, en cuanto a servicio, era en anillo, ya que cubría la zona central por tres líneas en vez de dos.

La aplicación de estos conceptos y de los principios fundamentales que rigen la concepción de una red de Metro, según los cuales la prioridad de las líneas está dada por:

- a).- La densidad demográfica de las zonas por servir
- b).- El uso del suelo
- c).- El origen y destino de obreros
- d).- El origen y destino de empleados y
- e).- Las afluencias de pasajeros provenientes de zonas suburbanas o periféricas de la ciudad hacia el centro, dieron lugar a las primeras líneas.

La construcción del Metro del Distrito Federal fue iniciada en 1967, completándose 40.81 Km. en tres líneas para 1972, quedando la primera etapa integrada en la forma siguiente:

TABLA I.1.5

| LINEA | TRAMO                 | LONGITUD (Km) |
|-------|-----------------------|---------------|
| 1     | OBSERVATORIO-ZARAGOZA | 16.551        |
| 2     | TACUBA-TASQUEÑA       | 18.687        |
| 3     | TLATELOLCO-HOSP.GRAL  | 5.581         |

La primera línea contaba con 19 estaciones, la segunda con 22 estaciones y la tercera con 7 estaciones. Así mismo, se tenían 3 estaciones de correspondencia: Pino Suárez (línea 1 con línea 2), Balderas (línea 1 con línea 3) e Hidalgo (línea 2 con línea 3).

Posteriormente, a partir de mayo de 1972 dió comienzo un detallado estudio de ampliaciones que consideró hasta 40 alternativas de posibles trazos, todas ellas regidas por las condicionantes ya señaladas para la determinación de las líneas de la primera etapa y apoyadas por las estadísticas de operación de las líneas en servicio.

Todas las alternativas así como las analizadas durante la primera etapa, fueron dando forma al esquema general de trazos necesarios y factibles de líneas de Metro en el área metropolitana, conformándose la deseable configuración de la red de transportación colectiva de la ciudad de México y dando así origen al "Plan Maestro del Metro" que permita programar una serie de acciones a corto, mediano y largo plazo a fin de mejorar gradualmente las condiciones del transporte dentro de la urbe, sin descuidar la coordinación de este plan con el General de Desarrollo Urbano de la Ciudad de México (PGDUDF).

En 1978 se actualizó el Plan Maestro del Metro que prevé la dotación a los habitantes de la ciudad al año 2000 con una red de 378 Km de longitud en la que operarían 807 trenes en 21 líneas y tendría una capacidad de transportación de 24 millones de pasajeros por día (ver fig. I.1.6 y I.1.7 anexa).

Posteriormente en 1980 se formuló la versión vigente del Plan Maestro, que contempla para fines de siglo una red de 444.09 Km que requerirá de 882 trenes y que estará en posibilidades de transportar 26.33 millones de usuarios diariamente (ver fig. I.1.8 anexa).

La segunda etapa comprendió 44.6 Km. de longitud e incluyó la ampliación de la línea 3 en sus dos extremos, de Tlatelolco a Indios Verdes al norte y de Hospital General a la estación Zapata al sur; la línea 4 de Martín Carrera a Santa Anita, la línea 5 de Instituto del Petróleo a Pantitlán y la línea 6 que vá de la estación El Rosario al Instituto del Petróleo (tabla I.1.9).

TABLA I.1.9 RESUMEN DE LA SEGUNDA ETAPA (1978-1982)

| LÍNEA | TRAMO                        | LONGITUD (Km) |
|-------|------------------------------|---------------|
| 3     | TLATELOLCO-INDIOS VERDES     | 5.467         |
| 3     | HOSP.GRAL-ZAPATA             | 5.327         |
| 4     | MARTIN CARRERA-SANTA ANITA   | 10.990        |
| 5     | INST.DEL PETROLEO-PANTITLAN  | 14.521        |
| 6     | EL ROSARIO-INST.DEL PETROLEO | 8.295         |

# PLAN MAESTRO DEL METRO CARACTERÍSTICAS

| LINEAS EN EL DISTRITO FEDERAL |           |             |          |                            |
|-------------------------------|-----------|-------------|----------|----------------------------|
| LINEA                         | RECORRIDO | ORIENTACION | LONGITUD | COSTO EN MILES DE MILLONES |
| 1                             | ...       | OTL - OTE   | 1899     | 177                        |
| 2                             | ...       | OTL - OTE   | 2842     | 400                        |
| 3                             | ...       | OTL - OTE   | 1140     | 1076                       |
| 4                             | ...       | OTL - OTE   | 2309     | 378                        |
| 5                             | ...       | OTL - OTE   | 2392     | 177                        |
| 6                             | ...       | OTL - OTE   | 1035     | 133                        |
| 7                             | ...       | OTL - OTE   | 2240     | 705                        |
| 8                             | ...       | OTL - OTE   | 390      | 146                        |
| 9                             | ...       | OTL - OTE   | 1750     | 165                        |
| 10                            | ...       | OTL - OTE   | 1730     | 1230                       |
| 11                            | ...       | OTL - OTE   | 1340     | 1052                       |
| 12                            | ...       | OTL - OTE   | 1000     | 1239                       |
| 13                            | ...       | OTL - OTE   | 1890     | 1199                       |
| 14                            | ...       | OTL - OTE   | 2280     | 1521                       |
| 15                            | ...       | OTL - OTE   | 2000     | 1304                       |
| 16                            | ...       | OTL - OTE   | 1930     | 968                        |
| 17                            | ...       | OTL - OTE   | 1130     | 727                        |
| 18                            | ...       | OTL - OTE   | 1110     | 134                        |
| 19                            | ...       | OTL - OTE   | 1680     | 1133                       |
| 20                            | ...       | OTL - OTE   | 2310     | 1059                       |
| 21                            | ...       | OTL - OTE   | 1430     | 905                        |
| SUMA                          |           |             | 345.75   | 16154                      |
| TRENES                        |           |             |          | 74.36                      |
| SUB TOTAL                     |           |             |          | 236.00                     |
| LINEAS EN EL ESTADO DE MEXICO |           |             |          |                            |
| 22                            | ...       | OTL - OTE   | 112      | 590                        |
| 23                            | ...       | OTL - OTE   | 105      | 1315                       |
| 24                            | ...       | OTL - OTE   | 105      | 624                        |
| SUMA                          |           |             | 32.20    | 1869                       |
| TRENES                        |           |             |          | 754                        |
| SUB TOTAL                     |           |             |          | 2423                       |
| * COSTOS DE 1960              |           |             | 378.13   | 260.23                     |

FIG. I.1.6



FIG. I.1.7

# ACTUALIZACION DEL PLAN MAESTRO DEL METRO



|                   |        |        |
|-------------------|--------|--------|
| LONG. DE LA RED   | 444.09 | KM     |
| Nº DE TRENES      | 882    |        |
| MOV. DE PASAJEROS |        |        |
| OFERTA. V. P. D.  | 26.33  | MILLAS |

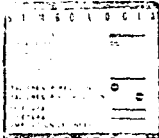


FIG. I. 1. 8

La tercera etapa comprendió 25.4 Km. de longitud y se integro con la ampliación de la línea 1, comprendida entre la estación Zaragoza y la estación Pantitlán de la línea 5 (con una extensión de 1.9 Km.), la línea 2 de estación Tacuba a Cuatro Caminos (3.3 Km.), la línea 3 de Zapata a Universidad (6.5 Km.), la prolongación de la línea 5 de Instituto del Petróleo a la estación Politécnico (1.1 Km.) y finalmente la construcción de la línea 7 con una longitud de 12.6 Km. partiendo de la estación Tacuba (línea 2) hasta la estación terminal provisional Barranca del Muerto (ver fig. I.1.10).



FIG. I.1.10



## I.2. TIPOS DE IMPLANTACION DE VIA UTILIZADOS EN EL METRO.

Nos referiremos a la Implantación de la Vía como el procedimiento que dará como resultado el medio por el cual la vía transmitirá las cargas a su estructura contenedora. Dicha Implantación la podemos agrupar en dos tipos: el sistema tradicional y la fijación directa sobre concreto.

### **I.2.1. SISTEMA TRADICIONAL.**

Esta vía está comprendida por los siguientes componentes principales:

a) Balasto. Es una piedra triturada y de tamaño adecuado que sirve para transmitir a la estructura del túnel las cargas concentradas que recibe de los durmientes, ofreciendo determinada resistencia a los desplazamientos de la vía. También asegura el drenaje y la evacuación de las aguas filtradas, constituye un amortiguador de vibraciones y permite una rectificación rápida de la nivelación y el trazo de la vía.

Dadas las cargas que debe soportar la vía, se ha determinado un espesor de 0.25 m. para que cumpla adecuadamente su función.

b) Durmientes. Su función consiste en sujetar a los perfiles metálicos (riel, pista y barra guía), manteniendo una separación fija entre ellos y debiendo ser de naturaleza aislante. Existen dos tipos principales: el que sujeta al riel y a la pista por medio de tirafondos (ordinario) y el que sujeta además a la barra guía (soporte) por medio de un herraje metálico. Los durmientes pueden ser de madera dura o de concreto con placas de hule, para recibir los rieles y pistas, y proporcionar con ellas el aislamiento requerido.

En vía recta o en curvas de radio mayores o iguales a 500 m. se utiliza una separación de 0.75 m. entre ejes de durmientes y una proporción de 3 durmientes ordinarios por 1 durmiente soporte. En cambio, sobre vía en curvas de radio menor de 500 m. se usa una separación de 0.60 m. entre ejes de durmientes y una proporción de 2 durmientes ordinarios por 1 durmiente soporte.

c) Rieles. Su función consiste en asegurar el retorno de la corriente usada para la tracción del material rodante, la de detectar su presencia para la señalización, la de guiarlo en los casos de interrupción de la barra guía (aparatos de vía) o cuando se tienen pérdidas de presión en los neumáticos guía. Se utilizan también para soportar los trenes de mantenimiento o al material rodante en caso de pérdida de presión en un neumático portador.

Se utilizan rieles de 80 lb/yd ASCE (39.73 Kg/m); excepcionalmente, en los aparatos de vía se emplean rieles de 100 lb/yd RE (50.35 Kg/m).

La continuidad de los rieles se obtiene al unir tramos de 18 m. por medio de soldaduras con procedimiento aluminotérmico.

- d) Pistas. Las pistas reciben directamente las cargas que produce el material rodante y se colocan en la parte exterior de los rieles. Al igual que estos, son usados como conductores en los circuitos de señalización y tracción.
- e) Angulos barra guía. Su función es la de guiar y proporcionar la energía eléctrica para el funcionamiento del tren (750 VCD). El material usado en el angulo barra guía es un acero de bajo contenido de Carbono y Silicio, que lo hacen buen conductor eléctrico.

Al igual que los rieles y pistas, obtiene su continuidad al unir tramos de 18 m. por medio de soldaduras aluminotérmicas.

- f) Aisladores. El ángulo barra guía es soportado por aisladores eléctricos y deben tener buenas características eléctricas y mecánicas. Estas son comprobadas en laboratorio antes de su recepción, obteniéndose mínimo una resistencia mecánica de 6 toneladas en los sentidos transversal, longitudinal y vertical, manteniendo el aislamiento al someterlo a 10 000 VCD.

A la barra guía se le colocan tres pernos autosoldables, que son los que sujetan la barra con el aislador. El aislador posee tres barrenos redondos en la parte superior, conociéndose como aislador tipo subterráneo. Los aisladores se sujetan a los durmientes soporte por medio de un herraje metálico conocido como zocolo.

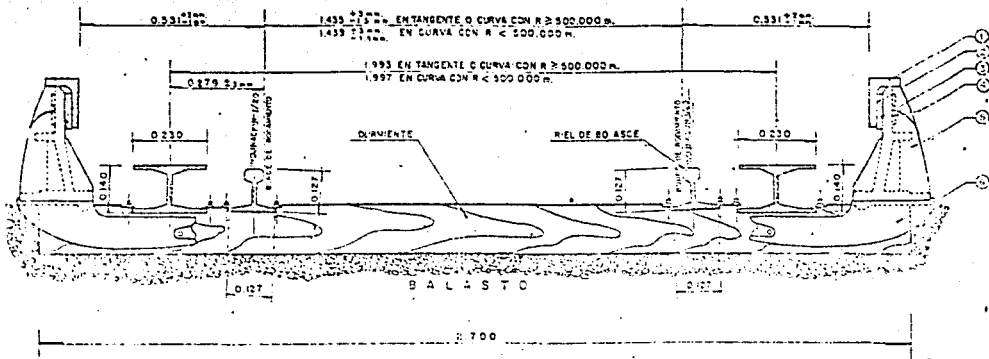
En vía recta o en curvas de radio mayor o igual a 500 m. los aisladores se colocan a cada 3 m. y a 1.80 m. para las vías con curvas de radio menor a 500 m.

- g) Aparatos de vía. Estos equipos de vía permiten el traslado del material rodante de una vía a otra. Existen de dos tipos: tg. 0.13 que se utilizan en vías principales (estaciones terminales y estaciones previstas para efectuar servicios provisionales) y tg. 0.20 que son más compactas, por lo que se utilizan en las zonas de maniobras de talleres o naves de depósito. Los aparatos de vía poseen una vía recta y una vía desviada. Dependiendo de la colocación de esta última, se nombran a "derecha" o a "izquierda".

Una de las características con que se distinguen las vías es la de la distancia entre los ejes de las dos vías y que se conoce como entrevía. En el cajón se utiliza normalmente una entrevía de 2.90 m. y se usan dos andadores (en las partes exteriores del túnel) de 0.60 m. mínimo cada uno.

En los anexos siguientes se puede observar este tipo de sistema (fig. I.2.1 y I.2.2).

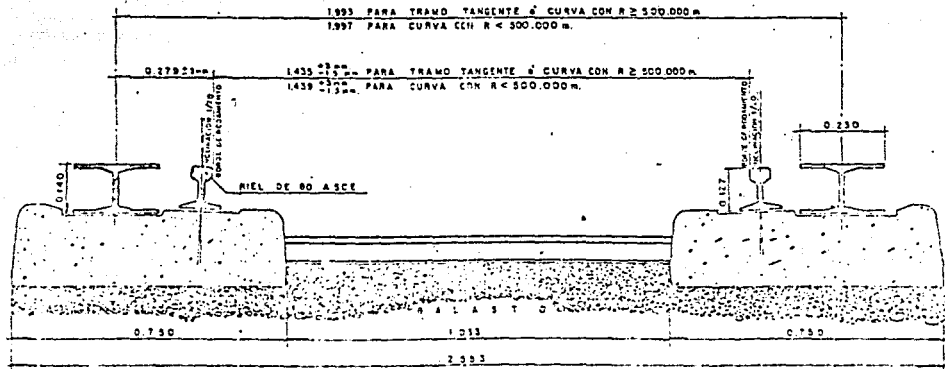
- ① BARRA GUIA
- ② CALZA PERMANENTE DE 3 PERFORACIONES
- ③ MEDIAS CALZAS DE AJUSTE
- ④ SOLDANA L I B N
- ⑤ AISLADOR
- ⑥ ZOCLO CON BRIDAS LATERALES



COLOCACION DE LA VIA SOBRE BALASTO CON DURMIENTE DE MADERA  
 SIN ESCALA  
 (ACOTACIONES EN METROS)

FIG. I.2.1  
 15

FIG. 1.2.2  
16



COLOCACION DE LA VIA SOBRE BALASTO CON DURMIENTE DE CONCRETO  
 SIN ESCALA  
 (ACOTACIONES EN METROS)

### 1.2.2. FIJACION DIRECTA SOBRE CONCRETO.

Prácticamente rígida como la anterior, la única diferencia reside en el tipo de fijación de los elementos mecánicos de la vía, que en vez de ser sobre balasto y durmientes ya sean de concreto o madera, es sobre un firme de concreto que hace las funciones del balasto y calzas de fijación de los elementos sobre dicho firme que substituyen a los durmientes.

Dicho concreto no debe tener una resistencia menor a los 300 Kg/cm<sup>2</sup> y se cuela directamente en sitio mediante bombas y tuberías que permiten llevarlo hasta el lugar del colado.

Para la correcta nivelación del firme, se emplean cimbras metálicas con dispositivos niveladores que permiten que la superficie no tenga variaciones de más de 1mm en cada 5 metros de longitud, haciendo el acabado final y forjado de andadores laterales con reglas vibratorias y allanadoras metálicas.

La fijación de los elementos sobre el firme de concreto se lleva a cabo con plantillas milimétricas, que permiten lograr una exactitud en las perforaciones que no exceden de  $\pm 5$  mm en sentido transversal,  $\pm 5$  mm en sentido longitudinal y  $\pm 5$  mm de profundidad tanto para riel como para pista. En el caso de los aisladores las perforaciones no deben exceder de  $\pm 3$  mm en sentido transversal con respecto al eje de vía y  $\pm 5$  mm en la profundidad.

Son introducidas varillas roscadas en las perforaciones, que sirven de liga entre el concreto y la calza, que consta de los siguientes elementos:

Almohadilla de caucho, que sirve de asiento al patin del riel sobre la calza, grapas metálicas recubiertas de caucho que se utilizan para sujetar el patin del riel a la calza, roldanas metálicas planas y elásticas así como tuercas autofrenadas que permiten un ajuste de 55 Nt-m (5.6 kg-m), máximo tolerable para evitar el deterioro o ruptura de los demás elementos antes expuestos.

En el caso de la pista, el único cambio que existe es la dimensión de la calza y la almohadilla, que debido a la diferencia de longitud transversal del patin con respecto a la del riel, obliga a que sus dimensiones sean mayores.

En las perforaciones para la fijación del aislador el sistema es otro, ya que debe permitirse el cambio de alguno de ellos sin afectar la fijación definitiva de la barra guía. Por lo tanto, se introducen en las perforaciones anclajes con cone de plomo en los cuales se introduce un tornillo provisional que será retirado una vez que los productos de sellamiento y relleno alcancen una resistencia suficiente para removerlos y cambiarlos por tornillos cinch definitivos.

El producto de sellamiento de las varillas y tornillos para los 3 elementos metálicos es un mortero expansivo que se introduce en el espacio que queda entre la varilla y las paredes de la perforación y que debe cumplir, una vez fraguado, con

una resistencia al arrancamiento de 7 toneladas mínimo y un desplazamiento máximo de 2 mm.

Para el relleno bajo calzaz se utiliza un mortero autonivelante, cuya característica principal es el poder de adherencia con el firme de concreto que debe resistir 12 Kg/cm<sup>2</sup> como mínimo.

Este tipo de instalación se probó por vez primera en la interstación El Rosario - Tezozomoc, en un tramo de 1 082 m. lineales de vía, para detectar las ventajas sobre otros sistemas. Entre las más importantes están las de evitar el mantenimiento de vía, referente a las renivelaciones, alineaciones y limpieza, cuyo costo es sumamente elevado ya que este tipo de actividades requieren desarrollarse en libranzas nocturnas.

Todo el resto del sistema es igual y con las mismas características que el anterior (fig. I.2.3).

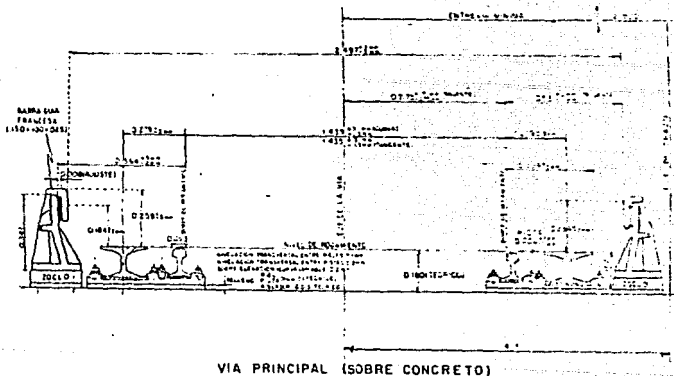


FIG. I.2.3

### I.3. SUJECCION DE LA VIA.

La vía del Metro está formada fundamentalmente por tres elementos metálicos, como son el riel, la pista y la barra guía, los cuales sirven para guiar y mantener una base lo suficientemente rígida para permitir un desplazamiento uniforme y confortable del material rodante. Además, dichos elementos son utilizados como conductores para la transmisión de la energía eléctrica que requiere el equipo para su funcionamiento.

Por medio de accesorios aislantes adecuados se obtienen en estos perfiles interrupciones eléctricas que permiten el establecimiento de circuitos para la señalización y tracción, manteniendo la continuidad mecánica requerida.

La sujeción del riel, la pista y barra guía la podemos clasificar en tres grandes grupos: instalación subterránea, instalación superficial e instalación elevada.

La instalación subterránea es prácticamente rígida, mientras que en la instalación superficial y elevada debemos considerar el efecto de la temperatura en los perfiles metálicos, es decir, el riel, la pista y la barra guía se dilatan o se contraen, lo que provoca desplazamientos relativos con respecto a la estructura, mismos que se absorben por medio de los aparatos de dilatación o por juntas mecánicas (en el caso del riel y la pista).

#### **I.3.1. INSTALACION SUBTERRANEA.**

Dentro de este primer grupo se engloban los dos sistemas a los que ya se hizo referencia anteriormente en el punto I.2, a saber: el sistema tradicional y el de fijación directa sobre concreto.

#### **I.3.2. INSTALACION SUPERFICIAL.**

Este tipo de vía, al estar sometida a la radiación de los rayos solares se encuentra expuesta a los efectos de dilatación y contracción longitudinal.

Utiliza los mismos componentes que la vía subterránea, excepto que la continuidad de los elementos metálicos (riel, pista y barra guía) se ve interrumpida por la introducción de los siguientes dispositivos:

- a) Aparatos de Dilatación. Se instalan a cada 126 m. en vía recta o en vías curvas de radio mayor a 500 m. y a cada 72 m. en vía curva cuyo radio esté comprendido entre los 500 y 300 m.
- b) Juntas Mecánicas. Se utilizan para riel y pista únicamente. La colocación normal se hace en recta o curva de cualquier radio, instalándose a cada 36 m. y combinándose con la instalación de aparatos de dilatación a cada 108 m., en barra guía únicamente.

En este tipo de instalación los rieles o pistas en su movimiento longitudinal, arrastran los durmientes y el balasto entre ellos.

En la barra guía los desplazamientos por este efecto están menos restringidos, por lo que se producen movimientos relativos entre la barra guía y los rieles y por lo tanto con los aisladores (fig. I.3.1).



FIG. I.3.1

Para no provocar esfuerzos adicionales indeseables en los aisladores, los tres barrenos superiores para la sujección de la barra guía son ovalizados, permitiendo un desplazamiento relativo entre el aislador y los pernos autosoldables del orden de 50 mm. A este tipo de aislador se le conoce como tipo superficial. La entrevia usada oscila entre 3.15 y 5 m.

### I.3.3. INSTALACION ELEVADA.

La instalación de este tipo de vía, difiere de la superficial, únicamente en los distanciamientos de la colocación de los aparatos de dilatación y en la entrevia que se usa.

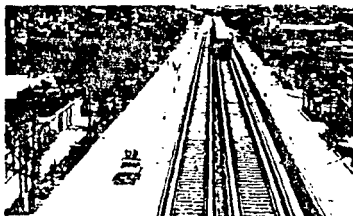


FIG. I.3.2



En el rango de 0 a 64 °C de temperatura previsto para los perfiles, se llegan a producir esfuerzos en los propios aparatos de dilatación y en los perfiles. Estos se reducen al disminuir el distanciamiento entre aparatos.

Para evitar fuerzas indeseables en la estructura elevada, se instalan los aparatos de dilatación a cada 126 m. en vía recta o en vías curvas de radio mayor de 1 000 m. y a cada 72 m. en vía curva cuyo radio esté comprendido entre 1 000 m. y 300 m.

La entrevista que normalmente se usa en este tipo de instalación es de 3.15 m., contando con dos andadores laterales.

#### I.4. LA PLANEACION Y CONSTRUCCION DE LA LINEA 7.

##### I.4.1. OBJETIVOS DE LA CONSTRUCCION DE LA LINEA.

La construcción de la línea 7 del Metro corresponde a la tercera etapa de ampliación de la Red del Sistema de Transporte Colectivo "Metro", teniendo por objeto agilizar el traslado de la población de las zonas densamente pobladas del sur-poniente hacia la zona nor-poniente de la ciudad de México, en donde se encuentra una zona fabril de gran importancia así como la conexión de las líneas foráneas que van al Edo. de México, ya que se observan dentro de los movimientos origen y destino de la población una fuerte afluencia en las zonas antes descritas, así como dos correspondencias que servirán de desahogo a las líneas 1 y 2 del Metro actual.

La línea 7 del Metro en su planeación observa los siguientes puntos de congruencia con el Plan General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal (PGDUDF) :

- 1) El planteamiento del trazo de la línea es congruente con la estrategia para organizar el uso del suelo y asegurar su intensidad de aprovechamiento, en base a la combinación del Sistema de Transporte Colectivo y la consolidación de corredores urbanos.

La línea coincide en gran parte de su recorrido con el nexo de comunicación existente entre Azcapotzalco, Tacuba, Tacubaya y San Angel, actuales centros urbanos de la zona metropolitana.

- 2) El PGDUDF a nivel estratégico plantea que los centros urbanos, por albergar actividades administrativas, cívicas, culturales y recreativas de importancia, deben de ser accesibles por los medios de transporte masivo, ya que inducen al arribo de demandantes de dichos servicios.

La línea 7 del Metro liga de manera directa 4 de los 9 centros urbanos planteados por el PGDUDF complementándolos entre sí. En su recorrido ,tramo Tacuba-Barranca del Muerto, la línea corre en forma lineal por donde se alojan las mas altas densidades de población y las mayores concentraciones de servicios. Dicho corredor urbano se establece sobre un eje de alta ocupación

que articula los centros urbanos citados y complementa su estructura.

También constituye un eje norte-sur al poniente de la red, que permite establecer dos transbordos muy importantes con la red actual: la estación Tacuba, donde se conecta la línea 2 y la estación Tacubaya, donde se hace la liga con la línea 1.

Estos dos transbordos son fundamentales, ya que en el caso de la estación Tacuba podemos mencionar que aumentarán las opciones al tráfico de pasajeros que tienen como destino la zona sur-poniente de la ciudad, evitando que éstos utilicen la línea 2 del sistema, que es la línea que tiene el mayor índice de pasajeros por kilómetro.

La línea 1 también se encuentra sometida a una sobrecarga importante que se presenta en el tramo comprendido entre las estaciones Pino Suárez y Pantitlán; sin embargo, su rama poniente dispone de capacidad de transporte, lo cual permite al tráfico de pasajeros proveniente del sur de la ciudad y que tiene como destino la zona centro, captarlo por la rama sur de la línea 7, al hacerse la correspondencia entre éstas dos líneas en la estación Tacubaya, con lo que se logra servir integralmente al centro metropolitano.

