

# Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlán

## Proyecto Geométrico del Metropolitano de la Ciudad de México, Línea 6 Poniente. Tramo: Vallejo-Instituto Mexicano del Petróleo



109. CTA. 7118261-2

**T E S**  
Que para obtener el título de:  
**ingeniero civil**  
**p r e s e n t a :**  
**RUBEN ALFONSO OCHOA TORRES**

M-0028735



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

A mis padres:

Profr. Rubén A. Ochoa Vega y Sra. Elvira Torres de Ochoa.

Con todo mi amor, respeto, admiración y agradecimiento.

A mi esposa:

Arq. Martha C. González Del Pliego de Ochoa

Para quien no encuentro palabras para expresar todo el amor que siento por ella; quien es y será siempre mi única compañera y amiga.

A mi hija:

Srita. Jessica Ochoa González del Pliego.

A quien brindo todo mi amor, esfuerzo, dedicación y amistad.

A mi abuelita:

Sra. Aurora García Vda. de Torres.

Que será siempre mi segunda madre.

A mis tias:

Sritas. Esperanza y Socorro Ochoa Vega.

Que siempre recuerdo por su cariño y apoyo desinteresado.

A mis familiares y amigos.

A mis compañeros de escuela y trabajo.

Con agradecimiento especial a las siguientes personas:

Ing. Ramón Cuesta Ledezma.

Ing. Luis González Ponce.

Ing. Ismael González Técuatl.

Ing. Prospero A. Ortega Moreno.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"  
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA Y ACTUARIA.

CAI-C-092/80.

Señor Rubén Alfonso Ochoa Torres,  
Alumno de la Carrera de Ingeniero Civil,  
P r e s e n t e.

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha, 24 de Abril de 1980, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "PROYECTO GEOMETRICO DEL METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE MEXICO, LINEA 6 PONIENTE, TRAMO: VALLEJO-INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO", el cual se desarrollará como sigue:

- I.- Historia del Metropolitano
- II.- Generalidades de línea 6 poniente
- III.- Levantamiento topográfico
- IV.- Trazo
- V.- Perfil
- VI.- Galibos
- VII.- Ventilación
- VIII.- Implantación de vía

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

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

A t e n t a m e n t e  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Acatlán, Edo. de Méx., a 20 de Agosto de 1980.

  
Ing. Alejandro Ramírez Secaña  
Coordinador del Programa  
de Ingeniería y Actuaría.

# INDICE

## I N D I C E .

	PAGINA
I. HISTORIA DEL METROPOLITANO.	
1. ANTECEDENTES.	1
2. DETERMINACION DE LAS PRIMERAS LINEAS.	4
2.1. Principios fundamentales para la concepción de una red de "Metro".	6
2.2. Condiciones particulares de la ciudad de México.	7
2.3. Condiciones complementarias.	9
II. GENERALIDADES DE LA LINEA 6 ORIENTE.	
1. ASPECTOS GENERALES DE LA LINEA.	11
1.1. Tramos que constituyen la línea.	11
1.2. Recorrido.	12
2. LA OPERACION DE UNA LINEA.	14
2.1. Determinación de elementos de operación y capacidad de transporte.	19
2.2. Realización del intervalo mínimo en las líneas y terminales.	22
2.3. Servicios temporales.	24
2.4. Vías de enlace.	28
2.5. Disposiciones funcionales de estación tipo.	29
2.6. Terminales y talleres.	33
3. ANALISIS OPERATIVO.	38
3.1. Determinación del número de trenes.	38
3.2. Estimación del número de salidas y recorridos anuales efectuados por el material rodante.	41

	PAGINA
3.3. Posiciones de estacionamiento y fosas de revisión.	44
III. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.	
1. LEVANTAMIENTO PLANIMETRICO DIRECTO	48
2. LEVANTAMIENTO POR RESTITUCION FOTOGRAFICA.	50
3. LOCALIZACION DE INSTALACIONES MUNICIPALES.	54
4. AFECTACIONES.	55
IV. TRAZO.	
1. GENERALIDADES.	57
2. PROYECTO PRELIMINAR DE TRAZO.	60
3. PROYECTO DEFINITIVO DE TRAZO.	61
3.1. Cálculo de curvas horizontales.	61
3.2. Aparatos de vía.	71
3.3. Bayonetas.	74
V. PERFIL.	
1. GENERALIDADES.	79
2. PROYECTO DEFINITIVO.	81
3. MARCHA TIPO.	90
3.1. Objetivos.	90
3.2. Trazo de la marcha tipo teórica por el método PARODI.	93
3.3. Características de una línea definidas a partir de la marcha tipo.	113
4. SEÑALIZACION DE ESPACIAMIENTO.	117

	PAGINA
4.1. Principios de implantación de juntas y señales en la línea y en zona de maniobras.	117
4.2. Factores que intervienen en la implantación de juntas y señales en la línea y en la zona de maniobras.	125
4.3. Implantación de la señalización del metro de México..	136
VI. GALIBOS.	
1. GENERALIDADES.	146
2. CARACTERISTICAS DEL MATERIAL RODANTE.	148
3. SISTEMAS DE VIA.	154
4. GALIBO HORIZONTAL	155
4.1. Gálibo horizontal en tramo tangente.	155
4.2. Gálibo horizontal en curva.	156
5. GALIBO VERTICAL.	168
5.1. Gálibo vertical en tramo tangente.	168
5.2. Gálibo vertical en tramo de curva horizontal.	168
5.3. Gálibos verticales para sección subterránea.	169
6. SECCIONES.	171
7. NICHOS.	173
7.1. Nichos de seguridad.	173
7.2. Nichos de aparato.	174
7.3. Nichos especiales.	174
VII. VENTILACION.	

	PAGINA
1. INTRODUCCION	175
2. PROCEDIMIENTO DE MEDICION.	177
2.1. Estaciones.	177
2.2. Interestaciones.	178
3. MEDICIONES DE ESTACIONES.	179
4. MEDICIONES DE REJILLAS DE VENTILACION EN INTER- ESTACIONES SUBTERRANEAS.	186
5. CALOR GENERADO Y VENTILACION REQUERIDA.	190
5.1. Objetivos.	190
5.2. Cálculo de calor generado.	191
5.3. Cálculo de gasto de ventilación.	193
5.4. Volumen de aire manejado en las rejillas de ventilación de las líneas 1 y 2 en base a las mediciones practicadas.	195
5.5. Intercambio esperado y compartimiento de la ventilación en las líneas de la segunda eta- pa, de acuerdo al proyecto actual.	197
5.6. Volumen adicional requerido.	198
6. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.	202
6.1. Sobre la ventilación en las estaciones.	202
6.2. Sobre la ventilación en las interestaciones.	203
6.3. Conclusión.	203
VIII. IMPLANTACION DE VIA.	
1. GENERALIDADES.	204
2. DESCRIPCION GENERAL DE LA VIA.	205
3. FIJACION DE VIA.	206
3.1. Durmientes.	206

	PAGINA
3.2. Rieles.	209
3.3. Pista de rodamiento.	210
3.4. Barra guía.	211
3.5. Balasto.	213
3.6. Fijación de los diversos elementos.	214
3.7. Juntas aislantes y cupones neutros.	215
3.8. Aparatos y juntas de dilatación.	215
3.9. Aparatos de vía.	216
4. SOBREELEVACIONES.	
4.1. Teoría general.	222
4.2. Insuficiencia máxima de peralte.	228
4.3. Aplicación numérica.	229
5. IMPLANTACION DE VIA TRAZO Y PERFIL.	234
5.1. Implantación de vía trazó.	234
5.2. Implantación de vía perfil.	234
BIBLIOGRAFIA	236

# **CAPITULO**

## **I**

# C A P I T U L O I

## HISTORIA DEL METROPOLITANO

### 1. ANTECEDENTES.

El Metro nació hace más de un siglo en la ciudad de Londres (10 de enero de 1863). La afluencia de personas que necesitaban acudir al centro de la ciudad, en aquellos días la más poblada del mundo, estimada en 750,000 personas diarias, animó a un grupo de hombres de empresa a crear una compañía denominada North Metropolitan Railway Company, de la que el primer tren subterráneo habría de recibir su nombre. Ahora se denomina Metropolitano, o más brevemente Metro en casi todo el mundo, pero por curiosa paradoja Londres, donde nació la palabra, llama a su Metro Underground o más familiarmente Tube.

"Actualmente, se considera que un Metro es útil para una ciudad de un millón de habitantes, necesario para las que tienen dos millones e imprescindible para los que sobrepasan la cifra".

A principios de este siglo sólo once ciudades alcanzaban o superaban la cifra de un millón de habitantes. Hoy son 145 las que exceden dicha cifra; de ellas, 17 exceden los cinco millones y la cifra realmente monstruosa de diez millones, es superada en estos momentos por cinco metrópolis (Londres, Nueva York, Tokio, Shangai y México).

Entre 1950 y 1970, la población del Distrito Federal se duplicó al pasar de algo más de tres millones de habitantes a cerca de siete millones; actualmente llega a una cifra estimada en 9.5 millones. La tasa de crecimiento demográfico ha variado de 4.78% anual en el período de 1950-60, a 3.65% en la década de 1960-70; para la década 1970-80 fué de 3.8%.

Se estima que la tasa anual en la presente década es de 2.95%. Sumando a ésto la población económicamente activa que no radica en el Distrito Federal, sino en zonas adyacentes y que utiliza muchos de los servicios del mismo, resulta un incremento notable de población adicional (4.55 millones).

Todo ésto propicia graves y crecientes problemas de transporte y congestionamiento de tránsito, lo que motivó a realizar estudios destinados a encontrar las posibles soluciones para los 14.05 millones de habitantes de la zona metropolitana.

Los tranvías inicialmente fueron el medio de transporte más importante en la metrópoli, los cuales fueron prácticamente desplazados y sustituidos por los autobuses y trolebuses con líneas que abarcan casi todas las zonas de la ciudad.

Sin embargo lo anterior resultó insuficiente y hubo que complementarse con el servicio de "peseros", asignándoles rutas que concurrían al centro de la ciudad, disminuyendo así, la cantidad de automóviles particulares que necesitaban hacer ese recorrido.

Cada servicio de transporte resultaba ser un auxilio al problema, sin llegar a ser una solución realmente eficaz, lo cual propició estudiar la posibilidad de construir un sistema de transporte de grandes masas, con vía libre y coordinado con los transportes existentes para solucionar la gran demanda de transporte y a la vez los problemas de tránsito, sobre todo en el primer cuadro de la ciudad.

Era evidente que la solución fundamental para el transporte

masivo de pasajeros, no podía estar orientado hacia el nudo central de la ciudad y sus zonas congestionadas, a base de sistemas de superficie.

Ante esta situación y dentro de una planeación racional, se vió la conveniencia de construir el Metro para que constituyera la columna vertebral de un sistema integral de transporte.

No obstante la manifiesta necesidad de este servicio en la ciudad de México, su realización se vió detenida durante muchos años, por factores que aparecían como obstáculos casi insuperables. Estos factores se pueden clasificar en tres categorías de problemas: Técnico, Económico y Financiero.

El primero de ellos aludía a los problemas que representaba el subsuelo de la ciudad para la construcción de todo tipo de estructuras desplantadas sobre él y planteaba como impedimento determinante las características de este subsuelo, para la ejecución de conductos subterráneos de gran longitud.

El segundo, consideraba que el Metro requería de una tarifa que estaba sobre la capacidad económica del usuario. Esta información se basaba en que las tarifas de operación en otras ciudades del mundo, resultaban mayores a las acostumbradas en nuestro medio.

El aspecto financiero, como consecuencia de los anteriores, resultaba también negativo, ya que para fijar una tarifa acorde con la capacidad de pago del usuario, se requería de subsidio gubernamental. Por otra parte, en el caso de

superar los problemas técnicos, la construcción habría alcanzado costos excesivos que hubieran requerido altos financiamientos, cuyas amortizaciones tendrían que haber sido cubiertas por el Gobierno.

Siendo nuestra generación la que ha vivido este problema, tocaba a ella proponer la solución. Afortunadamente la inquietud de las autoridades, instituciones y técnicos mexicanos, dió origen años atrás a una serie de estudios generados en diversas fuentes nacionales y también algunas extranjeras.

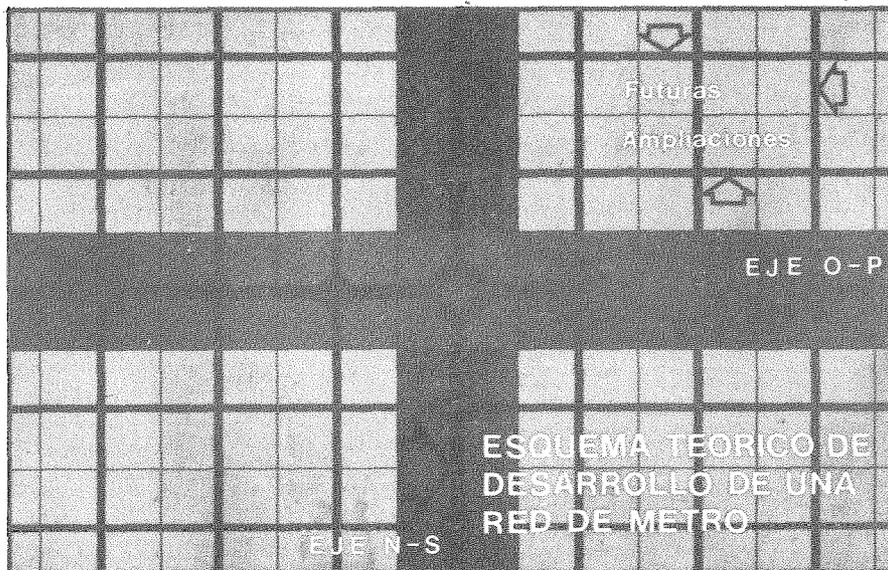
## 2. DETERMINACION DE LAS PRIMERAS LINEAS.

La experiencia internacional muestra que el transporte es un problema de carácter dinámico. Asimismo enseña que no tiene soluciones integrales inmediatas y que el desarrollo de una red de transporte colectivo se vá logrando paulatinamente apoyado en los resultados y experiencias obtenidas del proyecto, la construcción y la operación de cada línea.

Los trazos ideales están sujetos a modificaciones, que son consecuencia de las condiciones de servicio a determinadas zonas, del tipo de subsuelo, de interferencia con instalaciones municipales subterráneas, monumentos históricos, etc. Dichas modificaciones no deben de ser radicales, si el trazo inicial se ha logrado mediante estudios debidamente fundamentados.

En términos generales, una red urbana de transportes rápidos se inicia con dos líneas principales, perpendiculares entre sí y se desarrolla mediante la construcción de líneas

paralelas, formándose a la larga una cuadrícula que cubre progresivamente el área urbana. Esta cuadrícula se liga posteriormente con uno ó varios anillos.



En base a los criterios anteriores se creó el "Plan Rector de Vialidad y Transporte", cuyo objetivo principal consiste en la implantación de un sistema integral y coordinado de transportación, orientado por una clara política social que garantice la prestación de un servicio eficiente de transporte.

El Plan Rector, mediante los planes de Metro, de transporte de superficie, de vialidad y de estacionamientos, está llevando a cabo las acciones que se requieren para satisfacer gradualmente las necesidades de movilidad urbana, con visiones hacia el año 2000.

## 2.1 Principios Fundamentales para la Concepción de una Red de "Metro".

Estos principios se agrupan bajo tres aspectos:

- a) Tránsito.
- b) Operación.
- c) Construcción.

En lo que atañe al aspecto tránsito, las líneas del Metro deben cumplir con las siguientes premisas:

1. Corresponder con las corrientes establecidas de circulación sobre las que transitan diariamente los mayores volúmenes de pasajeros, y cubrir las zonas de mayor densidad demográfica.
2. Dar servicio a las zonas más congestionadas, eliminando en gran parte los medios de transporte de superficie.
3. Abarcar los centros de actividades principales de la metrópoli.
4. Permitir a los usuarios un ahorro de tiempo en sus recorridos, por medio de líneas lo más rectas posibles e interconexiones múltiples.

En relación al aspecto operación, el sistema debe:

- a. Obtener el mayor número de pasajeros, lo que dependerá de la correcta localización de las líneas.
- b. Lograr un movimiento regular de pasajeros durante

el día, con lo que se obtendrá una mayor economía en la operación de la red.

- c. Lograr una velocidad comercial alta, mediante un trazo con mínimo de curvas y estaciones, compatibles estas últimas con la población servida y su localización en los sitios de mayor movimiento.
- d. Asegurar el servicio con el menor número de trenes y con un mínimo de gasto de operación.
- e. Permitir la reestructuración progresiva y completa de los transportes superficiales y su coordinación con el Metro.

Dentro del aspecto de construcción, el sistema debe considerar:

- 1) El monto de la inversión que corresponde a los puntos difíciles de las líneas.
- 2) Las molestias y el costo que representarán los desvíos de tránsito durante la construcción.
- 3) Las ventajas y desventajas de la solución elegida, en comparación con otras alternativas de trazo.

## 2.2 Condiciones particulares de la Ciudad de México.

Era evidente que el establecimiento de la red de tránsito debía adaptarse a las condiciones particulares de nuestra capital, mismas que se concretaron en los siguientes puntos:

1. El centroide de la población, que años atrás se encontraba en la Plaza de la Constitución, se ha desplazado y continúa haciéndolo hacia el suroeste, localizándose hoy en día aproximadamente en Dr. Lavista y Av. Cuauhtémoc.
2. El servicio de transporte masivo rápido se hacía necesario entre la Villa y Coyoacán, Tacuba y Calzada Ignacio Zaragoza y de Villa Obregón a Tacuba, entre otros.
3. Debía preservarse el centro monumental e histórico de la capital.
4. El trazo de las líneas no podía perjudicar o anular vías de transportación existentes.
5. Era necesario seleccionar por lo menos una línea cuyo trazo contuviera el centroide de la población.

### 2.3 Condiciones Complementarias.

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

- a) Evitar el ingreso de los autobuses suburbanos y foráneos al centro de la capital.
- b) Eliminar las líneas de tranvías que penetraban a la zona céntrica, destinando las unidades de esas rutas a reforzar el servicio de las líneas que se conservarían.

- c) Irrigar al máximo la zona central con la red de trenes rápidos, de manera que la mayor parte del público de dicha zona, tuviera acceso a una estación del Metro con un corto recorrido a pie.
- d) Permitir su adecuada integración con el futuro desarrollo de la red de tránsito rápido.

Después de arduo trabajo en estudios y proyectos, el 29 de abril de 1967 aparece en el diario oficial el decreto de la creación del Sistema de Transporte Colectivo para construir, operar y explotar un tren rápido, con recorrido subterráneo y superficial, para el transporte colectivo en el Distrito Federal. Las obras se iniciaron el 19 de junio de 1967 (50 días después), y el 5 de septiembre de 1969 se inaugura la primera línea (Zaragoza-Observatorio), con 11.5 kms de extensión y 16 estaciones; 28 meses después del acuerdo y 26 desde la iniciación de los trabajos.

La primera etapa del Metro se constituyó con tres líneas básicas con una longitud operativa de 32 kms la cual por acuerdo posterior se amplió a 42.2 kms de los cuales 32.1 son subterráneos y 10.1 en superficie, con un total de 48 estaciones simples y 3 de correspondencia.

Pero hay que puntualizar que aquellas tres líneas del Metro de la ciudad de México apenas son el principio, ya que cuando se inicia el Metro, se concluye hasta llegar a integrar una verdadera red de servicio.

El presente trabajo pretende dar un enfoque técnico de apenas algunos de los aspectos que intervienen en la concepción de un Metro, como es el proyecto geométrico, la operación y su ingeniería de vía.

**CAPITULO**  
**II**

## C A P I T U L O II.

### GENERALIDADES DE LA LINEA 6 ORIENTE.

#### 1. ASPECTOS GENERALES DE LA LINEA.

La definición de las rutas del sistema, obedece fundamentalmente a las directrices establecidas en el "Plan Maestro del Metro", y el origen prioritario de construcción lo determinan los estudios de origen y destino de pasajeros.

La línea 6 tiene un recorrido Oriente-Poniente, uniendo la zona de San Juan de Aragón con Azcapotzalco y el Rosario, siendo éste el recorrido más al norte considerado dentro de dicho plan.

En la primera etapa de esta línea, se contempla poner en servicio de el Rosario hasta el Instituto Mexicano del Petróleo (I.M.P.) y posteriormente el tramo restante hasta incorporarse a San Juan de Aragón. El contenido de este capítulo está enfocado a la primera parte.

La línea tiene una longitud total de 8320.539 m, de los cuales 7173.453 m son subterráneos y 147.086 m superficiales.

#### 1.1. TRAMOS QUE CONSTITUYEN LA LINEA.

T R A M O		INTERESTACIONES (m)
Cola	- El Rosario	756.362
El Rosario	- Tezozomoc	1407.424
Tezozomoc	- Azcapotzalco	1122.534
Azcapotzalco	- Ferrería	1322.950
Ferrería	- Norte 45	1222.142
Norte 45	- Vallejo	809.966
Vallejo	- I. M. P.	905.400
I.M. P.	- Cola	773.761
T O T A L		<u>8320.539</u>

## 1.2. RECORRIDO.

El inicio de la Línea se presenta al poniente de la ciudad con la estación El Rosario. El recorrido empieza en la calle Tierra Colorada con una rampa de 4.0% para profundizarse rápidamente y pasar de tramo superficial a subterráneo, cruzando la Av. El Rosario y posteriormente tomando con una curva de 200 m la Av. Aquiles Serdán; con otra curva del mismo radio se incorpora el trazo a la calle Ahuehuetes, donde se ubicará la estación Tezozomoc. El perfil en este tramo considera rellenos de 1.5 m en promedio, excepto en el cruce con la lateral de Aquiles Serdán, donde fué necesario librar dos colectores existentes de 0.91 m y 1.07 m de diámetro, deprimiéndose hasta una profundidad de 4.0 m a nivel de extradós.

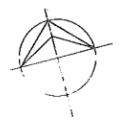
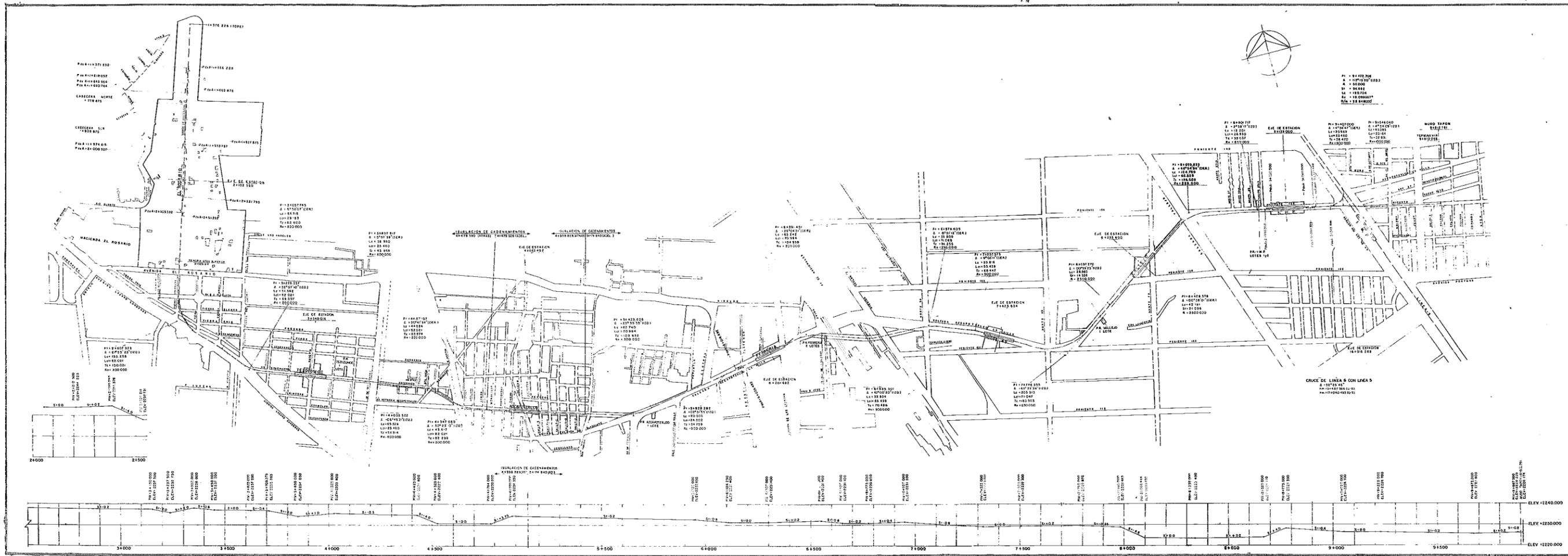
En la intersección Tezozomoc - Azcapotzalco fué necesario afectar algunas propiedades, en su mayoría lotes baldíos, para desviar el recorrido hacia la Av. Refinería Azcapotzalco por medio de dos curvas invertidas de radio de 200 m con el fin de minimizar las afectaciones. En este recorrido se tuvieron dos interferencias transversales muy importantes, que fué necesario librar bajando considerablemente el perfil de la estructura; el primero se presentó en el cruce de la Av. 16 de Septiembre, donde se tiene una batería de 12 ductos de combustible de PEMEX, una tubería de agua potable de 12"  $\emptyset$  y un colector de 76 cm  $\emptyset$ , lo que llevó a tener un relleno sobre el cajón de 4.0 m; el otro caso se presentó exactamente al eje de la estación Azcapotzalco con el cruce de un colector de 1.22 m  $\emptyset$  y una tubería de agua potable de 1.22 m  $\emptyset$ , teniendo que dejar la estación a 11.75 m del terreno

natural a la subrasante.

El perfil se recupera con una pendiente de 3.75% y conserva en adelante rellenos normales de 1.5 m en promedio, hasta llegar a las estaciones Ferrería y Norte 45. En estos tramos el trazo toma la Calzada Azcapotzalco - La Villa, cruzando las instalaciones de Pantaco y librando los estribos y apoyos del puente de la vialidad con una serie de curvas clotoideas con radios de 300 m a 500 m.

Otra interferencia importante que fué necesario librar, es el colector de 2.5 m de diámetro que va sobre la calle Poniente 128 que obligó a dejar la estación Vallejo a 12.0 m de profundidad a la subrasante, bajando hasta este nivel con pendientes de 4.5% a la entrada y 0.2% a la salida, con una profundidad de 6.0 m a la subrasante en adelante, para evitar el cruce de una tubería de agua potable de 1.22 m  $\emptyset$  que va sobre Norte 45 y un colector de 1.83 m  $\emptyset$  sobre la Calzada Vallejo.

Inmediatamente después el perfil se recupera nuevamente con una pendiente de 4.0%, continuando así hasta la estación Instituto Mexicano del Petróleo y su cola de maniobras, cuyo trazo se localiza sobre la calle Ricarte.



PI + 8412.00  
 A + 107.870 (100)  
 B + 80.000  
 C + 84.882  
 D + 193.204  
 E + 10.00000  
 G + 21.84000

PI + 8400.00  
 A + 107.870 (100)  
 B + 80.000  
 C + 84.882  
 D + 193.204  
 E + 10.00000  
 G + 21.84000

CRUCE DE LINEA 5 CON LINEA 6  
 A + 107.870 (100)  
 B + 80.000  
 C + 84.882  
 D + 193.204  
 E + 10.00000  
 G + 21.84000

	UNAM	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
	INGENIERIA CIVIL	LINEA No. 6
PROYECTO GENERAL DE TRAZO Y PERFIL		
TESIS PROFESIONAL	AUREN A. GONZA TORRES	

## 2. LA OPERACION DE UNA LINEA.

Para la concepción de la red del Metro de México se consideraron tres principios fundamentales: El tránsito de pasajeros, la operación y la construcción del Sistema.

El presente tema se enfocará al aspecto operación de la red del Metro de México. Se puede generalizar que los objetivos de la operación de una línea de Metro son comunes a todas las redes de transporte cualesquiera que sean; éstos son:

- La Seguridad.
- La Regularidad.
- El Confort.
- La Rapidez.
- El Costo.

### A). La Seguridad.

La noción de seguridad reviste una importancia particular para una red de transporte donde se presentan grandes concentraciones de viajeros, tanto en trenes como en estaciones.

Entendemos que la seguridad es el objetivo más importante para los usuarios de un sistema de transporte colectivo. Esto dependerá siempre del buen funcionamiento del material, las instalaciones, el personal de servicio y los mismos usuarios.

Es importante para lograr una seguridad efectiva observar las siguientes consideraciones:

- 1) La elección de dispositivos técnicos diversos (centralización, automatismos, etc)
- 2) La existencia de un personal calificado perteneciente al servicio de operación, donde la calificación y el trabajo son muy diferentes a los correspondientes a la operación de una red de autobuses por ejemplo.

La operación no admitirá la puesta en servicio de nuevos equipos sin conocer todas las características, tener prueba de equipos dentro de las condiciones lo más realistas y tener redactada eventualmente la consigna o la instrucción correspondiente.

Las consideraciones de seguridad para el Metro de México son particularmente importantes, donde, a excepción de la Línea 4, es en gran parte subterráneo y contiene una afluencia excepcional.

Es, en efecto, en México donde se encuentra la carga media de viajeros más grande dentro de los trenes entre las grandes redes del mundo.

Según el reporte de la Unión Internacional de Transportes Públicos, en 1979 se encontró el valor de 9.45 viajeros por carro kilómetro, sea una carga media igual a 1.7 veces que la del Metro de París, donde se tuvo un coeficiente de 5.64 .

B) La Regularidad.

La regularidad es una preocupación constante de la operación. El retardo inesperado de un tren tiende a acentuar un número superior de viajeros que esperan dentro de cada estación el tren retardado; este

retardo genera rápidamente una repercusión "en cascada" sobre toda la línea.

Para mantener la regularidad de trenes en una línea es necesario:

- 1) Disponer de trenes y personal, en reserva suficiente.
- 2) Centralizar ciertas informaciones a fin de poder operar rápidamente en caso de incidente.
- 3) Automatizar ciertas funciones a fin de limitar las perturbaciones ocasionadas por la operación humana.
- 4) Una buena disponibilidad de material rodante y de los equipos.
- 5) La posibilidad de operar con los modos degradados que permitan una capacidad de transporte conveniente.

C) El Confort.

El confort es un tema muy general que se traduce por:

- 1) La estancia agradable dentro de las estaciones donde las principales características son:
  - La estética.
  - Las disposiciones funcionales.
  - El comportamiento de agentes.
  - Una temperatura ambiente agradable.
- 2) Una señalización para usuarios simple y eficaz.
- 3) La facilidad de desplazamiento con los sentidos de circulación marcados y la mecanización de desniveles.
- 4) La calidad de material rodante (alumbrado, suspensión, sonorización, etc).

- 5) La adaptación del servicio al volumen de tráfico.
- 6) La coordinación con los otros modos de transporte.

D) La Rapidez.

El viajero es menos sensible a este concepto; frecuentemente el transporte está expuesto a contratiempos dentro del empleo del tiempo cotidiano. Se necesita siempre tratar de disminuir el tiempo de recorrido sin dejar de tomar en cuenta la seguridad; este problema no se reduce unicamente a nivel de trenes, sino también para una buena implantación de estaciones con una reducción en tiempo del desplazamiento de acceso a trenes (venta, control, mecanización, etc) y la reducción de intervalo entre trenes lo más corto posible.

Para la operación de una red de transporte la rapidez es un factor primordial.

En efecto, para asegurar una capacidad de transporte determinado o sea una capacidad fija de trenes, se necesita mantener un cierto intervalo; el número de trenes a poner en servicio será inversamente proporcional a la velocidad media de trenes.

Ahora bien, es importante considerar para la rapidez los siguientes puntos:

- a) Elección de material rodante con buenas características de aceleración y rodaje.
- b) Elección de equipos centralizados de regulación que permitan operar mejor las características del material rodante.

Una carga tan marcada de trenes como la línea 1 de la ciudad de México, con aglomeraciones de usuarios en las estaciones Pino Suárez (estación de correspondencia) y Zaragoza (estación terminal), sin posibilidad de repartir carga sobre una u otra línea en caso de interrupción de tráfico, es un problema vigente y descontento para los viajeros. Con la aparición de la terminal Pantitlán que es común a las líneas 1 y 5, se repartirá el flujo de tráfico Este - Oeste, pero, en caso de no disponer de esta transferencia, provocará un incremento de flujo directamente sobre la Línea 2; este tráfico es un buen ejemplo de sobrecarga que aminoriza la regularidad y la rapidez.

E) El Costo.

El precio del servicio de transporte debe estar en base a las posibilidades de los usuarios.

Es importante por consiguiente, fijar buenas reglas de administración y de prever las estructuras necesarias a fin de reducir el costo de operación. Esto implica igualmente la elección de equipos que permitan reducir el personal humano.

La evolución de la técnica, en particular de la electrónica, permite concebir una red disponente de elementos técnicos, tales que la operación pueda ser efectuada con la utilización de poca mano de obra.

Esta última elección, resulta también de consideraciones políticas. Se puede en efecto minimizar el número de personal altamente especializado con la disposición de un mando centralizado sofisticado y man-

tener un número importante de personal poco calificado (vendedores de billetes, sobre vigilancia en las estaciones, etc.), pero, por consiguiente, la carga puede volverse más pesada con la extensión de la red, aumentando proporcionalmente el personal de servicio, sin tener de la misma manera un aumento proporcional del número de viajeros.