#### I.4.2. DESCRIPCIÓN DEL RECORRIDO.

El trazo de la línea (Norte a Sur) se formaría de la siguiente manera: el punto de inicio sería la estación Tacuba, donde haría correspondencia con línea 2 (construida en la primera etapa), seguiría hacia el sur por la calle Golfo de México, atravesaría Marina Nacional y por Lago Hielmar (haciendo la transición de subterráneo profundo <Tacuba> a túnel) continuaría su recorrido pasando por estación San Joaquín, distante 1 583 m. de la estación Tacuba. Cruzaría el puente de Río San Joaquín siguiendo por la calle de Arquímedes y en la confluencia con Avenida Horacio se localizaría la siguiente estación llamada Polanco (interestación de 1 313 m.)

Se proseguiría por la misma calle hasta atravesar Avenida Reforma, llegando a las inmediaciones de Auditorio Nacional (900 m. de interestación) que da servicio a este importante centro cultural y al bosque de Chapultepec; por Parque Lira y siempre en túnel, se continuaría hasta llegar a la estación Constituyentes, situada cerca de la avenida del mismo nombre (1 580 m. de interestación con respecto a estación Auditorio).

La estación Tacubaya que es la próxima inmediata, distaría 1 155 m. En este lugar existe ya la correspondiente estación de línea 1 en la cual se hace transbordo y en la que se construirá, en próxima etapa, la estación que formara la triple correspondencia con las otras dos estaciones del mismo nombre.

De Tacubaya a San Pedro de los Pinos cruzaría el Viaducto Piedad, mediando 1 234 m. Esta estación se encontraría ya dentro del gálibo de Avenida Revolución. La línea proseguiría hasta la estación de paso llamada San Antonio, situada en las proximidades de la diagonal del mismo nombre.

La próxima estación se localizaría 937 m. adelante y se aprovecharía para su emplazamiento los que fueron terrenos del "Colegio Madrid". En este lugar se hará correspondencia con la futura línea 12. De dicha estación Mixcoac a la última que se construiría en esta etapa mediarían 1 626 m. Esta estación recibiría el nombre de Barranca del Muerto, que se localizaría a la altura de la avenida del mismo nombre.

A 935 m. se encontraría el muro tapón, donde podrá iniciarse la futura ampliación de la línea (fig. I.4.1).

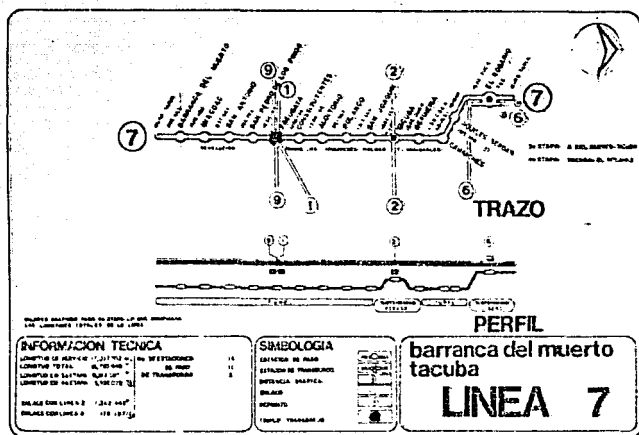


FIG. I.4.1

La longitud total desarrollada por la línea dentro de la tercera etapa sería de 13.1 Km. (con espuela de comunicación) y la longitud de servicio sería de 11.2 Km. (tabla I.4.2 siguiente).

|   | LONGIT.  |                   |
|---|----------|-------------------|
| a) Zona de áreas verdes<br>de Auditorio a Constituyentes  | 1.6 Km.  | 1.6 Km.           |
| b) Zona de densidad alta<br>(300 a 450 habitantes por hectárea)<br>de Tacuba a San Joaquín                  | 1.6 Km.  |                   |
| de San Joaquín a Polanco  | 1.3 Km.  |                   |
| de Constituyentes a Tacubaya  | 1.2 Km.  |                   |
| de Tacubaya a San Pedro de los Pinos  | 1.3 Km.  | 5.4 Km.           |
| c) Zona de densidad media<br>(200 a 300 habitantes por hectárea)<br>de Sn. Pedro de los Pinos a Sn. Antonio | 0.7 Kms. |                   |
| de Sn. Antonio a Mixcoac  | 0.9 Kms. |                   |
| de Mixcoac a Barranca del Muerto  | 1.6 Kms. |                   |
| de Polanco a Auditorio  | 1.0 Kms. | 4.2 Km.           |
|   |          | -----<br>11.2 Km. |

TABLA I.4.2

Debe aclararse que ambas terminales, Barranca del Muerto y Tacuba, son provisionales ya que se contemplan en etapas posteriores ampliaciones tanto hacia el norte (partiendo de Tacuba) conectando con la línea 6 al depósito de trenes dentro del complejo de Talleres El Rosario, como hacia el sur rumbo al estadio Olímpico de Ciudad Universitaria.

#### I.4.3. ALIMENTACION CON TRAFICO DE SUPERFICIE.

Es importante mencionar que el trazo de la línea 7 al poniente de la ciudad en un eje norte-sur, establece una captación de tráfico colectivo de superficie procedente de la zona poniente de la misma, es decir, la zona de barrancas y lomerías, la cual debido a sus características topográficas funciona como una sucesión de espigas de tráfico paralelas al Anillo Periférico y a la Avenida Revolución, captándose actualmente en los tramos sur de las líneas 1 y 2, hoy en día sujetas a sobrecargas considerables. El trazo de la línea permite interceptar éstas alimentaciones desde la zona de Tacuba hasta Barranca del Muerto.

De manera paralela al trazo de la línea corren, como ya se mencionó, tres importantes arterias viales de la ciudad, como son el Anillo Periférico (de manera parcial), la Avenida Revolución y la Avenida Patriotismo. Es de esperarse que la línea 7 alivie la presión del tráfico de superficie a que se encuentran sometidas éstas avenidas, al aumentarse por la construcción del Metro la capacidad de transporte del corredor.

#### I.4.4. TIPO DE IMPLANTACION DE VIA.

Por las características del tipo de terreno donde se aloja el túnel, se optó por la instalación de la vía directamente sobre losa de concreto a lo largo de toda la línea 7.

#### I.4.5. TIPO DE ESTRUCTURA.

Esta línea se construyó con 2 tipos de estructura: la estación Tacuba (de tipo profundo) y un tramo de vía de enlace de línea 7 con línea 2, se efectuó por medio de excavaciones a cielo abierto entre tablestacas estructurales.

Desde la cola Tacuba hasta la cola Barranca del Muerto, incluyendo las demás estaciones, se realizó en túnel profundo tipo minero.

#### I.4.6. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

El gobierno de la ciudad de México, a través de COVITUR, decidió la solución subterránea en túnel. Lo anterior motivado por las condiciones del subsuelo de ser poco deformable, además de considerar aquellas zonas de la ciudad que por la importancia de sus construcciones, la densidad de población y las vialidades conflictivas, obligan a realizar la obra causando las menores molestias.

Las obras civiles se llevaron a cabo mediante la utilización de tres procedimientos de construcción, que por no ser parte del motivo de este estudio, sólo se mencionarán:

- Método austriaco (concreto lanzado)
- Escudo de frente abierto
- Uso de explosivos.

#### I.4.7. ESTACIONES.

Cuenta con 10 estaciones (Tacuba, San Joaquín, Polanco, Auditorio, Constituyentes, Tacubaya, San Pedro de los Pinos, San Antonio, Mixcoac y Barranca del Muerto) que se encuentran integradas por túneles de andén, túneles de conexión, de distribución de pasaje y de locales técnicos y subestaciones, siendo los de mayor sección los de andén.

#### I.4.8. OBRAS COLATERALES.

Durante la construcción de la línea se efectuaron pocas obras colaterales, debido a que sólo en las lumbreras se afectan las instalaciones municipales, pero después de terminada la construcción la puesta en servicio de la línea genera automáticamente la necesidad de integración con los transportes de superficie por lo cual se requieren paraderos, terminales, estacionamientos y vialidades adecuadas.

#### I.4.9. ETAPAS DE CONSTRUCCION.

La línea 7 del Metro se construyó en dos etapas:

El primer tramo, de Cola Tacuba a Cola Auditorio, contaba con 4 estaciones: una de transbordo (Tacuba), dos de paso (San Joaquín y Polanco) y una como terminal provisional (Auditorio).

El costo de la obra fué del orden de 19 500 millones de pesos que incluyeron la adquisición de terrenos, obras civiles, instalaciones electromecánicas, urbanización, paraderos para autobuses, estacionamiento para automóviles en San Joaquín y Auditorio y el Puesto Central de Control (PCC) II.

Entre los principales materiales empleados en este tramo se pueden mencionar los 30 000 m<sup>3</sup> de concreto lanzado, 143 000 m<sup>3</sup> de concreto hidráulico y 11 000 toneladas de varilla. El volumen de la excavación fué del orden de 660 000 m<sup>3</sup>.

Así mismo y con el objeto del traslado de los trenes a los talleres de mantenimiento, fué necesario construir una vía de enlace (Espuela de Comunicación) entre la línea 2 y la línea 7 con una longitud de 1.2 Km. aproximadamente.

La segunda etapa comprendió la apertura del tramo Tacubaya - Barranca del Muerto.

El nuevo tramo, que tiene una longitud de 5.4 Km. y que cuenta con 4 estaciones - San Pedro de los Pinos, San Antonio y Mixcoac, de paso, y Barranca del Muerto, terminal provisional - tuvo un costo del orden de 40 100 millones de pesos.

Al igual que los demás tramos de la línea, el de Tacubaya - Barranca del Muerto fué construido en túnel profundo, a 30 m. aproximadamente abajo del nivel de la Avenida Revolución.

En la construcción de los túneles se excavaron 453 000 m<sup>3</sup> y se utilizaron 24 000 m<sup>3</sup> de concreto lanzado, 100 000 m<sup>3</sup> de concreto hidráulico y 4 500 toneladas de acero.

Para los accesos se excavaron 91 000 m<sup>3</sup> y se emplearon 22 900 m<sup>3</sup> de concreto hidráulico.

#### I.4.10. PROGRAMA Y PUESTA EN SERVICIO.

La construcción de la línea 7 se inició en el mes de Febrero de 1981 y se terminó en Septiembre de 1985.

El inicio del servicio fué en las etapas siguientes:

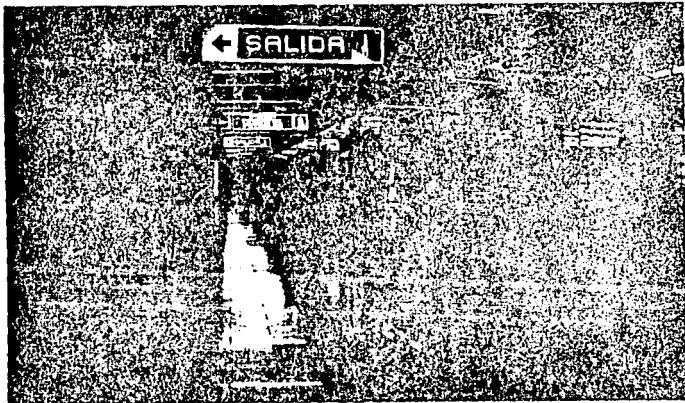
Tramo Cola Tacuba a Cola Auditorio en Diciembre de 1984.

Tramo Cola Auditorio a Cola Tacubaya en Agosto de 1985.

Tramo Cola Tacubaya a Cola Barranca del Muerto en Diciembre de 1985.

Al ejecutarse las obras en ése año, se estimó que ésta línea dió empleo directo a 8 000 mexicanos que se emplearon en la construcción y generó trabajo en forma indirecta a otros 6 000 que se ocuparon de proveedurías y servicios.

La línea 7 del Metro se construyó con tecnología y mano de obra 100 % mexicana, siendo la primera que en toda su longitud se construye en túnel profundo y sobre losa de concreto para la instalación de la vía.



**CAPITULO IX. INTRODUCCION AL PROYECTO GENERAL**



## II.1. PROYECTO GEOMETRICO.

El Proyecto Geométrico es el dimensionamiento de los espacios longitudinales y transversales para la libre circulación de los trenes en una línea y está constituido esencialmente por cuatro proyectos, a saber:

II.1.1. PROYECTO DE TRAZO.

II.1.2. PROYECTO DE PERFIL.

II.1.3. PROYECTO DE GALIBOS.

II.1.4. PROYECTO DE VENTILACION.

Estos proyectos deben estar relacionados entre si para poder llegar a una solución en conjunto y dependerán del tipo de solución estructural a utilizarse en cada tramo que conforma a ésta línea.

### II.1.1. PROYECTO DE TRAZO.

#### ASPECTOS GENERALES.

Existieron diversos factores importantes para realizar el planteamiento preliminar de la línea, que se determinaron mediante una serie de estudios previos, como se mencionó anteriormente, los que se refieren a la densidad de población, el flujo de pasajeros en los autobuses urbanos, suburbanos, taxis y otros, lo que implicaría la importancia de la línea en toda su trayectoria.

Estos estudios previos que se efectuaron originaron que se tuvieran diferentes alternativas de trazo, lo que implicaba combinaciones para su ubicación y el número de estaciones. En seguida se analizaron para cada una de dichas alternativas, su factibilidad técnica para el trazo y perfil.

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

#### II.1.1.1. PLANTEAMIENTO PRELIMINAR DE TRAZO.

De una manera general, en el proyecto preliminar de la línea se concretizan todas las alternativas presentadas durante la etapa de la planeación y estudios de factibilidad técnica.

En esta etapa es donde se hace necesario definir un eje único de trazo con una poligonal gráfica, realizando el trabajo sobre planimetrías a escala 1:5 000 o sobre mosaicos fotográficos escala 1:2 500, en los cuales se trazarán líneas tangentes siguiendo exclusivamente el criterio de colocarlas al centro de las avenidas o a cierta distancia de los paramentos, especificados por los estudios de Mecánica de Suelos o por la existencia de instalaciones municipales en las avenidas.

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

Una vez hecho esto, se distribuyen las estaciones a lo largo de la línea, buscando los sitios más convenientes y asignándoles un nombre provisional. Como punto de partida se toma en cuenta las experiencias de otros sistemas en funcionamiento, concluyéndose que:

- No existe un reglamento rígido en cuanto a la distancia entre estaciones.
- Las estaciones deben ubicarse de acuerdo a las necesidades de la población de cada una de las zonas, conjugando los aspectos servicio, velocidad y costo.

Las consideraciones de proyecto que se toman en cuenta para la elaboración del anteproyecto de la línea, son:

- a) La unión entre dos tangentes consecutivas se realiza por medio de una curva circular compuesta, que está constituida por una curva circular simple y dos curvas de transición denominadas "clotoides", con radios mínimos de 150 m. para dar una mayor seguridad en la circulación de los trenes.
- b) En toda curva horizontal con radio menor a los 2 500 m. debe existir una sobre-elevación.
- c) Los aparatos de cambio de vía deben ubicarse siempre en tangentes horizontales.
- d) En el enlace entre dos curvas horizontales consecutivas deberá establecerse una distancia en tangente de 16 m. como mínimo. Esta longitud puede variar dependiendo del radio y de la deflexión de cada curva.
- e) Se debe utilizar el menor número de curvas.
- f) Las estaciones tendrán 150 m. de longitud mínima entre las cabezas de andén y su ubicación será siempre tangente con pendiente nula.
- g) En lo que respecta a la longitud de interestaciones, deberá ser de 900 m. como mínima.

En base a las especificaciones mencionadas anteriormente se fueron fijando tangentes gráficas por la Avenida Parque Lira, cruzando por Viaducto Río Tacubaya y haciendo una deflexión hacia la derecha sobre Avenida Revolución, procurando que pasaran por el centro de las calles y en ocasiones que se alojaran a un costado de la misma cuando fuese necesario, para no interferir con las instalaciones municipales.

Se midieron gráficamente las deflexiones entre las tangentes que se cruzaron para unir las con curvas circulares con enlaces clotoides, calculándose éstas para tener una idea aproximada por donde pasaría el trazo y fijando el radio para cada curva.

Este planteamiento preliminar se llevo a campo para ser trazado por una brigada de topografía, en donde se localizaron puntos de control para las tangentes, se midieron las deflexiones reales entre ellas y se tomaron referencias de los PI's con distancia a paramentos cercanos para poder ser fácilmente relocalizados. Se midieron también las distancias entre los PI consecutivos y entre la cabecera de estación fijada y el PI más próximo en ambas estaciones.

Obtenidos estos datos, se hicieron las modificaciones necesarias para estar en condiciones de empezar el proyecto definitivo.

#### II.1.1.2. PROYECTO DEFINITIVO DE TRAZO.

Cuando se han obtenido todos los datos de campo y han sido medidas las deflexiones entre las tangentes, se procede a realizar el cálculo definitivo de las curvas horizontales y a dar cadenas a lo largo del tramo.

Como se mencionó anteriormente, las curvas horizontales deben estar constituidas por una curva circular y dos curvas de transición llamadas clotoides.

Para hacer el cálculo de la clotoide se parte de la consideración empírica de que la pendiente máxima de enlace para los peraltes no debe ser mayor de 4 mm/m., quedando esta consideración definida por la expresión  $S_m = 180/V$  donde V es la velocidad máxima permitida.

Establecida la condición para el cálculo de la pendiente, se calcula la velocidad máxima V en función del radio nominal (Rn) por medio de la expresión:

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

El valor obtenido se deberá redondear a su valor inmediato inferior.

Considerando un  $R_n = 200$  m. del tramo en estudio, tenemos que:

$$V = 5.13 \sqrt{200} = 72.549 \text{ Km / hr.}$$

por lo tanto, la velocidad se redondea a

$$V = 70 \text{ km/hr.}$$

Esta fórmula será aplicable sólo para radios inferiores a 250 m. Para radios mayores o iguales a 250 m. se considera una velocidad de 80 km/hr. por razones de orden práctico y de acuerdo a estudios realizados.

Una vez obtenido este valor, se calcula el peralte teórico (Ht) por medio de la expresión:

$$Ht = 11.8 V^2 / Rn.$$

A dicho peralte se le restan 30 mm. para encontrar el valor del peralte práctico calculado (Hrc) y éste se redondea a su valor inmediato superior o inferior (en múltiplos de cinco) para conocer el valor del peralte práctico (Hr).

Cuando el valor del peralte práctico calculado es mayor de 160 mm. se considera un peralte práctico de 160 mm., que es el valor máximo de peralte que se puede considerar.

Tomando los valores obtenidos anteriormente para radio nominal y velocidad máxima, tenemos:

$$Rn = 200 \text{ m.}$$

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

$$Ht = 11.8 V^2 / Rn = 11.8 (70)^2 / 200$$

$$Ht = 289.10 \text{ mm.}$$

$$Hrc = 289.10 - 30 = 259.10 \text{ mm.}$$

Este valor excede a los 160 mm. por lo tanto, se considera un Hr=160 mm.

Cuando  $Rn = 600 \text{ m.}$  y  $V = 80 \text{ Km/hr.}$ :

$$Ht = 11.8 V^2 / Rn = 11.8 (80)^2 / 600$$

$$Ht = 125.87 \text{ mm.}$$

$$Hrc = 125.87 - 30 = 95.87 \text{ mm.}$$

Por lo tanto, se considerará  $Hr = 95 \text{ mm.}$

Teniendo establecida la velocidad máxima, se calcula la pendiente máxima de enlace ( $S_m$ ) =  $180 / V$ . Conocido este valor, evaluamos la longitud teórica de la clotoide requerida ( $L_{tc}$ ) por medio de la fórmula  $L_{tc} = H_r / S_m$ .

Una vez conocido el dato de  $L_{tc}$ , se obtiene el valor de una constante denominada "épsilon" ( $\epsilon$ ) de la fórmula  $\epsilon = L_{tc} / R_n$ , que servirá para entrar a las tablas de las clotoides unitarias.

De estas tablas se obtendrán todos los datos necesarios para el cálculo complementario de la clotoide, en función del radio nominal propuesto.

Para el tramo en estudio, realizaremos el cálculo de la curva circular con enlaces clotoides, ubicándola sobre la Avenida Revolución, entre las calles de Viaducto Río de Tacubaya y Héroes de Padierna, para lo cual se obtuvo una deflexión entre tangentes de  $33^{\circ} 31' 02''$  derecha y un radio nominal de 300 m.

#### II.1.1.2.1. PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE LAS CLOTOIDES.

a) Velocidad máxima (V):

$V = 80 \text{ Km/hr}$ , ya que el radio para esta curva es de 300 m.

b) Peralte teórico (Ht):

$$H_t = 11.8 V^2 / R_n = 11.8 (80)^2 / 300$$

$$H_t = 251.73 \text{ mm.}$$

c) Peralte práctico calculado (Hrc):

$$H_{rc} = 251.73 - 30 = 221.73 \text{ mm.}$$

d) Peralte práctico (Hr):

$$H_r = 220 \text{ mm.}$$

Como éste valor es mayor al peralte práctico máximo permitido, se considerará:

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

e) Pendiente máxima de enlace ( $S_m$ ):

$$S_m = 180 / V = 180 / 80$$

$$S_m = 2.25 \text{ mm / m}$$

f) Longitud teórica de clotoide ( $L_{tc}$ ):

$$L_{tc} = H_r / S_m = 160 / 2.25$$

$$L_{tc} = 71.11 \text{ m.}$$

g) Constante  $\epsilon$  ( $\frac{1}{E}$ ):

$$\frac{1}{E} = Ltc / Rn = 71.11 / 300$$

$$\frac{1}{E} = 0.23704$$

Con este valor obtenido se entra a las tablas de clotoides unitarias, tomando en cuenta que de no encontrarse el valor exacto, se tomará el inmediato superior (ver anexo II.1.1).

Esta tabla es parte del compendio que existe para clotoides unitarias y que fueron elaboradas por Pierre Klaus en Zurich (Suiza) en 1977.

En ella se localiza el valor  $\epsilon$ , de donde se tomarán del renglón correspondiente, los valores de la clotoide unitaria que servirán para determinar todas las características de la curva.

Como el valor  $\frac{1}{E} = 0.23704$  no se encuentra, tomaremos el inmediato superior  $\frac{1}{E} = 0.237169$ , lo que implica que tendremos los siguientes valores:

$$L = 0.002343$$

$$xm = 0.2433860$$

$$c = 6'47'40''$$

$$r = 2.0533880$$

$$P = 0.487000$$

$$s = 0.4866960$$

$$x = 0.486316$$

$$w = 2'15'52''$$

$$y = 0.019231$$

h) Ordenada del punto B: (E)

$$E = L (Rn) = 0.002343 (300)$$

$$E = 0.7029 \text{ m.}$$

i) Radio de la curva circular real (Rc)

$$Rc = Rn - E = 300 - 0.7029$$

$$Rc = 299.2971 \text{ m.}$$

j) Parámetros de cálculo (A)

$$A = Rc / r = 299.2971 / 2.053388$$

$$A = 145.7576941$$

TABLE II.1.1

| N   | $\lambda$      | $\xi$           | $\tau^*$      | $\tau^{**}$      | $f$              | $\pi$           | $y$             | $x_m$           | $t$              | $f$             | $\tau$           | $e$            | $s$             | $\omega^*$    | $\omega^{**}$  |
|-----|----------------|-----------------|---------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|
| 481 | 0.002227<br>19 | 0.231361<br>963 | 7.3645<br>306 | 06 37 41<br>1 39 | 0.481000<br>1000 | 0.480357<br>993 | 0.018330<br>113 | 0.240373<br>499 | 0.482510<br>1016 | 0.018054<br>118 | 2.079002<br>4313 | 0.004635<br>29 | 0.489714<br>527 | 2.4545<br>103 | 02 12 33<br>33 |
| 482 | 0.002248<br>17 | 0.232248<br>965 | 7.3951<br>307 | 06 39 29<br>1 40 | 0.482000<br>1000 | 0.481350<br>993 | 0.018645<br>116 | 0.240865<br>498 | 0.483526<br>1016 | 0.018772<br>118 | 2.074589<br>4295 | 0.004664<br>23 | 0.481711<br>525 | 2.4748<br>102 | 02 13 33<br>33 |
| 483 | 0.002257<br>18 | 0.233218<br>977 | 7.4258<br>308 | 06 41 39<br>1 37 | 0.483000<br>1000 | 0.482343<br>993 | 0.018761<br>117 | 0.241279<br>500 | 0.484542<br>1016 | 0.018729<br>118 | 2.070353<br>4277 | 0.004693<br>23 | 0.483725<br>527 | 2.4790<br>102 | 02 17 39<br>33 |
| 484 | 0.002275<br>19 | 0.234216<br>979 | 7.4564<br>308 | 06 42 39<br>1 40 | 0.484000<br>1000 | 0.483336<br>994 | 0.018874<br>117 | 0.241800<br>497 | 0.485558<br>1016 | 0.019008<br>119 | 2.066116<br>4260 | 0.004722<br>29 | 0.485750<br>527 | 2.4852<br>103 | 02 14 12<br>33 |
| 485 | 0.002294<br>19 | 0.235225<br>971 | 7.4874<br>309 | 06 44 19<br>1 41 | 0.485000<br>1000 | 0.484330<br>993 | 0.018975<br>118 | 0.242357<br>478 | 0.486574<br>1016 | 0.019127<br>120 | 2.061846<br>4243 | 0.004751<br>30 | 0.487762<br>527 | 2.4918<br>103 | 02 14 45<br>34 |
| 486 | 0.002313<br>20 | 0.236236<br>973 | 7.5183<br>310 | 06 46 00<br>1 40 | 0.486000<br>1000 | 0.485323<br>993 | 0.019113<br>118 | 0.242897<br>499 | 0.487590<br>1017 | 0.019247<br>120 | 2.057513<br>4225 | 0.004781<br>29 | 0.489769<br>527 | 2.5058<br>103 | 02 15 19<br>33 |
| 487 | 0.002334<br>19 | 0.237260<br>975 | 7.5493<br>311 | 06 47 45<br>1 40 | 0.487000<br>1000 | 0.486316<br>993 | 0.019251<br>118 | 0.243366<br>499 | 0.488607<br>1017 | 0.019367<br>120 | 2.053388<br>4208 | 0.004810<br>30 | 0.491768<br>527 | 2.5191<br>104 | 02 15 52<br>34 |
| 488 | 0.002352<br>19 | 0.238284<br>977 | 7.5804<br>311 | 06 49 26<br>1 41 | 0.488000<br>1000 | 0.487307<br>992 | 0.019349<br>119 | 0.243885<br>497 | 0.489624<br>1016 | 0.019487<br>121 | 2.049180<br>4190 | 0.004840<br>30 | 0.493763<br>526 | 2.5326<br>103 | 02 16 26<br>33 |
| 489 | 0.002381<br>20 | 0.239321<br>979 | 7.6115<br>311 | 06 51 01<br>1 41 | 0.489000<br>1000 | 0.488301<br>993 | 0.019448<br>120 | 0.244354<br>498 | 0.490640<br>1017 | 0.019608<br>122 | 2.044920<br>4174 | 0.004870<br>29 | 0.495752<br>527 | 2.5465<br>104 | 02 16 59<br>34 |
| 490 | 0.002401<br>19 | 0.240360<br>981 | 7.6426<br>313 | 06 52 42<br>1 41 | 0.490000<br>1000 | 0.489284<br>993 | 0.019545<br>120 | 0.244882<br>479 | 0.491657<br>1017 | 0.019730<br>122 | 2.040616<br>4155 | 0.004899<br>30 | 0.497756<br>527 | 2.5602<br>104 | 02 17 33<br>34 |
| 491 | 0.002420<br>20 | 0.241401<br>983 | 7.6739<br>312 | 06 54 23<br>1 42 | 0.491000<br>1000 | 0.490287<br>993 | 0.019708<br>121 | 0.245381<br>499 | 0.492674<br>1018 | 0.019852<br>123 | 2.036660<br>4140 | 0.004929<br>31 | 0.499763<br>526 | 2.5756<br>105 | 02 18 07<br>34 |
| 492 | 0.002440<br>20 | 0.242464<br>985 | 7.7051<br>314 | 06 56 05<br>1 41 | 0.492000<br>1000 | 0.491280<br>992 | 0.019829<br>120 | 0.245880<br>499 | 0.493692<br>1017 | 0.019975<br>123 | 2.032520<br>4122 | 0.004950<br>30 | 0.491769<br>527 | 2.5881<br>104 | 02 18 41<br>34 |
| 493 | 0.002460<br>21 | 0.243519<br>987 | 7.7365<br>314 | 06 57 46<br>1 42 | 0.493000<br>1000 | 0.492272<br>993 | 0.019949<br>122 | 0.246377<br>499 | 0.494709<br>1017 | 0.020098<br>123 | 2.028358<br>4107 | 0.004990<br>32 | 0.493766<br>527 | 2.5885<br>105 | 02 19 14<br>34 |
| 494 | 0.002481<br>19 | 0.244616<br>989 | 7.7679<br>315 | 06 59 28<br>1 42 | 0.494000<br>1000 | 0.493265<br>993 | 0.020071<br>122 | 0.246878<br>499 | 0.495726<br>1018 | 0.020221<br>124 | 2.024291<br>4089 | 0.005022<br>29 | 0.495763<br>527 | 2.5890<br>105 | 02 19 48<br>34 |
| 495 | 0.002500<br>20 | 0.245625<br>991 | 7.7994<br>315 | 07 01 10<br>1 42 | 0.495000<br>1000 | 0.494258<br>992 | 0.020193<br>122 | 0.247377<br>478 | 0.496744<br>1018 | 0.020345<br>125 | 2.020212<br>4073 | 0.005051<br>30 | 0.497760<br>526 | 2.5925<br>105 | 02 20 22<br>34 |
| 496 | 0.002520<br>21 | 0.246616<br>993 | 7.8309<br>316 | 07 02 52<br>1 43 | 0.496000<br>1000 | 0.495250<br>992 | 0.020315<br>123 | 0.247875<br>499 | 0.497762<br>1018 | 0.020470<br>125 | 2.016129<br>4057 | 0.005081<br>31 | 0.499766<br>527 | 2.6100<br>105 | 02 20 56<br>34 |
| 497 | 0.002541<br>20 | 0.247609<br>995 | 7.8625<br>317 | 07 04 35<br>1 42 | 0.497000<br>1000 | 0.496242<br>993 | 0.020438<br>124 | 0.248374<br>499 | 0.498780<br>1018 | 0.020595<br>126 | 2.012072<br>4040 | 0.005112<br>31 | 0.491767<br>527 | 2.6265<br>106 | 02 21 30<br>35 |
| 498 | 0.002561<br>21 | 0.248604<br>997 | 7.8942<br>317 | 07 06 17<br>1 43 | 0.498000<br>1000 | 0.497235<br>992 | 0.020562<br>124 | 0.248873<br>498 | 0.499798<br>1018 | 0.020721<br>126 | 2.008032<br>4024 | 0.005143<br>31 | 0.493768<br>526 | 2.6211<br>105 | 02 22 05<br>34 |
| 499 | 0.002582<br>20 | 0.249601<br>999 | 7.9259<br>319 | 07 08 00<br>1 43 | 0.499000<br>1000 | 0.498227<br>992 | 0.020686<br>124 | 0.249371<br>499 | 0.500816<br>1018 | 0.020847<br>127 | 2.004008<br>4008 | 0.005174<br>30 | 0.495764<br>526 | 2.6416<br>105 | 02 22 39<br>34 |

k) Longitud real de clotoide (Lcl)

$$Lcl = P(A) = 0.487 (145.7576941)$$

$$Lcl = 70.984 \text{ m.}$$

l) Angulo total de cada clotoide ( $\zeta$ )

$$\zeta = 6^{\circ}47'40''$$

m) Abscisa del punto CC ( $Xc$ )

$$Xc = x(A) = 0.486316 (145.7576941)$$

$$Xc = 70.884 \text{ m.}$$

n) Ordenada del punto CC ( $Yc$ )

$$Yc = y(A) = 0.019231 (145.7576941)$$

$$Yc = 2.803 \text{ m.}$$

ñ) Abscisa del punto B: ( $Xm$ )

$$Xm = xm(A) = 0.243386 (145.7576941)$$

$$Xm = 35.475 \text{ m.}$$

o) Cuerda larga (distancia del TC al CC): (S)

$$S = s(A) = 0.486696 (145.7576941)$$

$$S = 70.939 \text{ m.}$$

p) Deflexión al CC: (w)

$$w = 2^{\circ}15'52''$$

q) Distancia del punto A al  $Xc$ : (U)

$$U = Yc / \tan \zeta = 2.803 / (\tan 6^{\circ}47'40'')$$

$$U = 23.526 \text{ m.}$$

r) Distancia del punto A al CC (H)

$$H = Yc / \sen \zeta = 2.803 / (\sen 6^{\circ}47'40'')$$

$$H = 23.692 \text{ m.}$$



#### II.1.1.2.2. CALCULO DE LA CURVA CIRCULAR REAL.

s) El ángulo central de la curva real está dado por  $\Delta c$

$$\Delta c = \Delta - 2 c = 33^{\circ}31'02'' - 2 (6^{\circ}47'40'')$$

$$\Delta c = 19^{\circ}55'42''$$

t) Longitud de la curva circular real ( $L_c$ )

$$L_c = \Delta c R_c (\pi / 180) = 19^{\circ}55'42'' (299.2971) (\pi / 180)$$

$$L_c = 104.10 \text{ m.}$$

u) Subtangente de la curva circular real ( $ST$ )

$$ST = \tan (\Delta c / 2) R_c = \tan (19^{\circ}55'42'' / 2) (299.2971)$$

$$ST = 52.581 \text{ m.}$$

v) Cuerda de la curva circular real ( $C$ )

$$C = 2 R_c \text{ sen } (\Delta c / 2) = 2 (299.297) \text{ sen } (19^{\circ}55'42'' / 2)$$

$$C = 103.576 \text{ m.}$$

w) Subtangente total (distancia del PI al TC): ( $T_c$ )

$$T_c = \tan (\Delta / 2) R_c + X_m = \tan (33^{\circ}31'02'' / 2) (300) + 35.475$$

$$T_c = 125.814 \text{ m.}$$

x) Grado de curvatura de la curva circular ( $G_c$ )

$$G_c = (20 / R_c) (180 / \pi) = (20 / 299.287) (180 / \pi)$$

$$G_c = 3.828690531$$

y) Deflexión por metro ( $D / m$ )

$$D / m = 1.5 (G_c) = 1.5 (3.828690531)$$

$$D / m = 5.74303597$$

### II.1.1.2.3. CADENAMIENTO DE LAS CURVAS.

Una vez determinadas las características geométricas de todas las curvas, se procede a dar cadenamientos a todos los puntos principales del trazo como son TC, CC, PI y PST.

Primeramente se dá el cadenamiento al PI sobre la tangente, después se le resta el valor de la subtangente total (Tc) y se obtiene el cadenamiento del punto de paso de la tangente a la clotoide (TC). Así mismo, a éste cadenamiento se le suma la longitud de la clotoide (Lcl) y se encuentra el cadenamiento del punto de paso de la clotoide a la curva circular (CC).

Posteriormente, a éste punto se le suma el valor de la longitud de la curva circular, encontrándose con ello el cadenamiento del siguiente punto (CC) y finalmente a este último, se le suma nuevamente el valor de la longitud de la clotoide (Lcl) para darle cadenamiento al punto de paso de clotoide a la tangente (CT), como se puede observar en la figura II.1.2 siguiente. Partiendo de los datos de la curva anterior, tenemos:

$$\begin{array}{r} \text{PI} = 15 + 820.584 \\ - \\ \text{Tc} = \quad 125.814 \\ \hline \text{TC} = 15 + 694.770 \\ + \\ \text{Lcl} = \quad 70.984 \\ \hline \text{CC} = 15 + 765.754 \\ + \\ \text{Lc} = \quad 104.100 \\ \hline \text{CC} = 15 + 869.854 \\ + \\ \text{Lcl} = \quad 70.984 \\ \hline \text{CT} = 15 + 940.838 \end{array}$$

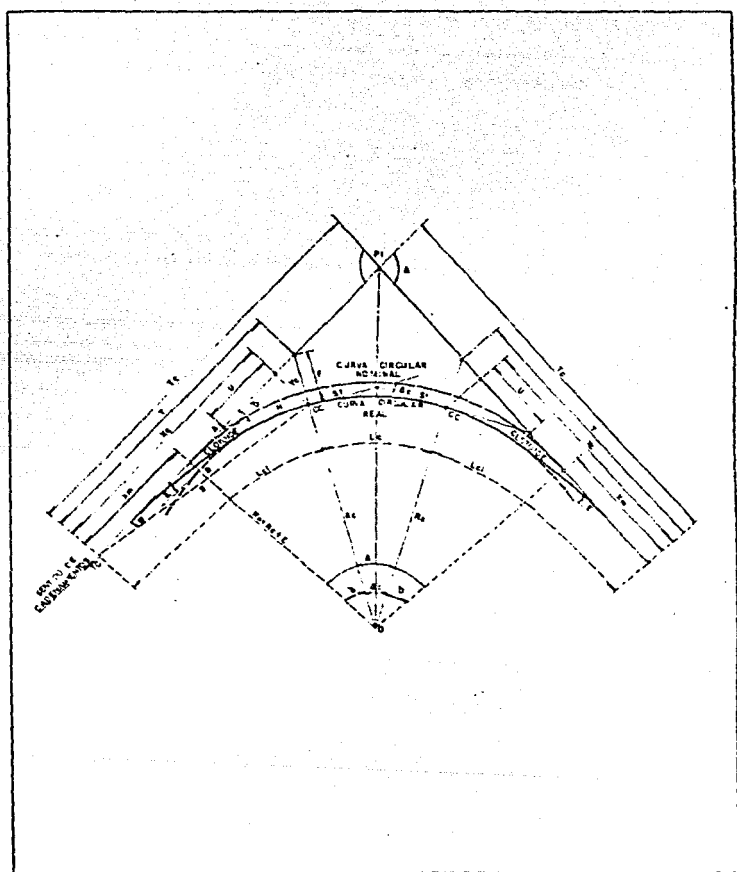


FIG. II.1.2. CURVA CIRCULAR CON CLOTOIDES DE TRANSICION

#### II.1.1.2.4. BAYONETAS.

A la distancia que existe entre dos ejes de vía se le denomina entrevía. Cuando es necesario cambiar de entrevía en una zona determinada, ésta transición se realiza por medio de dos curvas invertidas, para cada eje de vía, denominadas bayonetas.

Existen dos tipos de bayonetas:

a) Curvas circulares con un radio mínimo de 2,500 m. y a una distancia (tangente) mínima, entre el PT de una curva y el PC de la otra, de 12 m. (fig. II.1.3).

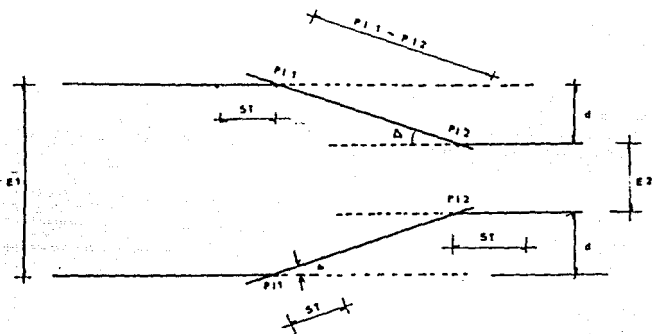


FIGURA II.1.3

De la figura anterior, tenemos:

$$d = (E2 - E1) / 2$$

$$\text{sen } \Delta = d / (PI1 - PI2)$$

$$\frac{PI1 - PI2}{\text{sen } \Delta} = d \quad \text{_____ (1)}$$

Sabemos que:

$$ST = R \tan \Delta / 2 \quad \text{_____ (2)}$$

$$\frac{PI1 - PI2}{\text{sen } \Delta} = (2 ST) + 12 \text{ m.} \quad \text{_____ (3)}$$

Igualando (1) y (3):

$$d / \text{sen } \Delta = (2 ST) + 12 \text{ m.}$$

Sustituyendo el valor de ST, tenemos:

$$d / \operatorname{sen} \Delta = 2 (R \tan \Delta / 2) + 12 \text{ m.}$$

$$d / \operatorname{sen} \Delta - 2 (R \tan \Delta / 2) = 12 \text{ m.}$$

En esta última ecuación se le dan valores a R y d y se resuelve por tanteos, proponiendo valores hasta que satisfaga la igualdad. Conocido el valor de  $\Delta$ , se calculan todos los datos de la curva.

b) Curvas circulares con enlaces clotoides de radio nominal mínimo de 200 m. y una distancia (tangente) mínima, entre el TC de una curva y el CT de la otra, de 12 m. (fig. II.1.4).

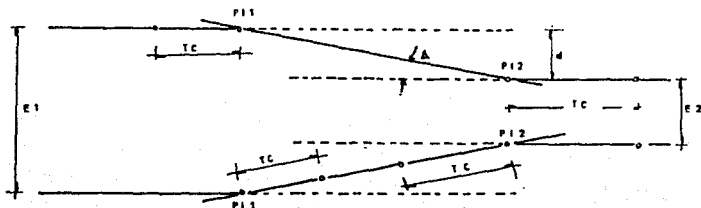


FIG. II.1.4

De la anterior figura, tenemos:

$$d = (E1 - E2) / 2$$

$$\operatorname{sen} \Delta = d / (\overline{PI1 - PI2})$$

$$\overline{PI1 - PI2} = d / \operatorname{sen} \Delta \quad \text{-----} \quad (4)$$

Sabemos que:

$$Tc = R \tan (\Delta / 2) + Xm \quad \text{-----} \quad (5)$$

$$\overline{PI1 - PI2} = (2 Tc) + 12 \text{ m.} \quad \text{-----} \quad (6)$$

Igualando la ecuación (5) y (6):

$$d / \operatorname{sen} \Delta = (2 Tc) + 12 \text{ m.} \quad \text{-----} \quad (7)$$

Sustituyendo la ecuación (5) en la (7), obtenemos:

$$d / \operatorname{sen} \Delta = 2 Rn (\tan \Delta / 2) + Xm + 12 \text{ m.}$$

$$d / \operatorname{sen} \Delta - 2 Rn (\tan \Delta / 2) + Xm = 12 \text{ m.}$$

En esta ecuación se le dan valores a  $R_n$ ,  $d$  y  $X_m$ , resolviéndose por tanteos, proponiendo valores hasta que se satisfaga la igualdad. Conocido el valor de  $\Delta$ , se calculan todos los datos de la curva.



## II.1.2. PROYECTO DE PERFIL.

### GENERALIDADES.

Conjuntamente al anteproyecto de trazo se realizaron nivelaciones sobre los ejes de las calles para conocer, de una manera aproximada, la topografía a lo largo de la ruta y así elaborar el anteproyecto de perfil.

Una vez hecho ésto y con el proyecto definitivo de trazo, se realiza el proyecto definitivo de perfil.

Los factores que determinaron este tipo de solución en túnel fueron fundamentalmente, como se mencionó en un principio, la topografía del terreno, los perfiles estratigráficos sobre el trazo, estudios de Mecánica de Suelos, el cruce de líneas actuales y futuras del Metro y pasos a desnivel por librar.

Las restricciones que se tomaron en cuenta para definir los niveles de la subrasante de proyecto fueron bajo las siguientes especificaciones:

- a) En estación, la pendiente longitudinal deberá ser nula para evitar que el convoy estacionado tenga la necesidad de aplicar frenos.
- b) La pendiente mínima permisible para dar drenaje longitudinal en tramo interestación deberá ser del 0.2 ‰ y la máxima permisible del 4 ‰.
- c) Se hizo lo posible que en interestación, la pendiente longitudinal cambiara de signo una sola vez o manteniendo el mismo signo con el fin de drenar el agua de las filtraciones hacia los cárcamos de bombeo de las estaciones.
- d) La transición entre dos tangentes con pendientes longitudinales diferentes, se hará por medio de curvas parabólicas de la forma siguiente:

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

Y = elevación  
X = distancia  
R = radio

donde el radio mínimo de curvatura es de 1 250 m.

- e) La tangente mínima entre dos curvas verticales es de 12 m.
- f) Los aparatos de vía se ubicarán en zona de tangente, con pendiente mínima del 2 ‰.
- g) La línea de la subrasante se definió de acuerdo a la estratigrafía del terreno, procurando conservarla siempre paralela al terreno natural.



### II.1.2.1. PROYECTO DEFINITIVO.

Una vez que se ha definido el eje de trazo definitivo, se procede a nivelarlo a cada 20 m. (por facilidad), dibujando esta información en papel milimétrico a una escala horizontal de 1:500 y una vertical de 1:50, donde aparecerán los niveles del terreno natural, nivel de rasante de proyecto, nivel de subrasante, intrados y extrados.

En lo que respecta a las instalaciones municipales, en esta línea no hubo problema ya que debido a la profundidad a que fue proyectada resultó muy favorable, pero sí afectó otras estructuras de gran importancia como son puentes, vías de ferrocarril, pasos a desnivel como el cruce del Viaducto Miguel Alemán, el cruce del puente sobre Av. Marina Nacional, etc.

En el tramo comprendido entre la estación Tacubaya y San Pedro de los Pinos, se encontró que a una profundidad de 27 m. con respecto al terreno natural se tenía un suelo con una capacidad de carga capaz de soportar dicha estructura. En relación a esta profundidad, se observó que no se interfería con las instalaciones.

Tomando en cuenta estas consideraciones, se planteó la estación Tacubaya con una pendiente del 0 ‰ y a un nivel de 2 226.335 metros sobre el nivel del mar (msnm) a lo largo de toda la estación hasta el cadenamiento 15 + 490.000, donde se une con otra pendiente de + 0.35 ‰ por medio de una parábola de la forma anteriormente mencionada. Esta pendiente se prolonga hasta el cadenamiento 15 + 534.627 con una elevación de 2 226.491 msnm, en donde hace un punto de inflexión con otra pendiente del - 0.2 ‰ que es la mínima permisible para la ubicación de aparatos de vía; dicha pendiente se une con otra de + 0.5 ‰ en el cadenamiento 16 + 277.207 y con una elevación de 2 225.006, prolongándose hasta el cadenamiento 16 + 550.000 y con una elevación de 2 226.370, entrando finalmente a la estación San Pedro de los Pinos con una pendiente de 0.0 ‰ hasta el cadenamiento con kilometraje 16 + 730.000.

Como un ejemplo del cálculo de curvas verticales tomaremos la curva número 3 del perfil, donde se tiene la primer tangente con pendiente - 0.2 ‰ y una elevación de 2 226.491 en el kilometraje 15 + 534.627 y en seguida una pendiente de + 0.5 ‰ y una elevación de 2 226.370 en el cadenamiento 16 + 550.000, como se observa en la siguiente figura II.1.5.

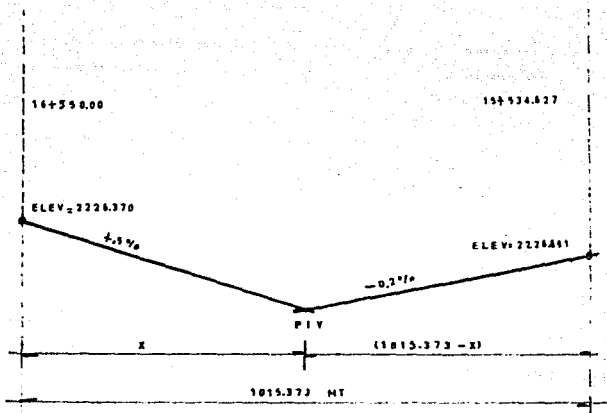


FIG. II.1.5

Para calcular el cadenamiento del PIV, se plantean y se igualan las ecuaciones de cada una de las tangentes.

Partiendo de la fórmula general de la recta  $Y = mx + b$ , tenemos:

$$Y_1 = (-0.002)(1015.373 - X) + 2226.491$$

$$Y_1 = -2.0307 + 0.002X + 2226.491$$

$$Y_1 = 0.002X + 2224.4603 \quad \text{_____} \quad (1)$$

$$Y_2 = -0.005X + 2226.370 \quad \text{_____} \quad (2)$$

Igualando las ecuaciones (1) y (2), tenemos:

$$0.002X + 2224.4603 = -0.005X + 2226.370$$

$$0.002X + 0.005X = 2226.370 - 2224.4603$$

$$+0.007X = 1.9097$$

$$X = 272.814 \text{ m.}$$

Por lo tanto, el cadenamiento del PIV es:

$$\text{PIV} = 16 + 550.000 - 272.814$$

$$\text{PIV} = 16 + 277.186$$

La elevación del PIV será:

$$0.005 (272.814) = 1.364 \text{ m.}$$

$$\text{Elevación PIV} = 2\ 226.370 - 1.364$$

$$\text{Elevación PIV} = 2\ 225.006 \text{ m.}$$

CALCULO DE LA CURVA VERTICAL.

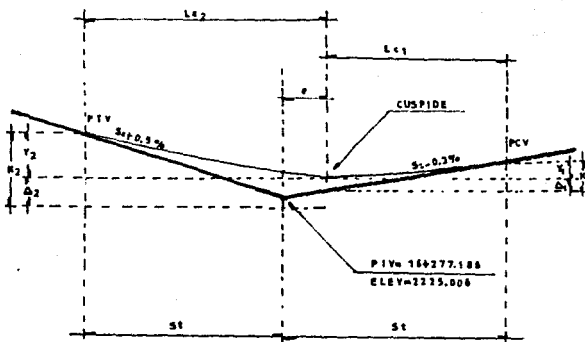


FIG. II.1.6

Para el cálculo de los elementos principales de una curva vertical, tenemos las siguientes ecuaciones:

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

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

$$L_{c1} = R (S_1)$$

$$St = (L_{c1} + L_{c2}) / 2$$

$$L_{c2} = R (S_2)$$

$$K_1 = L_{c1} (S_1)$$

$$Y_1 = (L_{c1})^2 / 2R$$

$$K_2 = L_{c2} (S_2)$$

$$\Delta_1 = K_1 - Y_1$$

$$Y_2 = (L_{c2})^2 / 2R$$

$$\Delta_2 = K_2 - Y_2$$

Para la curva analizada y con un radio de curvatura de 2 500 m.:

$$e = (R / 2) (S1 + S2) = (2\ 500 / 2) (-0.002 + 0.005)$$

$$e = 3.750\text{ m.}$$

$$Lc1 = R (S1) = 2\ 500 (0.002)$$

$$Lc1 = 5\text{ m.}$$

$$Lc2 = R (S2) = 2\ 500 (0.005)$$

$$Lc2 = 12.50\text{ m.}$$

$$St = (Lc1 + Lc2) / 2 = (5 + 12.50) / 2$$

$$St = 8.75\text{ m.}$$

Los niveles de los puntos principales están dados por:

$$Y1 = (Lc1)^2 / 2R = (5)^2 / (2) (2\ 500)$$

$$Y1 = 0.005\text{ m.}$$

$$Y2 = (Lc2)^2 / 2R = (12.50)^2 / (2) (2\ 500)$$

$$Y2 = 0.031\text{ m.}$$

$$Q = e (S1) = 3.750 (0.002)$$

$$Q = 0.008\text{ m.}$$

$$K1 = Lc1 (S1) = 5 (0.002)$$

$$K1 = 0.010\text{ m.}$$

$$K2 = Lc2 (S2) = 12.50 (0.005)$$

$$K2 = 0.063\text{ m.}$$

$$\Delta_1 = K1 - Y1 = 0.010 - 0.005$$

$$\Delta_1 = 0.005$$

$$\Delta_2 = K2 - Y2 = 0.063 - 0.031$$

$$\Delta_2 = 0.032$$

Partiendo del cadenamiento del PIV, resulta:

$$\begin{array}{r} \text{PIV} = 16 + 277.186 \\ - e = \quad \quad 3.750 \\ \hline \end{array}$$

16 + 273.436 Cadenamiento de la cúspide

Tomando el nivel del PIV:

$$\text{Elevación de la cúspide} = \text{Elevación del PIV} + Q + \Delta 1$$

$$\text{Elev. cúspide} = 2\ 225.006 + 0.008 + 0.005$$

$$\text{Elev. cúspide} = 2\ 225.019 \text{ m.}$$

$$\text{Cadenamiento del PCV} = \text{PIV} - St$$

$$\text{PCV} = 16 + 277.186 - 8.750$$

$$\text{PCV} = 16 + 268.436$$

$$\text{Elevación del PCV} = \text{Elevación de la cúspide} + Y1$$

$$\text{Elev. PCV} = 2\ 225.019 + 0.005$$

$$\text{Elev. PCV} = 2\ 224.024 \text{ m.}$$

$$\text{Cadenamiento del PTV} = \text{PIV} + St$$

$$\text{PTV} = 16 + 277.186 + 8.750$$

$$\text{PTV} = 16 + 285.936$$

$$\text{Elevación del PTV} = \text{Elevación de la cúspide} + Y2$$

$$\text{Elev. PTV} = 2\ 225.019 + 0.031 = 2\ 225.05 \text{ m.}$$

Una vez calculadas las cotas y los cadenamientos de los puntos principales de la curva, se deben dar niveles a cada cinco metros en cadenamientos cerrados sobre la rasante o en cualquier punto, utilizando la fórmula general  $Y = X^2 / 2R$ .