## 2.1 DETERMINACION DE ELEMENTOS DE OPERACION Y CAPACIDAD DE TRANSPORTE.

Para un buen funcionamiento de una línea o una red de varias líneas del Metro es importante determinar las principales características y la filosofía general de operación de la línea o la red correspondiente.

Contenido de un "Expediente funcional" (elementos de operación)

El "Expediente funcional" es un documento de base, que reagrupa estas características y la filosofía de operación; sirve de referencia para todos los estudios ulteriores; comprende la redacción de especificaciones funcionales y técnicas de diversos equipos y de material rodante.

De la misma manera, se debe también establecer un expediente para una extensión de línea o la construcción de nuevas líneas dentro de una red existente.

Los principales elementos de un expediente funcional son:

- Objetivos
- Filosofía del concepto de equipamiento.

- Circulación de trenes.
- El puesto central.
- Regulación de trenes.
- Telecomunicaciones.
- Concepto de estaciones.
- Organización de servicios de operación.

En un expediente funcional dado, podemos encontrar más o menos el mismo planteamiento de su contenido; éste dependerá siempre del nivel de sofisticación de los equipos.

#### Capacidad de Transporte.

Los diferentes modos de transporte sobre riel, se distinguen por su capacidad de transporte por hora y por sentido. En México la capacidad de transporte máxima es de 72,000 viajeros/hora sentido con un intervalo mínimo de 90 segundos y una capacidad máxima por tren de 1800 viajeros.

Cuando la formación de trenes de una línea es uniforme, la capacidad de transporte horario es igual (para cada vía) al producto del número de trenes que la recorren durante una hora por la capacidad de viajeros de un tren; el valor máximo de esta capacidad de transporte (en las horas pico) deberá de estar asegurado por los trenes en operación circulando al intervalo mínimo previsto en el horario.

Para satisfacer esta demanda, se pueden considerar diferentes soluciones en función de:

- El valor de la demanda
- La repartición geográfica de la demanda.
- La posibilidad de utilizar las infraestructuras existentes.
- Un plan de desarrollo de aglomeración, etc.

El material rodante que se utiliza en México, es de tipo urbano con un gálibo de 2.50 m y una longitud de carros que se determinó directamente en función del gálibo elegido y el trazo de la línea, del orden de 17.18 m para los motrices extremos y 16.18 m para los carros intermedios.

Se considera una composición de trenes de nueve carros

$$M + R + N + N + R + N + N + R + M$$

De donde:

M = representa las motrices extremas.

N = representa las motrices intermedias.

R = representa los remolques.

La estimación de capacidad de transporte, fué determinada por el Sistema de Transporte Colectivo (S.T.C.) sobre la base de 1800 viajeros para un tren de nueve carros, correspondientes a una carga total a 6/5 de la carga normal (sobrecarga), con 350 viajeros sentados y 1450 parados; ésto corresponde a una distribución aproximada de 8 viajeros por m<sup>2</sup>. La carga normal corresponde a tener 1480 viajeros por tren, con 350 viajeros sentados 1130 parados con una distribución aproximada a 6 viajeros por m<sup>2</sup>.

Cabe notarse que si uno de los objetivos del Metro es el de asegurar un máximo confort a los usuarios, se

necesita tender a disminuir esta "sobrecarga".

La estimación del número de trenes necesarios para la operación de una línea de longitud determinada depende de dos factores:

- a) La velocidad comercial de trenes,  $V_c$  (en km/h).
- b) El intervalo mínimo a realizar,  $I_m$  (en minutos y segundos).

El número de trenes será siempre inversamente proporcional al intervalo a realizar.

La velocidad comercial se determina en función de la longitud media de interestaciones, el trazo, perfil y los tiempos de estacionamiento previstos; se considera entre 32 y 35 km/h aproximadamente.

## 2.2 REALIZACION DEL INTERVALO MINIMO EN LAS LINEAS Y TERMINALES.

Para asegurar el intervalo mínimo se necesita disponer en la línea de una señalización adecuada y de terminales que permitan a los trenes circular lo más rápido posible.

### 2.2.1 Realización Teórica del Intervalo Mínimo.

Se deben considerar dos casos: intervalo en línea e intervalo en terminal.

En línea la señalización de espaciamiento implantada por un intervalo teórico de 85 segundos, permite una buena flexibilidad para la

realización de un intervalo práctico de 90 segundos. En una terminal el intervalo mínimo depende del tipo de maniobra del cambio de vía.

### 2.2.2 Realización Práctica del Intervalo Mínimo.

La realización práctica del intervalo mínimo no es posible si los sistemas utilizados no tienen un margen de flexibilidad suficiente.

Este puede obtenerse por :

- a) El "Tiempo muerto en línea" que tolera los pequeños retardos con instalaciones que permitan un intervalo inferior al utilizado; gracias a este tiempo muerto el retardo ligero de un tren no afecta sensiblemente la marcha del tren siguiente.
- b) El "Tiempo muerto al recorrido" que es una reserva de tiempo utilizado dentro de las terminales a fin de resolver los pequeños retardos corrientes y respetar así los horarios de salida.
- c) La buena disposición de las instalaciones y el material rodante (mantenimiento), para optimizar el servicio y evitar en lo posible fallas técnicas que propicien un retardo.
- d) La visión global de tráfico a nivel de un puesto de control central (P.C.C.) que permita tomar rápidamente las medidas necesarias en caso de perturbación.

- e) La regulación desde un puesto central, que puede ser:
  - Automática por un calculador, mandando las salidas de trenes y la regulación de su marcha (por acción de las velocidades y los tiempos de estacionamiento).
  - Manualmente por el regulador, que manda los despachos bajo orden (D.B.O.)
- f) La utilización de pilotaje automático sobre los trenes que permite asegurar el intervalo deseado, la seguridad y la regularidad de la marcha de trenes, y que permite mandar de manera práctica la acción de regulación en línea.

### 2.3 SERVICIOS TEMPORALES.

Cuando un incidente de operación importante inmoviliza una línea por un tiempo indeterminado, por ejemplo: accidentes de viajero o avería grave del material rodante, existen dos posibilidades de operar la línea de manera degradada: la comunicación de "Servicios provisionales" y "Vías únicas temporales" .

#### 2.3.1 Servicio Provisional (S.P.)

Un servicio provisional es la operación degradada de una línea en caso de disponibilidad de una parte de la línea.

La instalación consiste en equipar ciertas estaciones de la línea como las terminales, esto es, la comunicación de cambio de vía principal para el retorno de trenes. Los criterios de implantación de los servicios provi-

sionales que se consideraron fueron desde el punto de vista tráfico y servicio de viajeros (estaciones de correspondencia, terminales de autobuses, etc.)

No hay andén de maniobra pero se adopta el principio de la maniobra por delante o por detrás de la terminal provisional dependiendo del caso de la interrupción, considerando siempre el servicio de los andenes. Los aparatos de vía son en general implantados de tal forma que son tomados en talón por los trenes circulando en sentido normal.

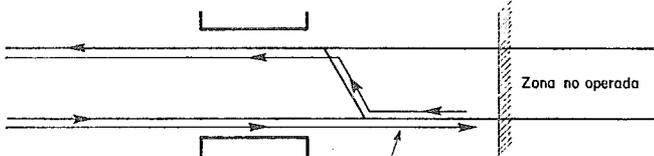
El intervalo es más importante que en la normal, sobre todo en el caso de la maniobra por delante de la terminal provisional.

Los servicios provisionales por regla general se ubicaron cercanos a las estaciones principales de correspondencia, escalonadas sobre la línea y quedando en lo posible a distancias iguales. Los servicios provisionales se instalaron también próximos a las vías de enlace, permitiendo conjugar los itinerarios de cambio de vía con la entrada y salida de la vía de enlace.

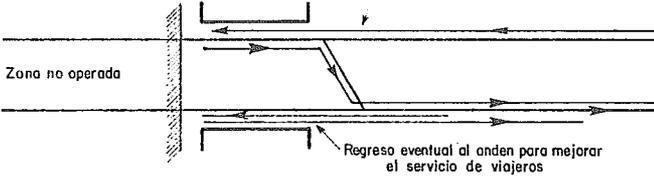
#### Diferentes Tipos de Servicios Provisionales: S.P. antes de la terminal.

La maniobra se hace en tres tiempos y el tren efectúa una maniobra antes de la estación; maniobra relativamente larga si no se cuenta con equipo de refuerzo. Esta maniobra puede ser reducida si se realiza simultáneamente el ascenso y descenso de viajeros en el andén de salida.

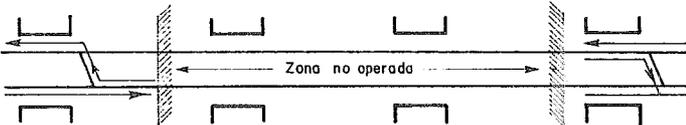
SP 1er caso



SP- 2º caso



Ejemplo de interrupcion en linea



Sobre cada tramo operado el intervalo posible entre frenes sucesivos es el orden de 3 minutos.

U N A M

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

INGENIERIA CIVIL



SERVICIOS PROVISIONALES (SP) ESQUEMAS DE FUNCIONAMIENTO

TESIS PROFESIONAL

RUBEN A. OCHOA TORRES

S.P. después de la terminal.

La maniobra es idéntica a la que se utiliza dentro de las terminales a dos vías (maniobra "V")

S.P. con andén central.

Esta maniobra no se diferencia de las anteriores, excepto para la maniobra antes de la terminal, porque se cuenta con andén central y ésto asegura el ascenso y descenso de viajeros en el mismo andén, reduciendo el tiempo de maniobra.

Cuando la zona de maniobra está equipada por una vía Z; el cambio de vía se efectúa sobre la misma

#### 2.3.2 Vía única temporaria (V.U.T.)

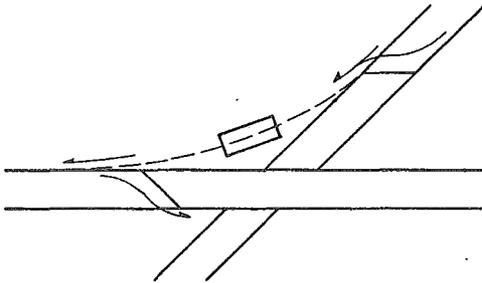
La instalación de la V.U.T. permite asegurar también una operación degradada; es utilizada cuando una sola vía está inmovilizada; ésta permite pasar los trenes alternativamente dentro de los dos sentidos sobre la vía restante disponible.

Este tipo de solución no es aplicable para el Metro de México, debido a que la operación degradada con una V.U.T. aumenta notablemente el intervalo, disminuyendo la capacidad de transporte.

## 2.4 VIAS DE ENLACE.

Una vía de enlace es la posibilidad de intercircularción entre líneas para comunicar los trenes con los talleres y desplazamiento de trenes de trabajo.

Cuando se ponen varias líneas de Metro en operación, es necesario prever las vías de enlace a fin de poder agrupar los trenes dentro del mismo taller.



La longitud de una vía de enlace debe permitir la posición de un tren porque se debe poder alternar la maniobra de una línea a la otra y esperar el momento propicio para salir.

La vía de enlace por seguridad debe estar señalizada y alimentada en energía sobre una línea con telemando, previendo un dispositivo de seguridad sobre la otra línea, para evitar una liga eléctrica entre las líneas.

### Elección e Implantación de una Vía de Enlace.

Es necesario tratar de combinar las vías de enlace con los servicios provisionales, con el fin de tener un menor número de aparatos de cambio de vía y evitar los recorridos inútiles.

Contrariamente a un servicio provisional, a la entrada o la salida de una vía de enlace un aparato puede ser tomado indiferentemente en punta o en talón; es la posición geográfica de la vía de enlace quien dispone esta solución.

Si una zona de maniobras está equipada con una vía "Z", los movimientos de trenes pueden ser realizados en esta vía a fin de limitar las perturbaciones sobre las vías principales.

Los accesos a una vía de enlace tienen frecuentemente un perfil desfavorable; quiere decir que la diferencia de nivel de dos líneas a la extremidad de la vía de enlace puede ser en rampa o en declive; es recomendable, en caso de tener declive, equipar la vía con un aparato descarrilador para evitar accidentes con la vía principal.

## 2.5 DISPOSICIONES FUNCIONALES DE ESTACIONES TIPO.

La estación, es la parte de obra más sujeta a juicio, por parte de los usuarios. Constituye el lugar de cambio entre la superficie y los trenes.

"Una estación es el conjunto de instalaciones que permite a los viajeros transitar entre la vialidad y un tren pagando el precio de transporte".

Las funciones de las estaciones se clasifican en tres grupos:

- El servicio de una zona.
- El cambio con otra línea de la red.
- El cambio con otro medio de transporte.

Las estaciones que tienen la única función de servicio en una zona son llamadas estaciones simples o de paso. La experiencia muestra que la zona de influencia de una estación está limitada a un radio del orden de 500 m con una superficie aproximada de 75 a 80 hectá-

reas. La importancia y la naturaleza del tráfico depende de la densidad de población, las zonas de trabajo y el comercio local.

Las estaciones de correspondencia son aquellas que tienen la función de intercomunicación de una línea con otra de la misma red para el servicio de viajeros.

Las estaciones que tienen una correspondencia con otro medio de transporte se les denomina estación de cambio. Las estaciones terminales son generalmente de cambio y pueden ser provisionales o definitivas.

La estación está constituida esencialmente por:

- a) El (o los) andenes.
- b) La (o las) sala (s) de distribución.
- c) Los pasillos.
- d) Los locales técnicos y de mantenimiento.

Los andenes: Los andenes se clasifican generalmente en dos tipos, andenes centrales y laterales. En términos generales el ancho de los andenes se determinó por las características de la línea, los volúmenes de tráfico y la situación geográfica de las estaciones (zonas residenciales, estaciones normales, de correspondencia y de cambio).

La Sala de distribución: La organización y el dimensionamiento de las salas de distribución están determinadas por las siguientes consideraciones:

- Cruzamiento de flujo importante de viajeros.
- Ubicación de taquillas de venta de boletos de transporte.
- Disposición de las líneas de control.

- Puesto de vigilancia, oficina de estación, etc.

Los pasillos: El conjunto de uniones de una estación clásica esta definida por:

- La comunicación entre la vía pública y la sala de distribución.
- La comunicación entre la sala de distribución y los andenes.
- La comunicación de andén a andén para las estaciones dobles o múltiples.

Esto comprende los pasillos, accesos, escaleras simples o mecánicas y las penetraciones (sobre andén, en sala o en la calle).

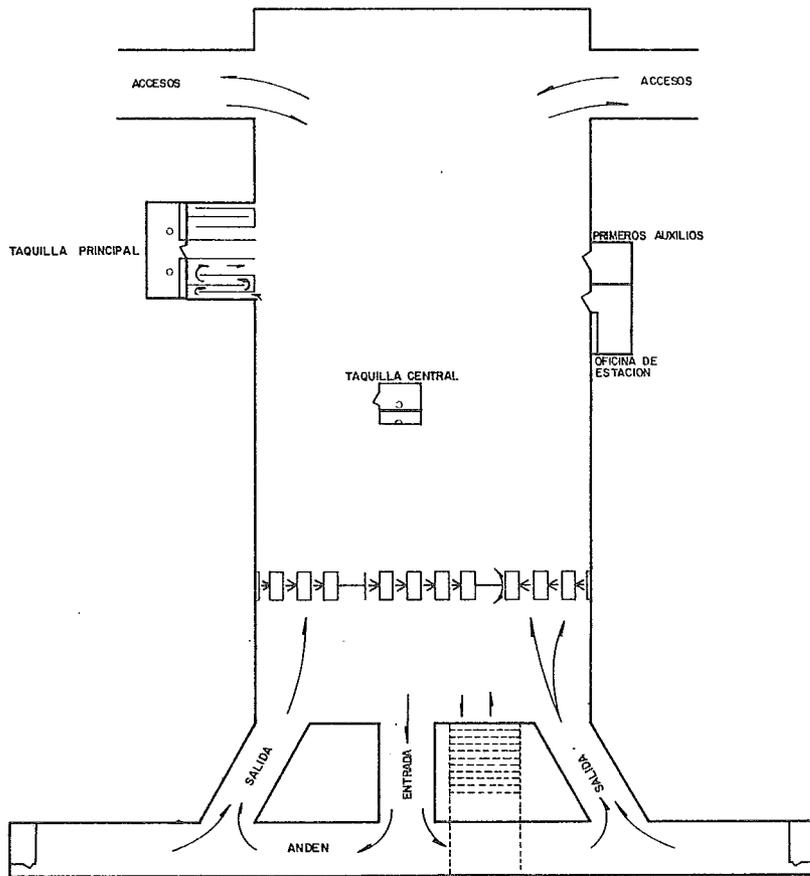
Los locales técnicos y de mantenimiento: El local técnico es único por estación y se utiliza para la instalación de equipos electrónicos y de telecomunicaciones; este local debe de estar próximo a los andenes permitiendo la conexión con los equipos en túnel.

Este local contempla los equipos necesarios a la telefonía (clásica y alta frecuencia), la señalización, el pilotaje automático, el mando centralizado, la televisión, el peaje, la sonorización de la estación y la transmisión de alarmas técnicas.

Controla por otra parte la armonía de distribución eléctrica de los equipos del mismo local.

La importancia y sofisticación de los equipos y por consiguiente la superficie local, será mayor para las estaciones terminales y de correspondencia que las estaciones ordinarias.

Los locales destinados a recibir el material especial de limpieza para el mantenimiento de los andenes, los



UNAM		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
INGENIERIA CIVIL		SALA DE DISTRIBUCION TIPO METRO DE MEXICO
		
TESIS PROFESIONAL		RUBEN A. OCHOA TORRES

accesos y las diferentes instalaciones, son previstos en cada estación. Contienen igualmente el material necesario para el mantenimiento de alumbrado y una toma de agua.

## 2.6 TERMINALES, TALLERES Y NAVE DE DEPOSITO.

Las terminales están constituidas por las zonas de maniobras que permitan a los trenes efectuar:

- Las maniobras de cambio de vía principal.
- Los movimientos de estacionamiento y desestacionamiento.
- El acceso a la fosa de visita para ciertas intervenciones sobre el material rodante.

El intervalo mínimo posible dentro de las terminales depende del tipo de maniobra de cambio de vía; dentro de esta maniobra hay que considerar los tiempos de desplazamiento del tren y los tiempos de estacionamiento correspondientes como descenso de viajeros al andén de llegada, cambio de sentido de marcha ( en andén de maniobras) y ascenso de viajeros, tiempo de plazo del conductor (en andén de salida).

### 2.6.1 Funciones de terminales.

Cambio de vía. Se efectúa de una misión sin viajeros. Podemos distinguir dos tipos de cambio de vía; La maniobra en andén de maniobras después de la terminal ("V"). Y la maniobra antes de la terminal ("o").

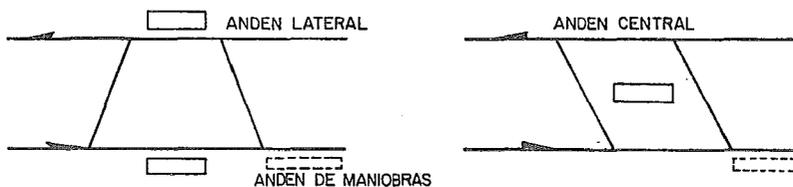
Acceso a la fosa de visita.

A fin de limitar un retardo por cambio de material y para favorecer la comunicación con el personal de mantenimiento, se necesita que la fosa de visita esté ubicada lo más próximo posible a la estación terminal.

El tren de reserva debe de estar ubicado lo más cercano posible de la posición de salida, sin interferir las maniobras de cambio de vía.

## 2.6.2 Diferentes Tipos de terminal.

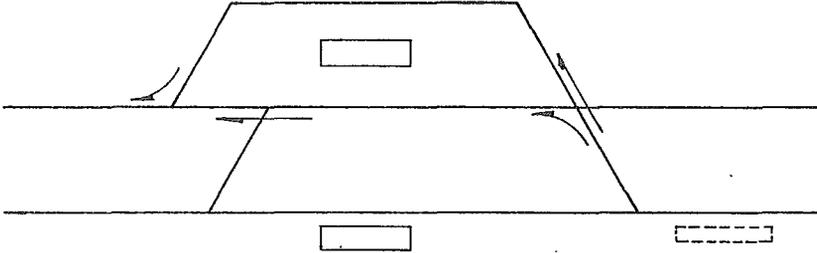
### Terminal de dos vías.



Andén lateral; la llegada y salida se realiza cada una sobre un andén generalmente.

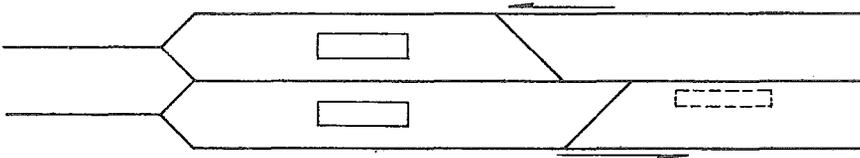
El andén central asegura las dos funciones (llegada y salida).

Terminal a dos vías de salida y una de llegada (mejoramiento de flexibilidad en la operación).



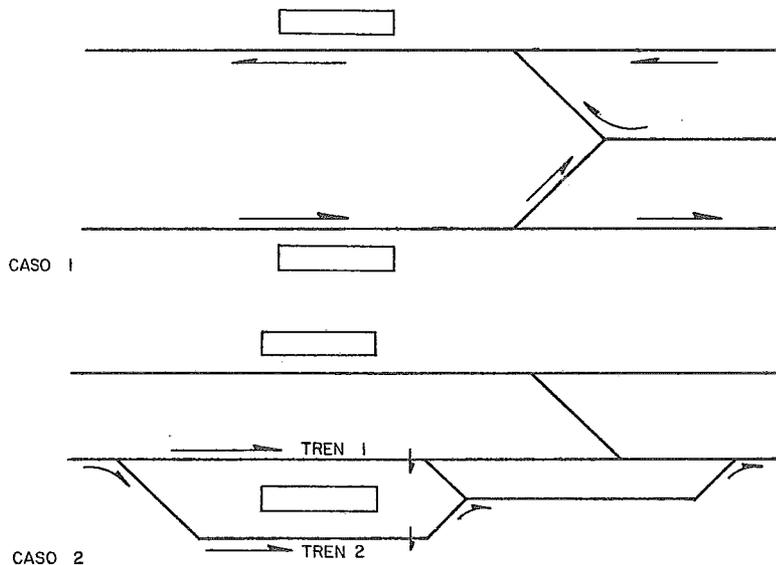
Terminal a Tres Vías y Dos Andenes Centrales.

El andén de maniobras se encuentra más alejado de los andenes y el tiempo de recorrido será mayor pero se tendrá una mayor flexibilidad para la operación.



Terminal Intermediaria.

Algunos trenes se estacionan en esta terminal; la maniobra de cambio de sentido debe efectuarse fuera de la vía principal. Este tipo de terminal puede funcionar como servicio provisional.



### 2.6.3 Talleres y Naves de Depósito.

Una vez determinado el número de trenes necesarios a la operación, se necesita asegurar las posiciones de estacionamiento del conjunto de trenes en horas fuera de operación y también, por otra parte, los trenes que están fuera de servicio en las horas de menor afluencia.

La zona de garajes puede ser de la siguiente manera:

Con la prolongación de las vías después de la terminal.

- Con la prolongación de las vías tomando un "garaje de operación" después de la terminal o dentro de un terreno reservado para los talleres de mantenimiento y las naves de depósito, para el material rodante.
- En caso de no tener una zona destinada para talleres sobre la misma línea, debe de existir una comunicación (vía de enlace) con otra línea que cuente con estas instalaciones.

El número de posiciones de estacionamiento dentro de una terminal debe asegurar el inicio del servicio, el intervalo máximo permitido, durante el recorrido de una terminal a otra, o sea hasta la llegada del primer tren que viene de la otra terminal. Generalmente la terminal que se encuentra en el extremo opuesto a la nave de depósito, debe tener una capacidad de  $1/3$  de la demanda total de trenes para la línea.

### 3. ANALISIS OPERATIVO.

#### 3.1. DETERMINACION DEL NUMERO DE TRENES.

Tomaremos las características de la línea 6 Poniente del metro de México y por diferentes hipótesis determinaremos el número de trenes necesario para la operación.

##### Datos.

Longitud de operación de la línea (a ejes de estación),

$$L = 6790.416 \text{ m.}$$

Capacidad de un tren con nueve carros,  $C = 1800$  viajeros.

Permanencia mínima de un tren en terminales;  $P_m$ :

a) Con equipo de refuerzo.

Para maniobra en terminales,  $P_m = 3 \text{ min} = 180 \text{ Seg}$  (Aprox)

b) Sin equipo de refuerzo.

Para maniobra en terminales,  $P_m = 5 \text{ min} = 300 \text{ Seg}$  (Aprox)

Velocidad comercial,  $V_c = 34 \text{ km/hr.}$

Cálculo:

$$\text{Tiempo de recorrido, } Tr = \frac{L}{V_c} = \frac{3600 \times 6.790416}{34} = 718.0 \approx 719 \text{ Seg}$$

$$= 11 \text{ Min. } 59 \text{ Seg.}$$

$$\text{Duración de la vuelta, } D_v = 2 Tr + 2 P_m = (2 \times 719) + (2 \times 180)$$

$$= 1798 \text{ Seg} = 29 \text{ Min } 58 \text{ Seg. (Con equipo de refuerzo).}$$

$$\text{Duración de la vuelta, } D_v = 2 Tr + 2 P_m' = (2 \times 719) + (2 \times 300)$$

$$= 2038 \text{ Seg} = 33 \text{ Min } 58 \text{ Seg. (Sin equipo de refuerzo).}$$

Para un intervalo  $I = 2 \text{ min} = 120 \text{ seg}$ , tenemos:

Nº de trenes para la operación,  $NTO = \frac{DV}{I} = \frac{1798}{120} = 14.98$   
 $\approx 15$  trenes. (Con equipo de refuerzo).

Nº de trenes para la operación,  $NTO' = \frac{DV'}{I} = \frac{2038}{120} = 16.98$   
 $\approx 17$  trenes (sin equipo de refuerzo).

Nº total de trenes,  $NTT = (NTO + 1) + (NTO + 1) 0.12 =$   
 $(15 + 1) + (15 + 1) 0.12 = 17.92 \approx 18$  trenes\*  
 (Con equipo de refuerzo).

Nº total de trenes,  $NTT' = (NTO' + 1) + (NTO' + 1) 0.12 =$   
 $(17 + 1) + (17 + 1) 0.12 = 20.16 \approx 21$  trenes\*  
 (Sin equipo de refuerzo).

Capacidad de transporte,  $CT = \frac{C}{I} = \frac{3600 \times 1800}{120} = 54,000$  viajes-  
 ros/hora/sentido.

Para este ejemplo hemos considerado un intervalo de 120 Seg.  
 Con el mismo procedimiento se procede a calcular para diferentes intervalos como se muestra en la tabla.

\* El Nº total incluye los trenes de operación más uno de reserva (para reemplazar un tren averiado) y los trenes correspondientes al material inmovilizado por mantenimiento (12% total).

INTERVALO	CON EQUIPO DE REFUERZO PARA MANIOBRAS EN TERMINALES		SIN EQUIPO DE REFUERZO PARA MANIOBRAS EN TERMINALES		CAPACIDAD DE TRANSPORTE (VIAJEROS/HR)
	No. DE TRENES PARA OPERACION	No. TOTAL DE TRENES	No. DE TRENES PARA OPERACION	No. TOTAL DE TRENES	
2' 00" = 120"	15	18	17	21	54,000 V/H
2' 30" = 150"	12	15	14	17	43,200
2' 45" = 165"	11	14	13	16	39,300*
3' 00" = 180"	10	13	12	15	36,000
3' 30" = 210"	9	12	10	13	30,900
4' 00" = 240"	8	11	9	12	27,000
4' 30" = 270"	7	9	8	11	24,000
5' 00" = 300"	6	8	7	9	21,600
5' 30" = 330"	6	8	7	9	19,600
6' 00" = 360"	5	7	6	8	18,000
6' 30" = 390"	5	7	6	8	16,600
7' 00" = 420"	5	7	5	7	15,400
7' 30" = 450"	4	6	5	7	14,400
8' 00" = 480"	4	6	5	7	13,500

\* Para la línea 6 Poniente se estima un intervalo mínimo de 2 min. 45 seg. (165 seg.) para la puesta en servicio.

### 3.2. ESTIMACION DEL NUMERO DE SALIDAS Y RECORRIDOS ANUALES EFECTUADOS POR EL MATERIAL RODANTE.

Antes de la puesta en servicio de la línea es importante determinar el intervalo mínimo a un momento determinado, el número de salidas y recorridos anuales efectuados por el material rodante. Esto permitirá determinar la capacidad de talleres de mantenimiento y el número de conductores necesarios para asegurar la conducción de trenes.

La gráfica N° 1 muestra que el número de salidas efectuadas por los trenes en circulación durante un día laborable es de 320 (ejemplo considerado en base a datos de línea 6 Poniente).

Los servicios de días de descanso semanal y días festivos se estiman en 2/3 de lo que corresponde a un día laborable, o sean 215 salidas.

Considerando 300 días laborables y 65 días de descanso y festivos, obtendremos el número de salidas por año siguiente:

$$(320 \times 300) + (215 \times 65) = 109,975 \text{ salidas por año.}$$

#### Cálculo de kilómetros recorridos:

Kilómetros efectuados por recorrido:

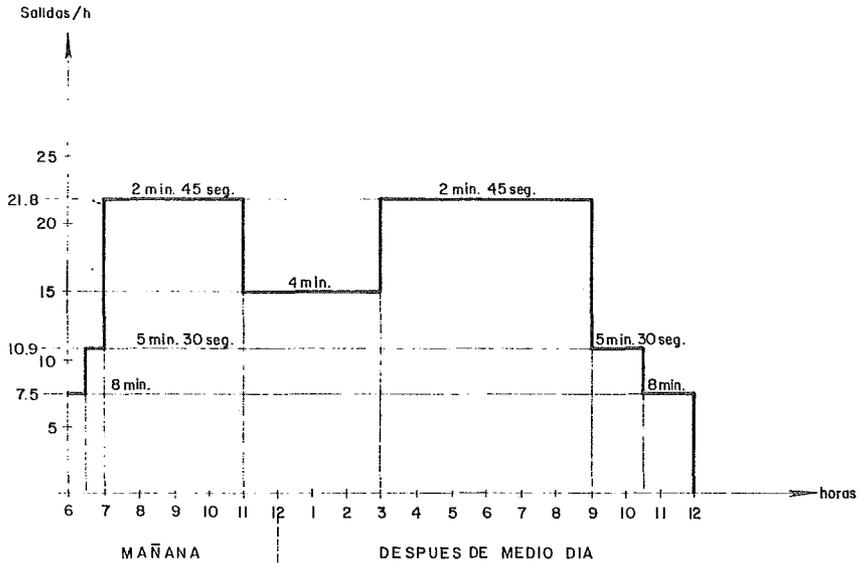
$$(2 \times 6.790416) + (2 \times 0.5) = 14.580832 \text{ km.}$$

Se consideran 0.5 km para cada maniobra de cambio de vía y una longitud total de línea 6 poniente de 6.790 416 km.

Kilómetros recorridos por los trenes al año:

$$109,975 \times 14.580832 = 1.60 \times 10^6 \text{ km.}$$

N° de kilómetros recorridos por carro al año:



Servicio de 6 h. de la mañana a media noche

Intervalo máximo : 8 min.  
Intervalo mínimo : 2 min. 45 seg.

Hora	Intervalo	Salidas/h		Salidas
6 h. 00 - 6 h 30	8 min.	7.5	$0.5 \times 7.5 =$	3.75
6 h. 30 - 7 h. 00	5 min. 30 seg.	10.9	$0.5 \times 10.9 =$	5.45
7 h. 00 - 11 h. 00	2 min. 45 seg.	21.8	$4.0 \times 21.8 =$	87.20
11 h. 00 - 3 h. 00	4 min.	15.0	$4.0 \times 15.0 =$	60.00
3 h. 00 - 9 h. 00	2 min. 45 seg.	21.8	$6.0 \times 21.8 =$	120.80
9 h. 00 - 10 h. 30	5 min. 30 seg.	10.9	$1.5 \times 10.9 =$	16.35
10 h. 30 - 12 h. 00	8 min.	7.5	$1.5 \times 7.5 =$	11.25
				<u>314.80</u>

Redondeado a 320 salidas

<b>U N A M</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
INGENIERIA CIVIL		<b>SERVICIO ESTIMADO SOBRE LA LINEA No. 6</b> (GRAFICA No. 1)
		
T E S I S PROFESIONAL		RUBEN A. OCHOA TORRES

$$1.60 \times 10^6 \times 9 = 14.43 \times 10^6 \text{ km/carros.}$$

Recorrido medio anual por carro:

Para línea 6 se estima un total de 14 trenes, o sea 126 carros, el recorrido anual por carro sera de:

$$\frac{14.43 \times 10^6}{126} = 114\,524 \text{ km}$$

Esta cifra es una aproximación; el recorrido medio anual, de un carro del metro de México es de 100,000 a 120,000 km.

### 3.3. POSICIONES DE ESTACIONAMIENTO Y FOSAS DE REVISION.

El número de posiciones de estacionamiento dentro de una terminal debe asegurar el inicio del servicio el intervalo máximo permitido, durante la duración del recorrido de una terminal a otra, o sea hasta la llegada del primer tren que viene de la otra terminal. A medida que se reduzca el intervalo, se tomarán los trenes necesarios del depósito correspondiente a la línea.

Tomemos como ejemplo las características de la línea 6:

Duración del recorrido de una terminal a otra 11'59"  
redondeado a 12'.

Tiempo de una maniobra de cambio de vía dentro de la terminal (5' sin equipo de refuerzo).

Intervalo al inicio del servicio = 7'.

Antes de la llegada del primer tren de la terminal el Rosario, deberán partir de I. M. P.:

$$\frac{12 + 5}{7} = 2.4 \text{ trenes} \approx 3 \text{ trenes}$$

Número mínimo inicial de posiciones de estacionamiento:

3 (El Rosario)

3 ( I. M. P.)

El rosario cuenta con 7 posiciones de estacionamiento e I. M. P. con 6 (dejando libre la posición del andén de salida para poder efectuar la maniobra "o" si es necesario)

Esto permitirá operar la línea con 13 trenes y una reserva al intervalo mínimo de:

$$\frac{(2 \times 11'59'') + (2 \times 5')}{13} = \text{al derredor de } 157'' = 2'37''$$

El Rosario cuenta con un depósito de 40 posiciones de estacionamiento y un taller con capacidad de 12 fosas de revisión. Esto puede garantizar que a la prolongación de la línea tendrá la capacidad suficiente para poder garantizar el intervalo mínimo de operación.

Para determinar el número de fosas de revisión se necesita considerar el número de trenes necesarios para el intervalo mínimo. Considerando un intervalo de 120", será necesario tener 17 trenes si no se cuenta con equipo de refuerzo para maniobras de terminales.

Por datos estadísticos de las líneas del metro de México que actualmente se encuentran en servicio, se ha determinado que el número de fosas de revisión necesarias para una línea es del orden del 12% del número de trenes necesarios para el intervalo mínimo.

Por lo tanto para la línea 6 se requiere tener el siguiente número de fosas:

$$17 \times 12\% = 2.04, \text{ redondeado a } 3 \text{ fosas de revisión.}$$

**CAPITULO**  

---

**III**

## C A P I T U L O III

### LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.

Las técnicas de elaboración de planos y cartas se han desarrollado rápidamente. A partir de 1950, una gran parte del lento y costoso trabajo de campo ha sido reemplazado por procesos de Fotogrametría Aérea. Asimismo, el resto de trabajo ha sido racionalmente simplificado y mejorado, gracias al desarrollo de modernos teodolitos, niveles e instrumentos electrónicos para la medición de distancias. Instrumentos como el geodímetro, el telurómetro y el distomat han hecho posible la aplicación de técnicas avanzadas, que unos años antes habrían parecido irrealizables.

A su vez, el progreso en materia de computación electrónica ha permitido el empleo de nuevas técnicas de cálculo tendientes a automatizar las operaciones habituales.

Cabe aclarar que ello no significa que los postulados de la topografía clásica hayan perdido validez; siguen siendo, a pesar del desarrollo técnico, la base para la comprensión de los diferentes sistemas de coordenadas, de las fórmulas básicas de la Trigonometría y de la Geometría Analítica, continúa siendo de primordial importancia.

Para la concepción del proyecto geométrico del Metro, se puede definir que la topografía es la base para su realización.

Primeramente se realizan levantamientos planimétricos de la zona donde se proyecta el trazo de la línea, estos pueden ser directos o por restitución fotogramétrica, posteriormente se localizan las instalaciones municipales que pudieran ser afectadas por la construcción, y directamente, en la elaboración del proyecto geométrico, la topografía será un apoyo constante hasta

la culminación de éste.

La estrecha relación de la información de campo y el proyecto geométrico se manifiesta desde los estudios preliminares hasta la terminación de la obra y la puesta en operación del sistema de transporte colectivo. Una vez que se han elaborado los planos topográficos fotogramétricos o de levantamiento directo, se inicia propiamente el proyecto ejecutivo de trazo, gálidos y perfiles. En los lugares donde se presentan dudas o puntos conflictivos, se densifica la información topográfica que corrobora u obliga a modificar las proposiciones originales, en un proceso de alimentación mutua que permite la optimización de soluciones. A la entrega de la obra civil, se repone el eje de trazo original y a partir de éste se hace un levantamiento de gálidos y una nivelación de subrasante, que analizados permita definir la posición definitiva de los ejes de vía, horizontal y verticalmente.

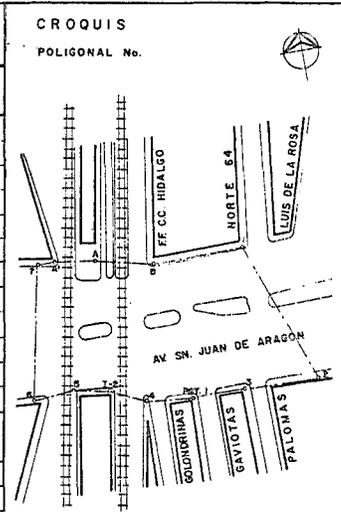
## 1. LEVANTAMIENTO PLANIMETRICO DIRECTO.

La obtención de información planimétrica por métodos convencionales se inicia con la medición angular y lineal de polígonos de apoyo, a partir de los cuales se levantan todos los detalles importantes o que pueden influir en el desarrollo del proyecto y construcción de la obra. El polígono de apoyo debe cumplir con los requisitos de calidad de medición y precisión, así como con la información suficiente y oportuna.

Se ha determinado que la precisión mínima aceptable es de 1:10 000; para lograrlo es necesario emplear instrumentos con apreciación angular de un décimo de segundo de arco y distanciómetros electrónicos con desviación estandar de  $5 \text{ mm} + 1 \text{ mm/km}$ . En cada estación del polígono se hacen cuatro series completas de lecturas angulares y por lo menos cuatro lecturas de distancias; esta conformación nos permite determinar el valor más probable de las magnitudes medidas en cada estación y así juzgar adecuadamente su precisión individual.

Los polígonos se calculan y compensan también con métodos convencionales de distribuir los errores proporcionalmente a las magnitudes y ángulos determinados. En la tabla siguiente se muestra el cálculo de microcomputadora de una poligonal que sirvió de apoyo para el levantamiento del cruce de las líneas seis y cuatro en las avenidas Ferrocarril Hidalgo y San Juan de Aragón; se observa que el error angular fué de 13" y la precisión de 1:123417. El empleo de microcomputadoras permite simplificar significativamente la cantidad de pasos necesarios para llegar a la determinación de las coordenadas rectangulares de cada uno

EST.	P.V.	ANGULO SIN CORREGIR	ANGULO CORREGIDO	AZIMUT	DISTANCIA	PROYECCIONES CORRECC.				PROY. CORREG.		COORDENADAS		V.
						Y	X	Y+Ky	X+Kx	Y	X	Y	X	
1	2	248° 50' 47"	248° 84.61	182° 54.03	58.799	-58.741	-2.606	0.001	—	-58.740	-2.606	23015.290	21174.296	2
2	3	290 55 48	290.9297	293.4700	54.777	21.816	-50.245	—	—	21.816	-50.245	23037.106	21124.051	3
3	4	180 03 33	180.0592	293.5292	233.811	93.341	-24.371	0.002	—	93.343	-24.371	23130.449	20909.680	4
4	I-2	212 26 14	212.4567	325.9656	43.903	36.393	-24.572	0.001	—	36.384	-24.572	23166.833	20889.108	I-2
I-2	5	153 53 56	153.8983	299.8642	46.449	23.129	-40.281	0.001	—	23.130	-40.281	23189.963	20844.827	5
5	6	182 48 59	182.8164	282.6806	151.768	33.315	-148.066	0.001	—	33.316	-148.066	23223.279	20696.761	6
6	7	281 05 37	281.0925	23.7731	18.003	16.475	7.257	—	—	16.475	7.257	23239.754	20704.018	7
7	A'	258 00 36	258.0100	101.7831	136.794	-27.934	133.911	0.001	—	-27.933	133.911	23211.821	20837.929	A'
A'	A	189 40 05	189.6678	111.4508	86.770	-24.418	62.145	—	—	-24.418	62.145	23187.403	20900.074	A
A	B	172 30 35	172.5092	103.9600	43.926	-10.597	42.629	—	—	-10.597	42.629	23176.806	20942.703	B
B	I	189 44 03	189.7342	113.6942	255.760	-102.776	234.200	0.002	0.001	-102.776	234.199	23074.030	21176.902	I
						448.927	960.283							
						2340° 00' 13"	2340° 00' 00"							
						1110.760	-0.009	0.001	0.009	0.001	0.000	0.000		



**LOCALIZACION :**

SOBRE AV. SAN JUAN DE ARAGON

TOLERANCIA ANGULAR (TA) = 10"  $\sqrt{N}$

$K_x = \frac{E_x}{\sum |x_i|} = \frac{0.001}{960.283} = 0.00001041$

TA = 10"  $\sqrt{N} = \pm 33"$

$K_y = \frac{E_y}{\sum |y_i|} = \frac{0.009}{448.927} = 0.000020048$

ERROR ANGULAR = +13" < 33"

PRECISION (P) =  $\frac{\text{PERIMETRO}}{ET}$

ERROR TOTAL (ET) =  $\sqrt{(E_y)^2 + (E_x)^2}$

$P = \frac{1110.760}{0.009} = 123,417.778$

ET =  $\sqrt{(0.009)^2 + (0.001)^2} = 0.009$

P = 1 : 123 417.778

**UNAM**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

INGENIERIA CIVIL

LINEA No. 6



LEVANTAMIENTO PLANIMETRICO DIRECTO  
CALCULO DE POLIGONAL

TESIS PROFESIONAL

RUBEN A. OCHOA TORRES

de los vértices.

El levantamiento de los detalles de la planimetría se realizaron por radiaciones sobre los segmentos de la poligonal.

El dibujo de los detalles se hace en películas de base indeformable y la retícula de coordenadas es trazada en máquinas de restitución fotogramétrica para garantizar su precisión. Los polígonos de apoyo se dibujan por medio de coordenadas rectangulares determinadas en el cálculo ya mencionado; los detalles se ubican por las coordenadas polares obtenidas directamente de las observaciones de campo.

Las poligonales quedan orientadas astronómicamente por medio de observaciones solares. En la tabla siguiente se muestra el cálculo simplificado de una orientación por distancias zenitales del sol.

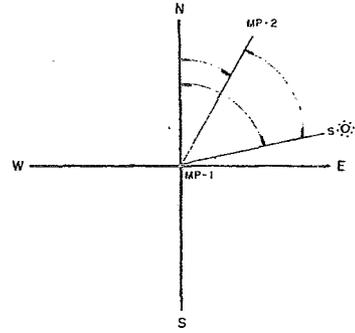
## 2. LEVANTAMIENTO PLANIMETRICO POR RESTITUCION FOTOGAMETRICA.

La restitución fotogramétrica es la aplicación de operaciones analíticas-gráficas y óptico-mecánicas, para convertir las fotografías en proyecciones ortogonales.

La riqueza de información de planos elaborados a partir de tomas fotográficas aéreas, es importante auxiliar en el desarrollo del proyecto ejecutivo del "Metro". También complementa los datos que se requieren para la elaboración de los planos de afectación.

El problema fundamental de la fotogrametría es la restitución de los fotogramas; por medio de ésto, se consigue que

SERIE	POS. C.	P. V.	HORA DEL CENTRO	C. H.	C. V.	OBSERV.	
I	D	SOL	8 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup>	73° 23' 26"	53° 15' 49"		
	I	SOL	8 45 13	72 48 50	52 53 15		
	SUMAS			17 28 48	146 12 16	106 09 04	
	PROMEDIOS			8 44 24	73 06 08	53 04 32	
II	D	SOL	8 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	73 47 25	51 21 30		
	I	SOL	8 53 03	73 10 09	51 05 51		
	SUMAS			17 44 53	146 57 34	102 27 21	
	PROMEDIOS			8 52 26	73 28 47	51 13 40	
III	D	SOL	8 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup> 09 <sup>s</sup>	74 07 21	49 40 21		
	I	SOL	9 01 24	73 33 11	49 09 10		
	SUMAS			18 00 33	147 40 32	98 49 31	
	PROMEDIOS			9 00 16	73 50 16	49 24 46	



CROQUIS

CÁLCULO DE LA DECLINACION	SERIE Nº I	SERIE Nº II	SERIE Nº III
HORA DE LA OBSERVACION	8 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup>	8 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup>	9 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup>
H. PASO DEL SOL POR EL M90°WG	11 56 39	11 56 39	11 56 39
INTERVALO	3 12 15	3 04 13	2 56 23
VARIACION HORARIA	+ 0 00 29.41	+ 0 00 29.41	+ 0 00 29.41
D. DE LA HORA XV. HORARIA	- 00 01 34	- 00 01 30	- 00 01 26
DECLINACION A LA HORA DEL PASO	20 36 49	20 36 49	20 36 49
DECLINACION A LA H. DE LA OBS. = d	20 35 15	20 35 19	20 35 23
DISTANCIA ZENITAL OBS.	53° 04' 32"	51° 19' 40"	49° 24' 46"
CORRECCION REFRACCION	0° 01' 17"	0° 01' 12"	0° 01' 07"
CORRECCION PARALAJE	53° 05' 49"	51° 14' 52"	49° 25' 53"
DISTANCIA ZENITAL VERDADERA = Z	53.098944	51.247778	49.431389
Fi	19.430000	19.430000	19.430000
Z + Fi	72.526944	70.677778	68.861389
d	20.587500	20.568611	20.589722
Z + Fi - d	51.939444	50.069167	48.271667
Z + Fi + d	93.114444	91.266389	89.451111
1/2 (Z + Fi - d)	25.969722	25.044584	24.135834
1/2 (Z + Fi + d)	46.557222	46.633195	44.725556
SENO 1/2 (Z + Fi - d)	0.437896	0.423323	0.408901
COSENO 1/2 (Z + Fi + d)	0.687630	0.699249	0.710486
COSENO Fi	0.943049	0.943049	0.943049
SENO Z	0.799653	0.779860	0.759628
SENO <sup>2</sup> 1/2 Az =	0.390827	0.402488	0.405545
SENO 1/2 Az =	0.631925	0.634420	0.636624
1/2 Az =	39.190097	39.376954	39.555393
AZIMUT DEL SOL =	78° 22' 49"	78° 45' 14"	79° 06' 39"
ANGULO LINEA SOL	73° 06' 08"	73° 28' 47"	73° 50' 16"
AZIMUT LINEA	5° 16' 41"	5° 16' 27"	5° 16' 23"
AZIMUT PROMEDIO	5° 16' 30"	5° 16' 30"	5° 16' 30"
RUMBO ASTRONOMICO	N 5° 16' 30" E	N 5° 16' 30" E	N 5° 16' 30" E

LUGAR : AV. SAN JUAN DE ARAGON

LINEA ORIENTADA MP-1 MP-2

EST. EN VERT. MP-1

LATITUD Fi = 19° 25' 48"

A = AZIMUT

Z = DISTANCIA ZENITAL

d = DECLINACION

FORMULA :

$$\text{Sen. } \frac{1}{2} \text{ Az} = \sqrt{\frac{\text{Sen. } \frac{Z+Fi-d}{2} \cdot \text{Cos. } \frac{Z+Fi+d}{2}}{\text{Cos. Fi} \cdot \text{Sen. Z}}}$$

**UNAM** ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

INGENIERIA CIVIL

**CALCULO DEL AZMUT**  
DISTANCIAS ZENITALES  
DEL SOL

T E S I S  
P R O F E S I O N A L

RUBEN A. OCHOA TORRES

fotografías tomadas en posiciones diversas, lleguen a ser sustituidas por otras que sean paralelas al terreno y que se encuentran a igual altura sobre él.

Una buena restitución está condicionada al proceso siguiente:

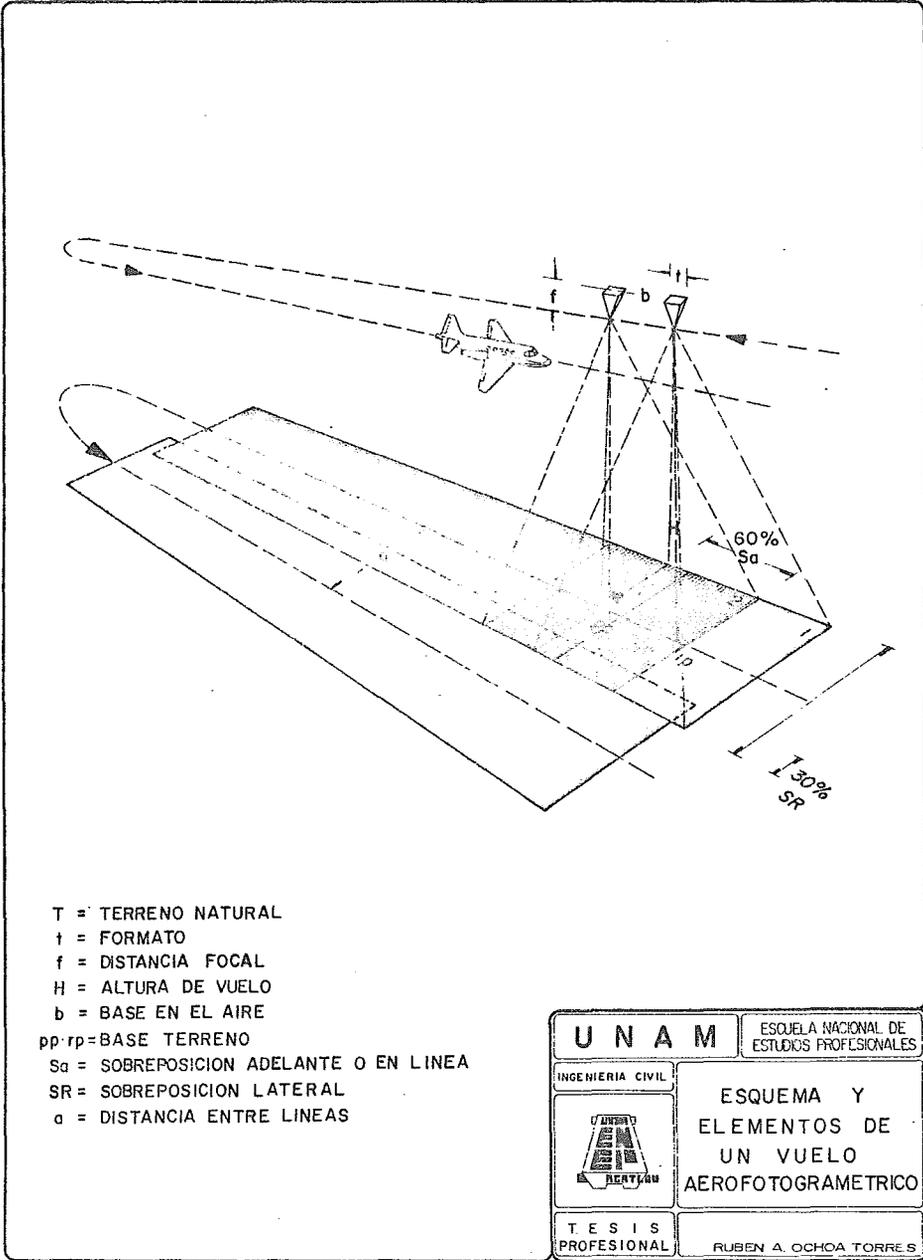
- a) Un plan de vuelo
- b) Ejecución perfecta del vuelo.
- c) Un buen revelado de fotografías y tratado final de copia de contacto, si estas se emplearán y un buen fotoíndice.
- d) Control terrestre de acuerdo con los fines del plano final.

Las fotografías aéreas deben cumplir con la condición de verificabilidad necesaria en este tipo de trabajos y son tomadas cuando el sol se encuentra entre  $35^{\circ}$  y  $70^{\circ}$  sobre el horizonte y en condiciones atmosféricas de visibilidad que no disminuyan la resolución y eviten la distorsión de las mismas; también se procura una baja densidad de circulación de vehículos para obtener el registro del mayor número posible de instalaciones superficiales.

La escala media es de 1:2500 con sobreposición estereoscópica del 60% , esta escala de fotografía permite que el equipo de restitución logre ampliaciones a la escala 1:500 que es la usual para el proyecto ejecutivo.

El dibujo de la restitución se efectúa en película cronaflex para evitar deformaciones que alteren la precisión de los planos.

El apoyo terrestre, que permite dar escala y orientación a los modelos estereoscópicos, se realiza por medio de polí-



<b>U N A M</b>		ESUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
INGENIERIA CIVIL		<b>ESQUEMA Y ELEMENTOS DE UN VUELO AEROFOTOGRAFICO</b>
TESIS PROFESIONAL		RUBEN A. OCHOA TORRES

gonos cerrados cuya precisión no será menor a 1:10 000 y es medido linealmente con distanciómetros electrónicos y angularmente con teodolitos de alta precisión. El apoyo es distribuído de manera que por cada modelo se tenga como mínimo tres puntos en la superficie por restituir y que abarca 200 m a cada lado del eje de la calle por donde corre el trazo proyectado. El origen de coordenadas cartesianas es arbitrario en cuanto al plano horizontal y verticalmente está referido al banco de nivelación de precisión de Atzacolco, a partir del cual se da elevación para el control vertical de la restitución a cada uno de los vértices de los polígonos de apoyo. La tolerancia de esta nivelación es de 2 cm, por cada kilómetro de desarrollo de la nivelación.

### 3. LOCALIZACION DE INSTALACIONES MUNICIPALES.

La localización de instalaciones aéreas, superficiales y subterráneas en las áreas de influencia de la construcción del metropolitano, constituye un árduo trabajo, tanto por su número, dificultad de ubicación y riesgo en algunos casos. Representa también factor importante para la estimación de costos y cumplimiento de los programas de obra, ya que el no detectar oportunamente significa la suspensión temporal de los avances de construcción.

A partir de vértices de los polígonos empleados en el levantamiento directo y complementado con otros vértices auxiliares se levantan pozos de visita, coladeras pluviales, cajas de válvulas de agua potable, gasoductos, líneas de alta tensión, líneas telefónicas, y también, de ser necesarios, arbotantes, árboles, casetas telefónicas, registros del sistema de semáforos, etc.

La elevación de las instalaciones hidráulicas y sobre todo redes de drenaje de aguas negras, son determinadas a partir de los bancos de trabajo, que a su vez son controlados por bancos profundos y por el banco de nivelación de precisión de Atzacualco. En ocasiones es necesaria la inmersión de buzos especializados para determinar diámetros, sentido de escurrimiento y posición de colectores que no pueden ser seguidos desde la superficie.

Ya determinadas las características de las instalaciones mencionadas, se dibujan en planos escala 1:500 del levantamiento planimétrico.

#### 4. AFECTACIONES.

El trazo tortuoso y la insuficiente amplitud de las calles de la ciudad, sobre todo en la zona central, son factores determinantes de la actual situación conflictiva de circulación de vehículos. Este problema se refleja también en el momento de elegir las rutas por las que circulará el transporte colectivo, el que por sus características propias requiere de calles y avenidas que puedan alojar sus instalaciones, accesos a estaciones, pasajes de comunicación entre estaciones de transferencia, puestos de rectificación de energía, puestos centralizados de control, etc. Es necesario por consiguiente afectar las construcciones que significan obstáculos serios para el desarrollo de las obras, cuidando siempre que esas afectaciones sean las indispensables para no incrementar los costos de obra y las molestias al público en general.

La información para la realización de las afectaciones se registra en dos tipos de planos: en los llamados planos generales de afectación en escala 1:500 donde se presenta una visión de conjunto de toda una zona por afectar, mostrando las superficies construídas, su número de niveles y las áreas que no contienen construcción. El segundo tipo de planos, el individual de afectación, se dibuja un plano de cada predio afectado, a la escala adecuada para poder apreciar detalladamente las áreas construídas, su tipo de construcción, número de niveles y número oficial; se indica además el nombre del propietario, número de la boleta predial y un cuadro con el total de superficies afectadas de acuerdo al tipo de construcción.

El apoyo para elaborar estos planos son los levantamientos topográficos directos o los fotogramétricos, complementados con la investigación de campo, en cuanto a los datos del propietario, dimensiones del predio y construcciones comprendidas en él.

**CAPITULO**

**IV**

## C A P I T U L O    I V

### T R A Z O .

#### 1. GENERALIDADES.

Una vez que el análisis de alternativas definió un anteproyecto de trazo y perfil, determinando la ruta de la línea y ejecutando el levantamiento topográfico de la vialidad por el método directo visto anteriormente, se elaboró el planteamiento gráfico del eje de trazo, sobre planos a escala 1:500, donde se procuró llevar este eje a la mitad de la distancia entre paramentos.

La localización del eje de trazo en campo proporcionó la información topográfica suficiente para conocer las características de un eje que cumpliera con las especificaciones para este tipo de obra, como son:

- a) La unión entre dos tangentes consecutivas se realizó 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:  
200 metros para la solución superficial y subterráneo.  
300 metros para la solución elevada y túnel.  
180 metros para casos especiales.

Los enlaces a clotoides aplicadas en esta etapa de proyectos tienen las siguientes características:

Mayor longitud de enlace, asegurando continuidad del trazo.

Permite mantener dentro de los límites aceptables la variación de la aceleración centrífuga no compensada, absorbiendo la aceleración en forma gradual.

Mayor longitud de enlace, para absorber las sobreelevaciones.

Permite aumentar la velocidad de operación proporcionando seguridad y confort a los pasajeros.

- b) En toda curva horizontal de radio menor a 2 500 metros, se aplicó una sobreelevación.
- c) Los aparatos de cambio de vía fueron localizados en tramos tangentes, tanto horizontal como vertical.
- d) Entre dos curvas consecutivas se estableció una tangente mínima de 12 metros.
- e) Se utilizó menor número posible de curva.
- f) En las curvas horizontales, la longitud mínima de la curva circular fué de 12 metros.
- g) Las estaciones tendrán una longitud mínima de 150 metros entre cabeceras de andén y siempre se ubicarán en tangentes y sin pendiente. En cuanto a la ubicación geográfica, primeramente se colocaron atendiendo a la distancia inter-estación ideal (900 m) para después relocalizarlas pensando en servir al mayor número de habitantes, de acuerdo con espacios disponibles para accesos y evitando en lo posible las afectaciones.

Posteriormente, el cómputo de distancias entre "punto de inflexión" (PI) y el cálculo de curva horizontal, determinó los cadenciamientos de los puntos principales del eje de trazo, de las cabeceras de estación, rejillas o galerías de ventilación y, en general, todos los accidentes constructivos de la obra.

La necesidad de ubicación de este eje en el campo, así como sus replanteos posteriores, hizo necesaria la referenciación de los puntos de control de trazo y de los puntos principales de las curvas.

## 2. PROYECTO PRELIMINAR DE TRAZO.

El proyecto preliminar de trazo se realizó en gabinete sobre una planta del tramo que fué realizado por el método directo de levantamiento topográfico y dibujado a escala 1:500.

En base a las especificaciones mencionadas anteriormente (generalidades), se fueron fijando tangentes, procurando que pasaran al eje de las calles Av. Azcapotzalco, La Villa y Av. Poniente 134, tratando en lo posible de no afectar construcciones existentes en el tramo y tener el mínimo de curvas. 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, que no fuera éste menor a 200 m.

Este planteamiento preliminar se llevó a campo para ser trazado por una brigada de topografía, en donde se localizaron puntos de control para todas las tangentes, se midieron las deflexiones reales entre ellas y se tomaron referencias de los PI con distancia a paramentos cercanos para poder ser fácilmente relocalizados; se midieron 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.

Posteriormente sobre el trazo, donde habría excavación desde la superficie, se midieron y nivelaron secciones de las calles a cada 20 m para después elaborar un nuevo proyecto de niveles de las garniciones y un replanteo del trazo de las mismas.

### 3. PROYECTO DEFINITIVO DE TRAZO.

#### 3.1. Cálculo de curvas horizontales.

Cuando se han obtenido todas las distancias de campo y medidas las deflexiones entre las tangentes, se procede al cálculo definitivo de las curvas horizontales y a dar cadenamientos a todo lo largo del tramo.

Las curvas horizontales están constituídas por una curva circular con enlaces clotoides; a continuación se describe el procedimiento de cálculo y en el esquema siguiente se tienen los elementos principales de esta curva compuesta.

Para el cálculo de la clotoide se parte de la consideración de que la pendiente máxima de enlace por los peraltes no debe ser mayor 4mm/m quedando esta consideración definida por la expresión  $S_m \leq \frac{180}{V}$ , en donde V es la velocidad máxima permitida.

Establecida la condición para el cálculo de la pendiente máxima, 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 por medio de la fórmula es redondeando a su valor inmediato inferior en múltiplos de cinco.

Ejemplo:

Para  $R_n = 150$  m,  $V = 5.13 \sqrt{150} = 62.829$ , por lo que se deja en  $V = 60$  km/h.

La aplicación de la fórmula anterior es para radio inferior a los 250 m. Cuando se tengan radios mayores o iguales a 250m se considerará una velocidad máxima de 80 km/h por razones de orden práctico y de acuerdo a estudios realizados.

Una vez que se tiene conocida la velocidad, se calcula el peralte teórico (HT) por medio de la expresión  $HT = \frac{11.8 V^2}{R_n}$

Al peralte teórico se le restan 30 mm para encontrar el valor de peralte práctico calculado (Hrc), éste se redondea a su valor inmediato superior o inferior en múltiplos de cinco para conocer el valor del peralte práctico (Hr) que se va a aplicar. Cuando el valor del peralte práctico calculado (Hrc) es mayor de 160 mm, considera un peralte práctico (Hr) de 160 mm que es el valor máximo de peralte que se puede considerar (por especificación).

Ejemplo:

a) Para  $R_n = 150m$ ,  $V = 5.13\sqrt{150} = 62.829$  redondeado a 60 km/h  $HT = \frac{11.8 (60)^2}{150} = 283.20$ .

$Hrc = 283.20 - 30 = 253.20$  mm valor que excede a los 160mm por lo que se considera  $Hr = 160mm$ .

b) Para  $R_n = 500$  y  $V = 80$  km/h

$HT = \frac{11.8(80)^2}{500} = 151.04$

$Hrc = 151.04 - 30 = 121.0$  mm

Por lo que  $Hr = 120$  mm.

Después de haber obtenido el peralte práctico (Hr) y la pendiente máxima de enlace (Sm) en función de la velocidad, se calcula la longitud teórica de la clotoide requerida (Ltc) utilizando la fórmula  $Ltc = \frac{Hr}{Sm}$ .

Establecido el valor Ltc se calcula el valor de una constante denominada "epsilon" ( $\xi$ ) de la fórmula  $\xi = \frac{Ltc}{R_n}$ , que servirá para entrar a las "tablas clotoides" (1) de donde se

(1) Table de Clothoide.

Por: Pierre Klaus, Union des Professionels de la Route Zurich, Suisse 1977.

obtendrán todos los elementos necesarios para el cálculo completo de la curva clotoide en función del radio nominal (Rn) propuesto.

### 3.1.1. Cálculo de la clotoide.

Tomaremos como ejemplo para el cálculo de curvas circulares con enlaces clotoides, la segunda curva después de la estación Vallejo, ubicada entre la Av. Azcapotzalco, La Villa y Av. Poniente 134, cruzando la Calzada Vallejo, para lo cual se obtuvo una deflexión entre tangentes de  $48^{\circ}54'54''$  y se consideró un radio nominal (Rn) de 225.000m.

#### Procedimiento:

- a) Velocidad,  $V = 5.13\sqrt{Rn}$   
 $V = 5.13 \sqrt{225} = 76.95$ , redondeando a 75.00  
 $V = 75.00$  km/h.
- b) Peralte práctico,  $Hr = \frac{11.8V^2}{Rn} - 30 = \frac{11.8 (75)^2}{225} - 30 = 265 >$   
 160mm (como este valor es mayor al peralte práctico máximo permitido, se considerarán 160mm).  
 $Hr = 160$ mm.
- c) Pendiente máxima de enlace,  $Sm = \frac{180}{V} = 2.4$   
 $Sm = 2.4$  mm/m.
- d) Longitud teórica de clotoide.  $Ltc = \frac{Hr}{Sm} = 66.666667$  m  
 $Ltc = 66.666667$  m.
- e) Constante epsilon,  $\epsilon = \frac{Ltc}{Rn} = \frac{66.666667}{225} = 0.296296$   
 $\epsilon = 0.296296$

Con este valor entramos a las tablas clotoides, tomando en cuenta que de no encontrarse este valor exactamente se tomará el inmediato superior.

A continuación tenemos una parte de la tabla de clotoi-  
des donde se localiza el valor de epsilon ( $\xi$ ), de donde  
se tomarán del renglón correspondiente los valores de la  
clotoide unitaria, que servirán para determinar todas  
las características de la curva.