Para facilitar el cálculo, se ha elaborado la siguiente tabla:

| CADENAMIENTO       | X      | X <sup>2</sup> | X <sup>2</sup> / 2R | COTA RASANTE |
|--------------------|--------|----------------|---------------------|--------------|
| PCV = 16 + 268.436 | 5.000  | 25.000         | 0.005               | 2 225.024    |
| 16 + 270.000       | 3.436  | 11.806         | 0.002               | 2 225.021    |
| CUS = 16 + 273.436 | 0.000  | 6.000          | 0.000               | 2 225.019    |
| 16 + 275.000       | 1.564  | 2.446          | 0.000               | 2 225.019    |
| 16 + 280.000       | 6.564  | 43.086         | 0.009               | 2 225.028    |
| 16 + 285.000       | 11.564 | 133.726        | 0.027               | 2 225.046    |
| PTV = 16 + 285.936 | 12.500 | 156.250        | 0.031               | 2 225.050    |



### II.1.3. PROYECTO DE GALIBOS.

El proyecto de gálilos tiene como objeto primordial definir la geometría de la estructura que permitirá el paso del equipo rodante, el personal de mantenimiento y de operación, así como de las instalaciones necesarias para el buen funcionamiento del sistema.

Este proyecto deberá ser el resultado del estudio y análisis de cada uno de los espacios requeridos por el tren para su operación. Dichos estudios se refieren básicamente a: proyecto de trazo y perfil, dimensionamiento estático y dinámico debido al tren, sistema de vía, elementos de instalaciones hidráulicas, electromecánicas y ventilación, así como el tipo de estructura.

#### II.1.3.1. GALIBO HORIZONTAL.

Es el espacio libre que se requiere para la circulación del tren. Este espacio se determina en función de la dimensión del tren, la entrevía, el trazo del tramo, andadores, etc.

Para el tramo en estudio, en su totalidad se trata de una sección túnel de doble vía, teniendo una entrevía variable de 2.90 m. a 3.15 m. en zona de curva, mientras que en tramo tangente es de 2.90 m. y a la entrada y salida de las estaciones San Pedro de los Pinos y Tacubaya, la entrevía pasa a ser de 2.90 m. a 4.00 m.

Estas estaciones cuentan con columnas de apoyo que se localizan al centro del túnel, es decir, al centro de las dos vías, dividiéndose de esta forma en doble túnel. En este tipo de estructura la distancia mínima requerida del eje de vía al paño interior del muro deberá ser de 2.15 m, al nivel de rasante, como también la separación entre los carros deberá de ser de 0.40 m. como mínimo en entrevías de 2.90 m. y de 0.65 m. en entrevías de 3.15 m.

##### II.1.3.1.1. GALIBO HORIZONTAL EN TRAMO TANGENTE (VIA DOBLE Y ENTREVIA DE 2.90 m.)

|  |   |         |
|--|---|---------|
| Entrevía   |   | 2.90 m. |
| Diferencia del eje de vía al punto más alejado del aislador = (1.4147) (2) | + | 2.83 m. |
| Distancia del aislador al inicio del aislador = (0.10) (2)                 | + | 0.20 m. |
| Dos andadores de 1.00 m. de ancho  | + | 2.00 m. |
| Dos canaletas o canales de drenes de 0.15 m.                               | + | 0.30 m. |
|  |   | -----   |
|  |   | 8.23 m. |

De éste análisis se determinó un radio mínimo para el túnel semicircular de 4.32 m. para tramo en tangente y en curva, ya que se contaría con una distancia libre de 8.64 m. como se puede ver en la figura II.1.7.

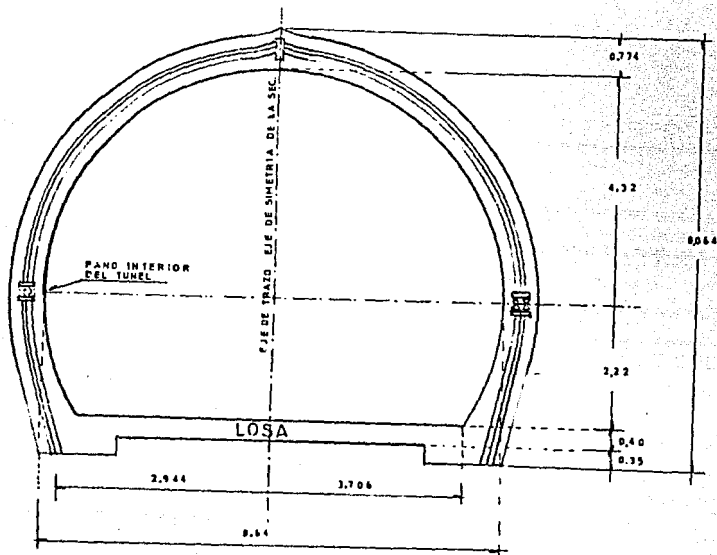


FIG. II.1.7

#### II.1.3.1.2. GALIBO HORIZONTAL EN CURVA CON VIA DOBLE.

El gálibo horizontal en curva es variable, ya que depende principalmente de las deflexiones que se tengan.

Para curvas horizontales de radios mayores a 500 m. el gálibo se considera como en tramo tangente por ser las curvas más abiertas, y para curvas más cerradas con radios iguales o menores a 500 m. y mayores o iguales a 150 m. se empleará el gálibo que le permita una mejor inscripción del material rodante.



### II.1.3.1.2.1. ANALISIS DE GALIBOS DINAMICOS EN CURVA.

Este análisis se compone básicamente de los efectos que ocurren cuando el tren se encuentra en movimiento:

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

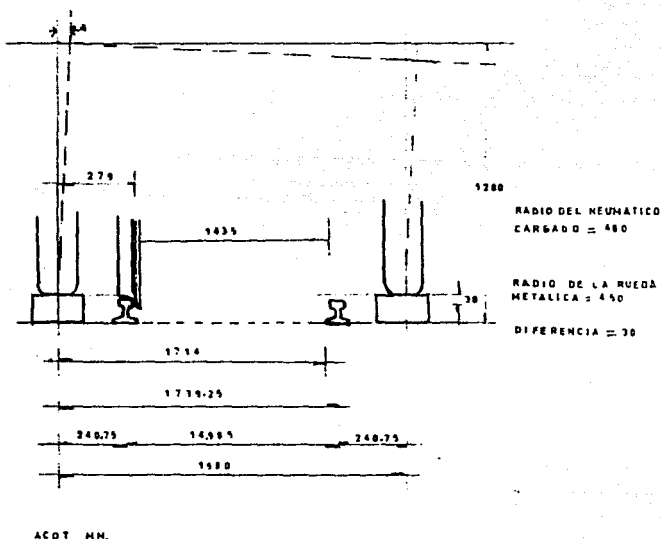


FIG. II.1.8

$$(30 / 1\ 714.25) = (a / 1\ 200)$$

$$a = (1\ 200) (30 / 1\ 714.25)$$

$$a = 21\ \text{mm.} = 0.021\ \text{m.}$$

- b) Desplazamiento por balanceo de la suspensión.

Se ha determinado empíricamente un desplazamiento  $b = 0.01\ \text{m.}$

**c) Desplazamiento del carro hacia adentro de la curva.**

En la tabla siguiente (II.1.9), se puede ver que para un radio de 200 m. se tiene un gálibo horizontal total de 7.46 m.

Finalmente, al gálibo horizontal total obtenido (7.46 m.), se le suman los valores de los desplazamientos descritos en los incisos a y b, lo que da como resultado un gálibo de 7.491 m.

Para el tramo implicado, se está considerando un gálibo libre, en curva y en tangente, de 8.64 m. como ya se mencionó anteriormente.

**II.1.3.2. GALIBO VERTICAL.**

El gálibo vertical es la altura necesaria que se requiere para que un tren circule libremente. Su dimensionamiento dependerá fundamentalmente del tipo de sección estructural, de las características del trazo, perfil, tipo de fijación de vía y sistemas de ventilación, así como también el gálibo vertical producido por la sobre-elevación en zonas de curva y las dimensiones estáticas y dinámicas del material rodante. Dichas dimensiones serán regidas por el radio que circunscribe la sección estructural.

**II.1.3.3. GALIBOS EN NICHOS.**

Un nicho es un espacio que se ubica en ambos lados del túnel, el cual se puede utilizar de diversas maneras, clasificándose por ello en nichos de seguridad, nichos de aparato de vía y nichos especiales.

**II.1.3.3.1. NICHOS DE SEGURIDAD.**

Estos nichos sirven para dar protección al personal de operación y mantenimiento de la línea, cuyas dimensiones son de 1.50 m. de longitud por 0.30 m. de profundidad en el muro y 2.40 m. de altura.

En tramo tangente y en curva con radio mayor a 500 m. se ubican a cada 50 m., en tanto que para curvas con radio menor a 500 m. se ubican a cada 25 m.

**II.1.3.3.2. NICHOS DE APARATO.**

Su finalidad es la de alojar el motor de los aparatos para el cambio de vía y su localización dependerá de la ubicación de dichos aparatos.

Las dimensiones de los nichos y la ubicación de los motores dependerá esencialmente de la estructura del tramo (tabla II.1.10).

| R   | H    | C±q   | V±n   | f     | l     | 1200<br>StW | g    | m<br>dist. entre<br>ejes de<br>vía | d    | curva<br>simple<br>galibo<br>horiz.<br>total | curva<br>simple<br>galibo<br>horiz.<br>total |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------------|------|------------------------------------|------|--|--|
| 200 | 0.16 | 0.188 | 0.201 | 1.243 | 0.212 | 0.127       | 2.31 | 3.15                               | 2.00 | 7.48   | 4.31   |
| 400 | 0.38 | 0.449 | 0.442 | 1.244 | 0.185 | 0.094       | 2.15 | 2.00                               | 2.00 | 7.05   | 4.15   |

| CONSTANTES   |                             |              |
|--------------|-----------------------------|--------------|
| S ± 0.750 MT | q ± 0.107 m                 | m ± 2.98 MT. |
| r ± 0.11 MT  | b ± r ± 2f ± m ± q          | 4 ± 2.00 MT  |
| t ± 0.75 MT  | d ± t ± r ± q ± 1200 - 50 m |              |

R = RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL  
H = VALOR DEL PERALTE  
C = GALIBO DINAMICO INTERIOR  
V = GALIBO DINAMICO EXTERIOR  
L = DESVIACION DEBIDO AL PERALTE E (PARA UN ANDADOR A UNA ALTURA DE 20 METS)  
F = P.ADY. DE 1/2 DEL CARRO

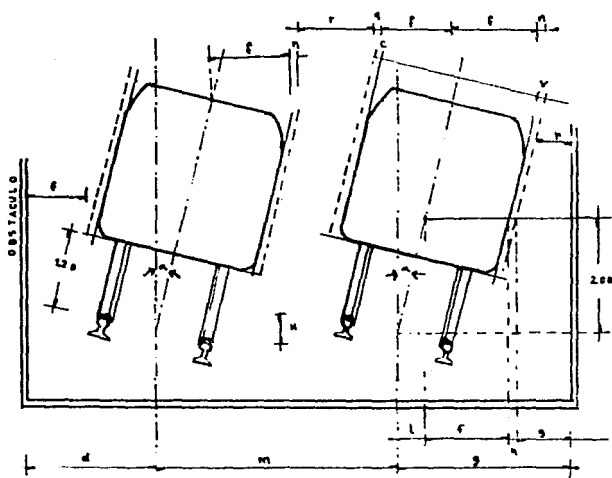


FIG. II.1.9. GALIBO HORIZONTAL EN CURVA

| LÍNEA               | EN SUPERFICIE ELEVADA            |                             |             | EN TUNEL                         |                  |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------------|------------------|
| POSICIÓN DEL MOTOR  | PEGADO A LA VIA                  |                             |             |                                  |                  |
| % VIA               | LEJANO A LA VIA                  |                             |             |                                  |                  |
| % APARATO           |                                  |                             |             |                                  |                  |
|                     | DISTANCIA R.D.E.A. EJE DE NICHOS | DIMENSIONES DE NICHOS       |             | DISTANCIA P.R.E.A. EJE DE NICHOS | DIMENSION NICHOS |
|                     |                                  | MURO A 1.00                 | MURO A 2.50 |                                  |                  |
| A LA DERECHA<br>4   | 2.295                            | SIN CHAROLAS<br>1.15 x 4.00 | 5 x 0.70    | 1.36                             | 4 x 0.70         |
| A LA IZQUIERDA<br>1 | 1.305                            | SIN CHAROLAS<br>1.15 x 4.00 | 5 x 0.70    | 2.16                             | 4 x 0.70         |

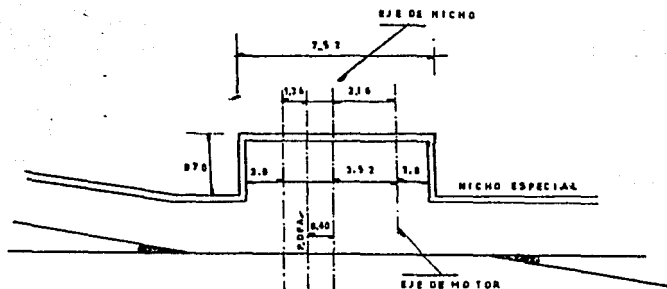


FIG. II.1.10. NICHOS DE APARATO

#### II.1.3.3.3. NICHOS ESPECIALES.

Este tipo de nichos se utiliza generalmente para alojar instalaciones electromecánicas, como son los de puestos de rectificación eléctrica, equipos de tracción, interruptores, seccionadores, etc.

La localización y dimensionamiento de estos nichos dependerá, fundamentalmente, de los estudios correspondientes de cada especialidad.

#### II.1.3.4. VENTILACION.

La ventilación tiene la finalidad de reemplazar el aire contaminado y sobrecalentado por aire fresco del exterior y evitar con ello el malestar debido a la humedad condensada, dando confort al usuario.

Si la temperatura del aire interior es superior a la temperatura del medio ambiente y si existe una comunicación con el exterior, se produce espontáneamente la ventilación en forma natural. La renovación natural del aire, en la solución de Metro tipo subterráneo, es consecuencia de la diferencia de densidades entre éstos aires.

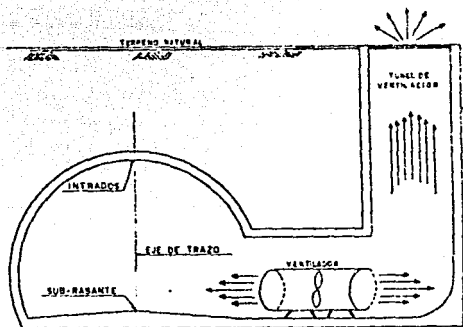
En la solución del Metro tipo subterráneo, se tienen dos sistemas de ventilación: mecánica y natural.

##### II.1.3.4.1. VENTILACION MECANICA.

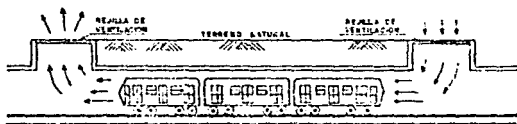
La ventilación mecánica consiste en la instalación de ventiladores que extraen el aire del interior o inyectan aire al interior (fig. II.1.11 siguiente).

##### II.1.3.4.2. VENTILACION NATURAL.

El sistema de ventilación natural consiste en aprovechar el efecto de émbolo que tiene el tren al circular por el túnel, producido principalmente por el aumento de presión que se genera en la parte delantera del convoy, permitiendo la expulsión del aire y a su vez en la parte posterior del mismo convoy ocurre la disminución de presión que provoca una succión de aire (fig. II.1.11).



### VENTILACION MECANICA



### VENTILACION NATURAL

FIG. II.1.11. SISTEMAS DE VENTILACION



## II.2. IMPLANTACION DE VIA.

La Implantación de Vía es el proyecto que se realiza nuevamente una vez terminada la construcción de la estructura que sustentará la vía, ajustándose a los nuevos levantamientos topográficos de las características que presenta el túnel debido a las imperfecciones de las paredes y desviaciones que pudiera tener con respecto al eje de trazo original.

La Implantación de Vía está constituida básicamente por tres proyectos, a saber:

II.2.1. PROYECTO DE IMPLANTACION VIA - TRAZO.

II.2.2. PROYECTO DE IMPLANTACION VIA - PERFIL.

II.2.3. PROYECTO DE SOBRE-ELEVACIONES.

II.2.1. PROYECTO DE IMPLANTACION VIA - TRAZO..

Una vez que se ha construido la estructura que alojará la vía, se deberá implantar el eje de trazo del proyecto original, de tal manera que nos permita comparar las longitudes de las tangentes y las deflexiones angulares ( $\Delta$ ). Si dichas magnitudes no concuerdan con las de la estructura, se harán los ajustes necesarios que deberán constituir el eje de trazo definitivo.

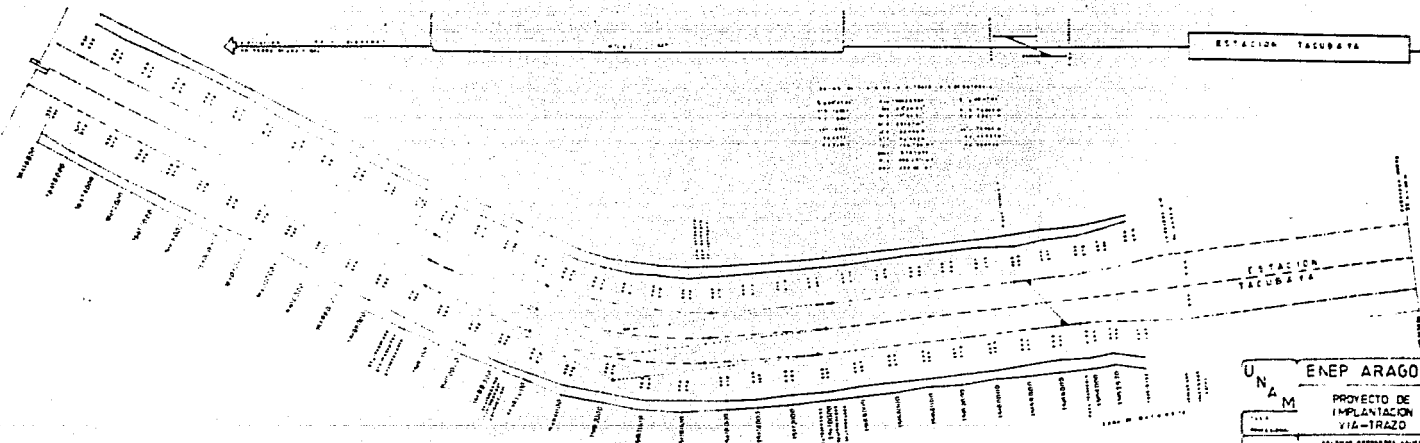
Definido el eje de trazo definitivo, se deberán levantar secciones transversales en tramos tangentes a cada 20 m. y en zona de curvas a cada 10 m. Esta información permitirá el análisis de las dimensiones necesarias para el paso de trenes y los espacios requeridos para los andadores en tramos de intersección e instalaciones fijas.

Si el levantamiento de las tangentes y deflexiones está de acuerdo al del proyecto original (con tolerancias de 20 cm. por cada 100 m. para las distancias y de 20 seg. para valores angulares) se procederá al cálculo exterior e interior de las vías, dándoles cadenamientos a partir del eje de trazo. De lo contrario, se hará el cálculo de las curvas con los nuevos valores obtenidos.

Teniendo ya efectuados todos los cálculos de las curvas, como son el eje de trazo, los ejes de vía y la separación de los ejes de vía, se dibujará a escala longitudinal 1:500 y transversal 1:50 el eje de trazo con todos los cadenamientos de los puntos principales de las curvas, las dos estaciones del tramo, los puntos que correspondan a los gálibos del levantamiento topográfico, los ejes de ambas vías (anotando su separación con respecto al eje de trazo) y los cadenamientos de los puntos principales de los ejes de las curvas.



Al implantar el eje de trazo original, se tuvo la necesidad de hacer ciertos ajustes ya que la deflexión que se tenía inicialmente no correspondía a la que se obtuvo después de hacer el levantamiento topográfico, quedando así la deflexión, para el trazo definitivo, de  $33^{\circ}29'52''$  derecha con un radio nominal de 300 m. y un  $PI = 15 + 820.584$ .



U N A M  
 ENEP ARAGON  
 PROYECTO DE  
 IMPLANTACION  
 Y T-AZADO

## II.2.2. PROYECTO DE IMPLANTACION VIA - PERFIL.

Al término de toda obra civil existen imperfecciones, por lo cual es necesario realizar nuevamente el proyecto de perfil que deberá ajustarse a las condiciones que presenta dicha obra, teniendo en cuenta el proyecto original de perfil.

Este nuevo proyecto es el que fijará la posición definitiva de la pista de rodamiento en cuanto a niveles.

Para proyectar los niveles definitivos se deberán tomar en cuenta las restricciones antes mencionadas, así como las siguientes:

- a) El peralte de la losa de fijación de vía será de 20 a 35 cm
- b) Los gálibos verticales en zona tangente serán de 4.90 y 5.15 m. en curvas horizontales. Estos gálibos son los permitidos en la circunscripción de un rectángulo en una sección circular.
- c) En las estaciones, la altura del nivel de la rasante al piso terminado de los andenes deberá ser de 1.10 m. (con tolerancia de + 2 cm.) con el objeto de evitar grandes desniveles entre el piso del carro y el andén, logrando con ello dar mayor seguridad al pasajero.

El procedimiento para ejecutar el proyecto es el siguiente:

Una vez que se ha dibujado el perfil de subrasante, intrados y andenes, se deberán trazar líneas promedio sobre los puntos correspondientes a la subrasante. En zona de estación, deberán ser horizontales considerando las tolerancias establecidas.

Teniendo ya trazadas las líneas más convenientes, se revisarán los tramos en cuanto a gálibos verticales con el proyecto y en caso necesario, se realizarán las modificaciones pertinentes. Una vez hecho esto, se trazan líneas paralelas sobre las anteriores y que corresponderán al nivel de la losa de fijación y al nivel de la rasante, que será el de la superficie de rodamiento del neumático. De esta última, se tendrán los PIV y se calcularán las pendientes de las tangentes respectivas.

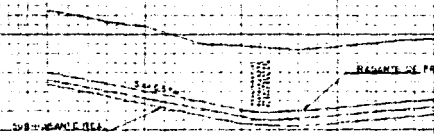
Una vez ubicados los PIV de la rasante con sus elevaciones, se calculan todas las curvas verticales con cotas a cada 5 m. y a éstas cotas se les resta el valor del peralte de la pista y de las almadillas para obtener las cotas superiores de la losa de fijación.

El proyecto de Implantación de Vía-Perfil, deberá comprender:

- a) Localización del trazo esquemático, ubicación de estaciones, aparatos de vía, etc.
- b) Gráfica de rasante de proyecto, donde se acotarán las pendientes.

- c) Localización de curvas verticales, radios, cadenamientos y elevaciones, anotando los niveles a cada 5 m. en curva y a cada 20 m. en tramo tangente.
- d) Cotas de subrasante, andenes, etc.

A ESTACION  
5 KM. NOROCCIDENTE DE LOS PINOS



1000  
900  
800  
700  
600  
500  
400  
300  
200  
100  
0

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000



### II.2.3. PROYECTO DE SOBRE-ELEVACIONES.

La sobre-elevación se define como la pendiente transversal (3 mm/m) que se le dá al riel exterior de la vía, en zona de curva horizontal, para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga del tren.

Cuando un tren recorre una curva horizontal a cierta velocidad, se produce una fuerza centrífuga inversamente proporcional al radio de la curva y directamente proporcional al cuadrado de la velocidad tangencial, esto es:

$$F = (M) (V^2) / R$$

Esta fuerza transversal provoca mayor presión sobre el riel exterior, lo cual demanda sobre-elevarlo para crear otra fuerza centrífuga y que produzca reacciones iguales en ambos rieles.

Para obtener la fórmula teórica del cálculo de sobre-elevaciones, se considera que un tren, al pasar por una curva horizontal con una cierta velocidad deberá estar en equilibrio, para lo cual es necesario que la componente de la fuerza centrífuga (paralela al plano de la vía) sea igual a la componente paralela al plano de la vía del peso del tren. Esta igualdad sólo ocurre para una velocidad llamada de "equilibrio".

$$F_c = (w) (V^2) / g R$$

donde:

F<sub>c</sub> = Fuerza centrífuga (kg)

w = Peso del tren (kg)

V = Velocidad del tren (m/seg)

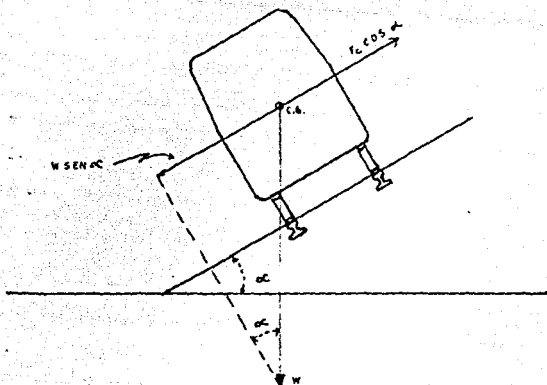
g = Aceleración de la gravedad (m/seg<sup>2</sup>)

R = Radio de la curva horizontal (m)

Los valores teóricos de la sobre-elevación aplicada a cada curva, dependen fundamentalmente del proyecto de trazo, de la velocidad estimada y de las condiciones de confort que se pretenda dar al sistema.

El proyecto de sobre-elevaciones tiene como plano de referencia los niveles de rasante del proyecto de Implantación de Vía-Perfil.