N	$\lambda$	$\xi$	$\tau^{\circ} \quad "$	$\rho$	x	y	xm	r	s	$\omega^{\circ} \quad "$
541	0,003566 27	0,292681 1083	08 23 25 1 52	0,541000 1000	0,539842 989	0,026350 146	0,270307 498	1,848429 3411	0,540485 995	02 47 40 37
542	0,003593 27	0,293764 1085	08 24 57 1 52	0,542000 1000	0,540831 990	0,026496 146	0,270805 498	1,845018 3397	0,541480 996	02 48 17 37
543	0,003620 26	0,294849 1087	08 26 49 1 52	0,543000 1000	0,541821 989	0,026642 148	0,271303 499	1,841621 3386	0,542476 995	02 48 54 38
544	0,003646 27	0,295936 1089	08 28 41 1 52	0,544000 1000	0,542810 989	0,026790 147	0,271802 498	1,838235 3373	0,543471 995	02 49 32 37
545	0,003673 27	0,297025 1091	08 30 33 1 52	0,545000 1000	0,543799 989	0,026937 149	0,272300 498	1,834862 3360	0,544466 995	02 50 09 38
546	0,003700 27	0,298116 1093	08 32 25 1 53	0,546000 1000	0,544788 986	0,027086 148	0,272798 498	1,831502 3348	0,545461 995	02 50 47 37
547	0,003727 27	0,299209 1095	08 34 18 1 53	0,547000 1000	0,545776 989	0,027234 150	0,273296 498	1,828154 3336	0,546456 995	02 51 24 38
548	0,003754 28	0,300304 1097	08 36 11 1 53	0,548000 1000	0,546765 989	0,027384 150	0,273794 498	1,824818 3324	0,547451 995	02 52 02 37
549	0,003782 28	0,301401 1099	08 38 04 1 54	0,549000 1000	0,547754 989	0,027534 150	0,274292 499	1,821494 3312	0,548446 995	02 52 39 38

Para  $\xi = 0.296296$ , tomamos el inmediato superior que es  
 $\xi = 0.297025$  por lo tanto tendremos de las tablas los  
siguientes valores:

$$\lambda = 0.003673$$

$$\tau = 8^{\circ}30'33''$$

$$\rho = 0.545000$$

$$x = 0.543799$$

$$y = 0.026937$$

$$xm = 0.272300$$

$$r = 1.834862$$

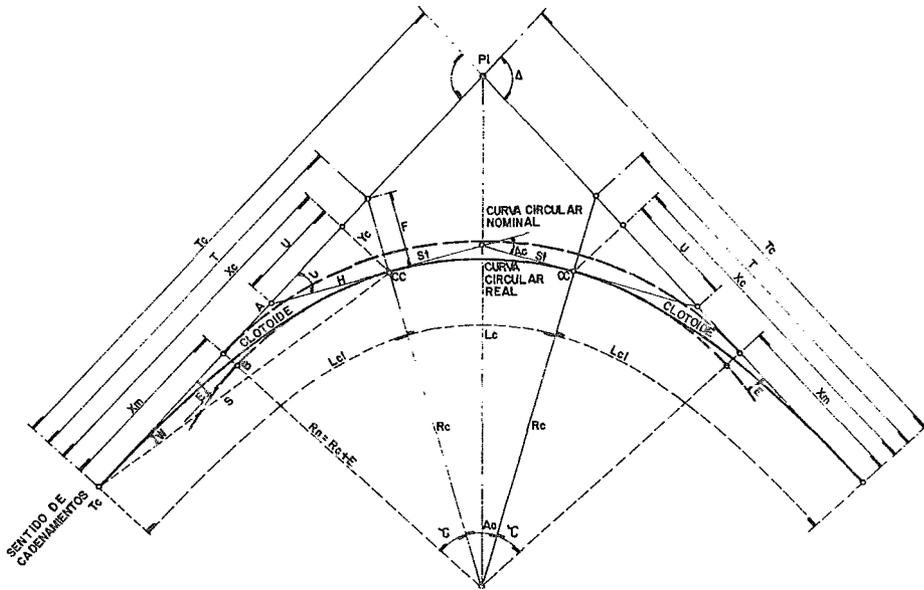
$$s = 0.544466$$

$$w = 2^{\circ}50'09''$$

f) Ordenada del punto "B",  $E = \lambda \cdot R_n = 0.003673 (225) = 0.826$   
 $E = 0.826 \text{ m.}$

g) Radio de la curva circular real,  $R_c = R_n - E = 224.174$   
 $R_c = 224.174 \text{ m.}$

h) Parámetro de cálculo,  $A = \frac{R_c}{r} = \frac{224.174}{1.834862} = 122.174624$   
 $A = 122.174624.$



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

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

U N A M		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
INGENIERIA CIVIL	ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA CURVA CIRCULAR CON CLOTOIDES	
		
T E S I S PROFESIONAL	RUBEN A. OCHOA TORRES	

- i) Longitud real de clotoide,  $Lc1 = \rho.A = 0.545$  (122.174624)  
 $= 66.585$ ,  $Lc1 = 66.585$ .
- j) Angulo totalde cada clotoide, (de tablas)  
 $\tau = 8^{\circ}30'33''$ .
- k) Abscisa del punto CC,  $Xc = x.A = 0.543799$  (122.174624)  
 $= 66.438$   $Xc = 66.438$  m.
- l) Ordenada del punto CC,  $Yc = y.A = 0.026937$  (122.174624)  
 $= 3.291$   $Yc = 3.291$ .
- 11) Abscisa del punto "B",  $Xm = xm.A = 0.272300$  (122.174624)  
 $= 33.268$   $Xm = 33.268$ .
- m) Cuerda larga (distancia del TC al CC),  $S = sA = 0.544466$   
(122.174624)  $S = 66.520$  m.
- n) Deflexión al CC,  $\omega$  (de tablas)  
 $\omega = 2^{\circ}50'09''$ .
- ñ) Distancia del punto "A" al  $Xc$ ,  $U = \frac{Yc}{\tan \tau} = \frac{3.291}{\tan(8^{\circ}30'33'')} =$   
 $21.997$   $U = 21.997$  m.
- o) Distancia del punto "A" al CC,  $X = \frac{Yc}{\text{Sen} \tau} = \frac{3.291}{\text{Sen}(8^{\circ}30'33'')} =$   
 $22.241$   $H = 22.241$  m.

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

- p) Angulo central de la curva circular real,  $\Delta c = \Delta - 2\tau =$   
 $48^{\circ}54'54'' - 2(8^{\circ}30'33'')$ ,  $\Delta c = 31^{\circ}53'48''$ .

$$q) \text{ Longitud de la curva circular real, } L_c = A_c \cdot R_c \frac{\pi}{180} = 31^\circ 53' 48'' (224.174) \frac{\pi}{180}$$

$$L_c = 124.798 \text{ m.}$$

$$r) \text{ Subtangente de la curva circular real, } St = \tan \frac{A_c}{2} \cdot R_c = \tan \frac{31^\circ 53' 48''}{2} (224.174)$$

$$St = 64.062 \text{ m.}$$

$$s) \text{ Cuerda de la curva circular real, } c = 2R_c \cdot \sin \frac{A_c}{2} = 2(224.174) \sin \frac{31^\circ 53' 48''}{2}$$

$$C = 123.193 \text{ m.}$$

$$t) \text{ Subtangente total (distancia del PI al } T_c), T_c = (\tan \frac{\Delta}{2} R_n) + X_m = \tan \frac{48^\circ 54' 54''}{2} (224.174) + 33.268$$

$$T_c = 135.605 \text{ m.}$$

$$u) \text{ Grado de curvatura de la circular, } G_c = \frac{20}{R_c} \cdot \frac{180}{\pi} = \frac{20}{224.174} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$G_c = 5.111746688^\circ$$

$$v) \text{ Deflexión por metro, } D/m = 1.5(G_c) = 1.5 (5.111746688) = 7.667620032'$$

$$D/m = 7.667620032'.$$

### 3.1.3. Cadenamiento de las curvas.

Una vez determinadas las características geométricas de

todas las curvas, se procedió a dar cadenamientos a todos los puntos principales del trazo como son TC, CC, PI, y PST (punto sobre tangente).

Primeramente se le da kilometraje al PI sobre la tangente y en el sentido de los cadenamientos, después se le resta el valor de la subtangente total (Tc) y se le da cadenamiento al punto de paso de la tangente clotoide (TC), a este valor se le suma la longitud de la clotoide (Lc1) y se obtiene el del punto de paso de la clotoide a la curva circular (CC), posteriormente a este punto se le suma el valor de la longitud de la curva circular real (Lc) para darle kilometraje al punto de paso de la curva circular a la clotoide (CC) y finalmente a este último se le suma nuevamente el valor de la longitud de la clotoide (Lc1) para darle cadenamiento al punto de paso de la clotoide a la tangente (CT).

Con los datos de la curva anterior tenemos:

$$\begin{array}{r}
 \text{PI} = 8 + 669.823 \\
 - \text{Tc} = \underline{135.605} \\
 \text{TC} = 8 + 534.218 \\
 + \text{Lc1} = \underline{66.585} \\
 \text{CC} = 8 + 600.803 \\
 + \text{Lc} = \underline{124.798} \\
 \text{CC} = 8 + 725.601 \\
 + \text{Lc1} = \underline{66.585} \\
 \text{CT} = 8 + 792.186
 \end{array}$$

#### 3.1.4. Trazo de curvas.

Los datos para el trazo de las curvas horizontales se presentan con el siguiente orden:

C U R V A N<sup>o</sup> 2

$\alpha = 8^{\circ}30'33''$	PI = 8 + 669.823	$\alpha = 8^{\circ}30'33''$
Xc = 66.438	$\Delta = 48^{\circ}54'54''$ (Der)	Xc = 66.438
Yc = 3.291	$\Delta c = 31^{\circ}53'48''$	Yc = 3.291
Lc1 = 66.585	Lc = 124.798	Lc1 = 66.585
U = 21.997	St = 64.062	U = 21.997
H = 22.241	Gc = 5.111746688 <sup>o</sup>	H = 22.241
	D/m = 7.667620032'	
	Rc = 224.173	
	Rn = 225.000	
	Tc = 135.605	

En el campo se pinta el eje de trazo localizando todos los puntos importantes de las curvas con sus cadenamientos correspondientes.

Para localizar los puntos CC en los dos extremos de la curva, se miden a partir del TC y CT las coordenadas Xc y Yc. Para comprobar se mide la distancia S y el ángulo W, o bien, a una distancia Xc - U del TC o CT sobre cada tangente y girando un ángulo  $\alpha$  a una distancia H, deberá estar localizado el CC para cada tangente.

El trazo de las curvas clotoides se hace por coordenadas y se realiza de la siguiente manera:

De la longitud real de la clotoide tenemos:

$$Lc1 = A \cdot \rho, \text{ de donde } \rho = \frac{Lc1}{A} \text{ -----(1)}$$

Para la curva N<sup>o</sup> 2 tenemos:  $\rho = 0.545$ ,  $A = 122.174624$  y  $Lc1 = 66.585$ .

El valor de  $\rho = 0.545$  se divide entre diez y se deja expresado hasta el milímetro sin hacer la aproximación al inmediato, esto es:

$$\frac{0.545}{10} = \underline{\underline{0.0545}}$$

Por lo tanto, para este caso se tendrá  $\rho' = 0.054$

Con este nuevo valor de  $\rho'$  pasamos a las tablas de clotoides descritas anteriormente, tomando en cuenta que de no encontrarse este valor exactamente se tomará el inmediato superior.

Para  $\rho' = 0.054$ , tendremos de las tablas los siguientes valores:

$$\begin{aligned}x' &= 0.054 \\y' &= 0.000026\end{aligned}$$

Estos valores multiplicados por el parámetro de cálculo  $A = 122.174624$ , nos darán una longitud de clotoide, la ordenada y la abscisa de este segmento de la curva, o sea:

$$\begin{aligned}Lc1' &= \rho' A = 0.054 (122.174624) = 6.597 \text{ m} \\X'c &= x' A = 0.054 (122.174624) = 6.597 \text{ m} \\Y'c &= y' A = 0.000026(122.174624) = 0.003 \text{ m}\end{aligned}$$

Después este valor inicial  $\rho'$ , se va sumando recíprocamente hasta llegar al valor final de  $\rho = 0.545$ , repitiendo el cálculo anterior para cada uno de los puntos.

A continuación tenemos la tabla de coordenadas ( $X_c$ ,  $Y_c$ ) para diferentes puntos sobre la curva clotoide de radio nominal  $R_n = 225.000 \text{ m}$ .

C O O R D E N A D A S   D E   L A   C L O T O I D E					
$\rho$	x	y	Lcl = $\rho.A$	Xc = x.A	Yc = y.A
0.054	0.054	0.000026	6.597	6.597	0.003
0.108	0.108	0.000210	13.195	13.195	0.026
0.162	0.161997	0.000709	19.792	19.792	0.087
0.216	0.215988	0.001679	26.390	26.388	0.205
0.270	0.269964	0.003280	32.987	32.983	0.401
0.324	0.323911	0.005668	39.585	39.574	0.692
0.378	0.377807	0.008998	46.182	46.158	1.099
0.432	0.431624	0.013429	52.779	52.734	1.641
0.486	0.485323	0.019113	59.377	59.294	2.335
0.540	0.538853	0.026204	65.974	65.834	3.201
0.545	0.543799	0.026937	66.585	66.438	3.291

Conocidas las tangentes TC - PI y CT - PI, ubicaremos cada una de las abscisas Xc; en cada uno de estos puntos se levantará una normal a las tangentes y se medirá la ordenada Yc. Uniendo estos puntos obtendremos el trazo total de la clotoide.

### 3.2. Aparatos de vía.

Los aparatos de vía son utilizados para efectuar cambios de vía de los trenes. Estos pueden ser de dos tipos principalmente: de enlace y de comunicación.

Un enlace es un dispositivo que permite realizar la convergencia o la divergencia de dos vías.

Una comunicación permite la liga entre dos vías adyacentes; está constituida por dos enlaces dispuestos en sentido opuesto y operados simultáneamente.

Por regla general los aparatos de vía no deben implantarse en curvas horizontales, ni verticales.

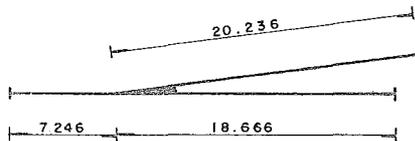
El ángulo de desviación en aparatos de enlace puede ser de tangente 0.13 y tangente 0.20, este último es utilizado únicamente en zona de talleres.

Los aparatos de comunicación tienen un ángulo de desviación de tangente 0.13 exclusivamente.

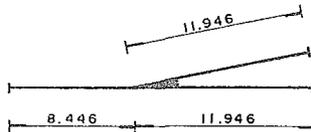
La velocidad máxima permitida dentro de los aparatos de vía tomados en vía desviada es de 25 km/hr, para los de tangente 0.13 y 20 Km/hr para los de tangente 0.20.

### 3.2.1. Aparatos de enlace.

a) Aparatos de tangente 0.13

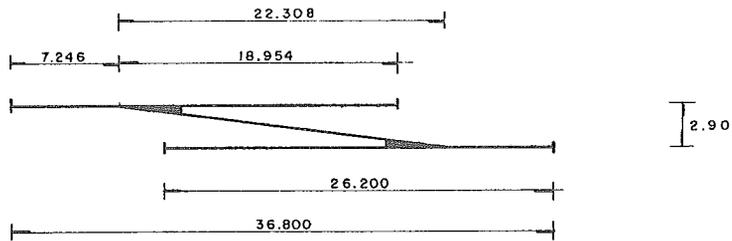


b) Aparatos de tangente 0.20

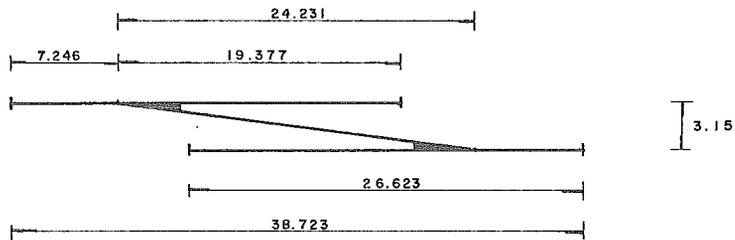


### 3.2.2. Aparatos de comunicación.

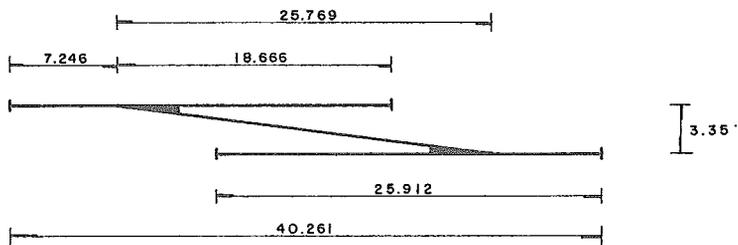
a) Comunicación tangente 0.13 entrevía de 2.90.

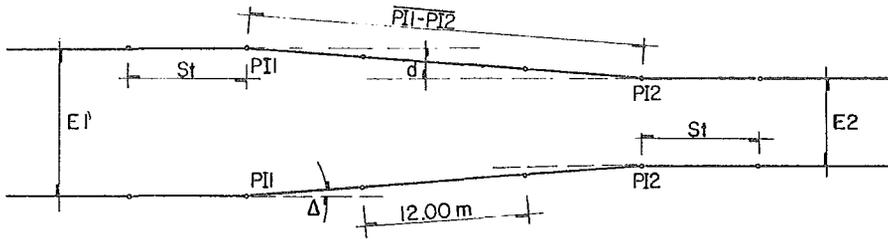


b) Comunicación tangente 0.13 entrevía de 3.15 m



c) Comunicación tangente 0.13 entrevía de 3.35 m.





$$d = \frac{E2 - E1}{2}$$

$$\text{Sen } \Delta = \frac{d}{\text{PII} - \text{PI2}} \quad \therefore \text{PII} - \text{PI2} = \frac{d}{\text{Sen } \Delta} \quad (1)$$

$$\text{St} = R \cdot \tan \frac{\Delta}{2}$$

$$\text{PII} - \text{PI2} = 2(\text{St}) + 12.00 \text{ m.} \quad (2)$$

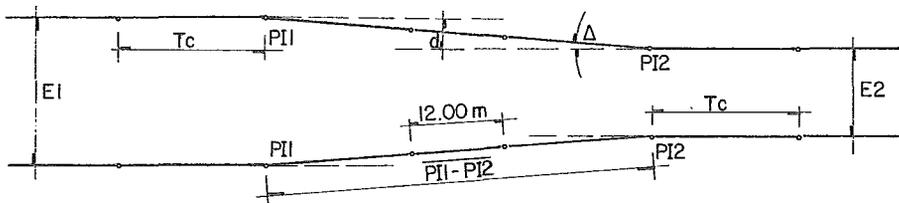
Igualando (1) con (2) tenemos:

$$\frac{d}{\text{Sen } \Delta} = 2 \left( R \tan \frac{\Delta}{2} \right) + 12.00 \text{ m}$$

$$\boxed{\frac{d}{\text{Sen } \Delta} = 2 R \cdot \tan \frac{\Delta}{2} = 12.00 \text{ m.}}$$

A esta ecuación se le dan los valores de  $d$  y  $R$ , y se resuelve por tanteos suponiendo valores  $\Delta$  hasta que satisfaga la igualdad. Conocido el valor de  $\Delta$ , se calculan todos los datos de las curvas.

B) Curvas circulares con enlaces clotoides de radio nominal mínimo de 200.00 m y una distancia (tangente) mínima entre el CT de una curva y el TC de la otra de 12.00 m.



$$d = \frac{E2 - E1}{2}$$

$$\text{Sen} = \frac{d}{\frac{PI1 - PI2}{2}} = \frac{d}{\text{Sen}\Delta} \quad (1)$$

$$Tc = \left( Rn \cdot \tan \frac{\Delta}{2} \right) + X_m \quad (2)$$

Igualando (1) con (2)

$$\frac{d}{\text{Sen}\Delta} = 2 \left( \left( Rn \cdot \tan \frac{\Delta}{2} \right) + X_m \right) + 12.00 \text{ m}$$

$$\frac{d}{\text{Sen}\Delta} - 2 \left( \left( Rn \cdot \tan \frac{\Delta}{2} \right) + X_m \right) = 12.00 \text{ m}$$

A esta ecuación se le dan los valores de  $d$ ,  $Rn$  y  $X_m$ , y se resuelve por tanteos suponiendo valores de  $\Delta$  hasta que satisfaga la igualdad.

Conocido el valor de  $\Delta$ , se calculan todos los datos de las curvas.

El Tramo Vallejo - Instituto Mexicano del Petróleo quedó --- constituido por tres tangentes que generaron el mismo número de curvas, la primera se consideró como una curva circular - simple; debido a que el ángulo formado entre tangentes era - muy pequeño ( $\Delta = 0^\circ 58' 01''$ ), esta curva quedó formada de la - siguiente manera:

$$PI = 8 + 428.578$$

$$\Delta = 00^\circ 58' 01''$$

$$Gc = \frac{20}{R} \cdot \frac{180}{\pi} = \frac{20}{2500} \cdot \frac{180}{\pi} = 0.4583653^\circ$$

$$Lc = R \cdot \left( \frac{00^\circ 58' 01''}{180} \right) \cdot 2500 = 42.191 \text{ m}$$

$$St = \tan \frac{\Delta}{2} R = \tan \left( \frac{00^\circ 58' 01''}{2} \right) 2500 = 21.096 \text{ m}$$

$$R = 2500.000 \text{ m}$$

$$D/M = 0.6875479'$$

Las curvas números 2 y 3 fueron consideradas como curvas circulares con enlaces clotoides; la número 2 fué descrita anteriormente y la número 3 se calculó con las mismas consideraciones de cálculo. A continuación se anexa el cálculo simplificado de esta última y el "Proyecto de trazo" del tramo.

## CALCULO DE CLOTOIDE

$$PI = 8 + 901.717$$

$$\Delta = 02^\circ 38' 17'' \text{ (I.ZQ.)}$$

$$RN = 850.000$$

$$\text{Tang. } \Delta/2 \times RN = ST = 19.572$$

$$\text{Vel. max.} = 80 \text{ Km/h}$$

$$IBO/V = \text{Pend. max.} = 2.250$$

$$HR/\text{Pend. max.} = L. \text{ clot. min.} = 26.6666$$

$$L. \text{ clot. min.}/RN = \bar{S} = 0.031372549$$

$$\lambda = 0.000042$$

$$r = 5.617978$$

$$p = 0.178$$

$$axRN = E = 0.0357$$

$$RN - E = R_c = 849.964$$

$$R_c/r = A = 151.2936327$$

$$P \times A = L. \text{ clot.} = 26.930$$

$$\bar{U} = 00^\circ 54' 28''$$

$$X_c = 26.930$$

$$Y_c = 0.142$$

$$X_m = 13.465$$

$$S = 26.$$

$$W = 00^\circ 18' 09''$$

$$\Delta - 2\bar{U} = \Delta_c = 00^\circ 49' 21''$$

$$\Delta_c/57.296 \times R_c = L_c = 12.201$$

$$\text{Tang. } \Delta_c/2 \times R_c = ST \text{ circ.} = 6.101$$

$$Y/\text{Tang. } \bar{U} = U = 8.975$$

$$Y/\text{Sen. } \bar{U} = H = 8.976$$

$$ST + X_m = T_c = 33.037$$

U N A M

ESCUELA NACIONAL DE  
ESTUDIOS PROFESIONALES

INGENIERIA CIVIL



CALCULO  
DE  
CLOTOIDE

TESIS  
PROFESIONAL

RUBEN A. OCHOA TORRES



**CAPITULO**  

---

**V**

## C A P I T U L O V

### P E R F I L.

#### 1. GENERALIDADES.

Paralelamente al anteproyecto de trazo, se hicieron nivelaciones sobre los ejes de las calles y en cada una de las esquinas, permitiendo conocer de manera muy aproximada la topografía a lo largo de la ruta y elaborar los proyectos preliminares de perfil. Con base en éstos estudios y el proyecto definitivo de trazo, se elaboró el proyecto definitivo de perfil.

Los factores que influyeron en este proyecto fueron fundamentalmente: La topografía del terreno, los estudios de Mecánica de Suelos, el libramiento de construcciones relativamente pesadas, de obras viales deprimidas, de vías de ferrocarril, interceptores, gasoductos, de líneas del metro actuales y futuras, etc.

En esta etapa del proyecto se definieron los niveles de la "Sub-rasante", bajo las siguientes especificaciones:

- a) Las zonas de estación se plantearon con pendiente nula, con el fin de evitar que un convoy estacionado tenga necesidad de aplicar los frenos y, así mismo, dar un mayor confort a los usuarios.
- b) La pendiente máxima permisible en los tramos inter-estación fué del 4%, debido a la capacidad ascendente del material rodante.
- c) Se buscó hasta lo posible que en un tramo 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.

- ch) La transición entre dos tangentes de diferentes pendientes longitudinales, se calculó con curvas verticales parabólicas de la forma:

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

En donde el radio mínimo de curvatura es de 1,000 metros.

- d) La tangente mínima entre dos curvas verticales fué de 12 metros.
- e) Los aparatos de vía siempre fueron ubicados fuera de las curvas verticales.
- f) De acuerdo a los estudios de Mecánica de Suelos, se trató de conservar colchones entre la estructura y el terreno natural en función de la estatigrafía del terreno, así como del tipo de sección utilizada.
- g) El proyecto de la sub-rasante conservó en lo posible un paralelismo con el perfil del terreno natural.

El proyecto de perfil de la subrasante, obedece a las especificaciones antes descritas y es el mismo para cualquier tipo de sección, pero varía en su contenido de información según sea la solución estructural adoptada.

Para la sección cajón, adoptada en este tramo, se proyectaron los niveles de "Intrados" que corresponden al lecho inferior de la losa de techo en función de la sub-rasante, del análisis de gálibo dinámico vertical, y de la localización de rejillas de ventilación. Con la información obtenida por los estudios estructurales y de Mecánica de Suelos, se determinaron también los niveles de piso, plantilla y desplante de muros.

## 2. PROYECTO DEFINITIVO.

Una vez definido el eje de trazo definitivo, se procedió a nivelarlo a cada 20m, dibujando posteriormente esta información en plano con escala horizontal 1:500 y vertical 1:50, donde se planteó el proyecto de perfil con las siguientes características:

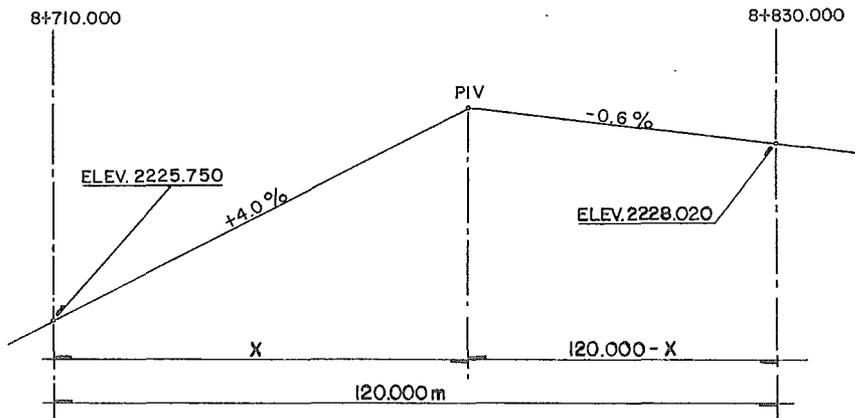
En el tramo comprendido entre la estación Vallejo y la estación I. P., se encontraron dos colectores ubicados en las calles Norte 35 y Calzada Vallejo, de diámetro 1.22m y 1.83m respectivamente; tomando en consideración las instalaciones municipales antes mencionadas, se planteó la estación Vallejo a una profundidad de 12.00m a nivel de la subrasante con una pendiente de 0.0% hasta librar el primer colector, dejando un colchón entre éste y el nivel de extrados de 3.30m aproximadamente. Posteriormente, se continúa con una pendiente de +0.2%, planteando entre éstas dos tangentes una curva de enlace con radio de 2.500m.

Después de librar el segundo colector, donde se dejó un colchón de 50 cm aproximadamente, se proyectó una tangente de + 4.0% para evitar mayor excavación y continuar hacia la estación I. P. a una profundidad normal con una tangente de 0.6% y posteriormente en la estación con 0.0%. Entre las tangentes de + 0.2% y + 4% se planteó una curva de enlace con un radio de 1500 m, de la misma manera entre las tangentes de + 0.4% y - 0.6% se consideró una curva con radio de 1 250m y finalmente entre las de 0.6% y 0.0%, curva vertical con un radio de 1 500 m.

Una vez proyectado el perfil en cuanto a tangentes, se procedió a calcular los P. I. V. y las curvas verticales en la siguiente forma:

Como ejemplo de cálculo tomaremos la curva N<sup>o</sup> 3 del perfil en

donde se tiene la primer tangente con pendiente de +4.0% y elevación 2225.750m en el Km 8 + 710.000 v en la segunda una pendiente de -0.6% y elevación de 2228.02m en el Km 8 + 830.000



Cálculo del PIV:

Para encontrar el valor de X igualamos las ecuaciones de ambas tangentes:

$$2225.75 + 0.04 X = 2228.02 - 0.006 (120 - X)$$

$$0.04 X + 0.006 X = 2228.02 - 2225.75 + 0.72$$

$$0.046 X = 2.99$$

$$X = 65.00\text{m}$$

∴ el cadenamiento del PVI es

$$\begin{array}{r} 8+710.000 \\ + 65.000 \\ \hline \text{PIV} = 8 + 775.000 \end{array}$$

Cálculo de la cota del PIV.

$$65.00 \times 0.04 = 2.6\text{m}$$

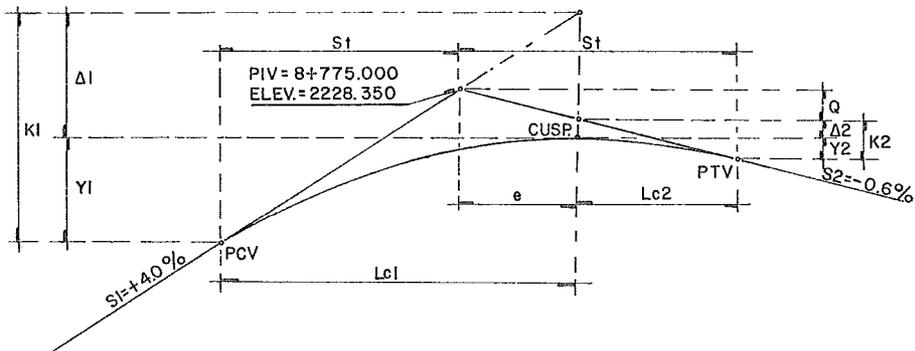
$$\begin{array}{r} 2225.750 \\ + 2.600 \\ \hline \text{PIV} = 2228.350\text{m} \end{array}$$

Comprobando con la otra tangente tenemos:

$$(120.000 - 65.000) \times 0.006 = 0.330\text{m}$$

$$\begin{array}{r} 2228.020 \\ + 0.330 \\ \hline \text{PIV} = 2228.350\text{m} \end{array}$$

Cálculo de la curva vertical:



Ecuaciones:

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

$$e = \frac{R}{2} \times (S1 + S2)$$

$$Lc1 = R \times S1$$

$$St = \frac{Lc1 - Lc2}{2} \quad \text{cuando } S1 \text{ y } S2 \text{ son del mismo signo.}$$

$$Lc2 = R \times S2$$

$$St = \frac{Lc1 + Lc2}{2} \quad \text{cuando } S1 \text{ y } S2 \text{ son de signo contrario.}$$

Para la curva que estamos tratando y con un radio de curvatura de 2000.000m tenemos:

$$Lc1 = 2000 \times 0.04 = 80.000m$$

$$Lc2 = 2000 \times 0.006 = 12.000m$$

$$e = \frac{2000}{2} \times 0.04 + (-0.006) = 34.000m.$$

$$St = \frac{80.000 + 12.000}{2} = 46.000m$$

Para el cálculo de los niveles de los puntos principales se tiene:

$$Y1 = St \times S1 = 46.000 \times 0.04 = 1.84m$$

$$Y2 = St \times S2 = 46.000 \times 0.006 = 0.276m$$

$$Y1 = (Lc1)^2 \times \frac{1}{2R} = (80.000)^2 \times \frac{1}{2(2000)} = 1.600m$$

$$Y2 = (Lc2)^2 \times \frac{1}{2R} = (12.000)^2 \times \frac{1}{2(2000)} = 0.036m$$

$$Q = eS2 = 34.000 \times 0.006 = 0.204m$$

$$K1 = Lc1 \times S1 = 80.000 \times 0.04 = 3.200m$$

$$K2 = Lc2 \times S2 = 12.000 \times 0.006 = 0.072m$$

$$\Delta 1 = K1 - Y1 = 3.200 - 1.600 = 1.600m$$

$$\Delta 2 = K2 - Y2 = 0.072 - 0.036 = 0.036m$$

Partiendo del cadenamiento y nivel del PIV resulta:

$$PIV = 8 + 775.000$$

$$e = + 34.000$$

$$CUSP = 8 + 809.000$$

$$ELEV = \begin{matrix} PIV & Q & \Delta 2 \\ 2228.350 & - 0.204 & - 0.036 \end{matrix} = 2228.110m$$

$$PIV = 8 + 775.000$$

$$ST = - 46.000$$

$$PCV = 8 + 729.000$$

$$ELEV = \begin{matrix} CUSP & Y1 \\ 2228.110 & - 1.600 \end{matrix} = 2226.510m$$

$$PIV = 8 + 775.000$$

$$\frac{St = + 46.000}{PTV = 8 + 821.000}$$

$$ELEV = \frac{PIV}{2R} - \frac{Q}{2R} - \frac{K2}{2R} = 2228.350 - 0.204 - 0.072 = 2228.074m$$

Además de los niveles de los puntos principales de la curva calculados, se deben dar niveles a cada cinco metros en cadenamamiento cerrado sobre la subrasante, utilizando la formula general  $Y = \frac{X^2}{2R}$  y elaborando una tabla para hacer el cálculo más sencillo.

C U R V A    N<sup>o</sup>    3

CADENAMIENTO	X	X <sup>2</sup>	$\frac{X^2}{2R}$	COTA SUB-RASANTE
PCV = 8+729.000	80.0	6400.0	1.600	2226.510
8+730.000	79.0	6241.0	1.560	2226.550
8+735.000	74.0	5476.0	1.369	2226.741
8+740.000	69.0	4761.0	1.190	2226.920
8+745.000	64.0	4096.0	1.024	2227.086
8+750.000	59.0	3481.0	0.870	2227.240
8+755.000	54.0	2916.0	0.729	2227.381
8+760.000	49.0	2401.0	0.600	2227.510
8+765.000	44.0	1936.0	0.484	2227.626
8+770.000	39.0	1521.0	0.380	2227.730
8+775.000	34.0	1156.0	0.290	2227.821
8+780.000	29.0	841.0	0.210	2227.900
8+785.000	24.0	576.0	0.144	2227.966
8+790.000	19.0	361.0	0.090	2228.020
8+795.000	14.0	196.0	0.049	2228.061
8+800.000	9.0	81.0	0.020	2228.090
8+805.000	4.0	16.0	0.004	2228.106
CUSP= 8+809.000	0.0	0.0	0.000	2228.110
8+810.000	1.0	1.0	0.000	2228.110
8+815.000	6.0	36.0	0.009	2228.101
8+820.000	11.0	121.0	0.030	2228.080
PTV = 8+821.000	12.0	144.0	0.036	2228.074

Después de haber determinado los niveles de sub-rasante, se toman en consideración las características de las secciones determinadas en el capítulo de Gálivos, donde se describen las dimensiones de las diferentes secciones utilizadas en el tramo, para elaborar una tabla con los niveles de intrados, sub-rasante, piso y plantilla que aparece en el plano definitivo.

A continuación se presentan los cálculos simplificados de todas las curvas del tramo y el plano de "PERFIL" que incluye toda la información antes descrita.



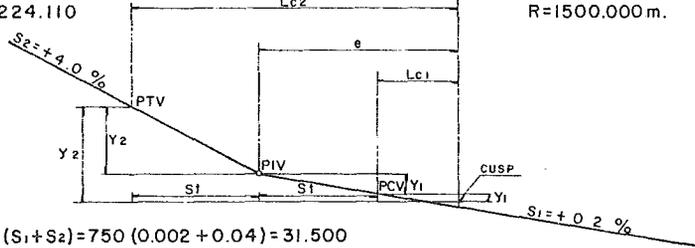
LINEA No. 6

CURVA No. 2

TRAMO: VALLEJO - I.M.P.

PIV = 8 + 669.000  
ELEV = 2224.110

Nota =  $|S_1| < |S_2|$   
R = 1500.000 m.



$$e = \frac{R}{2} (S_1 + S_2) = 750 (0.002 + 0.04) = 31.500$$

$$Lc_1 = R S_1 = 1500 (0.002) = 3.000$$

$$Lc_2 = R S_2 = 1500 (0.040) = 60.000$$

$$St = \frac{Lc_1 - Lc_2}{2} = \frac{3.000 - 60.000}{2} = 28.500$$

$$Y_1 = St S_1 = (28.500)(0.002) = 0.057$$

$$Y_2 = St S_2 = (28.500)(0.040) = 1.140$$

$$Y_1 = \frac{(Lc_1)^2}{2R} = \frac{(3.000)^2}{2(1500)} = 0.003$$

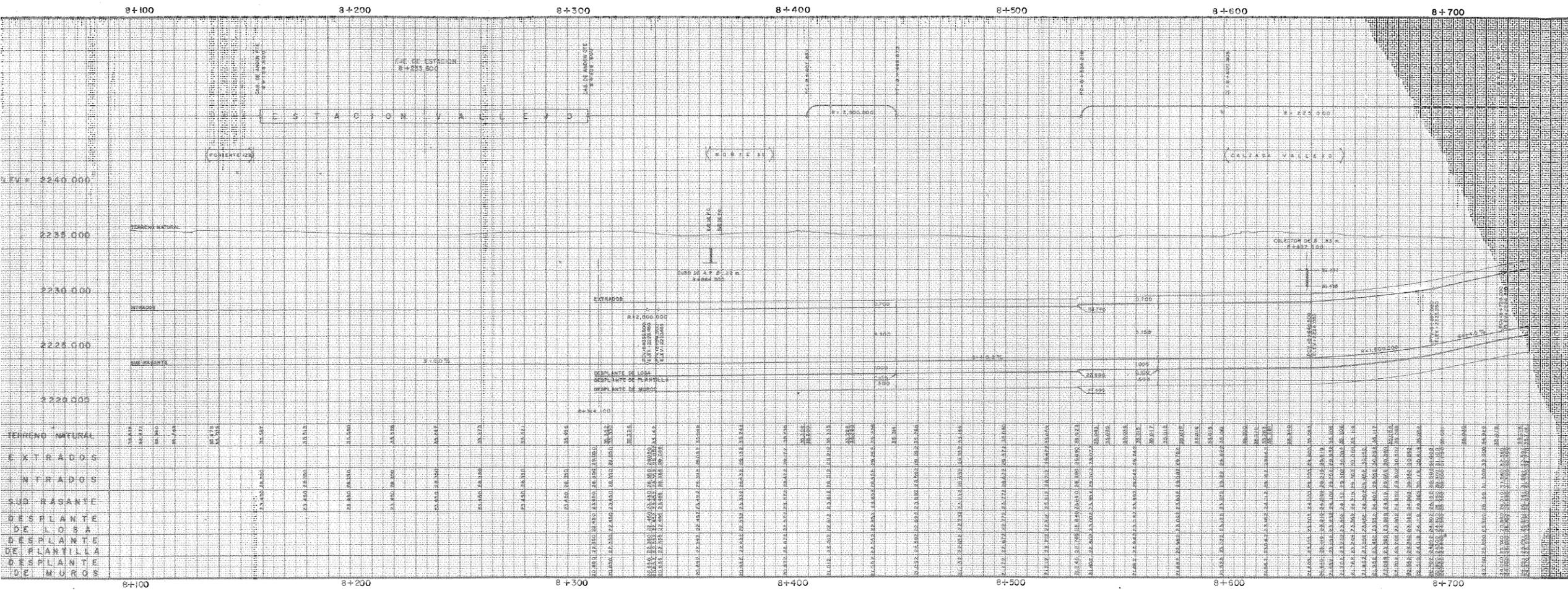
$$Y_2 = \frac{(Lc_2)^2}{2R} = \frac{(60.000)^2}{2(1500)} = 1.200$$

CUSP = 8 + 637.500  
PCV = 8 + 640.500  
PTV = 8 + 697.500

ELEV = 2224.050  
ELEV = 2224.053  
ELEV = 2225.250

P T O	CADENAMIENTO	X	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup> / 2R	COTA SUB-RASANTE
CUSP	8 + 637.500				2224.050
PCV	8 + 640.500	3.00	9.000	0.003	2224.053
	8 + 645.000	7.50	56.250	0.019	2224.069
	8 + 650.000	12.50	156.250	0.052	2224.102
	8 + 655.000	17.50	306.250	0.102	2224.152
	8 + 660.000	22.50	506.250	0.169	2224.219
	8 + 665.000	27.50	756.250	0.252	2224.302
	8 + 670.000	32.50	1056.250	0.352	2224.402
	8 + 675.000	37.50	1406.250	0.469	2224.519
	8 + 680.000	42.50	1806.250	0.602	2224.625
	8 + 685.000	47.50	2256.250	0.752	2224.802
	8 + 690.000	52.50	2756.250	0.919	2224.969
	8 + 695.000	57.50	3306.250	1.102	2225.152
PTV	8 + 697.500	60.00	3600.000	1.200	2225.250





STATION	TERRENO NATURAL	EXTRADOS	INTRADOS	SUBRASANTE	DESPLANTE DE LOSA	DESPLANTE DE PLANTILLA	DESPLANTE DE MUROS
8+100							
8+200							
8+300							
8+400							
8+500							
8+600							
8+700							

**UNAM** ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

INGENIERIA CIVIL



**UNAM**

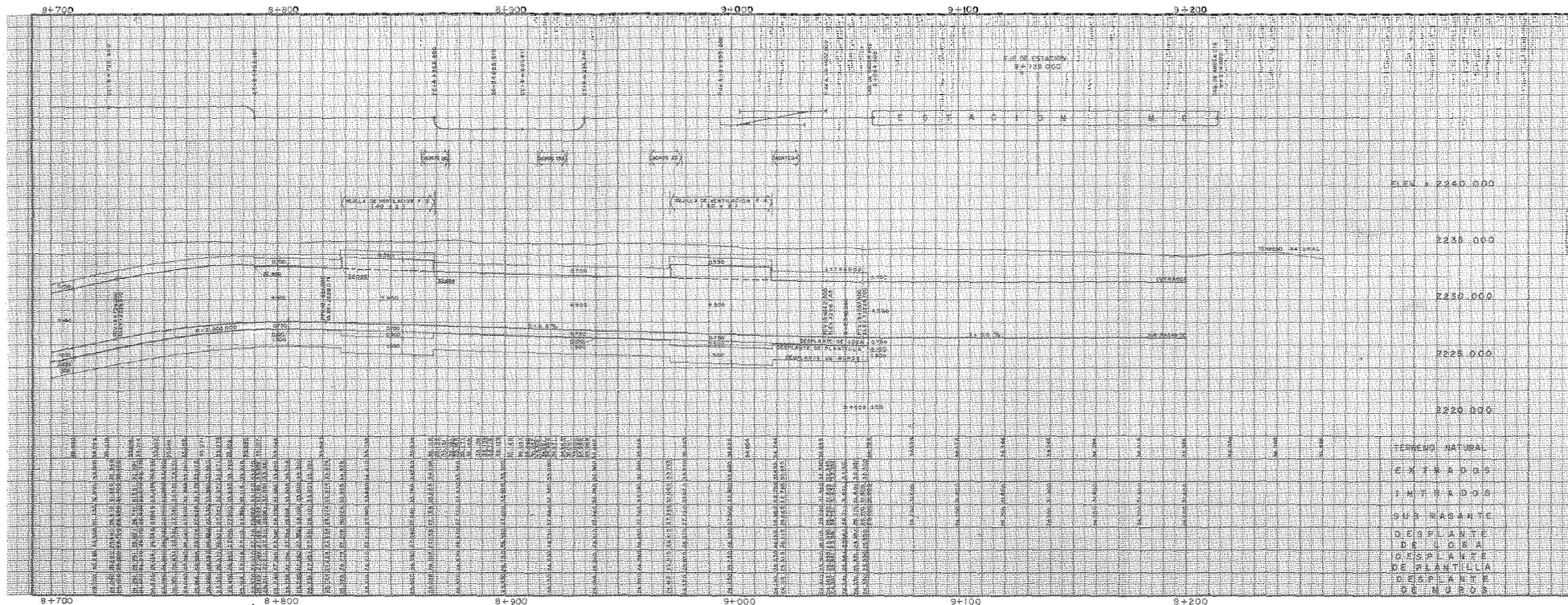
**PROYECTO DE PERFIL**

TRAMO: VALLEJO - I. M. P.

DEL Km8+223600 AL Km8+729000

ESCALA: HOR. 1:1000  
VER. 1:200

**TESIS PROFESIONAL** RUBEN A. OCHOA TORRES



<b>UNAM</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
INGENIERIA CIVIL		
<b>PROYECTO DE PERFIL</b> TRAMO: VALLEJO - I. M. P. DEL Km 8+729.000 AL Km 9+139.000 ESCALA: HOR. 1:1000 VER. 1:200		
TESIS PROFESIONAL		RUBEN A. OCHOA TORRES

### 3. MARCHA TIPO

(CONSTRUCCION GRAFICA DE LA MARCHA TIPO DE TRENES).

#### 3.1. Objetivos.

El objetivo de este capítulo es indicar como se determinan de manera práctica las curvas que representan la marcha teórica de los trenes. Los elementos necesarios a este estudio son:

- a) Las características físicas de la línea: plano y perfil de la vía (aparatos de vía).
- b) Las características del material rodante utilizado (aceleración, desaceleración, distancia de frenaje...)

Estos dos elementos permiten elaborar el trazo de la marcha tipo teórica, la implantación de la señalización de espaciamiento y de maniobra en función de los principios en vigor; permite también establecer la marcha tipo práctica que servirá de base para el establecimiento de los horarios.

#### 3.1.1 Características de una línea.

Las características de una línea para la determinación de la marcha tipo, se consideran específicamente desde el punto de vista topográfico; los datos de base son el trazo y el perfil.

Estos datos permiten establecer lo siguiente:

Declive en la vía en la zona de curvas, permitiendo un mayor confort a los viajeros y disminuyendo la resistencia al avance del tren.

La velocidad límite autorizada, que puede ser modificada por las limitaciones impuestas por los servicios de la vía

(Aparatos de vía, insuficiencia de peralte, curvas de radios pequeños, etc.). En base a las restricciones de velocidad establecidas sobre toda la línea, se elabora el polígono de velocidad que será una de las condicionantes para el trazo de la marcha tipo.

### 3.1.2. Características del material rodante.

Las características necesarias del material rodante para la elaboración del trazo de la marcha tipo son las siguientes:

El esfuerzo motor que está dado por las características eléctricas de los motores al avance y está determinado por el número de motores del tren (F1).

La resistencia al avance (fricción) del material en las condiciones de operación determinado experimentalmente (rodamiento y aire) (F2)

Las resistencias locales debidas al perfil de la línea (F3).

Con estos datos se construye un "Calibre" que define la marcha bajo corriente y la marcha libre de un tren que servirán posteriormente para el establecimiento de la marcha tipo teórica por el método PARODI.

Los diferentes valores de desaceleración que intervienen en el trazo de la marcha tipo teórica y la implantación de la señalización son los siguientes:

- $\gamma_u$  = Desaceleración máxima realizable que corresponde al frenaje de emergencia.

$\gamma$  Señ.=Desaceleración en frenaje de servicio, utilizado para implantar la señalización de espaciamiento.

- $\gamma_s$  = Desaceleración en frenaje de servicio utilizada en el trazo de la marcha tipo teórica.

MATERIAL	MP68/MN73 (MEXICO) túnel	MP68/MN73 (MEXICO) aéreo
$\gamma_u$	1.38	1.38
Coficiente de seguridad	1.20	1.20
$\gamma$ Señ.	1.10	0.90
$\gamma_s$	1.10	1.00

$\gamma_u$ ,  $\gamma$  Señ, y  $\gamma_s$  en metros/Seg<sup>2</sup>

### 3.1.3 Trazo de la marcha tipo.

La marcha tipo se clasifica en dos tipos:

La marcha tipo teórica: Indica el tiempo teórico de recorrido de interestaciones en las condiciones normales de carga, tomando en cuenta el trazo, perfil y las velocidades máximas autorizadas, así como también los tiempos de estacionamiento de los trenes en las estaciones.

La marcha tipo práctica: Se establece en función de la marcha tipo teórica, después de una mejor estimación de tiempos de estacionamiento (adaptación de tiempos al tráfico real de viajeros). Permite al conductor respetar el horario a seguir a partir de una hora de salida dada en la terminal.

Para el servicio de estudios de operación las marchas tipo teóricas se establecen por el método gráfico PARODI, Se presentan en un documento sobre papel milimétrico para cada in-

terestación y para cada vía. Cabe notar que este método solo es aplicable a la conducción manual de trenes.

Sobre el eje de las abscisas se representan las características de la línea como trazo, perfil, estaciones, aparatos de vía y los puntos que se consideren necesarios remarcar; en el eje de las ordenadas se define una escala de velocidad y tiempo. El trazo y perfil de la vía definirán los límites de la velocidad de la línea, con los cuales se limitará el polígono de velocidad en relación al espacio.

### 3.2. Trazo de la marcha tipo teórica por el método PARODI.

#### 3.2.1 Determinación de elementos de cálculo.

##### a) El esfuerzo motor:

Dado por las características eléctricas y mecánicas de los motores. El esfuerzo motor está expresado por el esfuerzo en las llantas, en función de la velocidad del tren.

##### b) Resistencia al avance:

Es la suma de diversas resistencias como la resistencia de rodamiento y la resistencia del aire. La resistencia al avance se determina por medio de pruebas para un material determinado.

##### c) Resistencias locales:

Debidas a las condiciones de trazo y perfil de la línea.

Todos los esfuerzos son expresados generalmente en Kg. por tonelada de material rodante en carga (peso vacío + carga).

Quedando designados de la siguiente manera:

+ F1 esfuerzo motor.

- F2 Esfuerzo de resistencia al avance que se opone siempre al esfuerzo motor.

+ F3 Esfuerzo de resistencia local que puede ser positivo o negativo si el tren circula en pendiente o en rampa.

El esfuerzo resultante en valor algebraico queda expresado por:

$$F = F1 - F2 + F3$$

La masa aparente del material o masa de inercia (M') es superior a la masa real (M); el coeficiente de inercia (C) está definido por:

$$C = \frac{M'}{M} \quad (1)$$

La aceleración ( ) comunicada al material es por consiguiente:

$$F = mg$$

$$\text{Pero } F = F1 - F2 + F3 \text{ y } m = M$$

$$\therefore F1 - F2 + F3 = M' \gamma \quad (2)$$

$$\text{De (1) tenemos } M' = CM \text{ y } M = \frac{P}{g}$$

$$\text{Sustituyendo en (2) } F1 - F2 + F3 = CM\gamma = \frac{CP\gamma}{g} \quad (3)$$

Si P es el peso del material rodante en carga (peso vacío + carga) y g la aceleración de la gravedad tenemos:

$$\text{Para un peso } P = 1000 \text{ Kg}$$

$$F1 - F2 + F3 = \frac{1000C}{g} \gamma$$

$$\text{De donde } \gamma = g \frac{F1 - F2}{1000C} + g \frac{+ F3}{1000C}$$

$\gamma$  y  $g$  están expresados en  $m/Seg^2$ .

A las fuerzas  $F1$  y  $F2$  corresponden la aceleración  $\gamma 1$  y la desaceleración  $\gamma 2$  respectivamente.

La determinación de la aceleración comunicada al material por el esfuerzo motor se hace con el cálculo de:

$\gamma 1$  = aceleración correspondiente al esfuerzo motor.

$\gamma 2$  = aceleración correspondiente a la resistencia al avance.

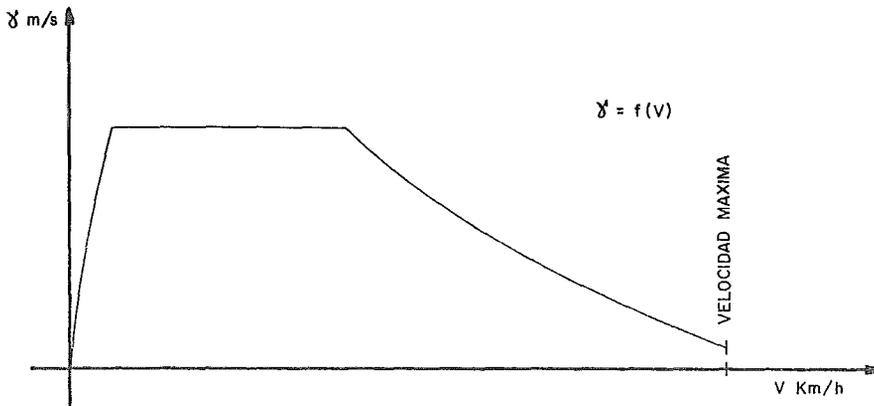
La construcción de calibres de marcha bajo corriente se hace por el cálculo de:

$$\gamma 1 - \gamma 2 = g \frac{F1 - F2}{1000 C}$$

La construcción del calibre de marcha libre (marcha sin tracción) en plano se obtiene por el cálculo de:

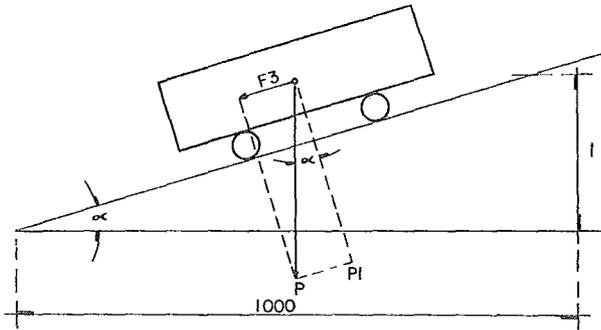
$$\gamma 2 = g \frac{F2}{1000 C} \text{ (fórmula deducida en pruebas)}$$

El valor de la aceleración en función de la velocidad que se determina a partir de las características de los motores, dependerá directamente del tipo de material y las condiciones de carga.



Los esfuerzos de resistencia locales comprenden los esfuerzos debidos al declive y los esfuerzos debidos a las curvas.

Esfuerzos debidos al declive.



Consideramos un declive  $i$ , un peso  $P$  y una pendiente  $\tan$

$$F_3 = P \operatorname{Sen} \alpha$$

Como  $\alpha$  es muy pequeño, se puede considerar que  $\operatorname{sen} \approx \tan$ .

$$\therefore F_3 = P \tan \alpha = P \frac{i}{1000} = Mg \frac{i}{1000} \quad (4)$$

$$F_3 = M' \cdot \gamma_3 \quad (5)$$

Igualando (4) con (5) tenemos:

$$M' \gamma_3 = Mg \frac{i}{1000}$$

$$\gamma_3 = \frac{M}{M'} g \frac{i}{1000} \quad \text{pero } \frac{M}{M'} = \frac{1}{C}$$

$$\therefore \gamma_3 = g \frac{i}{1000 \cdot C}$$

$\gamma$  y  $g$  están expresados en  $\text{m/Seg}^2$

$i$  está expresado en  $\text{o/oo}$ , o en  $\text{mm/m}$

Esfuerzos debidos a las curvas.

Al esfuerzo producido por las curvas les corresponde un declive siguiente:

Para material férreo:

$$i = \frac{500}{R} \text{ (R es el radio de la curva expresado en metros)}$$

para curvas de radios menores a 500m.

Para material sobre neumáticos:

$$i = 1 \text{ para } R > 100\text{m.}$$

$$i = 2 \text{ para } R < 100\text{m.}$$

Este esfuerzo es despreciable para las curvas de radios mayores de 500m en material férreo y para las curvas de radios mayores de 200m en material sobre neumáticos.

Los calibres de aceleración con respecto a velocidades, son proporcionados por el constructor del material rodante, éstos nos permiten trazar las curvas de marcha tipo teórica de una línea por el método PARODI.

En función de la escala elegida para la marcha tipo, se determina la escala del calibre. Se verá que por razones de comodidad de trazo se utilizan escalas homogéneas entre calibres y marcha tipo.

### 3.2.2. Determinación y construcción de las curvas que constituyen la marcha tipo.

A) Determinación y cálculo de la curva de velocidad.  
(ver esquema).

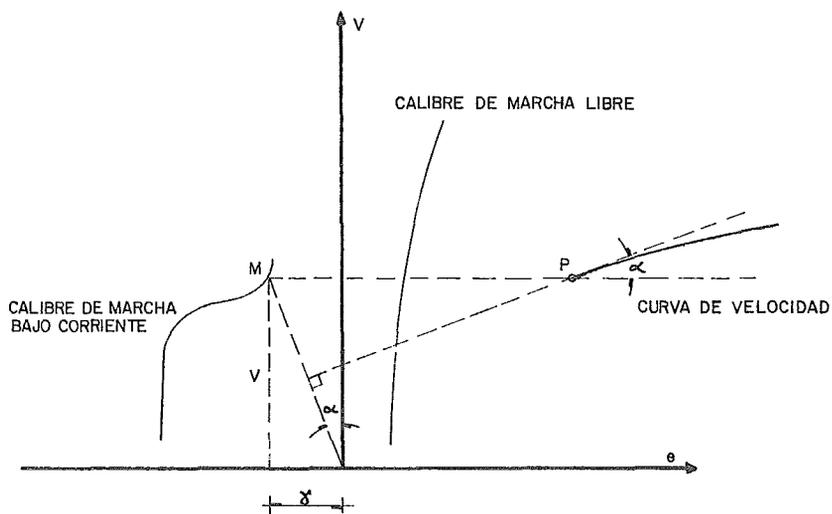
Sea P un punto de la curva de velocidad en función del espacio y  $\tan \alpha$  el coeficiente angular de la tangente a esta curva.

$$\tan \alpha = \frac{dv}{de} = \frac{\frac{dv}{dt}}{\frac{de}{dt}} = -\frac{\gamma}{v}$$

Para trazar el ángulo  $\alpha$ , tomemos el vector OM  $(-\gamma, V)$ .

Este vector es perpendicular en el punto P a la curva de velocidades.

Con el vector OM determinamos el punto de aplicación M, en el calibre de aceleración.



ESQUEMA "A"



La curva de velocidad se traza por cuerdas sucesivas CB correspondientes a pequeñas variaciones de velocidad  $\Delta V = 2.5 \text{ Km/hr}$ , dentro del intervalo  $(V, V + \Delta V)$  la cuerda se toma paralelamente a la tangente de la curva para el valor:  $V + \frac{\Delta V}{2}$

En el intervalo  $(V, V + \Delta V)$ , la aceleración varía de  $\gamma$  a  $\gamma + \Delta\gamma$ , por consiguiente, se considera la aceleración media entre estos dos valores.

### Escala.

Se ha fijado:

Para las velocidades: 1 cm (gráfico) = 2.5 Km/hr

Para el espacio : 1 cm (gráfico) = 20 m.

Se determina la escala de aceleración según la siguiente fórmula:

$$\gamma = V \frac{dV}{de}$$

Se tiene por consiguiente una unidad gráfica de:

$$\gamma = \frac{(\text{Unidad gráfica de velocidad})^2}{\text{Unidad gráfica de espacio}}$$

$$1 \text{ cm gráfico de aceleración} = \frac{\frac{2500}{3600} \times \frac{2500}{3600}}{20} = 0.024 \text{ m/seg}^2$$

Para el establecimiento de calibres se toma una escala media, siendo:

$$1 \text{ cm gráfico} = 0.048 \text{ m/seg}^2 (\gamma) \text{ ó } 5 \text{ Km/hr}(V)$$

La curva de velocidad es tangente al origen en el eje OV.

$$\text{Tan} = \frac{y}{V} \rightarrow \infty \text{ para } V \rightarrow 0$$

Con la práctica se ha determinado que el punto de origen del trazo de la curva de velocidad se ubica a 6m del andén donde se ha obtenido una velocidad de 10 km/hr y han transcurrido 4.5. segundos.

B) Determinación y trazo de la curva de tiempos. (esquema)

Sea T un punto de la curva de tiempos en función del espacio, P el punto correspondiente de la curva de velocidad y  $\tan$  el coeficiente angular de la tangente a la curva de tiempos.

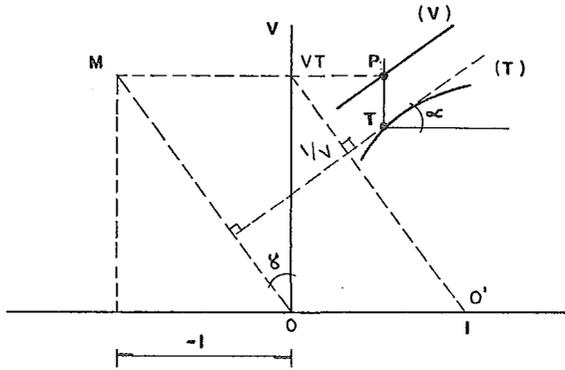
$$\tan \alpha = \frac{dt}{de} = \frac{1}{\frac{de}{dt}} = \frac{1}{V}$$

Para construir la tangente de la curva en el punto T ( $\tan \alpha$ ), se puede trazar el vector OM que tiene como coordenadas (-1, V), el vector OM de abscisa - 1, será paralelo a OV. es más simple de utilizar el eje OV que tiene un origen O' de abscisa +1.

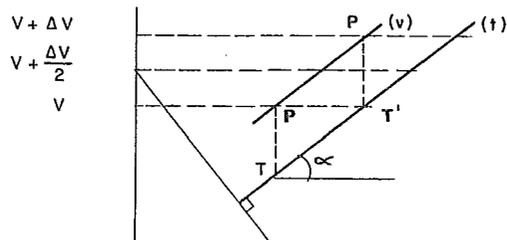
Construcción de la curva de tiempos.

Para la construcción de la curva de tiempos se toman intervalos como en la curva de velocidad de V a V +  $\Delta V$ , tomando la tangente definida por el punto  $V + \frac{\Delta V}{2}$ ; la curva está definida hasta el punto T, donde se traza la cuerda T T' que es paralela, a la tangente a la curva  $V + \frac{\Delta V}{2}$ ; esta cuerda T T' que es paralela se asimila a la porción de la curva de tiempos para los valores de V a V +  $\Delta V$ .

ESQUEMA "B"



CURVA DE TIEMPOS



CONSTRUCCION DE LA CURVA DE TIEMPOS.

Escalas.

A las escalas anteriores definidas agregamos una escala de tiempos, sea 1 cm = 2.5 segundos.

Resta por definir la longitud de la unidad 1 (sin dimensión)

$$\tan \alpha = \frac{00'}{V} = \frac{1}{\frac{de}{dt}}, \text{ de donde } 00' = V \frac{dt}{de}$$

$$\text{Longitud gráfica de } 00' = \frac{3600}{2500} \times \frac{2.5}{\frac{1}{20}} = 11.5 \text{ cm}$$

### 3.2.3. Características generales del material rodante - Metro de México.

#### A) Características dimensionales.

Material rodante sobre neumáticos.

Composición : Trenes indeformables de nueve carros M-R-N-N-R-N-N-R-M.

Ancho 2.5 m

Largo 147,62m

Capacidad de un tren 1 800 viajeros  
(8 viajeros por m<sup>2</sup>).

#### B) Tipo de material.

Material MP68 (construido de 1968 a 1971). 59 trenes equipo inicial de la red, material con frenaje reostático.

Material MP73 (construcción en desarrollo por industriales mexicanos desde 1976). Material con frenaje por recuperación.

C) Características de aceleración. (ver gráfica siguiente)

D) Masa de trenes. (material MP68 - 9 carros)

Masa de un tren vacío	225.8 tons.
Masa de un tren con carga 4/4	329.4 tons.
Masa de las partes rodantes	(6.1 x 6) + (1.5 x 3) = 42 tons.
Masa de inercia	329.4 + 42 = 371.4 ton

3.2.4. Establecimiento de calibres (para el material de México)

A) Cálculo de ( $\delta_1 - \delta_2$ ).

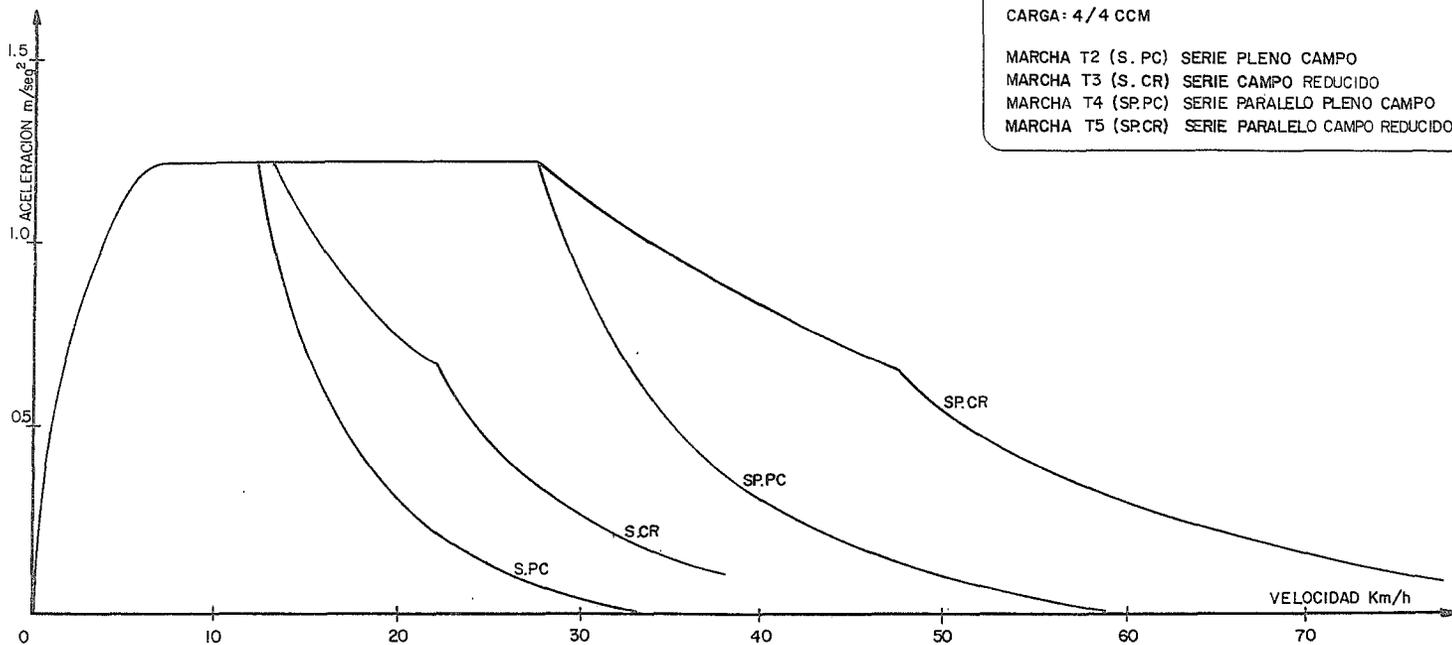
De las curvas dadas por el material rodante (características de aceleración - anexo 1). Se toman los valores de la aceleración en función de la velocidad. Se calcula para cada una de las curvas (serie pleno campo, campo reducido, etc.) los valores de  $\delta$  expresados en cms gráficos, correspondiendo a cada uno de estos valores una velocidad en km/hr.