De la figura II.2.1, igualando las fuerzas paralelas al plano de la vía (componente de la fuerza centrífuga y componente del peso del tren):



$$F_c \cos \alpha = W \sin \alpha$$

FIG. II.2.1

Sustituyendo el valor de la fuerza centrífuga teórica, tenemos:

$$\frac{W V^2}{g R} \cos \alpha = W \sin \alpha$$

$$\frac{V^2}{g R} \cos \alpha = \sin \alpha \quad \text{-----} \quad (1)$$

Ahora bien, observando la figura II.2.2:

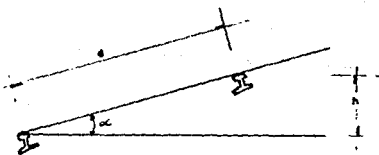


FIG. II.2.2



Trocha de la vía = 1.435 m. (distancia entre paños interiores al hongo del riel)

Hongo del riel = 0.0635 m.

d = 1.4985 m. = 1.50 m.

sen  $\infty$  = h / 1.50 \_\_\_\_\_ ( 2 )

Sustituyendo la ecuación (2) en la ecuación (1), tenemos:

$$\frac{v^2}{g R} \cos \infty = \frac{h}{1.50}$$

$$h = 1.50 \frac{v^2}{g R} \cos \infty$$

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

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

$$h = \frac{0.1529 v^2}{(3.6)^2 R}$$

$$h = 0.011798 \frac{v^2}{R} \cos \infty$$

h en metros  
V en kilómetros / hora  
R en metros

Para obtener h en milímetros y siendo  $\infty$  muy pequeño, el coseno de  $\infty$  se acerca a la unidad:

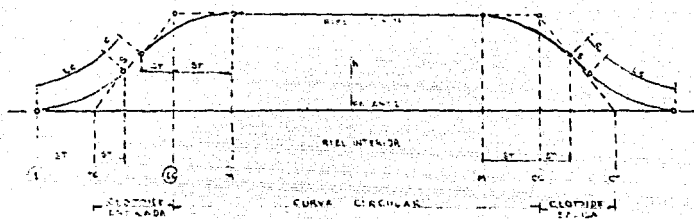
$$h = 1\ 000 (0.011798) \frac{v^2}{R} \cos 0^\circ$$

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

h en milímetros  
V en kilómetros / hora  
R en metros

COMPORTAMIENTO DE LA  
SOBRE-ELEVACION

CURVA EXTERIOR



CURVA INTERIOR

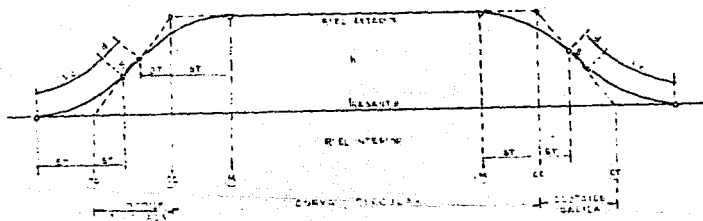


FIG. II.2.3

Observando la figura anterior, la sobre-elevación se dará gradualmente a lo largo de las clotoides de entrada, iniciando con una igual a cero en un punto determinado (1) que se localiza antes del TC de la curva y terminando con el valor de la sobre-elevación máxima en un punto (M) que se localiza después del CC de la curva, conservándose la sobre-elevación máxima a lo largo de toda la curva circular. De manera inversa, se aplica la sobre-elevación en las clotoides de salida.

La transición entre el punto (1), con clotoide de entrada y el punto (M) con clotoide de salida, se hará por medio de una curva vertical parabólica con radio de curvatura de 2 500 m., de la forma:

$$y = \frac{x^2}{2R} = \frac{x^2}{5000}$$

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

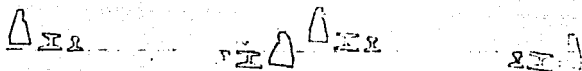


FIG. II.2.4

#### II.2.3.1. INSUFICIENCIA MÁXIMA DE PERALTE.

Empíricamente se ha determinado que para dar mayor confort a los pasajeros, se debe tener un peralte máximo permisible no mayor de 160 mm., de manera que la pendiente para alcanzar esa sobre-elevación no deberá ser mayor de 3 mm / m.

Debido a esta restricción, es necesario utilizar todos los recursos del sistema de vía que puedan absorber parte del empuje ocasionado por la fuerza centrífuga. Se ha calculado que el sistema de sujeción de las vías, rieles y barra guía, absorben una parte de la fuerza centrífuga equivalente a 1/10 del peso del tren ( $F_i = 1/10 w$ ).

Por lo tanto, para la máxima sobre-elevación se tendrá, de la ecuación (2):

$$\text{sen } \infty = h / 1.50$$

De la primer figura, la fuerza centripeta  $F_i$ :

$$F_i = w \text{ sen } \infty$$

$$\text{sen } \infty = F_i / w \quad \text{-----} \quad (3)$$

Igualando la ecuación (2) con la (3), tenemos:

$$h / 1.50 = F_i / w$$

Si sabemos que  $F_i = 1/10 w$ , por lo tanto

$$h / 1.50 = (1/10 w) / w$$

$$h / 1.50 = 1/10$$

$$h = 0.15 \text{ m.} = 150 \text{ mm.}$$

En consecuencia, para la máxima sobre-elevación se admitirá una insuficiencia en la misma de 150 mm., es decir, si el peralte es de 160 mm., el peralte teórico máximo será de  $160 + 150 = 310$  mm., ya que la velocidad máxima de operación estará en función de este último valor.

Para el cálculo de las sobre-elevaciones se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$Lc1 = h / S$$

$$Lc = R S$$

$$St = Lc / 2$$

donde:

$Lc1$  = longitud del tramo en el cual se obtiene el peralte (clotoide).

$h$  = valor del peralte respecto a la velocidad del tren.

$S$  = pendiente.

$Lc$  = longitud de curva.

$St$  = subtangente.

$R$  = radio

$$Tc = \frac{St^2}{2R}$$

Sobre-elevación en el Tc

$$Lc = St \cdot S$$

Sobre-elevación en la longitud de la curva

CALCULO DE LAS SOBRE-ELEVACIONES DE LAS CURVAS 191 Y 192.

Tramo: Tacubaya - San Pedro de los Pinos.

Curva 191 (interior) :

$$Lc1 = 73.263 \text{ m.}$$

$$Tc = 15 + 693.688$$

$$h = 0.16 \text{ m.}$$

$$CT = 15 + 941.058$$

$$R = 2\,500 \text{ m.}$$

$$S = h / Lc1 = 0.160 / 73.263$$

$$S = 0.002183913$$

$$Lc = R \cdot S = 2\,500 (0.002183913)$$

$$Lc = 5.4597825 \text{ m.}$$

$$St = Lc / 2 = 5.4597825 \text{ m} / 2$$

$$St = 2.72989125 \text{ m.} = 2.73 \text{ m.}$$

Longitud con pendiente constante (d):

$$d = Lc1 - Lc = 73.263 - 5.459$$

$$d = 67.804 \text{ m.}$$

Esta longitud "d" deberá dividirse en cuerdas cercanas a 2.50 m. para dar niveles, como se puede ver en el plano anexo.

Cálculo de las sobre-elevaciones de los puntos (2) y (3).

$$Y = \frac{X^2}{2R} = \frac{X^2}{5\,000}$$

$$Y = 0.0002 X^2$$

$$Y3 = 0.0002(Lc)^2 = 0.0002 (5.46)^2$$

$$Y3 = 0.0059 = 0.006 \text{ m.}$$

$$Y2 = 0.0002 \text{ St}^2 = 0.0002 (2.73)^2$$

$$Y2 = 0.0014 = 0.001 \text{ m.}$$

Curva 192 (exterior):

$$Lc1 = 68.727 \text{ m.}$$

$$h = 0.14 \text{ m.}$$

$$R = 2\,500 \text{ m.}$$

$$S = h / Lc1 = 0.14 (68.727)$$

$$S = 0.002037$$

$$Lc = R S = 2\,500 (0.002037)$$

$$Lc = 5.092 \text{ m.}$$

$$St = Lc / 2 = 5.092 / 2$$

$$St = 2.546 \text{ m.}$$

$$d = Lc1 - Lc = 68.72 - 5.092$$

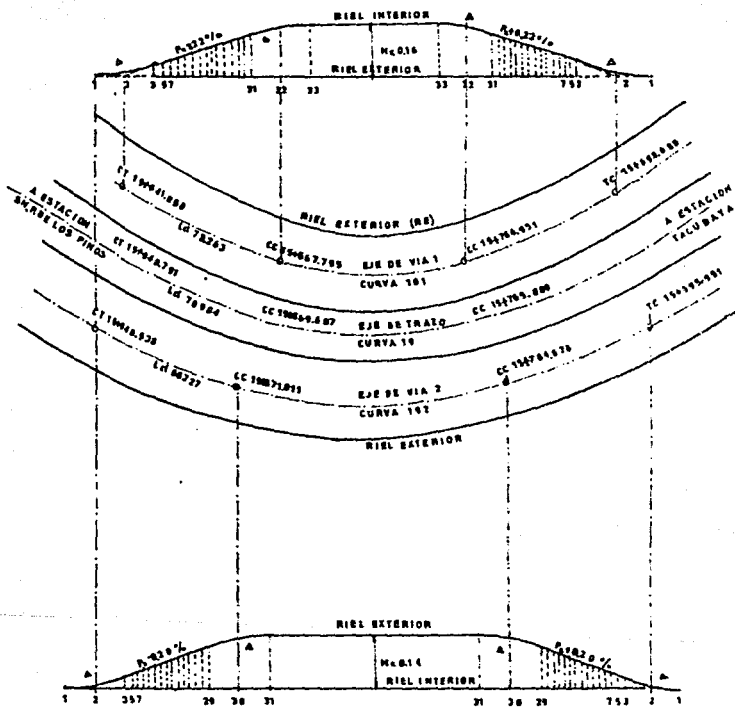
$$d = 63.628 \text{ m.}$$

$$Y3 = 0.0002 Lc^2 = 0.0002 (5.092)^2$$

$$Y3 = 0.005 \text{ m.}$$

$$Y2 = 0.0002 St^2 = 0.0002 (2.546)^2$$

$$Y2 = 0.001 \text{ m.}$$



PROYECTO DE  
SOBRE-ELEVACIONES

## CURVA No. 191

| NUM.<br>SECC | DIB-<br>TANCIA | S.E.<br>TOTAL | R.E.<br>VIA 1 | R.I.<br>VIA 1 | C A D E N A -<br>M I E N T O S |            | ENTRE-<br>VIA |
|--------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------|------------|---------------|
| 1            | TC 2.730       | 0.000         | 0.000         | 0.000         | 15+690.958                     | 15+943.788 | 1.450         |
| 2            | CT 2.730       | 0.001         | 0.000         | 0.001         | 15+693.688                     | 15+941.058 |               |
| 3            | 2.500          | 0.006         | 0.000         | 0.006         | 15+696.418                     | 15+938.328 |               |
| 4            | 2.500          | 0.011         | 0.000         | 0.011         | 15+698.918                     | 15+935.828 |               |
| 5            | 2.500          | 0.017         | 0.000         | 0.017         | 15+701.418                     | 15+933.328 |               |
| 6            | 2.500          | 0.022         | 0.000         | 0.022         | 15+703.918                     | 15+930.828 |               |
| 7            | 2.500          | 0.028         | 0.000         | 0.028         | 15+706.418                     | 15+928.328 |               |
| 8            | 2.500          | 0.033         | 0.000         | 0.033         | 15+708.918                     | 15+925.828 |               |
| 9            | 2.500          | 0.039         | 0.000         | 0.039         | 15+711.418                     | 15+923.328 |               |
| 10           | 2.500          | 0.044         | 0.000         | 0.044         | 15+713.918                     | 15+920.828 |               |
| 11           | 2.500          | 0.050         | 0.000         | 0.050         | 15+716.418                     | 15+918.328 |               |
| 12           | 2.500          | 0.055         | 0.000         | 0.055         | 15+718.918                     | 15+915.828 |               |
| 13           | 2.500          | 0.061         | 0.000         | 0.061         | 15+721.418                     | 15+913.328 |               |
| 14           | 2.500          | 0.066         | 0.000         | 0.066         | 15+723.918                     | 15+910.828 |               |
| 15           | 2.500          | 0.071         | 0.000         | 0.071         | 15+726.418                     | 15+908.328 |               |
| 16           | 2.500          | 0.077         | 0.000         | 0.077         | 15+728.918                     | 15+905.828 |               |
| 17           | 2.500          | 0.082         | 0.000         | 0.082         | 15+731.418                     | 15+903.328 |               |
| 18           | 2.500          | 0.088         | 0.000         | 0.088         | 15+733.918                     | 15+900.828 |               |
| 19           | 2.500          | 0.093         | 0.000         | 0.093         | 15+736.418                     | 15+898.328 |               |
| 20           | 2.500          | 0.099         | 0.000         | 0.099         | 15+738.918                     | 15+895.828 |               |
| 21           | 2.500          | 0.104         | 0.000         | 0.104         | 15+741.418                     | 15+893.328 |               |



CURVA No. 191 (continuación)

| NUM.<br>SECC | DIS-<br>TANCIA | S.E.<br>TOTAL | R.E.<br>VIA 1 | R.I.<br>VIA 1 | C A D E N A -<br>M I E N T O S |            | ENTRE-<br>VIA |
|--------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------|------------|---------------|
| 22           |                | 0.110         | 0.000         | 0.110         | 15+743.918                     | 15+890.828 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 23           |                | 0.115         | 0.000         | 0.115         | 15+746.418                     | 15+888.328 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 24           |                | 0.121         | 0.000         | 0.121         | 15+748.918                     | 15+885.828 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 25           |                | 0.126         | 0.000         | 0.126         | 15+751.418                     | 15+883.328 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 26           |                | 0.132         | 0.000         | 0.132         | 15+753.918                     | 15+880.828 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 27           |                | 0.137         | 0.000         | 0.137         | 15+756.418                     | 15+878.328 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 28           |                | 0.142         | 0.000         | 0.142         | 15+758.918                     | 15+875.828 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 29           |                | 0.148         | 0.000         | 0.148         | 15+761.418                     | 15+873.328 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 30           |                | 0.151         | 0.000         | 0.151         | 15+762.819                     | 15+871.927 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 31           |                | 0.154         | 0.000         | 0.154         | 15+764.221                     | 15+870.525 |               |
| CC           | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 32           |                | 0.159         | 0.000         | 0.159         | 15+766.951                     | 15+867.795 |               |
| CC           | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 33           |                | 0.160         | 0.000         | 0.160         | 15+769.681                     | 15+865.065 | 1.500         |

## CURVA No. 192

| NUM.<br>SECC | DIS-<br>TANCIA | S.E.<br>TOTAL | R.E.<br>VIA 2 | R.I.<br>VIA 2 | C A D E N A -<br>M I E N T O S |            | ENTRE-<br>VIA |
|--------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------|------------|---------------|
| 1            |                | 0.000         | 0.000         | 0.000         | 15+693.405                     | 15+943.084 | 1.450         |
|              | 2.546          |               |               |               |                                |            |               |
| 2            |                | 0.001         | 0.001         | 0.000         | 15+695.951                     | 15+940.538 |               |
|              | 2.546          |               |               |               |                                |            |               |
| 3            |                | 0.005         | 0.005         | 0.000         | 15+698.497                     | 15+937.992 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 4            |                | 0.010         | 0.010         | 0.000         | 15+700.997                     | 15+935.492 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 5            |                | 0.015         | 0.015         | 0.000         | 15+703.497                     | 15+932.992 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 6            |                | 0.020         | 0.020         | 0.000         | 15+705.997                     | 15+930.492 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 7            |                | 0.026         | 0.026         | 0.000         | 15+708.497                     | 15+927.992 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 8            |                | 0.031         | 0.031         | 0.000         | 15+710.997                     | 15+925.492 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 9            |                | 0.036         | 0.036         | 0.000         | 15+713.497                     | 15+922.992 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 10           |                | 0.041         | 0.041         | 0.000         | 15+715.997                     | 15+920.492 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 11           |                | 0.046         | 0.046         | 0.000         | 15+718.497                     | 15+917.992 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 12           |                | 0.051         | 0.051         | 0.000         | 15+720.997                     | 15+915.492 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 13           |                | 0.056         | 0.056         | 0.000         | 15+723.497                     | 15+912.992 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 14           |                | 0.061         | 0.061         | 0.000         | 15+725.997                     | 15+910.492 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 15           |                | 0.066         | 0.066         | 0.000         | 15+728.497                     | 15+907.992 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 16           |                | 0.071         | 0.071         | 0.000         | 15+730.997                     | 15+905.492 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 17           |                | 0.076         | 0.076         | 0.000         | 15+733.497                     | 15+902.992 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 18           |                | 0.082         | 0.082         | 0.000         | 15+735.997                     | 15+900.492 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 19           |                | 0.087         | 0.087         | 0.000         | 15+738.497                     | 15+897.992 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 20           |                | 0.092         | 0.092         | 0.000         | 15+740.997                     | 15+895.492 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 21           |                | 0.097         | 0.097         | 0.000         | 15+743.497                     | 15+892.992 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |
| 22           |                | 0.102         | 0.102         | 0.000         | 15+745.997                     | 15+890.492 |               |
|              | 2.500          |               |               |               |                                |            |               |

## CURVA No. 192 (continuación)

| NUM.<br>SECC | DIS-<br>TANCIA | S.E.<br>TOTAL | R.E.<br>VIA 2 | R.I.<br>VIA 2 | C A D E N A -<br>M I E N T O S |            | ENTRE-<br>VIA |
|--------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------|------------|---------------|
| 23           |                | 0.107         | 0.107         | 0.000         | 15+748.497                     | 15+887.992 |               |
| 24           | 2.500          | 0.112         | 0.112         | 0.000         | 15+750.997                     | 15+885.492 |               |
| 25           | 2.500          | 0.117         | 0.117         | 0.000         | 15+753.497                     | 15+882.992 |               |
| 26           | 2.500          | 0.122         | 0.122         | 0.000         | 15+755.997                     | 15+880.492 |               |
| 27           | 2.500          | 0.127         | 0.127         | 0.000         | 15+758.497                     | 15+877.992 |               |
| 28           | 2.500          | 0.133         | 0.133         | 0.000         | 15+760.997                     | 15+875.492 |               |
| 29           | 2.500          | 0.135         | 0.135         | 0.000         | 15+762.132                     | 15+874.357 |               |
| 30           | 2.500          | 0.139         | 0.139         | 0.000         | 15+764.678                     | 15+871.811 |               |
| 31           |                | 0.140         | 0.140         | 0.000         | 15+767.224                     | 15+869.265 | 1.500         |

### II.3. PROYECTO DE FIJACION DE VIA.

La finalidad de éste proyecto es determinar el tipo de sujeción que deberá tener la vía en la losa de concreto, los diversos espesores de losa que se tendrán a lo largo de la línea, la distribución de anclajes sobre ésta y la colocación de aparatos de vía.

La realización del Proyecto de Fijación de Vía se lleva a cabo mediante la elaboración de cuatro proyectos, a saber:

II.3.1. PROYECTO GEOMETRICO DE LOSA.

II.3.2. PROYECTO DE NIVELES DE LOSA EN CURVA.

II.3.3. PROYECTO DE DISTRIBUCION DE ANCLAJES.

II.3.4. PROYECTO DE COLOCACION DE APARATOS DE VIA.

Cada uno de éstos tiene una función de suma importancia en las actividades para la fijación de la vía, por lo cual deberán estar bien relacionadas entre sí para llevar a cabo un adecuado sistema de anclaje de la vía.

II.3.1. PROYECTO GEOMETRICO DE LOSA.

Este proyecto tiene como objetivo primordial, definir el dimensionamiento de la losa que sustentará a la vía.

Tomando en cuenta los datos de los Proyectos de Galibos, Implantación de Vía - Trazo, Implantación de Vía - Perfil, Sobre-elevación en curvas y requerimientos de preparaciones de instalaciones, se determinan las áreas y espesores de losa necesarias para la fijación de la vía y de los andadores.

Todos los datos referentes a éste proyecto se deben dar a cada 2.50 m. sobre los ejes de vía.

II.3.2. PROYECTO DE NIVELES DE LOSA EN CURVA.

Básicamente, el objetivo de dicho proyecto es dar una nivelación a cada 2.50 m. sobre el eje de vía, considerándose dos niveles exclusivamente: uno sobre el eje de entre vía y otro en el límite del área de fijación y el área de andador, quedando éste en un nivel horizontal para dar mayor comodidad al personal de mantenimiento que circule por él.

Este proyecto se lleva a cabo respetando los Proyectos de Implantación de Vía - Perfil, Implantación de Vía - Trazo y Sobre-elevaciones.

### II.3.3. PROYECTO DE DISTRIBUCION DE ANCLAJES.

Este proyecto nos vá a permitir diseñar la separación y el tipo de anclajes que deberán tener todos los elementos que sustentarán a la vía.

Al realizar éste proyecto, es necesario que se considere la presencia de:

- Juntas aislantes
- Aparatos de vía
- Cupones neutros
- Localización de curvas horizontales.

Cada uno de éstos elementos tienen una distribución tipo de anclaje para su fijación, por lo que es necesario conocer su localización en el tramo, para poder hacer los ajustes necesarios al llegar a éstas zonas.

Se ha determinado que para tramo tangente y curvas con radio mayor a 500 m., la separación entre ejes de calzadas de riel y pista deberá ser de 0.75 m. y para curvas con radio menor a 500 m. la separación deberá ser de 0.60 m.

La barra guía deberá sustentarse por medio de aisladores cuya distancia a ejes en tramo tangente y en curvas mayores a 500 m. deberá ser a cada 3 m. y para tramos en curvas con radio menor a 500 m. deberán estar a 1.80 m.

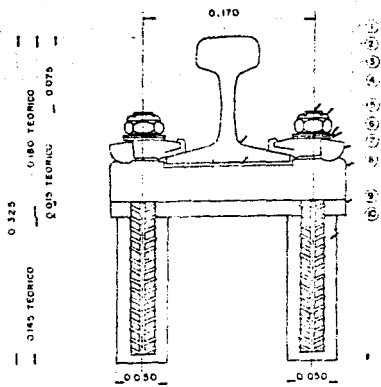
La posición del aislador como las calzadas de riel y pista no deberá ser colinial, ya que se debe tener el espacio necesario para el mantenimiento de las vías.

El Proyecto de Distribución de Anclajes deberá contener los cadenamamientos de:

- Ejes de estación, cabecera norte, cabecera sur.
- Puntos principales de las curvas.
- Aparatos de vía.
- Ejes de juntas aislantes.
- Ejes de cupones neutros.

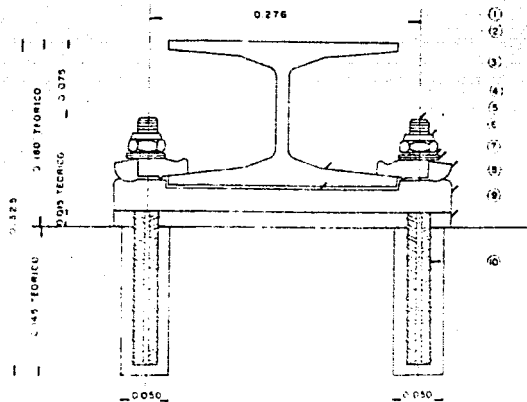
Esta información tendrá como base los Proyectos de Implantación de Vía y todos los cadenamamientos deberán estar referidos al eje de trazo. Se deberá indicar el tipo de calza a utilizarse en cada uno de los perfiles.

Para el tramo en estudio, se cuenta con un aparato de vía, un cupón neutro y ocho juntas aislantes por ambas vías.



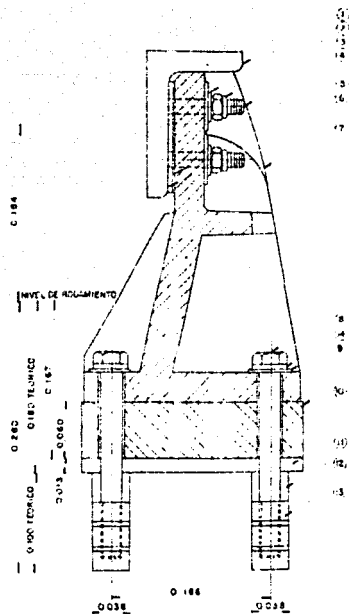
| DESCRIPCION |   |
|-------------|---|
| 1           | RIEL DE 80 ASCE   |
| 2           | ALMOHADILLA AISLANTE DE RIEL 80 ASCE                                      |
| 3           | VARILLA DE FIJACION RP 80   |
| 4           | TUERCA AUTOFRENADA E M 20 ACERO MEDIO                                     |
| 5           | CURVO CLASE 10 (ALTURA 18 MM) PASE 2.5 MM<br>CON PROTECCION ELECTROLITICA |
| 6           | WOLDANA ELASTICA PARA TORNILLO Ø 20 MM                                    |
| 7           | WOLDANA PLANA M20 (INT 21MM, EXT 40 MM)<br>ESPESOR 3 MM                   |
| 8           | GRAPA RP 80   |
| 9           | CALZA AISLANTE DE RIEL 80 ASCE  |
| 10          | PRODUCTO DE RELLENO   |

FIJACION DE RIEL  
(80 ASCE)  
(SIN ESCALA)



| DESCRIPCION |  |
|-------------|--|
| 1           | PISTA METALICA   |
| 2           | ALMOHADILLA AISLANTE DE PISTA METALICA                               |
| 3           | VARILLA DE FIJACION RP 80  |
| 4           | TUERCA AUTOFRENADA 8 M20 (ALTEZA 18 MM)                              |
| 5           | WASHER 25 MM CON PROTECCION ELECTROLITICA, ACERO MEDIO DURO CLASE 10 |
| 6           | BOLSA ELASTICA PARA TORNILLO 8/20 MM                                 |
| 7           | WELDA PLANA 20/8/21 MM, DEXT 40 MM (SUSPENSOR 5 MM)                  |
| 8           | UNDA RP 80   |
| 9           | CALCA AISLANTE DE PISTA METALICA                                     |
| 10          | PRODUCTO DE RELLENO  |
| 11          | PRODUCTO DE SELLAMIENTO  |

FIJACION DE PISTA  
(SIN ESCALA)



| DESCRIPCIÓN |  |
|-------------|--|
| 1           | BARRA LINA Y DE TOMA DE CORRIENTE            |
| 2           | ROLDANA L 18 N                               |
| 3           | BUENCA ALTOPRENADA M 16                      |
| 4           | PERNO NELSON                                 |
| 5           | CALZA DE AJUSTE FINO (15 y 4 MM)             |
| 6           | CALZA PERMANENTE DE 3 PERFORACIONES (5 MM)   |
| 7           | AISLADOR                                     |
| 8           | TORNILLO Ø M22 (CABEZA ENCLAVADA LONG 0 200) |
| 9           | ROLDANA PLANA ALARGADA Ø 2                   |
| 10          | CALZA DE AISLADOR                            |
| 11          | PRODUCTO DE RELLENO                          |
| 12          | PRODUCTO DE SELLAMIENTO                      |
| 13          | ANCLAJE CON CILINDRO DE PLOMO                |
| 14          | ROLDANA SHOWER W1-22                         |

FIJACION DE AISLADOR  
(SIN ESCALA)



#### II.3.4. PROYECTO DE COLOCACION DE APARATOS DE VIA.

Los aparatos de vía son equipos que se instalan sobre una línea del Metro, cuya función es la de efectuar un cambio de dirección o de vía de los trenes. Estos equipos son piezas moldeadas contituidas de acero al manganeso, que integran a su vez los rieles y las pistas.

Dadas las funciones que realizan éstos aparatos, se dividen en aparatos de enlace y de comunicación.

Los aparatos de enlace son los que sirven para realizar la convergencia y la divergencia de dos vías (fig. II.3.1).