Para la aceleración corresponde 1 cm gráfico =  $0.048 \text{ m/seg}^2$ .

METRO DE MEXICO

TRENES DE 6 CARROS  
 TENSION EN LINEA: 720 VOLTS.  
 CARGA: 4/4 CCM

MARCHA T2 (S. PC) SERIE PLENO CAMPO  
 MARCHA T3 (S. CR) SERIE CAMPO REDUCIDO  
 MARCHA T4 (SP. PC) SERIE PARALELO PLENO CAMPO  
 MARCHA T5 (SP. CR) SERIE PARALELO CAMPO REDUCIDO

CARACTERISTICASDE ACCELERACION.

VELOCIDAD Km/Hr	m/seg <sup>2</sup> Serie campo redu- cido masa 4/4	Grafico <sub>2</sub> (cms) m/seg 0.048
0	0	0
7	1.22	25.4
27.3	1.22	25.4
33	1.00	20.8
38	0.86	17.9
42	0.76	15.8
47	0.66	13.7
51	0.50	10.4
60	0.30	6.2
67	0.20	4.1
71	0.15	3.1
76	0.10	2.0

La tabla anterior corresponde a la determinación de los valores de  $\gamma$  en una escala gráfica (centímetros) en función de la velocidad, para la curva de serie campo reducido; se efectúa el mismo procedimiento para las demás curvas existentes.

### B) Cálculo de $\gamma^2$ .

El cálculo de  $\gamma^2$  se efectúa a partir de la formula:

$$\gamma^2 = g \frac{F_2 (V)}{1000 C} = g \frac{F_2 (V)}{1000} \cdot \frac{M}{M'}$$

de donde  $F_2 (V) = A + B V^2$

$$\therefore \gamma^2 = \frac{g}{1000 M'} (AM + BWV^2)$$

Con \_\_\_\_\_  $M = 329.4$  tons

$M' = 371.4$  tons

$g = 9.81$  m/seg<sup>2</sup>

$A = 11.6$  kg/ton (Resistencia al avance de material neumático)

$AM = 11.6 \times 329.4 = 3821.04$

$BWV^2 = 0.25 V^2$  (París) (resistencia al aire)

$- 0.15 V^2$  (México) " "

$$\therefore \gamma_2 = \frac{9.81}{1000 (371.4)} (3821.04 + 0.25 V^2)$$

VELOCIDAD	$\gamma_2$ m/seg <sup>2</sup>	$\gamma_2$ gráfico (cms) $\frac{2 \text{ m/seg}^2}{0.048}$
0	0.1009	2.10
10	0.1015	2.11
20	0.1035	2.15
30	0.1068	2.22
40	0.1115	2.32
50	0.1174	2.44
60	0.1246	2.59
70	0.1333	2.77
80	0.1432	2.98

Ejemplo: 1 cm gráfico de  $\gamma_2 = 0.048 \text{ m/seg}^2$

para  $V = 10 \text{ km/hr}$

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= \frac{9.81}{1000 (371.4)} (3821.04 + 0.25 (10)^2) \\ &= 0.1015 \text{ m/seg}^2 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \frac{0.1015}{0.048} = 2.11 \text{ cm}$$

### C) Cálculo de $\gamma_3$

$$\gamma_3 = g \frac{i}{1000 C} \quad \text{con } i = \text{pendiente expresado en } \%$$

$$\text{De donde } \frac{1}{C} = \frac{M}{M'} = \frac{329.4}{371.4}$$

$$\therefore \gamma_3 = \frac{9.81}{1000} \cdot \frac{329.4}{371.4} \cdot i$$

$$\underline{\underline{\gamma_3 = 0.0087 i}}$$

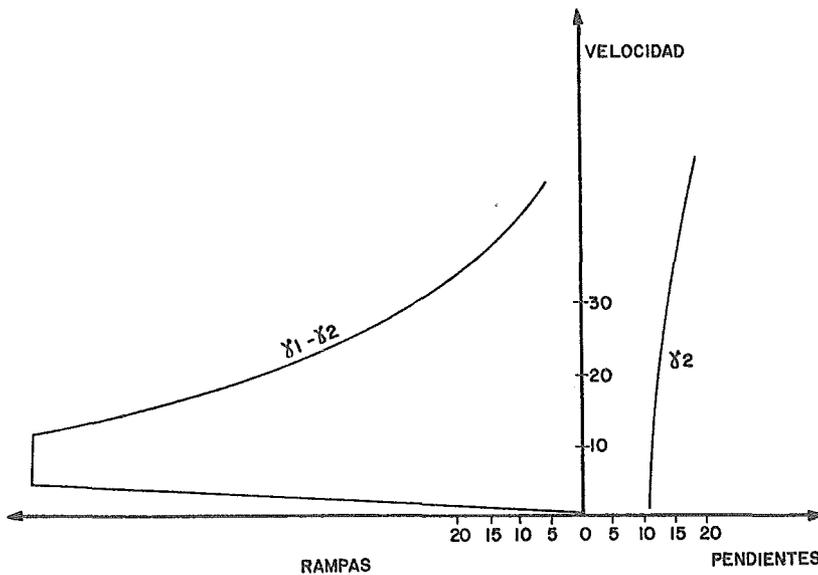
$$\text{para } i = 10\% \quad \gamma_3 = 0.087 \text{ m/seg}^2$$

Sea un valor gráfico  $\frac{0.087}{0.048} = 1.810 \text{ cm gráficos}$

D) Establecimiento de calibre de aceleración.

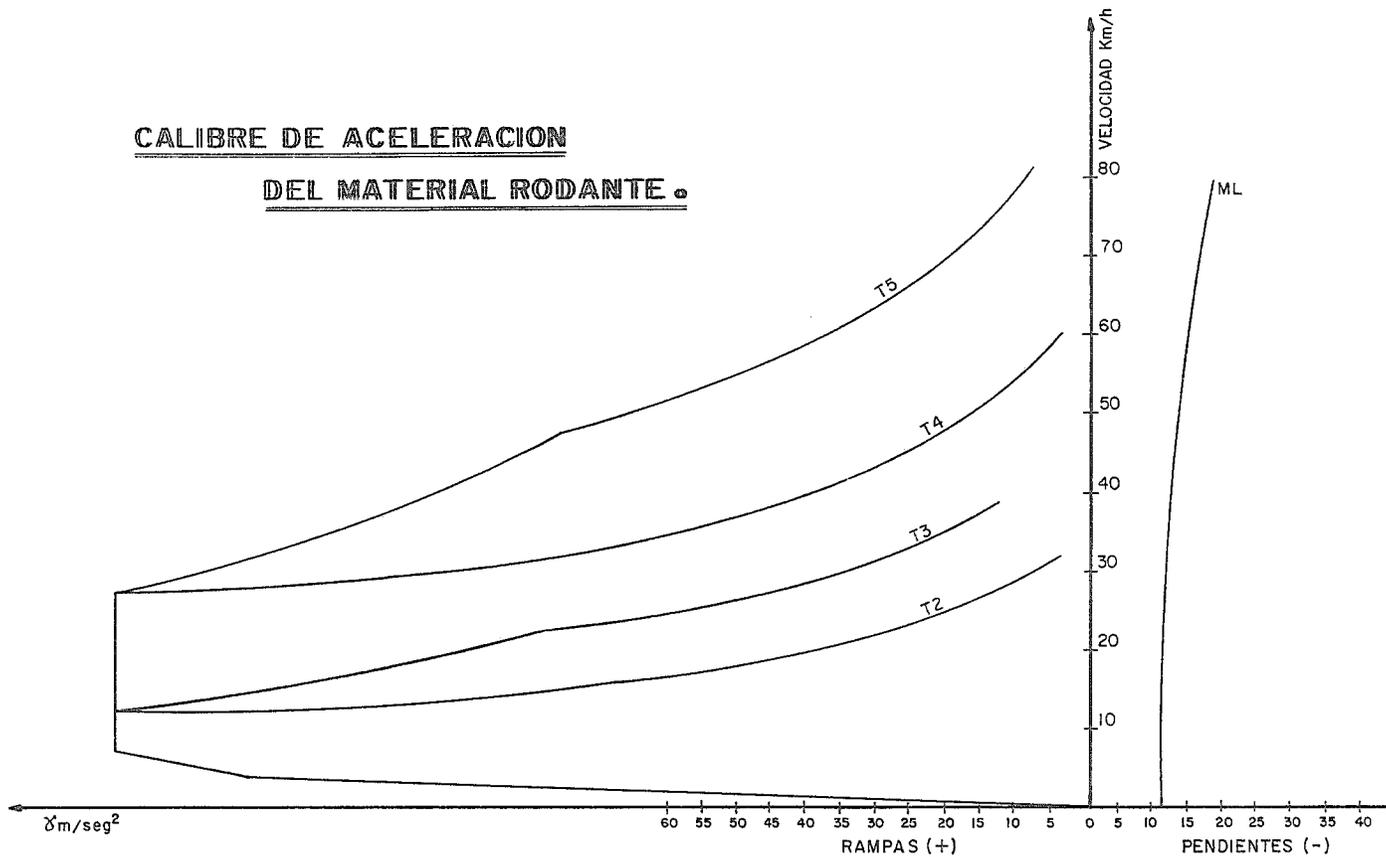
Se trazan sobre papel milimétrico dos ejes perpendiculares (abscisas y ordenadas). Sobre el eje de las ordenadas se toman las velocidades a razón de 1 cm por 5 km/hr, sobre el eje de las abscisas se indican a la izquierda los valores gráficos de  $\gamma_1 - \gamma_2$  en función de las velocidades y a la derecha los valores de  $\gamma_2$  (ver cálculos de  $\gamma$  y  $\gamma_2$ ), igualmente en función de las velocidades.

Sobre el eje de las abscisas se ubica la escala gráfica de  $\gamma_3$  (ver cálculo de  $\gamma_3$ , aceleración debida al perfil), a la derecha del origen (0) las pendientes (pendientes negativas), y a la izquierda del origen de las rampas (pendientes positivas)



# CALIBRE DE ACELERACION

## DEL MATERIAL RODANTE.



### 3.2.5 Trazo de la curva de la marcha tipo.

#### A) Condiciones de la marcha de trenes.

El recorrido de una interestación normal se divide en tres partes:

- A - Marcha bajo corriente.
- B - Marcha libre,
- C - Frenaje.

#### B) Marcha bajo corriente.

Los motores de un tren pueden trabajar en serie o en paralelo .

La marcha en paralelo está prevista para los casos siguientes:

Velocidad autorizada a la salida superior a 30 km/hr (Velocidad de fin de arranque en paralelo de 28 km/hr).

Disminución a 30 km/hr implantando de manera que permita una marcha sin corriente de 3 seg, aproximadamente (figura a, esquema).

La marcha en serie puede ser utilizada en todos los casos posibles restantes.

La marcha de un tren en una zona de disminución puede ser de dos tipos:

- 1) La limitación de velocidad está definida por el declive de la vía.

El conductor limita la velocidad de su tren por frenaje.

- a) La velocidad del tren al entrar en la zona de disminución es inferior a la del límite. El conductor mantiene la corriente de manera de aproximarse a la velocidad límite y frenar posteriormente (Fig. b esquema)
- b) La velocidad del tren al entrar en la zona de disminución es superior al límite. La velocidad se reduce por frenaje y se mantiene constante (Fig c, esquema)
- 2) La limitación de velocidad está definida por el trazo de la vía o por la presencia de un aparato de vía. El tren reduce la velocidad en la zona de disminución, el conductor regula la velocidad del tren de manera de pasar a la velocidad prevista al inicio y al fin de la zona limitada (la velocidad oscila entre  $V$  y  $V-5$  km/hr).

C) Marcha libre.

Prácticamente la duración de la marcha libre de un tren (marcha de inercia sin tracción) para una interestación normal, se comprende entre 5 y 10 segundos, ésto dependerá del trazo y perfil de la vía.

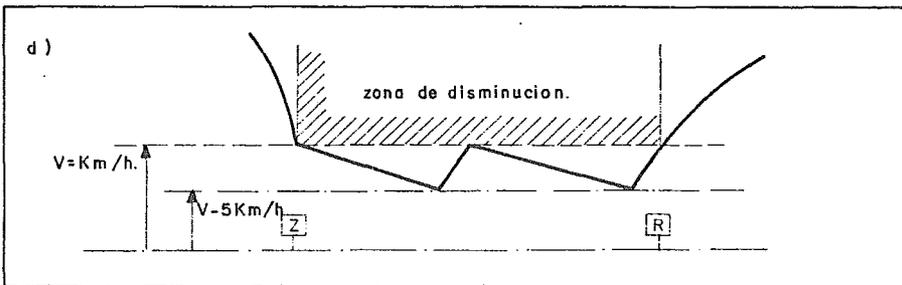
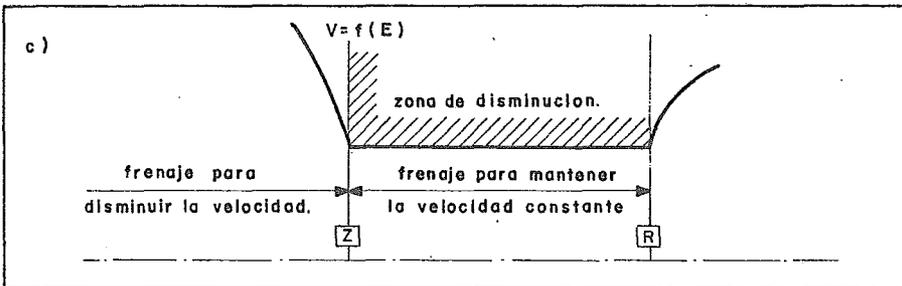
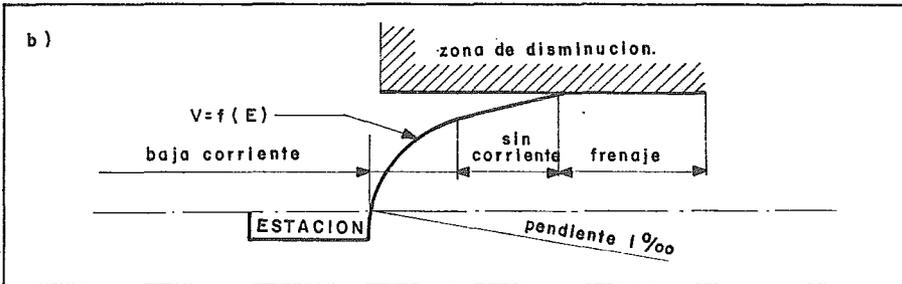
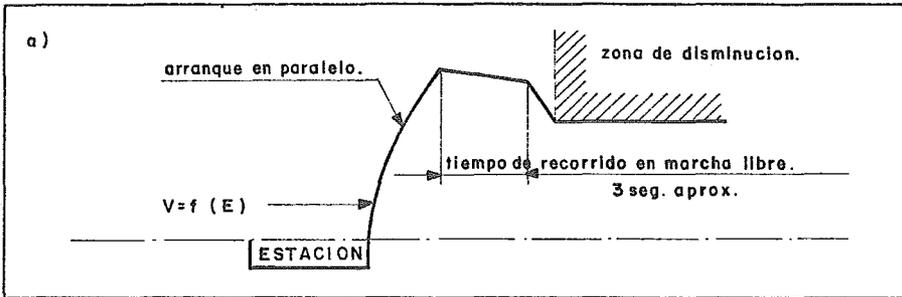
La reserva de tiempo es la diferencia de tiempos de recorrido de una interestación con o sin marcha libre.

Para una interestación de 1 km en plano el tiempo de marcha libre es aproximadamente de 5 segundos.

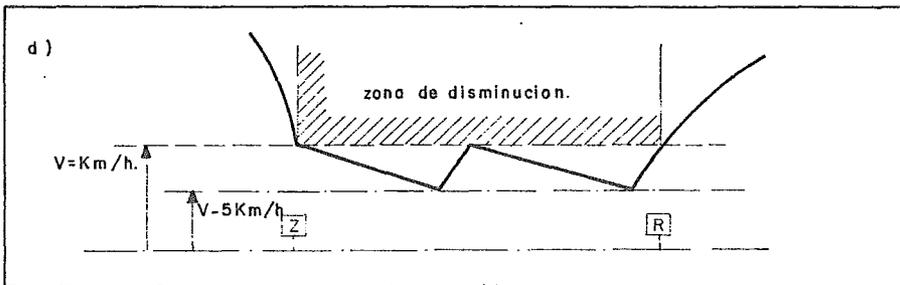
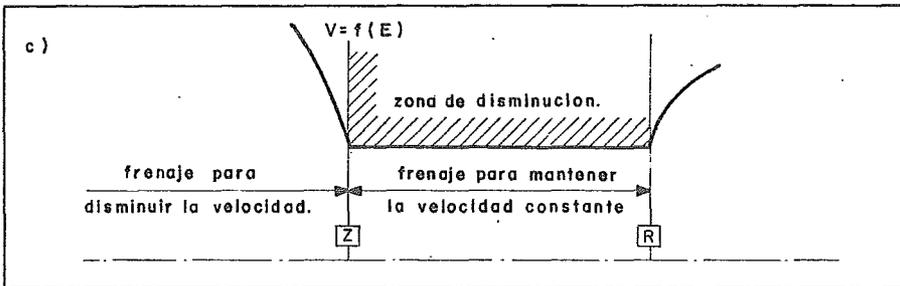
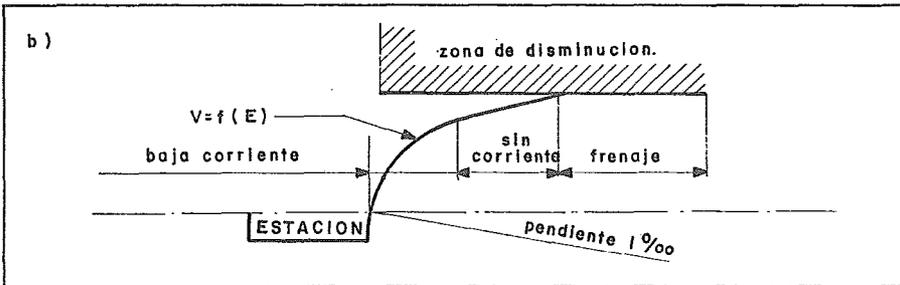
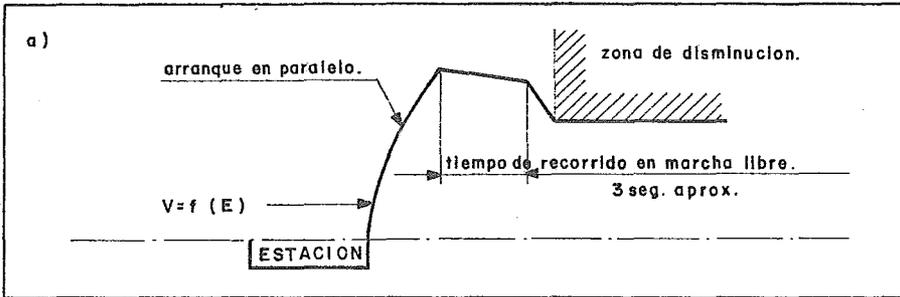
D) Frenaje.

Las distancias de frenado de trenes está determinada y será descrita posteriormente en el capítulo de señalización; la desaceleración media de servicio del metro

ESQUEMA DE MARCHAS



ESQUEMA DE MARCHAS



de México es de  $1.1 \text{ m/seg}^2$  en subterráneo y  $1.0 \text{ m/seg}^2$  en superficial.

E) Verificación práctica de tiempos de recorrido.

- 1) Al curso de diferentes pruebas efectuadas, se ha determinado que la diferencia de tiempo de recorrido práctico y teórico es más o menos de dos segundos, para una inter estación normal, cuando el material es utilizado bajo las condiciones de cálculo de la marcha tipo teórica.
- 2) Para algunas interestaciones que contemplan zonas de disminución de velocidad, la variación puede ser un poco más elevada. Esto es debido a que teóricamente la velocidad de disminución es tomada como velocidad media y los conductores utilizan la tolerancia permitida.
- 3) Para las marchas tipo prácticas, se toman los tiempos de recorrido entre estaciones de la marcha tipo teórica, redondeada al segundo.

3.3. CARACTERISTICAS DE UNA LINEA DEFINIDAS A PARTIR DE LA MARCHA TIPO.

El trazo de la marcha tipo por el método PARODI, permite determinar el estudio preliminar de una línea, los diferentes parámetros de operación y determinar el número de trenes necesarios para operar con el intervalo previsto.

3.3.1. Marcha tipo práctica.

Esta se deduce directamente de la marcha tipo teórica con el redondeo de los tiempos de estacionamiento al tráfico

real de viajeros.

En una línea pueden ser utilizadas varias marchas tipo prácticas; para el metro de México se denominan de la siguiente manera:

Marcha lenta.

Marcha normal

Marcha acelerada 1

Marcha acelerada 2

Marcha de lluvia (para tramos superficiales).

La marcha tipo práctica es una notificación técnica, de donde el número de identificación está indicado sobre todos los horarios establecidos. Este número esta compuesto por dos grupos de cifras, la primera indica el número de la línea, el segundo el número de orden de la marcha tipo práctica.

Ejemplo: Línea N° 1

Marcha tipo práctica: 01 - 23

Por otra parte, cuando la potencia disponible en alta tensión disminuye, dos marchas tipo prácticas particulares son previstas para ser utilizadas bajo circunstancias degradadas de la línea o en permanencia.

La marcha tipo práctica "Serie - Mixta"

(Para la cual el empleo de la marcha en paralelo se autoriza de manera excepcional).

La marcha tipo práctica "Serie"

(Empleo exclusivo de la marcha "Serie").

### 3.3.2 Duración del recorrido.

Es el tiempo necesario de un tren para recorrer la distancia entre dos terminales de acuerdo a la marcha tipo práctica y los tiempos de estacionamiento en las estaciones.

### 3.3.3 Velocidad comercial.

Es la velocidad media determinada para recorrer la distancia existente entre las dos terminales de una línea.

$$\text{Velocidad comercial } V_c = \frac{\text{Longitud de la línea}}{\text{duración del recorrido}}$$

### 3.3.4 Permanencia mínima en terminal.

El trazo de la marcha tipo por el método PARODI se aplica igualmente e los itinerarios de cambio de vía dentro de las terminales, y permite determinar los tiempos de recorrido correspondientes. Se calcula por consiguiente la permanencia mínima en terminal que comprende:

El estacionamiento en el andén de llegada.

El tiempo de maniobra de cambio de vía (comprende eventualmente el estacionamiento en el andén de maniobra).

El estacionamiento en el andén de salida.

### 3.3.5 Duración mínima de la vuelta.

La duración mínima de una vuelta comprende:

Los tiempos de recorrido de vía 1 y vía 2

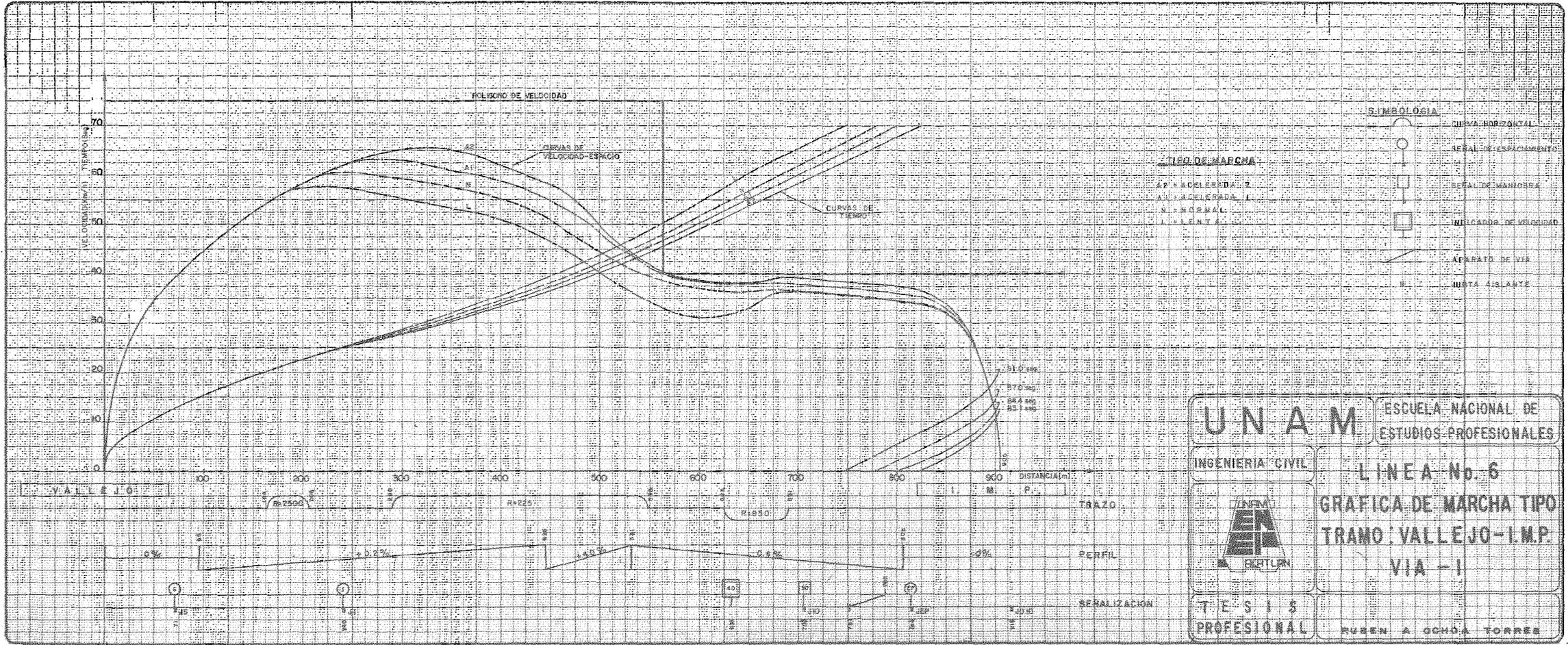
La permanencia mínima en las dos terminales.

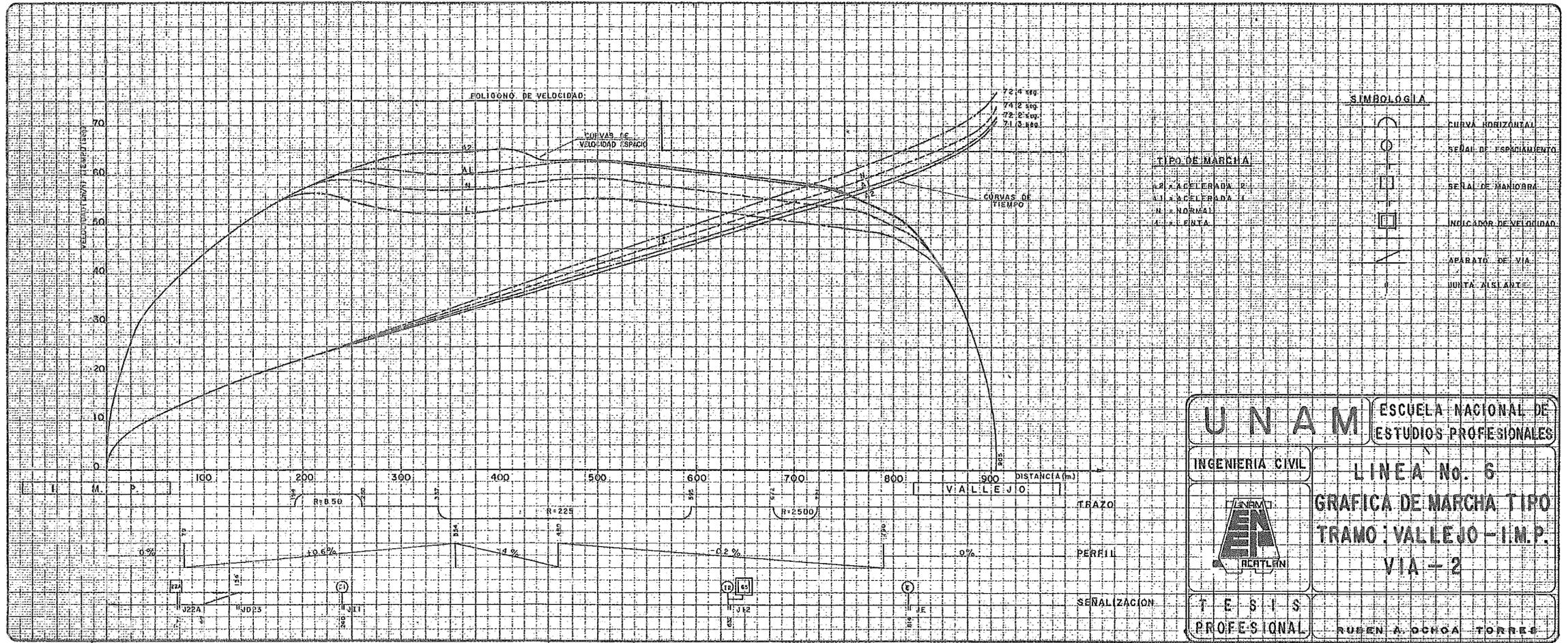
### 3.3.6. Número de trenes.

Este número es el que se considera a poner en circulación en el período de más afluencia.

$$\text{Número de trenes } N = \frac{D}{I} = \frac{\text{Duración de la vuelta.}}{\text{Intervalo mínimo.}}$$

N es redondeado al entero superior e I es el intervalo a realizar en función de la demanda de transporte.





POLIGONO DE VELOCIDAD:

CURVAS DE VELOCIDAD ESPACIO

72.4 km/h  
74.2 km/h  
72.4 km/h  
71.2 km/h

CURVAS DE TIEMPO

SIMBOLOGIA

TIPO DE MARCHA

- 1. ACCELERADA I
- 2. ACCELERADA II
- 3. NORMAL
- 4. FUERTE

- CURVA HORIZONTAL
- SEÑAL DE ESPACIAMIENTO
- SEÑAL DE MANIOBRA
- INDICADOR DE VELOCIDAD
- APARATO DE VIA
- JUNTA AISLANTE

UNAM	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
	INGENIERIA CIVIL
	LINEA No. 6
	GRAFICA DE MARCHA TIPO
TRAMO: VALLEJO - I.M.P.	
VIA - 2	
TESIS PROFESIONAL	RUBEN A. OCHOA TORRES

#### 4. SEÑALIZACION DE ESPACIAMIENTO.

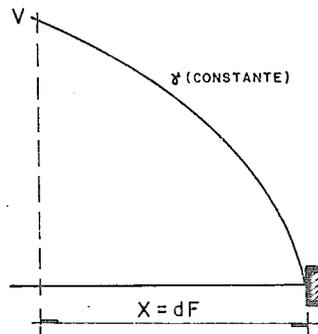
##### 4.1. Principios de implantación de la señalización.

##### 4.1.1. Distancia de frenaje ante un obstáculo (en plano).

$$X = \frac{V^2}{2\delta} = dF$$

V es la velocidad con la que se frena para parar un tren inmediatamente frente a un obstáculo; la desaceleración  $\delta$ , dada la velocidad V hasta el paro absoluto, es constante.

X es la distancia necesaria para el paro del tren desde la velocidad V.



##### 4.1.2. Distancia de seguridad (en plano)

La distancia de seguridad es una distancia de frenaje mayor.

Se obtiene multiplicando la distancia de frenaje por un coeficiente de seguridad  $\alpha$

$$ds = \alpha df$$

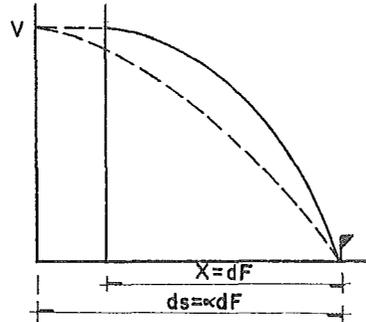
$$ds = \alpha \frac{V^2}{2\delta} = \frac{V^2}{\frac{2\delta}{\alpha}} = \frac{V^2}{2\delta'}$$

La distancia de seguridad se calcula con un valor de desaceleración inferior al valor de la desaceleración de servicio (ésto permite tomar en cuenta las averías eventuales del sistema de frenaje o bien una mala adherencia.)