APARATOS DE ENLACE

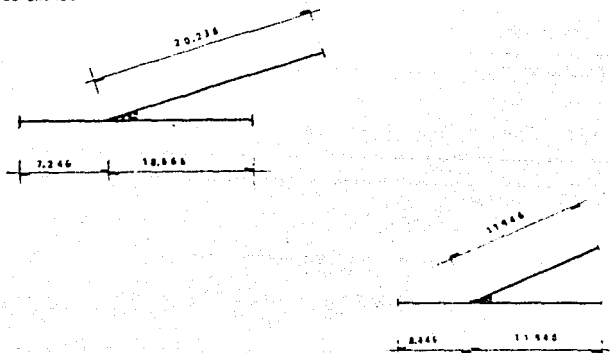


FIG. II.3.1

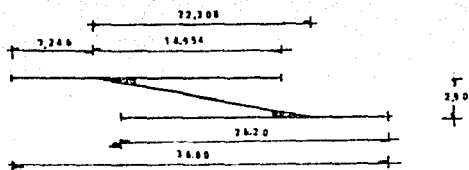
Un aparato de comunicación es el que nos permite la unión entre dos vías adyacentes y está constituido por dos enlaces dispuestos en sentido opuesto y operados simultáneamente.

Por el ángulo de desvío que tienen estos aparatos, se clasifican en aparatos de tangente 0.13 y tangente 0.20.

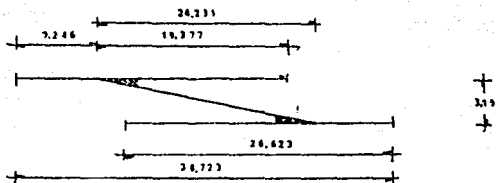
Los primeros se instalarán en vías principales y en colas de maniobras, en tanto los segundos se instalarán en áreas de maniobras de talleres, como se observa en las figuras siguientes.

# APARATOS DE COMUNICACION

a) COMUNICACION TANGENTE 0,13 CON ENTREVIA 330 MT



b) COMUNICACION TANGENTE 0,13 CON ENTREVIA DE 315 M T.



c) COMUNICACION TANGENTE 0,13 CON ENTREVIA DE 335 MT

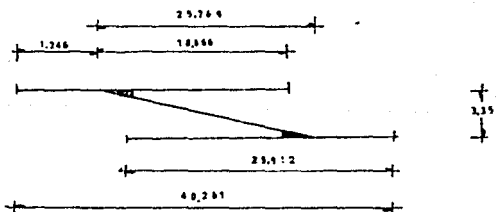


FIG. II.3.2

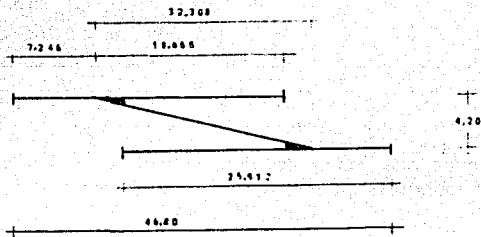


FIG. II.3.2

El tipo de riel y contrarriel que se utiliza es de 100n lb/yd, en tanto la pista y la barra guía permanecen inalterables.

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

Los aparatos incluyen además agujas, piezas moldeadas de acero al manganeso, para los cuales las funciones del riel y de la pista son sustituidas por un conjunto monolítico. Estas piezas son emplanchueladas entre ellas y ancladas en la losa de fijación.

Para la implantación de cada uno de los aparatos mencionados, se deberá elaborar un plano correspondiente en base a los planos tipo respectivos, indicándose los cadenamientos para las puntas de aparatos (P. de A.), ejes de motor, juntas aislantes (J. A.) y cortes de barra guía; así mismo, la distribución del tipo de cada una de las calzas, grapas, anclajes y tipo de cerrojo.

Además, se anotarán las cotas de barra guía en cada uno de los aisladores y la separación entre riel y contrarriel.

Estos planos servirán tanto para el cotejo con el fabricante como también para guía del personal de la obra electromecánica encargado de su recepción.

En el tramo en estudio se proyectó la implantación de un aparato de comunicación de tangente 0.13.



**CAPITULO III. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA LA LOSA DE FIJACION**

### III.1. TRABAJOS PRELIMINARES.

Una vez concluida la obra civil en cada una de las etapas que comprendió la construcción de la línea 7 del Metro se procedía a realizar un recorrido de inspección por los tramos de túnel, teniendo ésto la finalidad de conocer sus características y las de la losa inferior o estructural (que forma parte del revestimiento definitivo del túnel) para con ello hacer la comparativa con respecto a los proyectos mencionados en el capítulo anterior y en su caso proceder a realizar su adecuación, tanto en campo como en gabinete (fotografía III.1.1).



FOTOGRAFIA III.1.1

A continuación se realizaba una serie de trabajos topográficos que permitieran ubicar el trazo y los niveles de rasante.

#### **III.1.1.1. UBICACION DEL EJE DE TRAZO, EJE DE VIAS Y NIVELES DE RASANTE.**

Antes de comenzar los trabajos de vía, o sea el colado de la losa de fijación, era necesario replantear el trazado de la vía sobre la losa de fondo o inferior, así como marcar su perfil longitudinal sobre los muros del túnel. Para ello, se toman como referencia los datos proporcionados en los planos de Implantación de Vía-Trazo y en el de Implantación de Vía-Perfil, respectivamente.

El eje de entavía se toma como el eje de trazo y se ubica dejando marcas o "palomas" a cada 20 m. en tramo tangente (rectas) y a cada 5 m. en zona de curva y en los enlaces parabólicos o clotoides, sobre el eje de cada vía.

Se marcan los puntos importantes de las curvas (TC, CC, PI, CC, CT y PST) y tangentes en el lecho superior del túnel (intrados), ésto con el fin de que una vez que se tenga colada la losa, se puedan reponer posteriormente dichos ejes.

Así mismo, se sitúan los ejes de vía y entrevía de acuerdo a los datos proporcionados en el plano respectivo.

Los ejes de cada vía en zona de tangente son marcados también a cada 20 m. con referencia a la línea anteriormente trazada para el eje de entrevía. También son colocadas marcas de referencia a intervalos regulares de 5 m. en zona de curva (fotografía III.1.2).



FOTOGRAFIA III.1.2

El eje de entrevía en zona de curva define la junta constructiva de las losas de las vías, previendo con esto el devastamiento posterior motivado por la interferencia de la zona que deba ocupar cada una de ellas.

Todos los puntos principales se referencian en el intrados del túnel, pintando sus nombres y kilometrajes respectivos.

Una vez terminado el trabajo de trazo sobre la losa estructural, se procede a dejar marcas normales al eje y se pinta en los muros el kilometraje y su gálibo horizontal medido.

Normalmente se dejan clavos sobre la losa, intrados y muros en donde se localizan los puntos principales y puntos sobre tangentes.

Por otro lado, en lo concerniente a la ubicación de niveles de rasante, el perfil longitudinal servirá para regularizar el espesor de la capa de concreto de la losa, en primer término, y para la posterior nivelación de la vía.

Con los datos de la rasante definitiva y apoyados en los bancos de nivel (B.N.) localizados en el túnel, se ubican marcas a lo largo del tramo a una altura constante de 0.70 m. por arriba de dicha rasante de proyecto.

El nivel de las vías en rectas se obtiene mediante marcas o "niveletas", siendo estos puntos de referencia fijos y trazados regularmente a cada 20 m. sobre los dos muros adyacentes a la vía.

Al igual que en recta, las niveletas en zona de curva se marcarán sobre el muro correspondiente de cada vía a una altura constante de 0.70 m. y a cada 5 m. (fig. III.1.3).



FIG. III.1.3

Estos niveles estarán referidos a la fila baja de rieles para cada vía, siendo el peralte el que fija posteriormente el nivel de la segunda fila de rieles en la vía considerada.

Todos éstos niveles debieron ser marcados lo más preciso posible, con el fin de facilitar el respeto de las tolerancias requeridas para la colocación de las vías.

### III.2. PREPARATIVOS PARA EL COLADO DE LA LOSA.

Esta parte de la tesis la entenderemos como la serie de actividades secuenciales que nos permitan garantizar la correcta colocación del concreto para la losa de fijación.

#### III.2.1. LIMPIEZA DE LA LOSA DE PISO.

Consiste en el retiro del escombros o rezaga producto de la obra civil que se localizara en la zona de trabajo.



A continuación, se procede a efectuar el "tecateo" de la losa inferior o de piso, cuya actividad consiste en quitar la costra o escoria de ésta para producir una superficie de contacto adecuada y obtener con ello una mejor adherencia entre el concreto nuevo y el concreto viejo (losa de piso), como se puede apreciar en la siguiente fotografía.



FOTOGRAFIA III.2.1

### III.2.2. HABILITADO Y COLOCACION DE LA CIMBRA.

El habilitado se refiere al transporte de la cimbra metálica (perfil tubular de 3.00 X 0.10 X 0.05 m.) a las lumbreras más próximas a los tramos en los cuales se tendría el colado.

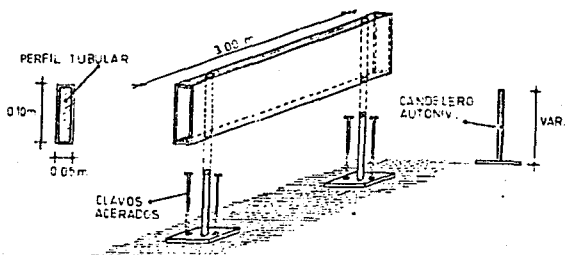
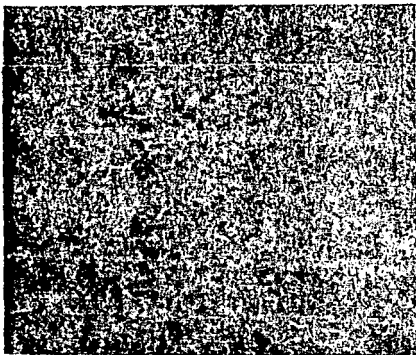


FIG. III.2.2

En seguida, y como parte del habilitado, es acarreada hasta el lugar requerido, procurando no golpearla para evitar deformaciones en sus caras de apoyo y contacto, siendo repartida a lo largo de la zona por colar.

La colocación de la cimbra se hace sobre candeleros autonivelantes, los cuales se fijan a la losa de piso por medio de clavos acerados hincados con pistola de cartucho (fotografía III.2.3).



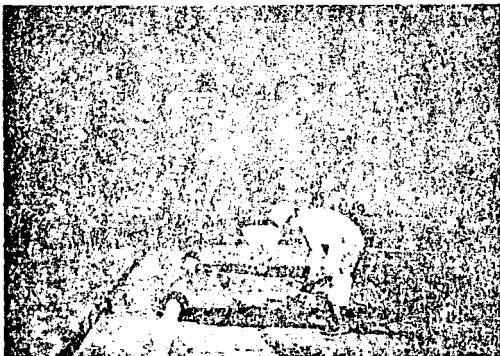
FOTOGRAFIA III.2.3

Para la colocación definitiva de éste perfil, es necesario su correcta alineación y nivelación.

### III.3. ALINEACION Y NIVELACION DE LA CIMBRA METALICA.

#### III.3.1. ALINEACION DE LA CIMBRA.

La alineación se entiende como la actividad de colocar la cimbra siguiendo como referencia una línea de trazo, de acuerdo a lo especificado en el proyecto respectivo del tramo en cuestión (fotografía III.3.1 siguiente).



FOTOGRAFIA III.3.1

Para ubicar la cimbra en tramo tangente, se puede proceder de dos maneras:

La primera es tomando como referencia el eje de entravía o eje de trazo para su alineación, haciendo coincidir éste con la cara o paño interior de la primera fila de cimbras y midiendo 2.95 m. al paño interior de la otra fila de éstas últimas, localizada junto a la zona del andador (fig. III.3.2).

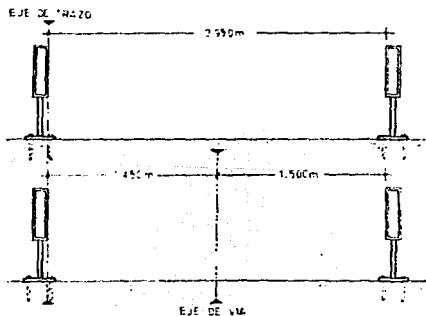


FIG. III.3.2

La otra forma es apoyándose del eje de vía y medir 1.45 m. al eje de entrevía y alinear la primera fila de cimbras, en tanto para la otra fila se localizará su posición midiendo 1.50 m. a partir del mismo eje de vía hacia la zona del andador (fig. III.3.2 anterior).

Para llevar a cabo la alineación de la cimbra en zona de curva, es importante analizar previamente el comportamiento particular de la geometría en la curva referida, considerando el cambio que se produce al pasar de una tangente a una curva compuesta, ya que se presenta una variación en la entrevía, que tanto en la clotoide de entrada (TC al CC) como en la de salida (CC al TC) varía proporcionalmente con respecto a su distancia, en tanto que durante toda la circular (CC al CC) la entrevía se mantiene constante.

Debido a que la cimbra metálica tiene una longitud de 3 m. y que las palomas marcadas en las curvas se encuentran localizadas a cada 5 m. se hizo necesario determinar puntos intermedios para cada posible ubicación de los candeleros, referidos según el eje correspondiente.

Determinada la referenciación auxiliar, se coloca primeramente la cimbra de la vía interior de la curva y posteriormente la de la vía exterior. El procedimiento anterior nos permitirá una adecuada colocación del concreto a todo el ancho requerido de ésta, ya que de lo contrario provocaría problemas en la zona de fijación de los aisladores.

La ubicación de la cimbra estará determinada de manera que su paño interior coincida con el eje de entrevía y la otra fila de cimbras quedará localizada a 1.50 m. del eje de vía a la zona de andador (fig. III.3.3 y III.3.4 siguientes).

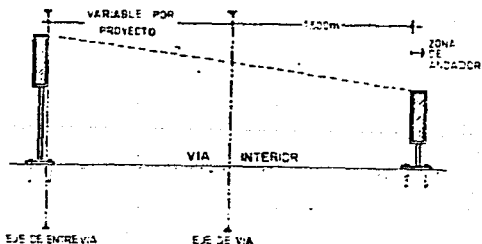


FIG. III.3.3

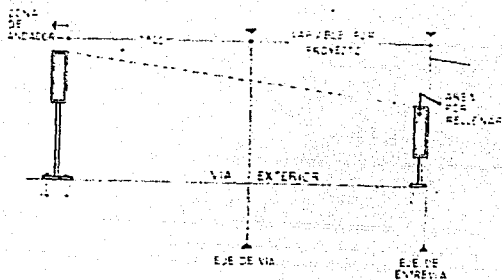


FIG. III.3.4

Previamente a estas actividades se debe llevar un control de la cimbra, revizándola que la cara de contacto que recibirá al concreto no estuviere pandeada o deformada para poder alinearse correctamente. Aquéllas que se detectaban en malas condiciones, se procedía a retirarlas y a reemplazarlas.

### III.3.2. NIVELACION DE LA CIMBRA.

La nivelación de la cimbra metálica se entiende como la actividad para colocarla a una altura determinada, de acuerdo a los datos proporcionados en el proyecto respectivo del tramo, para obtener la subrasante deseada.

Antes de dar comienzo a ésta actividad, es necesario checar los puntos de liga (PL) colocados a lo largo del túnel, siendo puntos con una cota de altura referida en base al banco de nivel (BN) profundo localizado en Atzacotalco con elev. 2 245.008 MSNM.

Para la nivelación de tramo recto, se debe consultar el plano de Implantación de Vía-Perfil, el cual contiene los datos de cotas y pendientes a cada 20.00 m. Debido a ello y a que la longitud de la cimbra no es múltiplo de dichas cotas plasmadas, se hace necesario calcular las cotas secundarias correspondientes a las diferentes posiciones de las uniones de sus puntas.

Los niveles obtenidos se tomarán tanto para la cimbra interior como para la exterior de cada vía, ya que tendrán la misma cota sobre el mismo cadenamiento (fotografía III.3.5).



FOTOGRAFIA III.3.5

En la nivelación sobre zonas de curva es necesario recurrir al plano de Niveles de Losa, dependiendo de la curva que se trate.

Este plano contiene los datos referentes a las cotas de nivel, por medio de las cuales se calculan las nuevas cotas correspondientes a las diferentes posiciones que guardan las uniones de las puntas de las cimbras, ya que como en tangente, las cotas plasmadas (a cada 2.50 m.) en el plano difieren con la longitud de dichas cimbras (fotografía III.3.6 siguiente).



FOTOGRAFIA III.3.6

Los niveles obtenidos serán diferentes, tanto para la cimbra interior como para la exterior de cada vía, debido a la sobre-elevación existente en cada cadenamiento. También, el nivel de la cimbra interior se debe considerar de manera que el vértice exterior del perfil haga contacto con la regla al deslizarla, para obtener con ello el nivel correcto.

Es recomendable que se tome todo el tiempo necesario para la nivelación, tomándo doble altura de aparato y poder garantizar con ello, una mayor precisión.

El control de la cimbra también se lleva a cabo en éstas actividades, revisándo el perfil de la cimbra que se utilice.

Dicho chequeo se hace de manera que no tenga deformaciones o irregularidades, ya que de existir éstas, no se prestaría a una adecuada nivelación ni a un deslizamiento uniforme de la regla.

#### III.4. TROQUELAMIENTO DE LA CIMBRA.

Una vez que se han efectuado y checado las alineaciones y nivelaciones de los puntos que contemplan el tramo a trabajar, se procede de inmediato al troquelamiento de la cimbra.

Este troquelamiento se lleva a cabo por medio de polines de 4" x 4" (0.10 x 0.10 m.) y se realiza con el fin de confinar, por medio de éstos maderos, la cimbra y evitar con ello los desplazamientos que pudieran producirse al momento del colado del concreto de la losa de fijación.

Para obtener mejores resultados en el troquelamiento, se hace necesario auxiliarse de los muros del túnel, tomándolos como puntos de apoyo inamovibles para esta actividad.



FOTOGRAFIA III.4.1

### III.5. UBICACION DE PREPARACIONES PARA INSTALACIONES ELECTROMECA-NICAS.

A continuación se deben ubicar las diversas preparaciones para las instalaciones electromecánicas de la vía, de acuerdo a los cadenamientos marcados en el plano del Proyecto Geométrico de Losa y a los Planos Tipo de instalaciones (fotografía III.5.1).



FOTOGRAFIA III.5.1

Las instalaciones que se localizaron a lo largo de la línea fueron:

- a) Juntas aislantes. Se localizan en los tramos de rieles y son dispositivos para la señalización cuyo principio consiste en evitar que dos trenes se aproximen entre sí, circulando en el mismo sentido, a una distancia menor a la permitida por la seguridad.
- b) Pilotaje automático. Se localizan en locales técnicos y a lo largo de la vía, cuya función consiste en mandar, según las situaciones de la señalización, ya sea los programas de franqueo de los semáforos cuya luz es verde o los programas de paro frente a los semáforos de luz roja.

Se hace necesario mencionar que la distribución particular de cada una de estas preparaciones no deberá interferir posteriormente con las fijaciones de la misma vía. Para lograrlo, se consultan simultáneamente los planos que conforman el Proyecto de Fijación de Vía.



Después de haber colocado las preparaciones, se efectúa una última verificación de los niveles y de la alineación de la cimbra, para prevenir algún movimiento de la misma producto de la colocación de estas instalaciones (fotografía III.5.2).



FOTOGRAFIA III.5.2

### III.6. SUMINISTRO Y COLOCACION DEL CONCRETO.

Antes de dar inicio a dichas actividades, se procede a dar un lavado de la losa de piso para eliminar la materia orgánica que pudiese tener (tierra, polvo) por medio de agua. Posteriormente, se aplica un segundo lavado con ácido muriático rebajado, siendo retirado también con agua, como se puede observar en la fotografía anexa III.6.1.

Se aplica en seguida un aditivo (LATEX) como material de liga entre el concreto viejo y el concreto nuevo, distribuyéndolo uniformemente sobre la zona de colocación del concreto (fotografía III.6.2 anexa).

Así mismo, se realiza un engrasado sobre la cimbra aplicado con diesel, utilizándolo como material desmoldante y cuya finalidad es la de evitar la adherencia que el concreto colado pudiera tener con la cimbra, posteriormente.

El suministro del concreto se tuvo desde la planta de Preconcreto S. A. y su transportación se efectuó en ollas revoledoras al lugar requerido.

LAVADO Y APLICACION DE ADITIVO  
SOBRE LA LOSA DE PISO



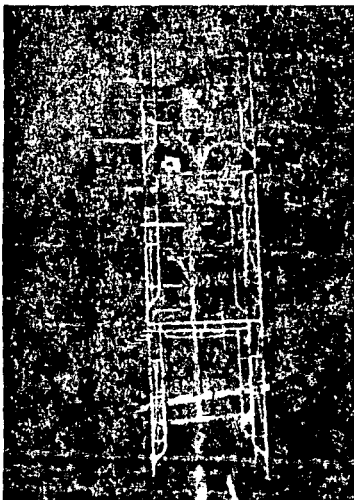
FOTOGRAFIA III.6.1



FOTOGRAFIA III.6.2

Teniendo pozos que comunicaban el túnel con la superficie, localizados entre las lumbreras y a lo largo del tramo, las ollas realizaron el vaciado en un pozo cercano al área de trabajo, contando en ese momento con personal de Laboratorio de Control de Calidad, que procedió a ejecutar pruebas de revenimiento del concreto y a obtener cilindros para ensayos de resistencia.

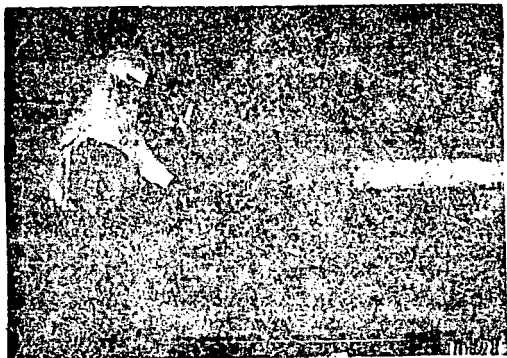
El concreto se recibe, ya dentro del túnel, sobre un deflector y es guiado por medio de un canalón a la bomba, que a su vez lo distribuirá mediante tubería al lugar de su colocación (fotografía III.6.3).



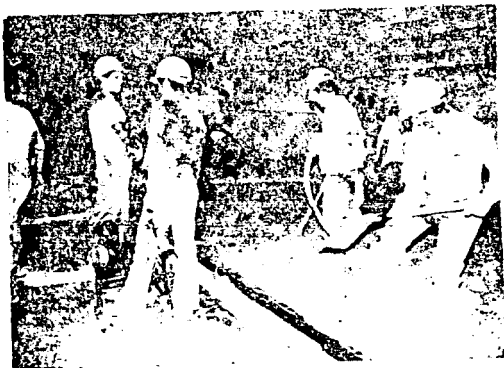
FOTOGRAFIA III.6.3

Al momento del colado, se tiene personal para palear el concreto y repartirlo de ésta forma más rápido sobre el área de trabajo, siendo vibrado al mismo tiempo para obtener un acomodamiento uniforme y homogéneo, como se puede apreciar en las fotografías III.6.4 y III.6.5.

ASPECTOS DEL COLADO DE LA LOSA  
DE FIJACION



FOTOGRAFIA III.6.4



FOTOGRAFIA III.6.5

A continuación se usa la regla vibratoria para darle un segundo vibrado (superficial) y obtener con ello el nivel de subrasante requerido por proyecto (fotografía III.6.6).

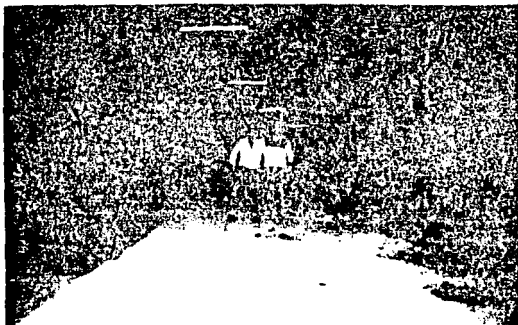


FOTOGRAFIA III.6.6

En seguida se le da a la losa un acabado liso por medio del pulido.

Finalizados los trabajos anteriores se efectúa el curado de la losa por medio de un aditivo (CURACRETO), aplicando una "película" para evitar la pérdida brusca de agua de ésta.

Después de dejar pasar un tiempo de fraguado razonable (48 horas) y con el que se garantiza que la losa ha obtenido la resistencia suficiente como para no sufrir deformaciones, se procede a retirar la cimbra para ser utilizada en otros tramos (fotografía III.6.7 siguiente).



FOTOGRAFIA III.6.7

### III.7. REPOSICION DEL TRAZO DE EJE DE VIAS SOBRE LA LOSA DE FIJACION.

Primeramente se coloca sobre la losa colada, los puntos importantes del trazo para los ejes de vía localizados en el lecho superior del túnel (TC, CC, PI, CC, CT Y PST) y a partir de éstos, se ubicarán los propios a cada 2.50 m. y se marcan los cadenamientos a cada 5 m. (tangente y curva), tomándo como referencia el proyecto de Implantación de Vía - Trazo.

Simultáneamente a ésta actividad, se procede a la verificación del trazo de dichos ejes.

### III.8. VERIFICACION DE LOS NIVELES DE LOSA.

Para obtener el perfil de la losa de fijación en las zonas por donde pasará cada uno de los rieles de la vía, se tomarán secciones a cada 2.50 m. de longitud sobre todos y cada uno de los puntos ubicados.

El procedimiento para lo anterior consiste en ubicar líneas perpendiculares a los ejes de cada vía (sobre cada "paloma"), marcándose puntos sobre éstas a 0.75 m. a ambos lados de los ejes (fig. III.8.1).

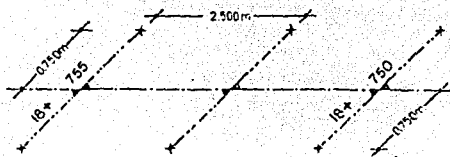


FIG. III.8.1

Enseguida se apoya el estadal en un punto de liga (PL) el cual tiene referida cierta elevación que sumada a la lectura vista desde el nivel, se obtiene la altura del aparato.

A continuación se coloca el estadal en cada uno de los puntos marcados anteriormente y las alturas obtenidas se restan a la altura de aparato, dando como resultado de ello las cotas del lecho superior de la losa de fijación o subrasante.

Este procedimiento se vuelve a efectuar con diferente altura de aparato, de tal manera que las lecturas entre los dos levantamientos no sean mayores a los 2 mm. de diferencia. En caso contrario, se debe checar que el aparato esté en buenas condiciones, para lo cual se pondrá el estadal en otro PL cercano y a la lectura vista sobre el estadal, se le suma la elevación de éste PL, obteniéndose la altura de aparato.

Después se visa otro PL cercano y a la altura que se obtiene sobre el estadal, se le resta a la altura de aparato, debiéndose obtener con ello la elevación del PL referido (fig. III.8.2).

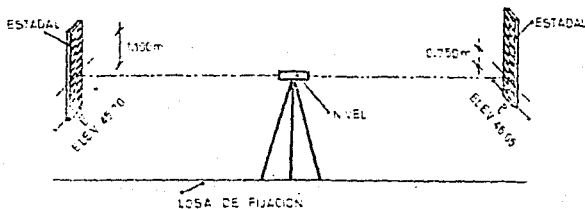


FIG. III.8.2

De la figura anterior, tenemos:

|   |       |                          |
|---|-------|--------------------------|
|   | 45.70 | ELEVACION DEL "PL"       |
| + | 1.10  | LECTURA SOBRE EL ESTADAL |
|   | ----- |                          |
|   | 46.80 | ALTURA DE APARATO        |
|   |       |                          |
|   | 46.80 | ALTURA DE APARATO        |
| - | 0.75  | LECTURA SOBRE ESTADAL    |
|   | ----- |                          |
|   | 46.05 | ELEVACION DEL "PL"       |

De no ser así, se ajusta el nivel por medio del tornillo de calibración y se efectúan dos series más con el mismo procedimiento anterior, hasta que chequen las cotas mencionadas.

### III.9. ELABORACION DEL PROYECTO DE RECTIFICACION DE NIVELES DE LOSA.

Con el levantamiento de los niveles de la losa de fijación, se elabora en gabinete el Proyecto de Rectificación de Niveles de Losa, que no es otro que el de una verificación de dichos niveles conforme al Proyecto de Perfil.

Este plano de rectificación plasma las diferencias entre el nivel de losa de proyecto y los niveles de losa reales, haciendo el análisis para conocer las zonas donde debieran efectuarse trabajos de relleno o desbaste sobre la losa (fig. III.9.1).

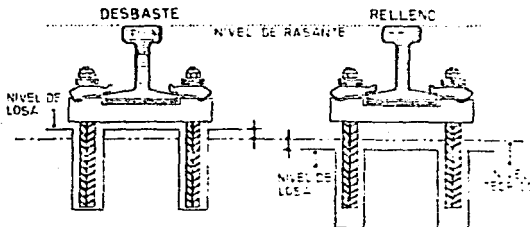


FIG. III.9.1



En caso de encontrar zonas longitudinalmente grandes con problemas de desgaste o relleno, se estudia la posibilidad de modificar los niveles de la rasante de proyecto para evitar en la mayor medida posible éstos trabajos, quedando como definitivos en el plano de Rectificación de Losa y en los niveles de Implantación de Via-Perfil, como nivel teórico.

**CAPITULO IV. CONTROL TOPOGRAFICO Y FIJACION DE VIA**

#### IV.1. PERFORACION DE RIEL Y PISTA.

Para llevar a cabo un procedimiento correcto en los trabajos de perforación para el riel y la pista y lograr con ello el óptimo anclaje de la vía, es necesario primeramente proceder a la revisión de la plantilla guía.

Las plantillas de riel y pista son elementos estructurales de sección "L" y "C" de 2"x2" y 1/4" de espesor con tubos guía de 52 mm. de diámetro, distribuidos a distancias establecidas por especificación.

Las dimensiones de la plantilla son de 2.40 m. por 5.60 m. utilizadas en tramo tangente o en curvas con radio mayor o igual a 500 m., en tanto que para curvas con radio menor a 500 m. las dimensiones de la plantilla son de 2.40 m. por 3.40 m. (fig. IV.1.1)

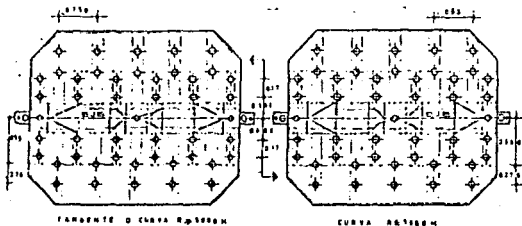


FIG. IV.1.1

##### IV.1.1. CHEQUEO DE LA PLANTILLA DE PERFORACION.

Para realizar la revisión de la plantilla, ya sea para tramo tangente o curva, es necesario definir correctamente el eje de la misma.

Dado que este tipo de plantilla es simétrica, se deberá medir la distancia que existe a paños interiores o exteriores de los tubos extremos A y B (ver figura IV.1.1) y la distancia que resulte se divide entre dos, colocándose un punto de referencia sobre el perfil de la plantilla. De la misma forma se ubica otro punto en el extremo opuesto de la misma.

Teniendo definidos los dos puntos extremos, se coloca un hilo sobre estos y que sirve como eje auxiliar de la plantilla.

Tomando como referencia dicho eje, se mide nuevamente la distancia a paños interiores o exteriores de cada uno de los tubos guía, en la cual dicha distancia deberá corresponder a la establecida por la especificación con una tolerancia de  $\pm 2$  mm.

La plantilla se deberá revisar tanto por la cara superior como por la inferior, ya que en algunas ocasiones el tubo guía no se encuentra totalmente a plomo (fotografía IV.1.2).



FOTOGRAFIA IV.1.2

Es muy importante que la plantilla se verifique por lo menos después de un kilómetro de uso, ya que debido a las vibraciones de las pistolas neumáticas, los tubos tendían a perder su verticalidad.

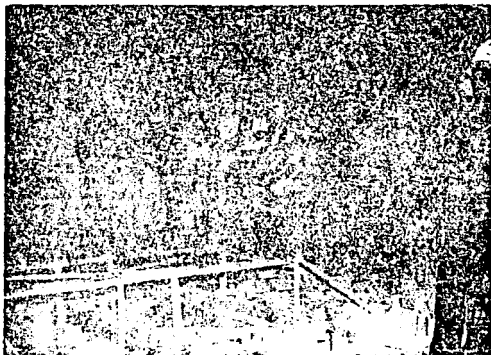
#### IV.1.2. PERFORACIONES.

Una vez revisada la plantilla de perforación y habiéndose verificado que se encuentra dentro de las tolerancias establecidas, se procede a realizar la perforación de la losa de fijación.

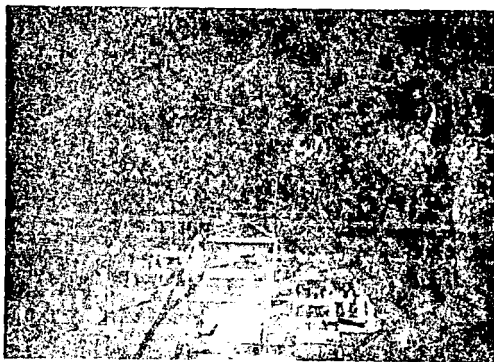
El procedimiento para llevar a cabo esta actividad consiste en hacer coincidir el eje auxiliar de la plantilla con el eje de la vía que se tiene marcado sobre la losa y se efectúan dos perforaciones por cada lado de la plantilla para tomarlas como anclas de ésta. En seguida se procede a realizar la totalidad de las perforaciones.

La perforación se lleva a cabo por medio de una pistola neumática que contiene una broca de diamante de 50 mm. de diámetro, la cual se introduce por los tubos guía hasta una profundidad de 0.145 m. a partir del nivel de la losa (como se observa en las fotografías IV.1.3 y IV.1.4 siguientes).

PERFORACION SOBRE LA LOSA  
DE FIJACION



FOTOGRAFIA IV.1.3 PERFORACION EN CURVA



FOTOGRAFIA IV.1.4 PERFORACION EN TANGENTE

La plantilla está diseñada de tal manera que para tramo tangente o curva mayor o igual a 500 m. las perforaciones para riel están espaciadas a cada 0.75 m. a ejes, así como las de pista (en el sentido del eje de la plantilla), y a cada 0.375 m. entre ellas; para curvas con radio menor a 500 m. la separación es de 0.60 m. entre perforaciones riel-riel y pista-pista, en tanto el espaciamiento entre una perforación de riel y una de pista es de 0.30 m., como se puede ver en la figura IV.1.5.

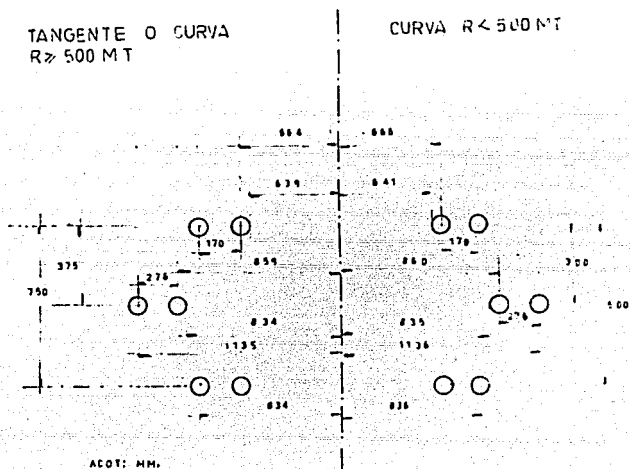


FIGURA IV.1.5

#### IV.1.2.1. PERFORACION EN CURVA.

Antes de iniciar la perforación en zona de curva, se deben hacer dos ajustes al eje de la vía y que son:

IV.1.2.1.1. AJUSTE AL EJE DE VIA DEBIDO A LA SOBRE-ELEVACION.

IV.1.2.1.2. AJUSTE POR FLECHA QUE GENERA LA PLANTILLA.

#### IV.1.2.1.1. AJUSTE AL EJE DE VIA DEBIDO A LA SOBRE-ELEVACION..

Como se puede ver en la siguiente figura, la línea vertical que corresponde al eje de la vía forma un ángulo  $\alpha$  con respecto al plano perpendicular a la losa de fijación, lo que quiere decir que la plantilla se deberá centrar en el eje que forman la intersección del plano de la losa de fijación y la línea perpendicular antes mencionada. Con esto, la perforación quedará ligeramente desplazada hacia afuera del eje de la vía con el fin de que cuando se realice posteriormente la alineación del riel, la perforación esté en su posición correcta para recibir el ancla (fig. IV.1.6).

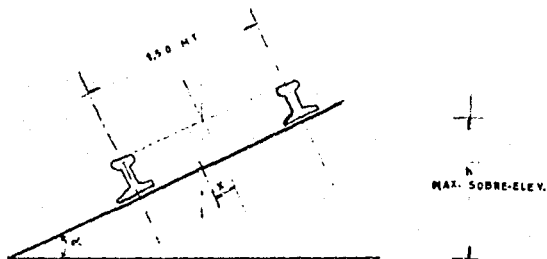


FIG. IV.1.6

$$h = \text{sobre-elevación máxima} = 0.16 \text{ m.}$$

$$x = \text{amplitud máxima}$$

$$\text{sen } \alpha = h / 1.50 = 0.16 \text{ m.} / 1.50 \text{ m.}$$

$$\text{sen } \alpha = 0.107$$

$$\alpha = \text{sen}^{-1} (0.107)$$

$$\alpha = 6.12^\circ$$

$$\tan \alpha = x / 0.18$$

$$x = 0.18 (\tan \alpha) = 0.18 \tan 6.12^\circ$$

$$x = 0.0193 \text{ m.} = 19.3 \text{ mm.}$$





Para calcular la flecha se utilizará la ecuación:

$$\text{flecha} = L^2 / 8 R$$

donde :

L = longitud de la plantilla

R = radio de la curva

Una vez calculada la flecha se deberá desplazar la mitad de su valor hacia adentro del eje de la vía para apegarse más al trazo, en tanto que si se desplazara el valor total de la flecha, llegaríamos al mismo error pero en sentido opuesto.

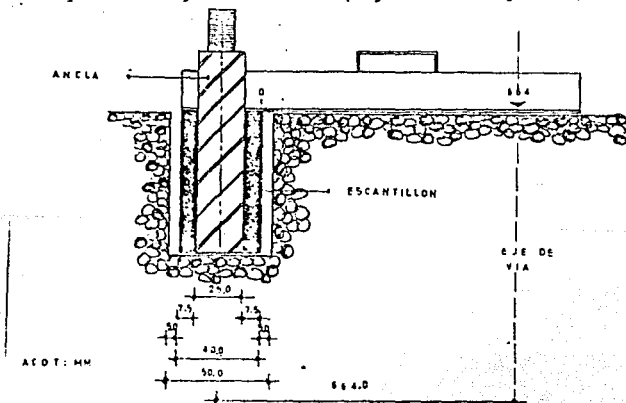
Habiendo obtenido los valores del desplazamiento por sobre-elevación y flecha, se suman y éste será el desplazamiento total a lo largo de la curva.

#### IV.1.2.3. VERIFICACION Y REGISTRO DE PERFORACIONES.

La verificación de las perforaciones se realiza con la finalidad de obtener las condiciones óptimas que nos señala el proyecto para el anclaje y fijación posterior para la vía.

Así mismo, se deberá partir de las cotas señaladas en el inciso IV.1.2. para realizar dicho trabajo.

El chequeo de la perforación se hace con la ayuda de un escantillón, el cual consiste en un tubo de 40 mm. de diámetro exterior y un brazo graduado en mm. (fig. IV.1.10 siguiente).



Se ha determinado que la perforación puede tener ciertas tolerancias en cuanto al espesor mínimo de relleno, ya que existe una distancia de 12.5 mm. entre la pared de la perforación y el paño del ancla, siempre y cuando esta última esté al centro de la perforación. La tolerancia máxima que admite el espesor de relleno es de 4 mm. en menos, tanto de un lado como en el otro del ancla. Esto quiere decir que el espesor mínimo de relleno deberá ser de 9 mm. aproximadamente para ambos lados del ancla, como se puede ver en la figura anterior.

El procedimiento para verificar la posición de la perforación consiste en introducir sobre ésta el escantillón, apañándolo tanto al lado interior como al exterior y tomar las lecturas respectivas sobre el eje de la vía (fotografía IV.1.11).



FOTOGRAFIA IV.1.11

Observando la figura IV.1.5 tenemos una cota para tramo tangente y curvas con radio igual o mayor a 500 m. de 639 mm., del paño interior de la perforación al eje de la vía y para curvas con radio menor a 500 m. tenemos una cota de 641 mm. del mismo paño interior de la primera perforación de riel al eje de la vía.

## IV.2. FIJACION DE RIEL Y PISTA.

Es muy importante que la fijación de la vía se realice de acuerdo a las especificaciones y normas que nos rige el proyecto, ya que de esto dependerá que el sistema de vía se encuentre en condiciones adecuadas para su funcionamiento posterior, por lo que se hace necesario que se realicen correctamente cada una de las actividades implícitas en la mencionada fijación, y que son:

IV.2.1. HABILITADO Y COLOCACION DE RIEL Y PISTA.

IV.2.2. ALINEACION Y NIVELACION DE RIEL Y PISTA.

IV.2.3. SELLADO DE ANCLAS.

IV.2.4. RELLENO BAJO CALZA.

IV.2.5. APRIETE DE TORNILLERIA

### **IV.2.1. HABILITADO Y COLOCACION DE RIEL Y PISTA.**

Teniendo el riel y la pista en un lugar accesible a la obra (comunmente localizadas en las lumbreras) se bajan hacia la zona de trabajo mediante plumas mecánicas u otro tipo de maquinaria adecuada.

Se debe tener sumo cuidado en el momento en que se realicen las maniobras, ya que por tratarse de tramos de 18 m. es factible el pandeo y con ello dificultarse su manejo.

El riel y la pista se ubican en su lugar correspondiente de fijación y se presenta sobre la vía, para que a continuación se lleve a cabo la colocación de la soldadura mediante el proceso Aluminio-Térmico.

Este proceso consiste en realizar una soldadura mediante un molde refractario que se coloca en la unión de los dos tramos de rieles o de las pistas. Así mismo, se coloca un crisol que contiene el material que será vaciado sobre dicha unión como se puede ver en las fotografías IV.2.1, IV.2.2 y IV.2.3 anexas.

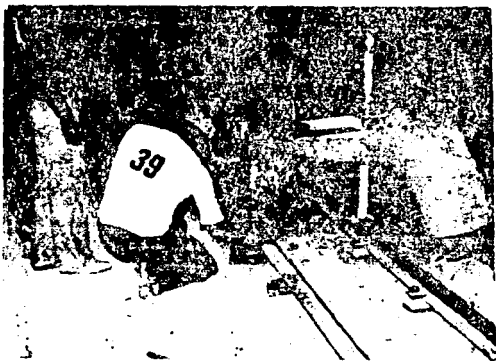
Una vez que ha sido colocada la soldadura, se procede a esmerilar la escoria existente en el hongo del riel y en la cara superior de la pista (fotografía IV.2.4 anexa).

A continuación se colocan sobre dichos perfiles las calzas en conjunto con las almohadillas, grapas, roldanas y tuercas, así como también las anclas que serán introducidas en cada una de sus respectivas perforaciones.

SOLDADURA DE RIEL Y PISTA



FOTOGRAFIA IV.2.1

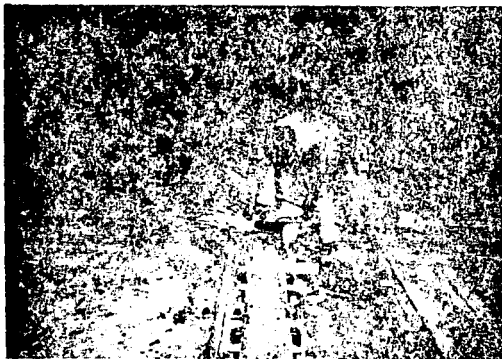


FOTOGRAFIA IV.2.2

SOLDADURA DE RIEL Y PISTA



FOTOGRAFIA IV.2.3



FOTOGRAFIA IV.2.4

#### IV.2.2. ALINEACION Y NIVELACION DE RIEL Y PISTA.

##### IV.2.2.1. ALINEACION Y NIVELACION DE RIEL.

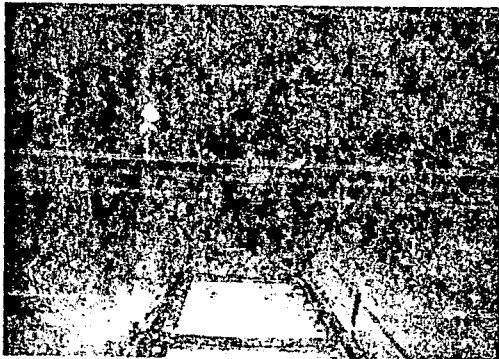
Una vez que se ha armado y colocado el riel en el sitio indicado, se le colocan los tirantes de sujeción que están diseñados para poder abrir o cerrar, subir o bajar las filas de rieles, según se requiera.

##### IV.2.2.1.1. ALINEACION DE RIEL.

La alineación de riel se lleva a cabo tanto en tramo tangente como en curva. Para tramo tangente o curvas con radio mayor o igual a 500 m., primeramente se elige uno de los dos rieles en un cadenamiento cerrado o en la transición de la curva (CT o TC).

Una vez elegido el cadenamiento sobre el eje de la vía, se mide la media trocha (0.78 m.) hacia el paño interior del hongo del riel elegido y se ubica un punto. En este punto se centra el tránsito y se visa sobre la tangente otro punto y con estos dos puntos se tendrá bien definida la línea por sobre la cual deberá colocarse el paño interior del hongo del riel.

Definida la tangente se deberá alinear el riel a cada 2.50 m. tanto una fila como la otra y midiendo la trocha en cada uno de los mismos. Dicha alineación se realiza a cada 2.50 m. porque es precisamente la distancia a la que se encuentra referido el eje de la vía. También es muy importante que los tirantes de sujeción se coloquen a la misma distancia, ya que en estos puntos es donde se deberá abrir o cerrar la vía (fotografía IV.2.5).



FOTOGRAFIA IV.2.5

Para zonas de curva con radio menor a 500 m., el riel se deberá alinear de la siguiente manera:

Sabemos que la curva está compuesta por una curva circular y dos clotoides, una de entrada y otra de salida, por lo que es necesario que primeramente se alinie la clotoide de entrada, después la circular y finalmente la clotoide de salida.

Cabe mencionar que la trocha en la clotoide es variable de 1.435 m. en el TC a 1.439 m. en el CC, continuándose constante con este valor hasta el otro CC y saliendo con 1.435 m. en el CT.

La forma de alinear la vía consiste en elegir uno de los dos rieles en el TC y en este punto sobre el eje de la vía, se mide la media trocha (0.718) tanto en un riel como en el otro y así sucesivamente a cada 2.50 m. (fig. IV.2.6).

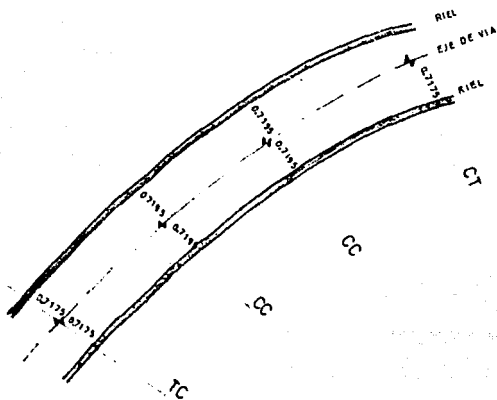


FIG. IV.2.6

Las tolerancias que se deberán aplicar para realizar estos trabajos, regidas por el proyecto, son las siguientes:

Alineación (tangente o curva) \_\_\_\_\_ + 3 mm., - 1.5 mm.

#### IV.2.2.1.2. NIVELACION DE RIEL.

La nivelación del riel, tanto en tramo tangente como en curva, se realiza a cada 2.50 m. y consiste en dar a éste la cota correspondiente de acuerdo al Proyecto de Niveles de Losa o al Proyecto de Implantación Via-Perfil, según sea el caso.

Para obtener una adecuada nivelación se debe tomar como apoyo los puntos de liga (PL), los cuales están distribuidos a lo largo del túnel y estarán previamente checados (fotografía IV.2.7).



FOTOGRAFIA IV.2.7

Existen tolerancias que nos rige el proyecto para la nivelación de este perfil, que se deberán aplicar tanto en curva como en tangente, según sea el caso:

Nivelación

± 2 mm.

#### IV.2.2.2. ALINEACION Y NIVELACION DE PISTA.

Es importante que antes de efectuar la alineación y la nivelación de la pista, el riel deberá estar sellado ya que servirá como base para realizar dichas actividades.

Una vez que se han soldado los tramos de pista y habiéndose colocado las calzas, grapas, tuercas y anclas, se habilitarán los tirantes de sujeción, cuñas y "zetas" a cada 2.50 m. (tangente o curva) que servirán para levantar o bajar a la pista, según sea el caso. Así mismo, se utilizan "mordazas" y separadores que nos permiten abrir o cerrar estos tramos de pista (fotografía IV.2.8)





FOTOGRAFIA IV.2.8

#### IV.2.2.2.1. ALINEACION DE LA PISTA.

Básicamente la alineación consiste en dar a la pista una separación de 0.10 m. con respecto al paño exterior (referido al eje de la vía) del hongo del riel. Dicha alineación debe guardar como máximo una tolerancia de  $\pm 2$  mm. (figura IV.2.9).

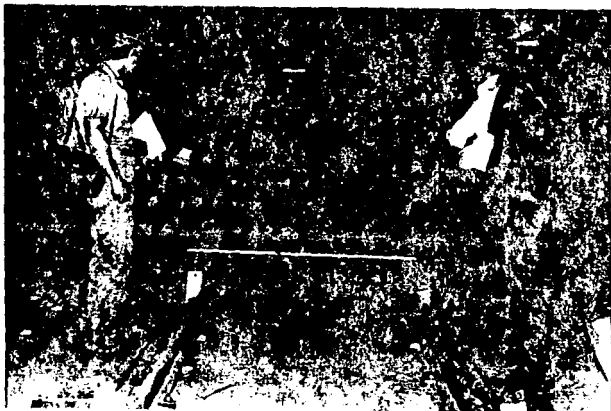


FOTOGRAFIA IV.2.9

#### IV.2.2.2.2. NIVELACION DE LA PISTA.

Se debe nivelar la pista dejándola 2 mm. por arriba del hongo del riel, por medio de los tirantes de sujeción, cuñas y zetas y con una tolerancia de  $\pm$  2 mm.

Para llevar acabo esta nivelación, se utiliza una regla de aluminio que se apoyará sobre las dos pistas de la vía y tomando como base los dos rieles ya nivelados, se introduce un escantillón de 2 mm. de espesor como se puede observar en la fotografía IV.2.10.



FOTOGRAFIA IV.2.10

#### IV.2.3. SELLADO DE ANCLAS DE RIEL Y PISTA.

Una vez ejecutados los trabajos para la alineación y nivelación, se debe extraer el polvo y residuos existentes en las perforaciones por medio de aire comprimido y verificar que las anclas queden debidamente centradas dentro de las mencionadas perforaciones.

El sellado de anclas se hace mediante una mezcla de mortero expansivo (SIKA GROUT) con una proporción de 25 kg. por cada 4 lt. de agua. Esta mezcla es vaciada en las perforaciones hasta el nivel de la losa de fijación, retirando el excedente para facilitar posteriormente el relleno bajo calza (ver fotografías IV.2.11 y IV.2.12).

SELLADO DE ANCLAS



FOTOGRAFIA IV.2.11



FOTOGRAFIA IV.2.12

#### IV.2.4. RELLENO BAJO CALZA DE RIEL Y PISTA.

El relleno bajo calza se procede a realizar una vez que se han cumplido las 36 horas del tiempo de fraguado del sellado de las anclas.

Para este relleno se utiliza una cimbra metálica que se introduce por debajo de la calza, cuidando que la superficie de la losa este limpia y previendo que este relleno no sea mayor de 35 mm. de espesor.

El material que se utiliza para ello consiste en una mezcla cuyo proporcionamiento es de 25 kg. de SIKA GROUT por 4 lt. de SIKA TOP y que se introduce por debajo de la calza para posteriormente confinarla por medio de la cimbra. Esta será retirada después de 24 horas y se le dará al relleno un acabado vertical (fotografía IV.2.13).



FOTOGRAFIA IV.2.13

#### IV.2.5. APRIETE DEFINITIVO DE TORNILLERIA.

Una vez concluidas las anteriores actividades y habiendo cumplido sus respectivos tiempos de fraguado, se deberán lubricar las cuerdas de las anclas y proceder al apriete definitivo de las tuercas autofrenadas.

El apriete se hace mediante un torquímetro calibrado y cuyo par de apriete, por especificación, se hizo a 5.6 kg / m.

### IV.3. PERFORACION PARA EL ANCLAJE DE AISLADORES.

Debido al funcionamiento y al comportamiento que tiene este elemento de la vía, es necesario que dicha perforación tenga exactamente las cotas que el proyecto especifica.