En plano  $\gamma' = \frac{\gamma}{\alpha}$

$\alpha$ (material férreo París) = 1.5

$\alpha$ (material neumático México) = 1.2



4.1.3. Influencia del perfil sobre el cálculo de la distancia de seguridad.

$$DS = \frac{V^2}{2\frac{\gamma}{\alpha}} \text{ resultante del tren.}$$

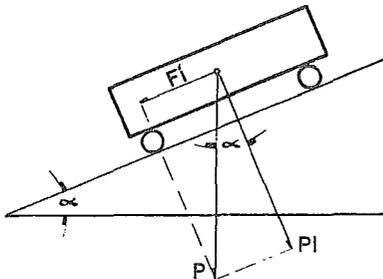
En realidad,  $\gamma$  resultante del tren =  $\gamma$  material +  $\gamma_i$  perfil  
(esfuerzo motor)

Una mejor precisión de cálculo se obtiene aplicando el coeficiente de seguridad únicamente al esfuerzo motor.

$$\text{Por consiguiente } DS = \frac{V^2}{2(\frac{\gamma}{\alpha} + \gamma \text{ perfil})} = \frac{V^2}{2(\frac{\gamma}{\alpha} + K_i)}$$

Recordemos el cálculo de la aceleración debida al perfil:

$\gamma$  Resultante =  $\gamma$  material +  $\gamma$  perfil  
(esfuerzo motor)



$$F_i = M' \cdot \gamma_p \rightarrow \gamma_p = \frac{F_i}{M'}$$

$M'$  es la masa aparente del material o masa de inercia.

$$M' = M + \Delta M$$

Con  $M$  = Masa real del tren

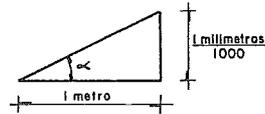
Y  $\Delta M$  = Masa de las partes rodantes

Como  $\alpha$  es muy pequeño, podemos considerar que  $P \approx P_i$  y que  $F_i \approx P \tan \alpha$ .

Por consiguiente:  $\tan \alpha = \frac{F_i}{P_i}$ .  $F_i = P \tan \alpha = Mg \tan \alpha$

$$P_i \approx P = Mg$$

$$\tan \alpha = \frac{\frac{i \text{ milímetros}}{1000}}{1 \text{ metro}} = \frac{i}{1000}$$



$$\gamma_P = \frac{F_i}{M'} = \frac{Mg \tan \alpha}{M'} = \frac{M}{M'} \cdot g \cdot \frac{i}{1000}$$

$$\gamma_P = \frac{1}{C} \cdot g \cdot \frac{i}{1000} = \frac{g}{1000 C} i = ki$$

$$C = \frac{M'}{M} = \text{coeficiente de inercia.}$$

$g$  = Aceleración de la gravedad en  $\text{m/seg}^2$ .

$i$  = Perfil expresado en milímetros por metro.

$$k = \frac{g}{1000 C}$$

Cálculo del coeficiente  $k$  del Metro de México.

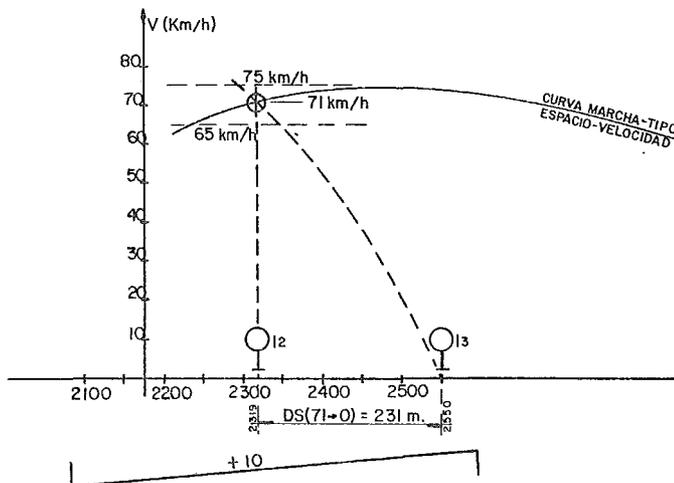
$$k = \frac{g}{1000 C} = \frac{g}{1000 \frac{M}{M'}} = \frac{9.81}{(1000) \frac{371.4}{329.4}} \quad g = 9.81 \text{m/seg}^2$$

$$M = 329.4 \text{ Tons.}$$

$$M' = 329.4 + 42 = 371.4 \text{ Tons}$$

$$k = 0.0087$$

## 4.1.4. Implantación de una señal en perfil constante.



Consideramos la hipótesis del cálculo siguiente:

Existe un obstáculo a proteger (o la señal a proteger) en el cadenamiento 2550.00

Perfil  $i = 10$  mm/m (expresado en por mil)

Desaceleración del material rodante  $\delta = 0.9$  m/seg<sup>2</sup>.

Coefficiente de seguridad  $\alpha = 1.2$ .

$k = 0.009$ .

Si se desea implantar la señal 12 a la distancia de seguridad de la señal 13, desde la velocidad autorizada por la marcha tipo del tren, es necesario proceder por aproximaciones sucesivas.

El método consiste en calcular la distancia de seguridad (DS) para dos valores de la velocidad "encuadrando" la curva de marcha tipo espacio-velocidad. Para este caso se consideran 75 y 65 km/hr.

$$DS = \frac{V^2}{2(\frac{g}{3.6} + \frac{g}{3.6} p)} \text{ de donde } V \text{ está en m/seg}^2.$$

$$\text{y } \frac{g}{3.6} p = ki$$

Para V = 75 km/hr

$$DS = \frac{\left(\frac{75}{3.6}\right)^2}{2\left(\frac{0.9}{1.2} + (0.009 \times 10)\right)} = 258 \text{ m}$$

$$DS = (75 \rightarrow 0) = 258 \text{ m.}$$

para V = 65 km/hr

$$DS = \frac{\left(\frac{65}{3.6}\right)^2}{2\left(\frac{0.9}{1.2} + (0.009 \times 10)\right)} = 194 \text{ m.}$$

$$DS (65 \rightarrow 0) = 194 \text{ m.}$$

Se grafican estos dos puntos a partir de la señal 13 y se unen con una recta. Posteriormente se encuentra el punto de intersección de la curva de frenaje (DS) con la marcha tipo.

A este punto le corresponde una velocidad de 71 km/hr con lo cual se calcula la distancia de seguridad (DS) necesaria para el paro del tren antes de la señal.

$$DS (71 \rightarrow 0) = \frac{\left(\frac{71}{3.6}\right)^2}{2\left(\frac{0.9}{1.2} + (0.009 \times 10)\right)} = 231 \text{ m.}$$

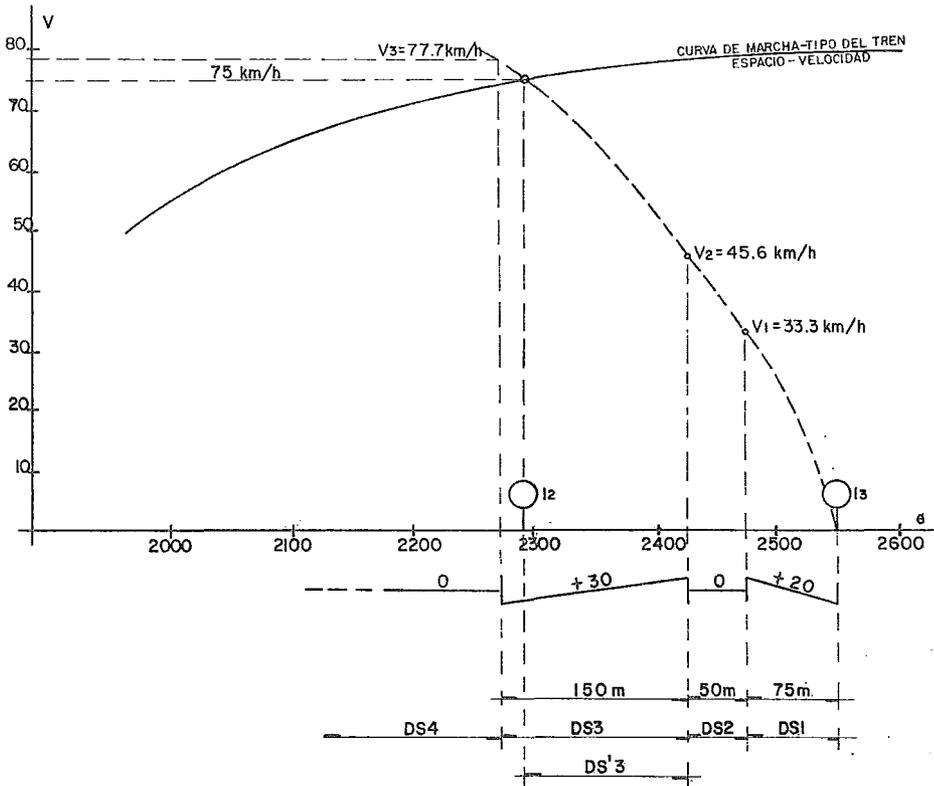
Por lo tanto, la distancia mínima para ubicar la señal 12 es de 231m a partir de la señal 13, quedando ubicada en el siguiente cadenamamiento: 2550.00 - 231.00 = 2319.00.

#### 4.1.5. Implantación de una señal con cambio de perfil.

Consideramos las mismas hipótesis de cálculo que en el ejemplo anterior pero con cambio de perfil.

Para este caso la distancia de seguridad (implantación de la señal 12) se calculará de la siguiente manera:

$$DS = DS1 + DS2 + DS3 + \dots + DSN$$



$$DS = \frac{\left(\frac{V}{3.6}\right)^2}{2\left(\frac{\gamma}{\alpha} \pm \gamma_p\right)} \Rightarrow V = \sqrt{(DS) 2 \left(\frac{\gamma}{\alpha} \pm \gamma_p\right) (3.6)^2}$$

Para V en km/hr.

$$DS1 = (2550 - 2475) = 75 \text{ m.}$$

$$V1 = \sqrt{(75) 2 \left[ \frac{0.9}{1.2} - (0.009 \times 20) \right] (3.6)^2} = 33.3 \text{ km/hr.}$$

$$\underline{V1 = 33.3 \text{ km/hr.}}$$

$$DS2 = (2475 - 2425) = 50 \text{ m} = \frac{V2^2 - V1^2}{2\left(\frac{0.9}{1.2} (0.009 \times 0)\right)} = \frac{V2^2 - (33.3)^2}{2\left(\frac{0.9}{1.2}\right)}$$

$$\therefore V_2 = \sqrt{(50)^2 \left(\frac{0.9}{1.2}\right) (3.6)^2 + (33.3)^2} = 45.6 \text{ km/hr.}$$

$$\underline{V_2 = 45.6 \text{ km/hr}}$$

$$DS_3 = (2425 - 2275) = 150 = \frac{\frac{V_3^2 - V_2^2}{(3.6)^2}}{2 \left(\frac{0.9}{1.2} + (0.009 \times 30)\right)}$$

$$= \frac{\frac{V_3^2 - (45.6)^2}{(3.6)^2}}{2 \left(\frac{0.9}{1.2} + (0.009 \times 30)\right)}$$

$$\therefore V_3 = \sqrt{(150)^2 \left(\frac{0.9}{1.2} + (0.009 \times 30)\right) (3.6)^2 + (45.6)^2}$$

$$= 77.75 \text{ km/hr.}$$

$$\underline{V_3 = 77.75 \text{ km/hr.}}$$

Al trazar la curva de frenaje (DS) encontramos por aproximaciones sucesivas\* el punto de intersección en la velocidad  $V = 75 \text{ km/hr.}$

Por lo tanto, el valor correspondiente de  $V = V'_3$  le corresponde la siguiente distancia de seguridad (DS'3):

$$DS' 3 = \frac{\frac{V'_3{}^2 - V_2^2}{(3.6)^2}}{2 \left(\frac{0.9}{1.2} + (0.009 \times 30)\right)} = \frac{\frac{(75)^2 - (45.6)^2}{(3.6)^2}}{2 \left(\frac{0.9}{1.2} + (0.009 \times 30)\right)} = 134\text{m.}$$

$$\underline{DS' 3 = 134\text{m.}}$$

$$\underline{DS = DS_1 + DS_2 + DS'3 = 75 + 50 + 134 = 259\text{m.}}$$

La señal ( $I_2$ ) por consiguiente se puede implantar en el siguiente cadenamiento:

$$\underline{\underline{2550.00 - 259.00 = 2291.00}}$$

\*Ver inciso 4.1.4. de este tema.

TABLA DE PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL METRO DE MEXICO

TIPO DE MATERIAL		NEUMATICO (MP 68/MN 73)
CARACTERISTICAS : MASA (MATERIAL RODANTE) FORMACION LONGITUD		371.4 TONS. 9 CARROS (2M - 4N - 3R) 147.62m. ≈ 148 m.
LARGO DE ANDENES (ESTACIONES)		150 m.
TIPO DE SEÑALIZACION		SECCION TAPON SEÑALIZACION LATERAL
M O D O	CONDUCCION MANUAL	
	<p><math>\bar{v}</math> DE SERVICIO (FRENAJE EN ESTACION O ANTES DE UNA SEÑAL) EN SUBTERRANEO EN SUPERFICIAL O AEREO</p> <p><math>\bar{v}</math> UTILIZADO PARA CALCULAR LA IMPLANTACION DE LA SEÑALIZACION EN SUBTERRANEO EN SUPERFICIAL O AEREO</p> <p>DISTANCIA DE FRENAJE</p> <p>TIEMPO DE FRENAJE</p> <p>DISTANCIA DE SEGURIDAD</p> <p><math>\bar{v}</math> DE URGENCIA (SUBTERRANEO, SUPERFICIAL Y AEREO)</p> <p>DISTANCIA DE FRENAJE DE URGENCIA</p>	<p>1.1 m/seg.<sup>2</sup> 1.0 m/seg.<sup>2</sup></p> <p>1.1 m/seg.<sup>2</sup> 0.9 m/seg.<sup>2</sup></p> <p><math>DF = \frac{v^2}{2(\bar{v} \pm \bar{v} p)}</math></p> <p><math>TF = \frac{v}{(\bar{v} \pm \bar{v} p)}</math></p> <p><math>DS = \frac{v^2}{2(\frac{\bar{v}}{12} \pm \bar{v} p)}</math></p> <p><math>\frac{1.65}{1.30} \text{ m/seg.}^2</math></p> <p><math>DFU = \frac{v^2}{2(\frac{1.65}{1.30} \pm \bar{v} p)}</math></p> <p><math>\bar{v} p = 0.0087i</math></p> <p><math>i = \text{PERFIL } \%</math> (EXPRESADO EN POR MIL)</p>
	<p>PILOTAJE AUTOMATICO Y CMC (CONDUCCION MANUAL CONTROLADA)</p> <p><math>\bar{v}</math> DE PROGRAMA DE PARO EN ESTACION SUBTERRANEO AEREO Y SUPERFICIAL</p> <p><math>\bar{v}</math> RESULTANTE DEL TREN (EQUILIBRIO) SUBTERRANEO AEREO Y SUPERFICIAL</p>	<p>0.61 m/seg.<sup>2</sup> 0.58 m/seg.<sup>2</sup></p> <p>1.1 m/seg.<sup>2</sup> 1.0 m/seg.<sup>2</sup></p>
<p>CML 50 Y 25 km./h. (CONDUCCION MANUAL LIMITADA)</p> <p><math>\bar{v}</math> DE URGENCIA (AEREO Y SUBTERRANEO)</p> <p>DISTANCIA DE FRENAJE DE URGENCIA</p>	<p>1.38 m/seg.</p> <p><math>DFU = 3m + (0.6+0.7) v + \frac{v^2}{2(1.38 \pm \bar{v} p)}</math></p> <p>CON <math>\bar{v} p = 0.0087i</math> (<math>i = \text{PERFIL } \%</math>)</p> <p>(3m + 0.6V) DEMORA ESPACIAL Y TEMPORAL DE CONTROL DE SOBREVELOCIDAD (en segundos) 0.7V . TIEMPO DE RESPUESTA DE FU (en segundos)</p>	

## 4.2. Factores que intervienen en la implantación de juntas y señales en la línea y en zona de maniobras.

### 4.2.1. Restricciones impuestas por la vía.

En ningún caso se podrá implantar una señal antes de su junta correspondiente; además en la proximidad de aparatos de vía no es posible cortar la vía sino en ciertos puntos bien definidos.

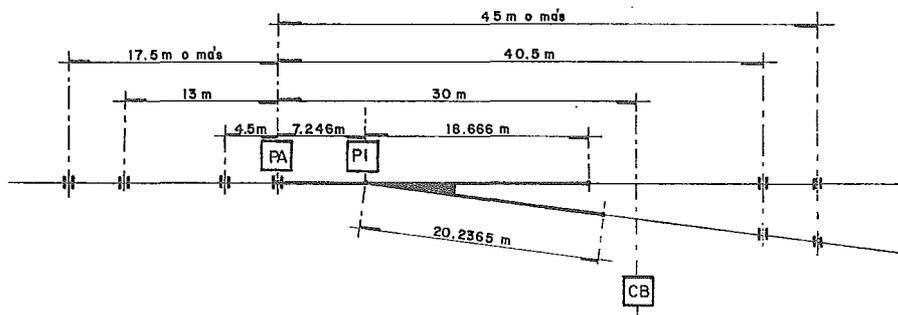
Puntos de cortes posibles de la vía en la proximidad de aparatos de vía, para la implantación de juntas aislantes.

Simbología:

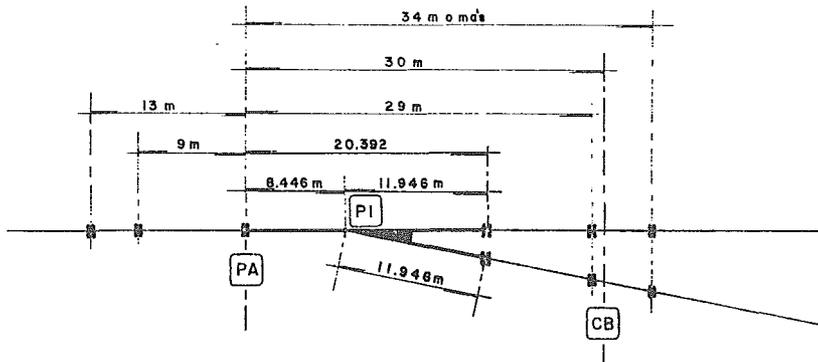
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">PA</span>	Punta de aparato.
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">PI</span>	Punto de inflexión.
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CB</span>	Cruz buena
	Junta aislante.

### Aparatos de enlace.

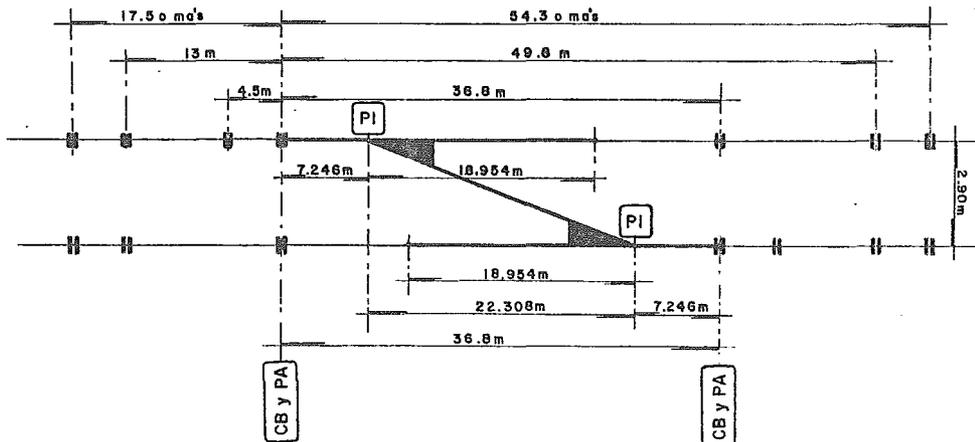
#### a) Aparato de tangente 0.13



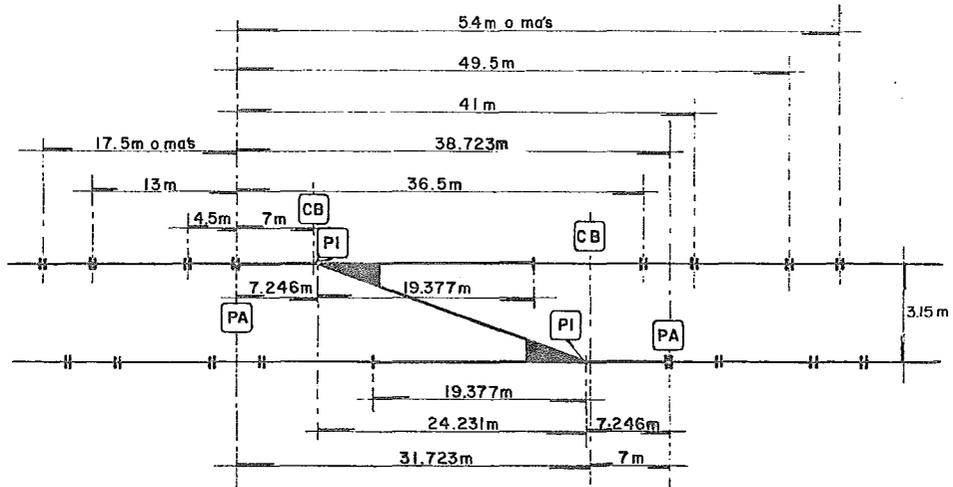
## b) Aparato de tangente 0.20

Aparatos de comunicación

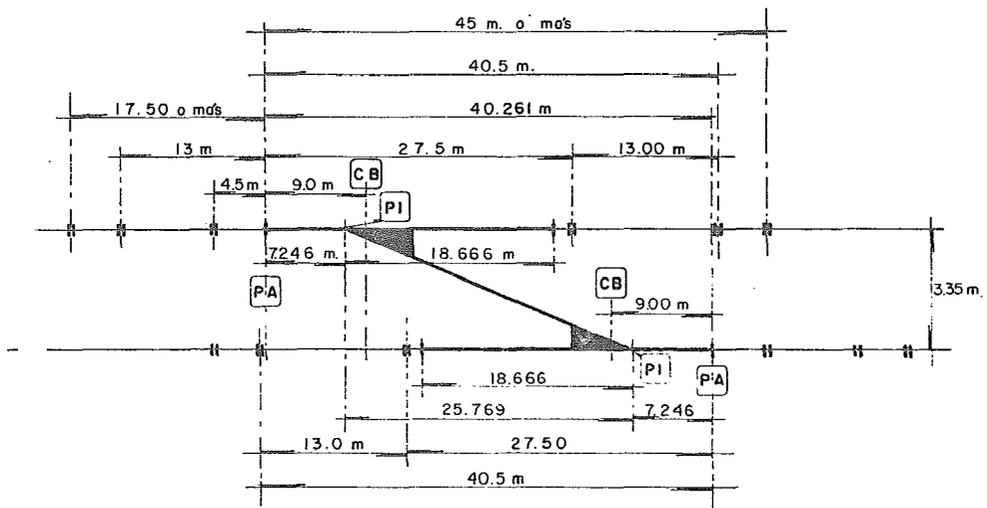
## a) Comunicación tangente 0.13 - entrevista de 2.90



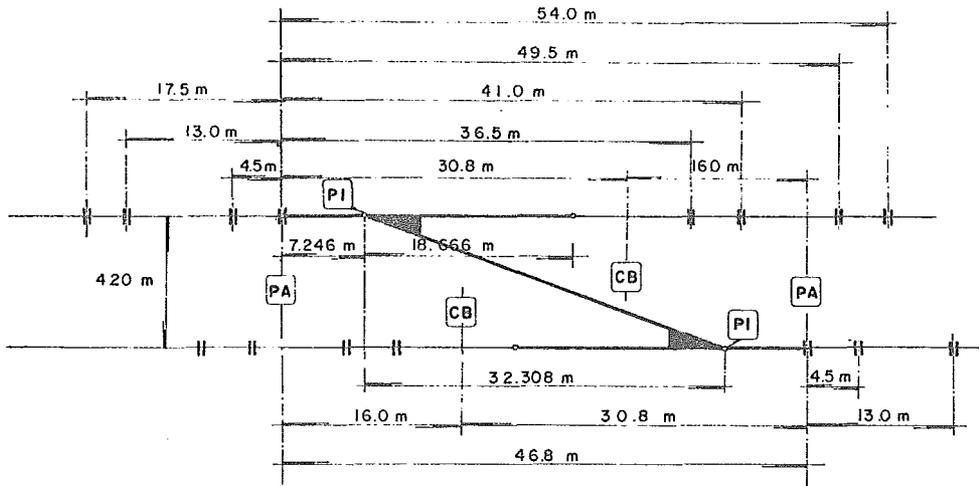
## b) Comunicación tangente 0.13 - entrevista de 3.15



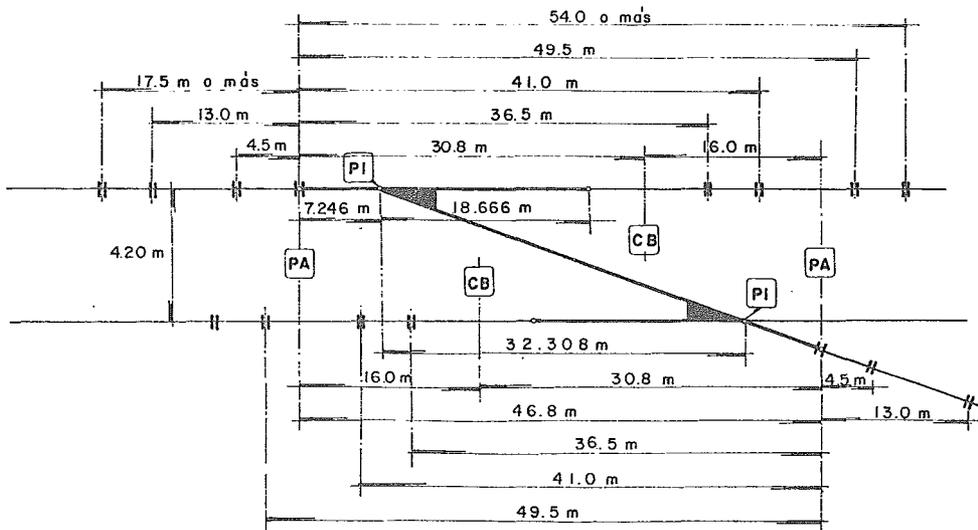
## c) Comunicación tangente 0.13 - entrevista de 3.35



## d) Comunicación tangente 0.13 - entrevista de 4.20



## e) Comunicación tangente 0.13 - entrevista de 4.20 con punta desviada



### Velocidad en curva de aparato de vía.

La velocidad máxima permitida en un aparato de vía (tangente 13) en vía desviada es de:

- a) 30 km/hr para un enlace.
- b) 25 km/hr para una comunicación.

Las velocidades máximas autorizadas en las curvas de los aparatos están dadas en función de su peralte y de la insuficiencia de peralte.

#### 4.2.2. Restricciones impuestas por el pilotaje automático.

El sistema de pilotaje automático está constituido por la transmisión vía - máquina y por el cable - programa que está montado sobre la barra guía.

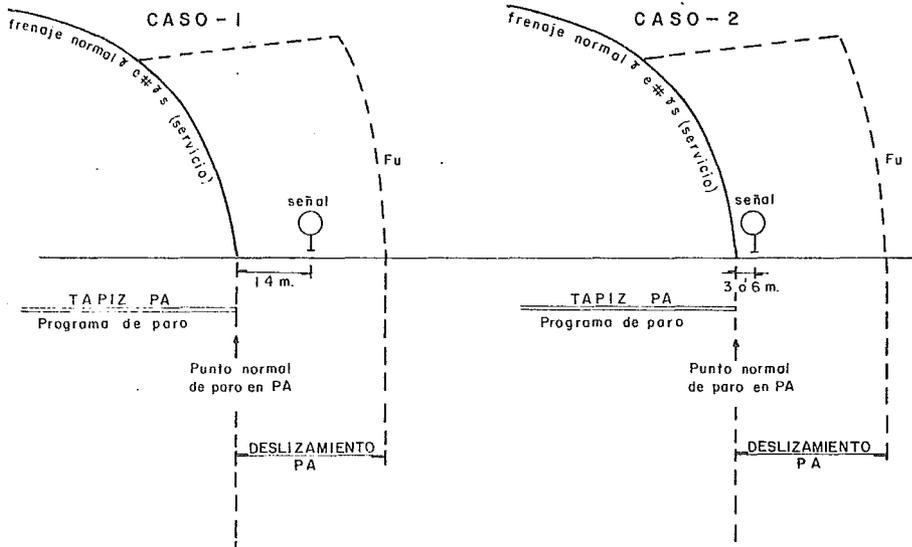
El programa indica al tren sobre el recorrido, la velocidad estimada por la marcha tipo.

Para el frenaje del tren en un punto dado, como el paro sistemático en una estación, o el paro en interestación para respetar las indicaciones de la señalización, se cuenta con un programa específico de frenado. Este programa contiene la velocidad de consigna sobre todo el tramo de recorrido y el programa de frenado para cada uno de los puntos posibles de paro impuestos por la señalización, con una desaceleración constante.

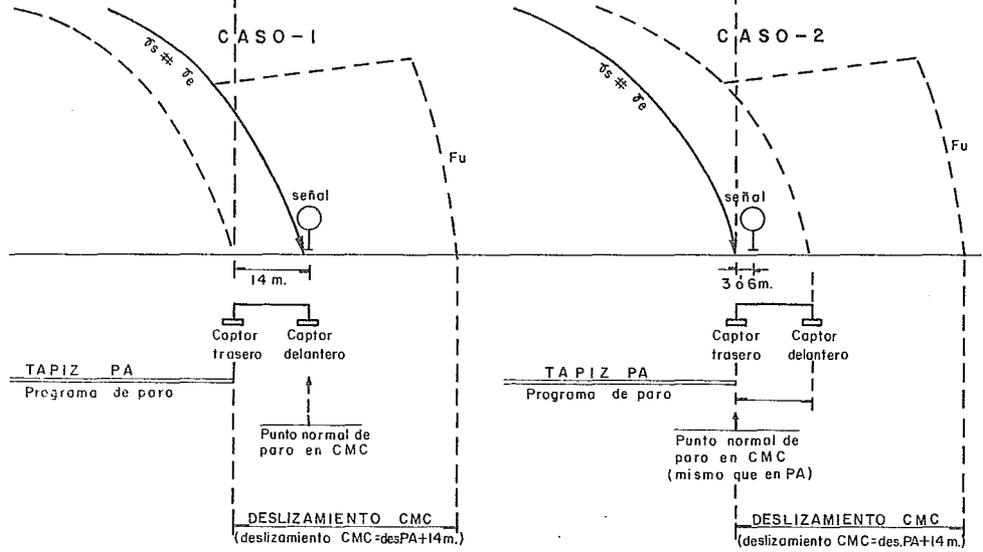
La distancia de frenado (DF) es la longitud misma del programa de paro; ésta depende de la velocidad inicial, la desaceleración característica del programa y del perfil de la vía.

El deslizamiento (D) es el valor máximo posible de desplazamiento del tren después de un punto normal de paro; esto es con el franqueamiento de una señal o detectando

**PILOTAJE AUTOMATICO (PA)**



**CONDUCCION MANUAL CONTROLADA (CMC)**



una sobre-velocidad. El deslizamiento está dado en función de las características de frenaje del material rodante, el programa de frenado del pilotaje automático, el trazo y perfil de la vía.

La distancia de seguridad (DS) es la suma de la distancia de frenado (DF) y su deslizamiento:

$$DS = DF + D$$

Esta distancia (DS) es la máxima longitud que necesita un tren para frenar ante una señal en rojo o al sobrepasar la velocidad de consigna dada por la marcha tipo.

Normalmente en línea el punto de paro de trenes en pilotaje automático (PA) se realiza a 14m antes de una señal.

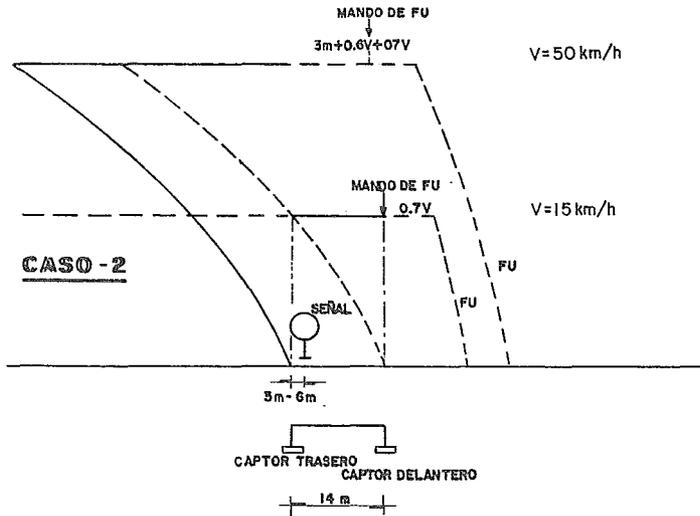
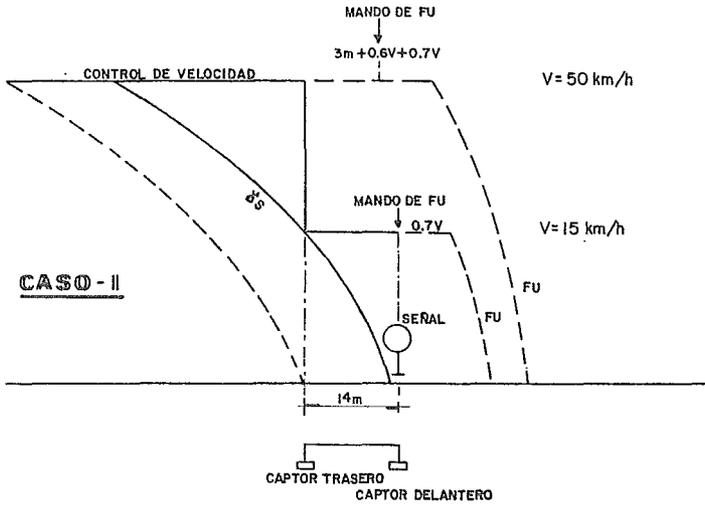
En conducción manual controlada (CMC) puede frenar al pie de la señal (a 3m aproximadamente).