Para lograrlo se debe verificar detenida y cuidadosamente la plantilla que se utilizará para realizar la perforación, previo análisis de las cotas de ésta en conjunto con el riel, barra guía y aislador, tomando como referencia la cota de ajuste de la barra guía (fig. IV.3.1)

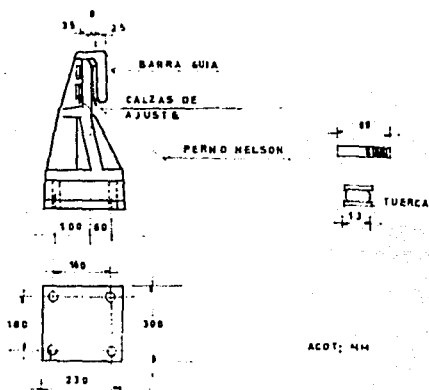
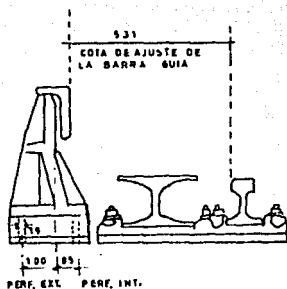


FIG.IV.3.1 DIMENSIONES REQUERIDAS PARA LA COLOCACION DEL AISLADOR Y BARRA GUIA

#### IV.3.1. ANALISIS DE LA PERFORACION EN TRAMO TANGENTE.

En tramos que se localizan en zona de tangente, la cota de ajuste para la barra guía es de 531 mm. y cuya distancia es la requerida para la libre circulación de los neumáticos del tren (fig. IV.3.2).



ACOT: M.M.

FIG. IV.3.2

Tomando como referencia la cota de 531 mm, calcularemos la aberotura que se debe dar a la plantilla de perforación:

|  |       |         |
|--|-------|---------|
| Cota de ajuste de la barra guía  | _____ | 531 mm. |
|  |       | +       |
| Espesor de la barra guía   | _____ | 25 mm.  |
|  |       | +       |
| Espesor para calzas de ajuste  | _____ | 8 mm.   |
|  |       | -----   |
| Distancia a la cara del aislador   |       | 564 mm. |
|  |       | -       |
| Distancia de la cara del aislador al paño interior de la perforación interna | _____ | 85 mm.  |
|  |       | -----   |
| Cota de ajuste para la plantilla en perforaciones internas                   | _____ | 479 mm. |

Para las perforaciones externas, se tiene:

|  |       |         |
|--|-------|---------|
| Distancia a la cara del aislador               | _____ | 564 mm. |
|  |       | +       |
| Cota al eje de la perforación externa          | _____ | 100 mm. |
|  |       | -----   |
|  |       | 664 mm. |
|  |       | -       |
| Un medio del diámetro de la perforación        | _____ | 19 mm.  |
|  |       | -----   |
| Cota a paño interior de la perforación externa | _____ | 645 mm. |

#### IV.3.2. ANALISIS DE LA PERFORACION EN ZONA DE CURVA.

Para colocar la barra guía en zona de curva, es necesario que se consulte el Proyecto General de Sobre-elevaciones en el cual están señalados los valores de las cotas de ajuste de la barra guía, tanto del lado exterior (E) como del interior (I) de las curvas.

Para el tramo en estudio, tenemos la curva por la vía 1 de cadenamiento 15 + 693.688 al 15 + 941.058, cuyas cotas son:

E = 533 mm.

I = 529 mm.

Y por la vía 2 de cadenamiento 15 + 695.951 al 15 + 940.538, tenemos las cotas:

E = 534 mm.

I = 528 mm.

Partiendo de estos valores y siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó para calcular las cotas de ajuste de la plantilla en zona de tangente, se calculan las cotas de ajuste para la plantilla en zona de curva:

E = 533 mm.

+

25 mm.

+

8 mm.

-----

566 mm.

-

85 mm.

-----

481 mm.

I = 529 mm.

+

25 mm.

+

8 mm.

-----

562 mm.

-

85 mm.

-----

477 mm.

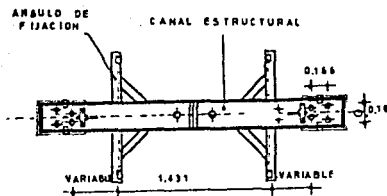
Cotas de ajuste para la plantilla al paño interior de la perforación interna.

Las tolerancias establecidas por proyecto para este tipo de perforación son del rango - 5 mm., + 2 mm.

No es necesario calcular la cota de ajuste para la plantilla en la perforación externa, ya que al verificar sobre ésta la distancia que debe existir entre ejes de las perforaciones internas y externas (0.166 m.), garantizamos la posición correcta de dicha perforación externa.

Una vez determinadas las cotas de ajuste de la plantilla, ya sea en tangente o curva, se procede a verificar la plantilla de perforación.

Dicha plantilla es un elemento estructural hecha de perfiles de acero tipo "L" y "C" de 2"x2" y 4 tubos guía en cada extremo de 38 mm. de diámetro, como se observa en la figura IV.3.3 siguiente.



PLANTILLA PARA PERFORACION  
DE AISLADORES

FIG. IV.3.3

Para verificar la plantilla se debe revisar primeramente la separación a ejes de los tubos que sirven como guía, tanto por la parte superior como por la inferior y sobre ambos extremos. A continuación se debe dar la cota de ajuste tomando como base uno de los extremos de la plantilla (calculada previamente) y que es la longitud del lado del ángulo de fijación al paño interior de la primera perforación. Teniendo definida esta cota, se da la distancia de proyecto entre los paños interiores de las perforaciones internas.

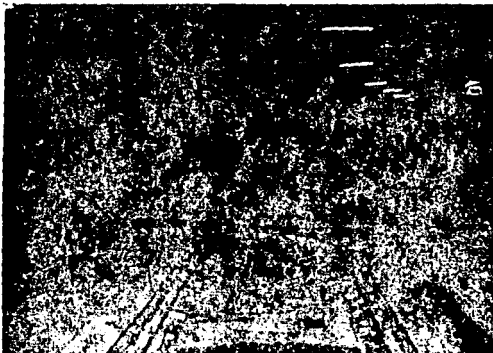
Para efectuar lo anterior, se debe abrir o cerrar la placa sobre los que están los tubos guía, según se requiera. En cada una de estas placas móviles existen 3 tornillos de 1/2" de diámetro, siendo dos de ellos los que permiten que la placa se deslice fácilmente hacia adelante o hacia atrás, mientras que con el restante se hacen ajustes muy pequeños.

Una vez que se han dado las cotas de ajuste a la plantilla y la posición de los tubos guía están de acuerdo a las cotas de proyecto, se debe apoyar el lado del ángulo de fijación de la plantilla al paño interior del hongo del riel y se procede a efectuar la perforación.

Se debe iniciar la perforación en los dos extremos de la plantilla y se verifica si estas cumplen con las cotas establecidas por proyecto, de lo contrario, se ajustará nuevamente la plantilla y se realizan pruebas de perforación hasta obtener las cotas correctas.

La perforación se lleva a cabo mediante pistolas neumáticas a base de aire comprimido y con broca de diamante (fotografía IV.3.4 siguiente)





FOTOGRAFIA IV.3.4

#### IV.3.3. VERIFICACION DE PERFORACION PARA AISLADOR.

La verificación de las perforaciones se hace con la finalidad de obtener las condiciones adecuadas que se requieren para éstas, garantizando la posición que el proyecto especifica.

Es importante que al revizar las perforaciones se cheque el escantillón que se utiliza, ya que debe estar en las condiciones adecuadas de perpendicularidad.

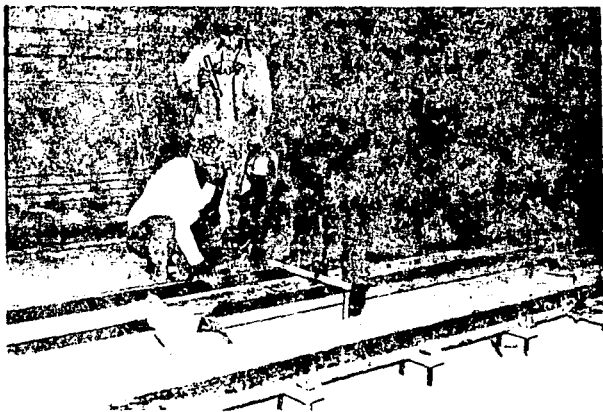
El escantillón consiste en un tubo de 0.250 m. de longitud por una pulgada de diámetro, complementado con un perfil tipo "L" de 1/4"x1/4" que sirve como brazo y que debe estar graduado en milímetros.

La forma de verificar la perforación consiste en introducir el tubo del escantillón en la perforación, apañándolo al lado interior de ésta y apoyando su brazo sobre la pista. En seguida, se toma la lectura en el paño interior del hongo del riel, como se puede observar en las siguientes fotografías (IV.3.5 y IV.3.6)

PERFORACION DE AISLADOR



FOTOGRAFIA IV.3.5



FOTOGRAFIA IV.3.6

#### IV.4. FIJACION DE AISLADORES.

La fijación de aisladores sobre la losa de concreto comprende una serie de actividades que nos permita garantizar la adecuada colocación de la barra guía conforme al proyecto y que comprende:

IV.4.1. ENCONADO.

IV.4.2. PRESENTACION DE LA CALZA.

IV.4.3. SELLADO DE ANCLAS.

IV.4.4. RELLENO BAJO CALZA.

IV.4.5. COLOCACION DEL AISLADOR.

IV.4.6. MEDICION DE COTAS AL AISLADOR

IV.4.1. ENCONADO.

Una vez que se ha revizado la posición de las perforaciones, se debe verificar que la profundidad de éstas sea la especificada de 0.10 m. Si dicha profundidad resulta mayor, se ajusta por medio de roldanas de una pulgada de diámetro y que son introducidas en las perforaciones requeridas hasta alcanzar esta profundidad. Así mismo, si la profundidad es menor, se perfora nuevamente hasta alcanzarla.

El enconado consiste en colocar en cada una de las perforaciones un tornillo provisional de 19 mm. de diámetro con cuatro conos de plomo previamente aceitados y engrasados, 2 de los cuales son introducidos al fondo de la perforación y se les dan cuatro golpes por medio de un tubo y un mazo de 25 kg. a una altura aproximada de 0.30 m. A continuación los otros dos conos se introducen y se les aplican tres golpes de la misma manera (fig. IV.4.1).

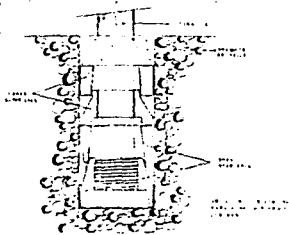


FIG. IV.4.1

#### IV.4.2. PRESENTACION DE LA CALZA.

Al término del enconado se presenta la calza del aislador sobre los tornillos provisionales, con la finalidad de que cada tornillo entre perfectamente al orificio correspondiente de la calza antes de ser selladas las anclas.

Una vez que se ha verificado que quedan debidamente centrados los tornillos, se retira la calza y se procede al sellado de las anclas.

#### IV.4.3. SELLADO DE ANCLAS.

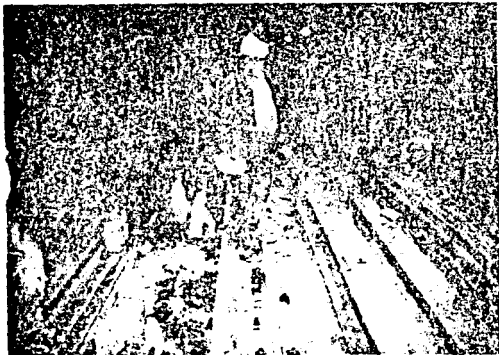
El sellado de anclas se debe hacer con el mismo material mencionado para el sellado de anclas de riel y pista y con la misma proporción (fotografía IV.4.2).



FOTOGRAFIA IV.4.2

#### IV.4.4. RELLENO BAJO CALZA.

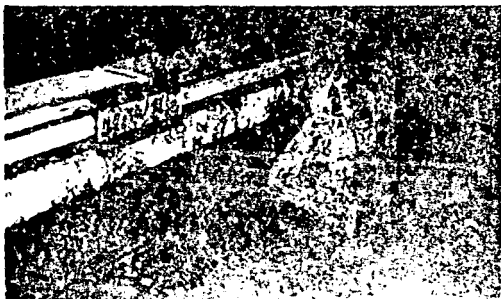
Para realizar esta actividad se diseñó un escantillón que permitiera verificar con facilidad las cotas del paño interior del hongo del riel a la cara interior del aislador y al mismo tiempo la altura de la parte superior del aislador con respecto a la superficie de rodamiento, garantizando así el espesor de relleno adecuado para cada calza de aislador (fotografía IV.4.3 siguiente).



FOTOGRAFIA IV.4.3

#### IV.4.5. COLOCACION DEL AISLADOR.

Se deben retirar los tornillos provisionales de los cuatro conos e inmediatamente se coloca el aislador así como los tornillos y roldanas definitivas, dándoles el apriete de acuerdo a las especificaciones establecidas y por medio de un torquímetro (fotografía IV.4.4).



FOTOGRAFIA IV.4.4

#### IV.4.6. MEDICION DE COTAS AL AISLADOR.

La verificación de las cotas existentes de la cara del aislador al paño interior del hongo del riel, tanto en curva como en tangente, se lleva a cabo para garantizar la posición correcta y definitiva del aislador, según lo indicado en el Plano General de Sobre-elevaciones.

Esta actividad se lleva a cabo con el mismo escantillón que se utiliza para el relleno bajo calza, mencionado anteriormente.

#### IV.5. COLOCACION Y AJUSTE DE LA BARRA GUIA.

La barra guía es transportada hasta el lugar donde será colocada y se marca la posición exacta de los pernos Nelson, presentándose nuevamente para efectuar su soldadura por el método de arco eléctrico. A continuación se procede al esmerilado de su cara vertical hasta obtener el pulido deseado (fotografía IV.5.1)

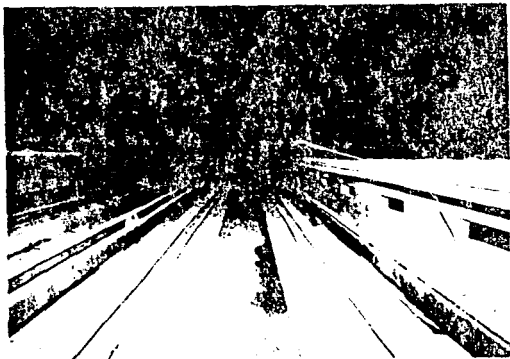


FOTOGRAFIA IV.5.1

Una vez ejecutado lo anterior, se monta la barra guía sobre el aislador y se procede a su ajuste. Este concepto se lleva a efecto con el fin de determinar su posición (para tangente o curva) de acuerdo a la cota marcada en el proyecto, existente entre ésta barra y el hongo interior del riel.

Para lograr lo anterior se utilizan calzas de ajuste, teniendo estas diversos espesores, que se colocan entre la barra guía y la cara del aislador.

Finalmente, a la cara vertical de la barra guía se le aplica una capa de grasa grafitada (fotografía IV.5.2).



FOTOGRAFIA IV.5.2

#### IV.6. MONTAJE DE APARATOS DE VIA.

La colocación de aparatos de vía se debe llevar a cabo de acuerdo a las normas y especificaciones establecidas por el proyecto y siguiendo cada una de las siguientes actividades para obtener un buen funcionamiento de éstos equipos.

- IV.6.1. PRELIMINARES.
- IV.6.2. ALINEACION PRELIMINAR.
- IV.6.3. DISTRIBUCION DE CALZAS.
- IV.6.4. VERIFICACION DE PERFORACIONES.
- IV.6.5. ALINEACION Y NIVELACION.
- IV.6.6. SELLADO DE ANCLAS.
- IV.6.7. RELLENO BAJO CALZA.
- IV.6.8. DISTRIBUCION DE AISLADORES.

#### IV.6.1. PRELIMINARES.

Este estudio consiste en conocer previamente el tipo de aparato que se deberá colocar y para lo cual es necesario auxiliarse del Proyecto Geométrico y del Proyecto de Implantación Via-Perfil.

Con el Proyecto Geométrico se debe revizar en la zona de fijación, los cadenamientos de las puntas de aparato (PdeA) y la ubicación de las preparaciones de las instalaciones electromecánicas.

Por consiguiente, se desplazan las piezas moldeadas a la zona de fijación para que sean ensambladas de acuerdo a los planos tipo existentes para ello.

#### IV.6.2. ALINEACION PRELIMINAR.

El objetivo primordial de llevar a cabo esta alineación preliminar es ubicar la distribución de los diferentes tipos de calzas que lleva cada pieza moldeada, así como también localizar la posición exacta de las perforaciones que se deberán realizar.

#### IV.6.3. DISTRIBUCION DE CALZAS.

Existen planos tipo para la fijación de las piezas moldeadas, rieles y contrarrieles de los aparatos de vía, en los cuales se señalan la distribución y los diferentes tipos de calzas que deben llevar cada una de las piezas moldeadas.

De las piezas que integran el aparato de vía podemos mencionar que algunas de éstas tienen partes huecas y otras son macizas, de tal forma que existe una modulación para que en la parte maciza sea donde se coloque la calza para que la pieza tenga un mejor apoyo; la finalidad de que algunas piezas sean huecas en sus partes es para hacerlas más ligeras.

#### IV.6.4. VERIFICACION DE PERFORACIONES.

Una vez que se ha realizado la alineación preliminar del aparato de vía se debe marcar en la losa de fijación el centro de cada una de las perforaciones para que a continuación se proceda a retirar cada pieza del aparato para efectuar la perforación.

La forma de marcar el centro de cada perforación consiste en medir 21 mm. a partir de la arista inferior del patín del riel o de la pieza moldeada hacia los lados. Esta distancia es la que existe entre el corte de la calza donde descansa el patín y el centro de la perforación, como se puede observar en la figura IV.6.1 siguiente.



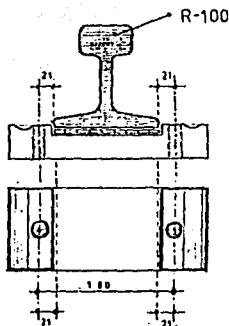


FIG. IV.6.2 UBICACION DE PERFORACION

Se ha observado en la práctica que no es muy conveniente verificar la perforación con respecto al eje de la vía, como sucede en el caso de la perforación de riel y pista, ya que se tendría que calcular una cota especialmente para cada una de las perforaciones.

#### IV.6.5. ALINEACION Y NIVELACION.

Para realizar la alineación de las piezas que integran el aparato de vía se debe localizar primeramente las puntas de los aparatos (PdeA) sobre cada uno de los ejes de la vía correspondiente.

Teniendo definida una de las puntas de aparato, perpendicularmente al eje de la vía se localiza un punto a 0.78 m. hacia la derecha conforme al sentido del cadenamiento y de la misma forma se localiza un punto por la otra punta de aparato. En uno de estos dos puntos se debe centrar el tránsito y visar el otro punto para tener definida una línea recta por la cual debe pasar el paño interior del hongo del riel o bien el paño superior interior de las piezas moldeadas del aparato.

Análogamente, por el lado izquierdo del eje de la vía se debe alinear las piezas dando la trocha de 1.435 m. a cada 2.50 m., quedando así debidamente alineadas las piezas del aparato de vía (fig. IV.6.2 siguiente)

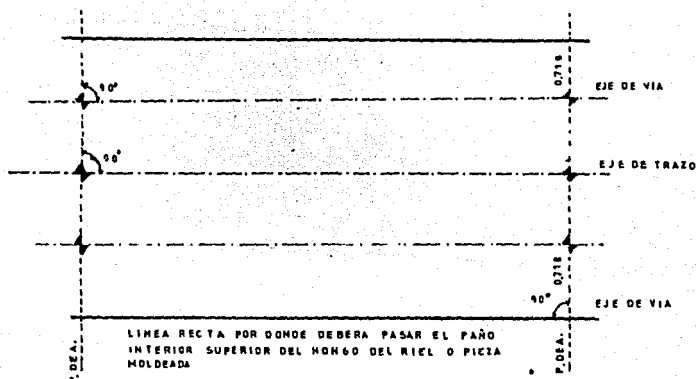


FIG. IV.6.2

Auxiliándose de las perforaciones existentes sobre la losa de fijación, se deben acuñar las piezas moldeadas a medida que se realiza la alineación.

Una vez que se ha terminado con la alineación y apoyándose del proyecto de Implantación Vía-Perfil se procede a realizar la nivelación. Dicha nivelación debe hacerse a cada 2.50 m. de acuerdo a las cotas que nos señala el proyecto.

Al igual que en la nivelación de la pista se utilizan planchuelas, acomodadas de tal manera que se puedan subir o bajar las piezas moldeadas del aparato según sea el caso. Cabe mencionar que las tolerancias establecidas, tanto para la alineación como para la nivelación, son de  $\pm 2$  mm.

#### IV.6.6. SELLADO DE ANCLAS.

Una vez alineado y nivelado el aparato, se debe verificar nuevamente que las anclas estén debidamente centradas en la perforación así como también proceder a expulsar el polvo existente en la misma por medio de aire comprimido. Es importante que la perforación esté limpia de cualquier impureza para recibir el material que servirá como sello de las anclas.

El material que se utiliza para este sellado es una mezcla expansiva cuya proporción consiste en un bulto de 20 kg. de SIKKA GROUT por 4 litros de agua (fotografía IV.6.3 anexa).

#### **IV.6.7. RELLENO BAJO CALZA.**

El relleno bajo calza se lleva a cabo una vez que se ha cumplido el tiempo especificado de fraguado del material de sellado de las anclas.

El material utilizado para realizar esta actividad es el mismo que se utiliza para el relleno bajo calza de riel y pista, como se puede observar en la fotografía IV.6.4 anexa.

#### **IV.6.8. DISTRIBUCION DE AISLADORES.**

En zona de aparato la barra guía lleva una cota de ajuste variable así como la distribución de los aisladores, debido al comportamiento del mismo aparato.

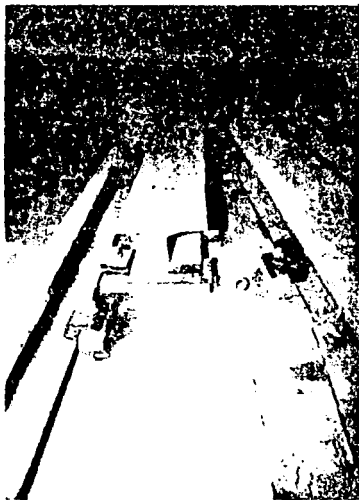
En el proyecto existe un plano específico para cada aparato, donde se señala la distribución de los aisladores y la cota de ajuste de la barra guía y que partiendo de ésta se calcula la cota de ajuste para cada aislador, siguiendo el mismo criterio que se utilizó anteriormente en la perforación para aisladores.

SELLADO Y RELLENO DE  
APARATO DE VIA



FOTOGRAFIA IV.6.4

FOTOGRAFIA IV.6.3



## CONCLUSIONES

Como ya se ha descrito, mediante la implementación del Plan de Desarrollo Urbano del Distrito Federal y del Plan Rector de Vialidad y Transporte del Distrito Federal se están dando respuestas a las necesidades de transportación de los habitantes de la ciudad de México, tanto en lo que toca a la suficiencia como a la calidad de los servicios.

Dentro del panorama que se estima para el año 2000, el Plan Rector seguirá promoviendo el uso de los transportes colectivos así como el desaliento al uso de los vehículos particulares, siendo ésta su premisa fundamental.

La movilidad en la ciudad todavía presenta un estado crítico que agudiza las tensiones de sus habitantes, además de la contaminación y accidentes que implican un elevado costo económico y social.

Por tal razón las acciones se dirigen a estructurar integralmente el transporte mediante la consolidación del Metro como la columna vertebral del mismo, así como la acción complementaria de los transportes colectivos de superficie, los estacionamientos, terminales y talleres.

Conforme avance el Plan, los habitantes dispondrán de un sistema vial y de transporte acorde con las necesidades elementales de la vida moderna.

Es por ello que la línea 7 del Metro cobra especial importancia, tanto a nivel social como técnico, ya que aunado al servicio que prestará a los centros urbanos por los que transita, se ha demostrado la capacidad y la tecnología mexicana para llevar a cabo la instalación de la vía sobre una losa de concreto, por vez primera en México, lo que dió motivo a la realización de esta tesis.

Es conveniente observar que a pesar de que el proceso constructivo para ésta requiere de una inversión inicial muy fuerte por el empleo de materiales, mano de obra y equipo, a la larga se vé compensada ya que se evita el mantenimiento de la vía, cuyo costo es sumamente elevado.

Consideramos que en base a la experiencia adquirida en la realización de los trabajos descritos es factible "vender" o exportar, a los países que así lo requieran, la tecnología del sistema tanto a nivel proyecto como de construcción, sobre todo tomando en cuenta nuevamente el factor costo ya que el asesoramiento de los países desarrollados que cuentan con dicho sistema, como son Francia y Canadá y de los cuáles se recibió la asistencia técnica, es muy alto.

Así mismo la implantación de la vía sobre la losa de concreto ha tenido repercusiones en el campo de la Ingeniería (Mecánica de Suelos y Mecánica de Materiales principalmente), ya que por ser la primera línea establecida en la ciudad y en el país, dió auge en cuanto a la investigación de los materiales y estudios de los tipos de suelos apropiados para su construcción.

Finalmente podemos mencionar que para la planeación del tipo de implantación de vía a utilizarse en las futuras líneas contempladas, no sólo en la ciudad de México sino en el país, y debido a que en el territorio se cuenta con suelos rocosos, se abre la posibilidad para diseñarse éste tipo de estructura.

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

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL  
COVITUR 77 - 82  
MEXICO, 1984.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO. FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA. NUMERO 1  
MEXICO, 1982.

D. D. F. COORDINACION GENERAL DEL TRANSPORTE  
ANUARIO DE VIALIDAD Y TRANSPORTE DEL DISTRITO FEDERAL  
MEXICO, 1984.

D. D. F. COMISION DE VIALIDAD Y TRANSPORTE URBANO  
PLAN RECTOR DE VIALIDAD Y TRANSPORTE DEL DISTRITO FEDERAL  
MEXICO, 1982.

COMISION DE VIALIDAD Y TRANSPORTE URBANO (COVITUR)  
OBRA DEL PUEBLO. CONCLUIDA LA TERCERA ETAPA DE AMPLIACION DEL  
METRO  
MEXICO, 1986.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL  
MIGUEL DE LA MADRID Y LOS CAPITALINOS: CUATRO AÑOS DE ESFUERZO  
CONJUNTO: 1982 - 1986  
MEXICO, 1987.

INGENIERIA DE SISTEMAS DE TRANSPORTE METROPOLITANO (ISTME)  
APUNTES DE PROYECTOS Y ESPECIFICACIONES  
MEXICO, 1983.