#### 4.2.3. Restricciones impuestas por el modo de Conducción Manual Limitada a la velocidad 50 - 25 km/hr (CML 50-25).

Cálculo del desplazamiento máximo (pendiente = 0) desde la velocidad de 50 km/hr.

La distancia máxima de desplazamiento posible, se presenta cuando se tiene un frenaje de urgencia en plano, y este desplazamiento se realiza a partir del fin del programa del tapiz con la velocidad de 50 km/hr.

(ver esquema siguiente)



PUNTO DE PARO EN CML-50.

- a) Desplazamiento (D1) obtenido después de aplicar el frenaje de emergencia (FU) desde la velocidad de 50 km/hr o al franqueamiento de un punto de paro normal (extremidad del tapiz PA).

Demora de aplicación del frenaje de urgencia = 3m + 0.6V de donde:

$$\left. \begin{array}{l} 3m = \text{demora espacial} \\ 0.6V = \text{demora temporal} \end{array} \right\} \text{de control de sobrevelocidad.}$$

Cálculo de frenaje de urgencia:

$$FU = 0.7V + \frac{V^2}{2(\gamma + \gamma_p)}$$

$$\gamma = 1.38\text{m/seg}^2 \text{ (desaceleración de urgencia).}$$

$$\gamma_p = 0 \text{ (desaceleración debida al perfil).}$$

0.7V = tiempo de respuesta de FU

$$\begin{aligned} \therefore D1 &= 3m + (0.6 + 0.7) V + \frac{V^2}{2(\gamma + \gamma_p)} \\ &= 3 + (1.3) \frac{50}{3.6} + \frac{(50)^2}{2(3.6)^2 (1.38)} = \underline{90.95m.} \end{aligned}$$

- b) En CML la velocidad es controlada a 15 km/hr al franqueamiento de un punto de paro. El frenaje de urgencia se produce 14m después de este punto, que es la distancia que hay entre los captosres del pilotaje automático sobre el tren.

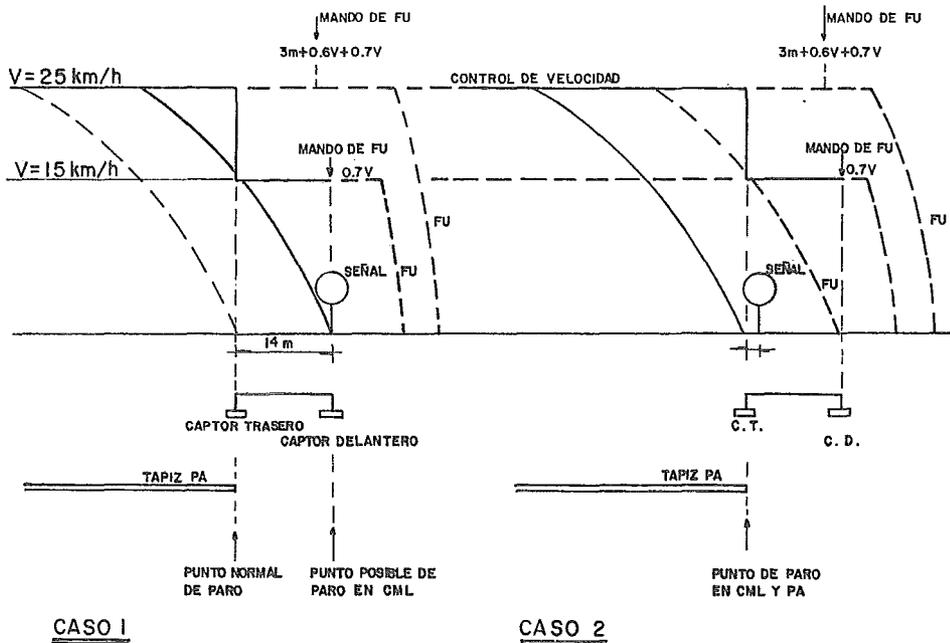
$$D2 = 14 + 0.7V + \frac{V^2}{2(\gamma + \gamma_p)} = 14 + 0.7 \left(\frac{15}{3.6}\right) + \frac{(15)^2}{2(3.6)^2 (1.38)}$$

$$\underline{D2 = 23.21m.}$$

$D1 > D2$

Por lo tanto el desplazamiento máximo producido en CML a la velocidad de 50km/hr es de 90.95m en perfil plano ( $S = 0\%$ ).

Cálculo del desplazamiento máximo (pendiente = 0) desde la velocidad de 25km/hr.



CASO 1

CASO 2

- a) Desplazamiento obtenido después del franqueamiento de un punto normal de paro al aplicarse el frenaje de urgencia (FU) desde la velocidad de 25km/hr en plano.

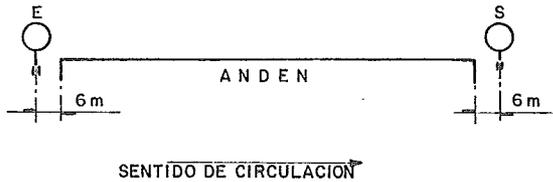
Demora la aplicación de frenaje de urgencia =  $3m + 0.6V$   
Cálculo de la distancia de frenaje de urgencia.

$$FU = 0.7V + \frac{V^2}{2(\delta + \delta_p)} \quad \text{con} \quad \begin{cases} \delta_p = 0 \\ \delta = 1.38m/\text{seg}^2 \end{cases}$$



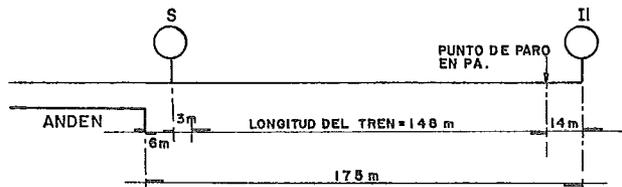
#### 4.3. Implantación de la señalización del Metro de Mexico.

##### 4.3.1. Implantación de señales de "Entrada" y "Salida" de una estación.

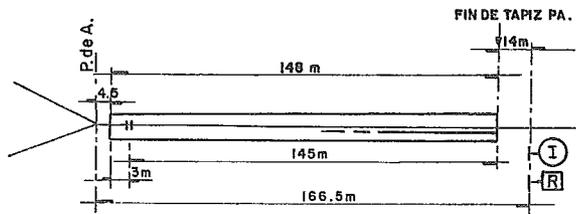


##### 4.3.2. Implantación de la primer señal intermedia (para interestaciones mayores a 500m).

###### a) Interestación clásica.

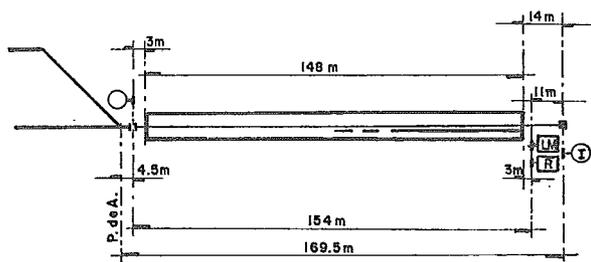


###### b) Primer intermedia situada a la salida de una terminal,



Configuración a respetaren lo posible. Es necesario de cualquier manera que cuando un tren se pare en PA antes de la señal I, haya liberado totalmente al aparato de vía.

- c) Primer intermediaria situada después de un aparato de comunicación (Para un servicio provisional).

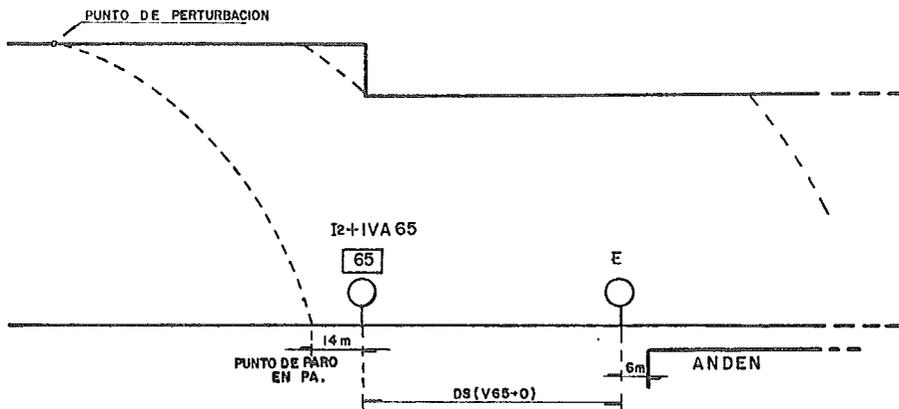


Se implanta la primer señal intermediaria a 11 metros de la placa de límite de maniobra (LM) para servicio provisional, de manera que en PA se tenga el mismo punto de paro entre la señal I1 y la placa LM.

#### 4.3.3. Implantación de la segunda señal intermediaria para interestaciones de 500 a 1300 metros.

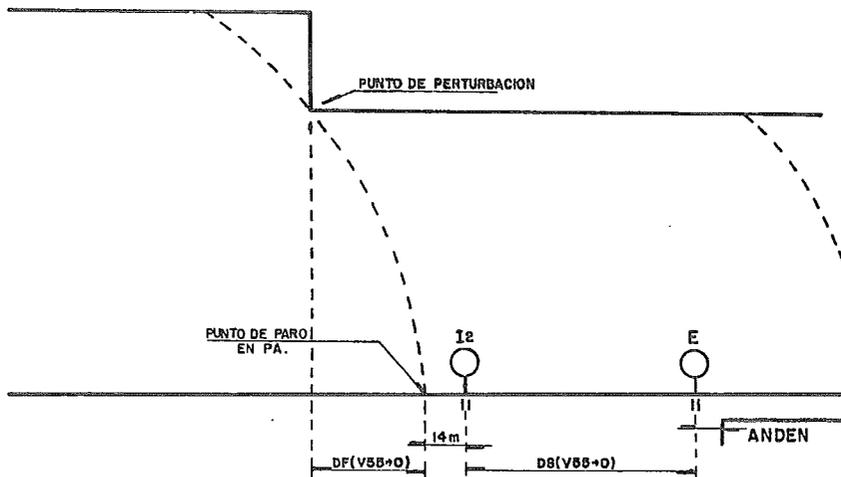
- a) Estación de "paso".

(17 Seg.  $\leq$  tiempo de estacionamiento (TE)  $\leq$  19 Seg).



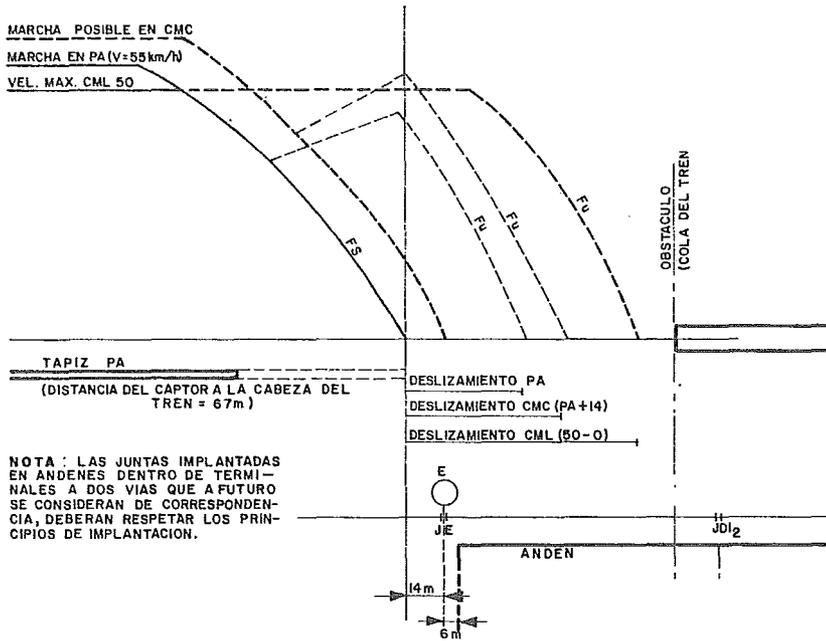
b) Estación de "correspondencia".

(25 Seg.  $\leq$  tiempo de estacionamiento (TE)  $\leq$  30 Seg.).

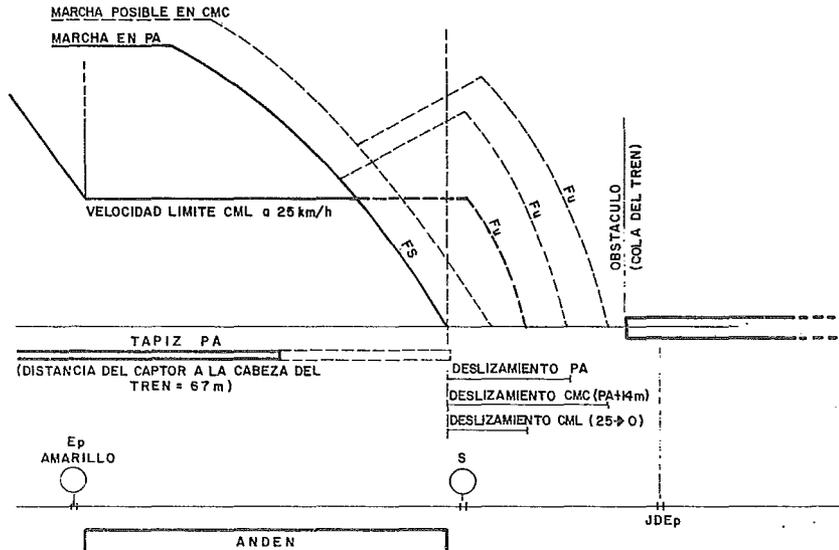


4.3.4. Implantación de juntas que permiten el desbloqueo anticipado de ciertas señales.

a) Implantación de junta de desbloqueo de la señal I2 (JDI2).

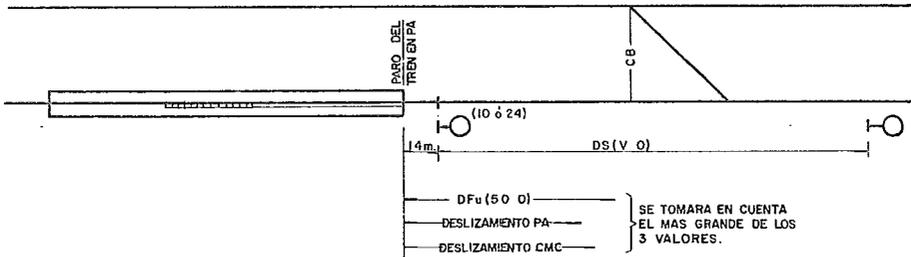


b) Implantación de junta de desbloqueo de la señal Ep (J Ep).



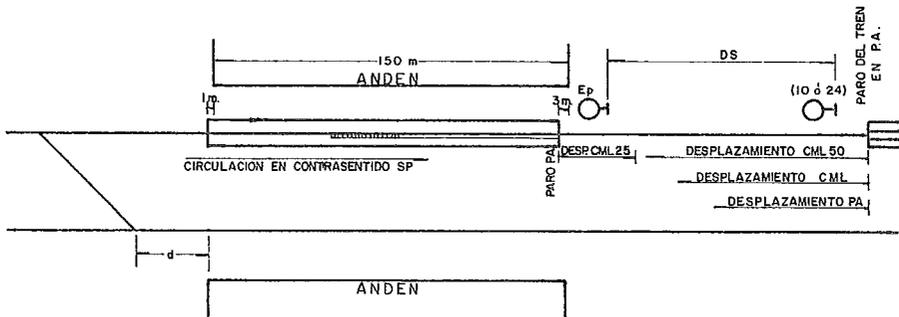
4.3.5. Estudio de casos particulares de implantación de señalización de protección de itinerarios de maniobras.

- a) Señal 10 ó 24 que aseguran la protección de servicios provisionales.



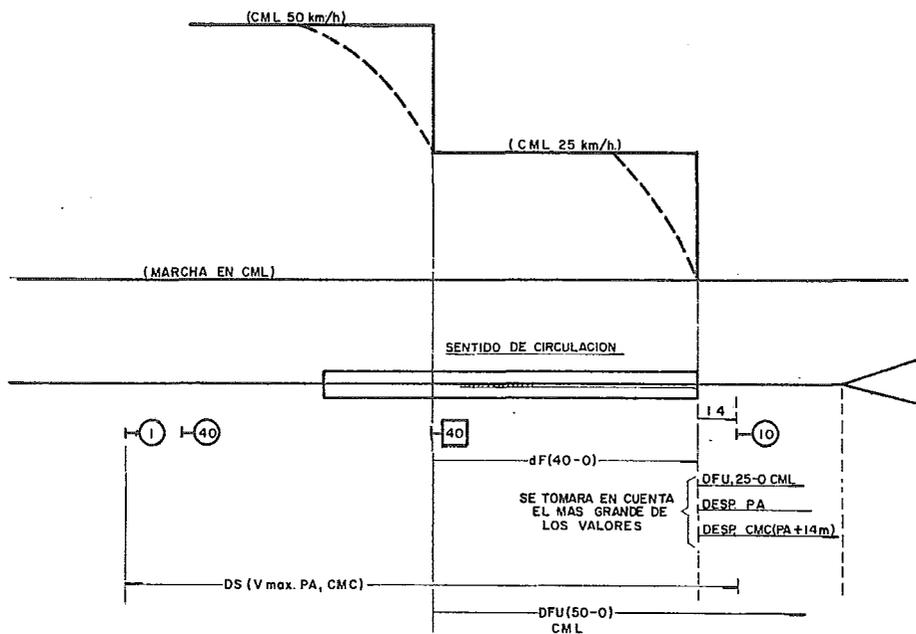
Estas distancias son las mínimas a respetar; es posible implantar la señal (10 ó 24) antes de este punto.

- b) Caso contrario de andén.



Nota; Cuando la distancia "d" (andén - punta de aparato) es inferior a 90 metros, será necesario que la señal Ep presente una limitación de velocidad a 25km/hr, cuando se autorice al movimiento sobre aparato de vía.

#### 4.3.6. Implantación de la señalización a la entrada de una terminal.



4.3.7. Tabla resumen de la posición de trenes, la implantación de señales y juntas dentro de las configuraciones más frecuentes.

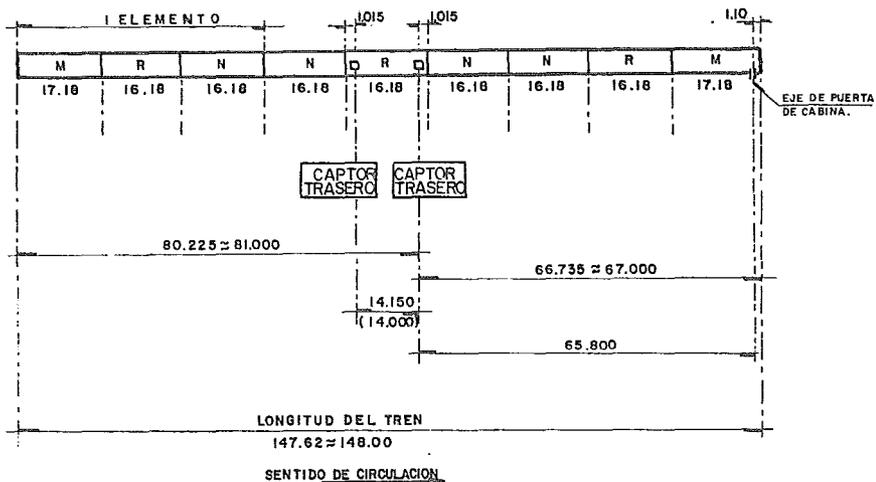
Z O N A	POSICION DEL TREN	POSICION DE SEÑALES Y JUNTAS
EN INTERESTACION, ANTES DE UNA SEÑAL DE ESPACIAMIENTO Y DE MANIOBRAS.	PUNTO DE PARO DEL TREN A 14 m. ANTES DE UNA SEÑAL.	
		LA PRIMER SEÑAL INTERMEDIARIA "J1" EN PRINCIPIO SIEMPRE SE IMPLANTARA 175 m. DESPUES DE LA CABECERA DE ANDEN
EN ESTACIONES Y TÉRMINALES	PUNTO DE PARO DEL TREN A UN METRO DESPUES DE LA CABECERA DE ANDEN.	SEÑAL Y JUNTA DE "ENTRADA" (E) A 6 m. ANTES DE LA CABECERA DE ANDEN. SEÑAL Y JUNTA DE "SALIDA"(S) A 6 m. DESPUES DE LA CABECERA DE ANDEN.
		JUNTA DE DESBLOQUEO DE LA ULTIMA SEÑAL INTERMEDIARIA (JDI) SE IMPLANTARA APROXIMADAMENTE A 90 m. DE LA CABECERA DE ANDEN. (ASIMISMO LAS JUNTAS DE DESBLOQUEO DE LAS SEÑALES IO Y 24 DE TERMINALES A 2 VIAS)
		JUNTA DE DESBLOQUEO DE LA SEÑAL Ep (JEp) SE IMPLANTARA APROXIMADAMENTE A 80 m. DE LA CABECERA DE ANDEN.
ANTE UNA PLACA DE LIMITE DE MANIOBRA (LM)	PUNTO DE PARO DEL TREN A 3 m. ANTES DE LA PLACA LM	CUANDO HAY UNA SEÑAL "I" PROXIMA, ESTA DEBERA SER IMPLANTADA A 11 m. DESPUES DE LA PLACA LM
EN ANDEN DE MANIOBRAS O SOBRE LA FOSA DE VISITA	TREN CENTRADO SOBRE EL ANDEN DE MANIOBRAS O SOBRE LA FOSA DE VISITA	SEÑALES DE MANIOBRAS UBICADAS A 3 m. DE LOS EXTREMOS DE LAS CABECERAS DE ANDEN Y FOSA
DENTRO DE LA ZONA DE NAVE DE DEPOSITO Y TALLERES	PUNTO DE PARO DEL TREN A 3 m. DE LA SEÑAL DE MANIOBRAS (VISIBILIDAD DE SEÑAL)	

4.4. Posición de trenes, señales y juntas en colas, naves de depósito y talleres.

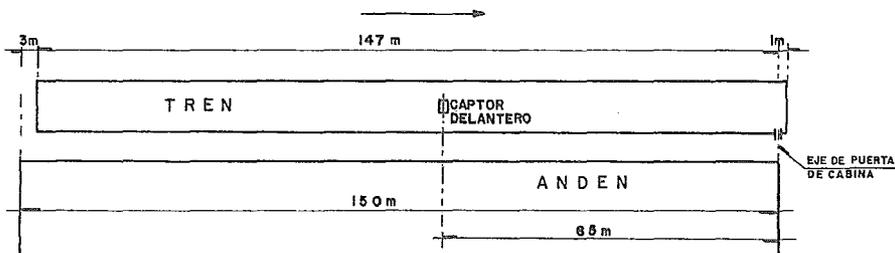
4.4.1. Esquema del tren del Metro de México.

a) Composición de un tren de tres elementos:

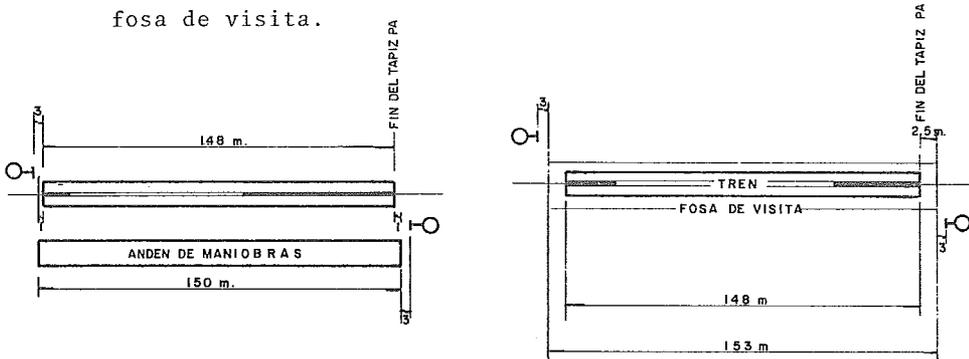
(M - R - N) - (N - R - N) - (N - R - M)



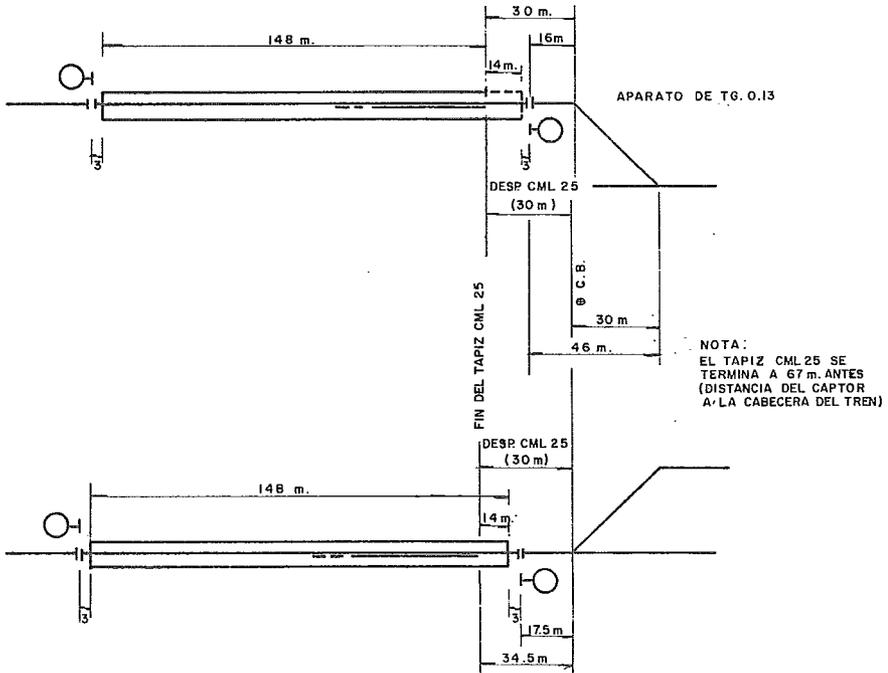
b) Punto de paro del tren en andén.



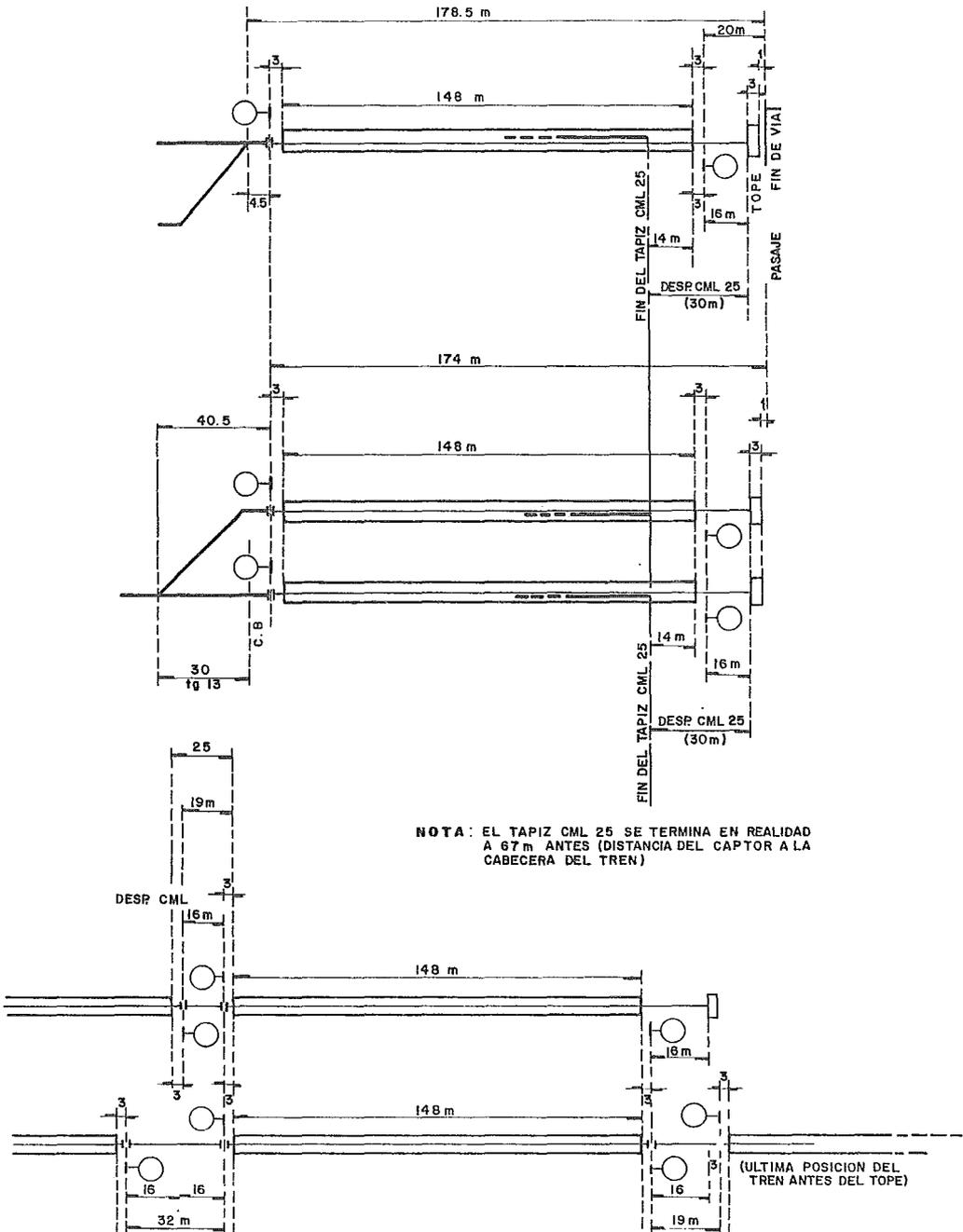
4.4.2. Posición del tren y de señales en andén de maniobra y fosa de visita.



4.4.3. Posición del tren y de señales ante un aparato de vía.



4.4.4. Posición de trenes y señales en la cola de una terminal.



**CAPITULO**  
**VI**

## C A P I T U L O VI

### G A L I B O S

#### 1. GENERALIDADES.

El proyecto de gálibos es el diseño geométrico de los espacios necesarios que se requieran para la libre circulación de un convoy, considerando todas sus instalaciones.

Teniendo el trazo y el perfil de la ruta, se determinó el tipo de solución constructiva, y además, con las características del material rodante y el sistema de vía, se diseñaron las secciones del tramo.

Para el metro de México actualmente existen cuatro tipos de secciones principales, definidas de la siguiente manera:

- a) Sección para solución elevada.
- b) Sección para solución superficial.
- c) Sección para solución subterránea.
- d) Sección para solución túnel.

El empleo de estas secciones depende de las características del suelo, de la disponibilidad de espacios para alojar la estructura, del problema vial y de los obstáculos por librar. De tal manera que para la línea 6 se aplicó la solución subterránea casi en su totalidad.

Para el diseño de los gálibos horizontales y verticales se presentaron restricciones generales con variantes de acuerdo a cada tipo de solución.

La solución subterránea es una estructura de concreto armado de sección rectangular construida a cielo abierto, desplantada a la menor profundidad posible. Las características del

cajón se determinaron de tal manera que la diferencia entre el peso del excavado y peso de la estructura construída fuera mínima.

La estructura subterránea quedó constituída por una losa de piso de concreto reforzado colada en sitio, sobre un lastre de concreto reforzado, denominados muros milán, que en la mayoría de los casos funcionaron como estructuras de construcción y por una losa de techo de concreto formada por elementos precolados y pretensados que evitaron el uso de cimbras.

Ahora bien, los factores que intervienen en el dimensionamiento interno del cajón son:

- A) Para el gálibo horizontal; la distancia mínima de seguridad con trenes en movimientos proporcionada por el gálibo dinámico, sistema de fijación de vía por utilizar, andadores para el personal de mantenimiento, características geométricas de las curvas, localización de aparatos de vía e instalaciones electromecánicas.
- B) Para el gálibo vertical; el proyecto de perfil del tramo, rejillas o en su caso galerías de ventilación, cárcamos, etc; también afectan el gálibo vertical las sobreelevaciones en zonas de curvas y las dimensiones estáticas y dinámicas del material rodante.

## 2. CARACTERISTICAS DEL MATERIAL RODANTE.

Cada convoy está integrado por nueve carros, de los cuales seis son motrices, (2 de estos motrices, son con cabina de conducción) y tres son remolques simplemente; uno de ellos cuenta con el captor de pilotaje automático.

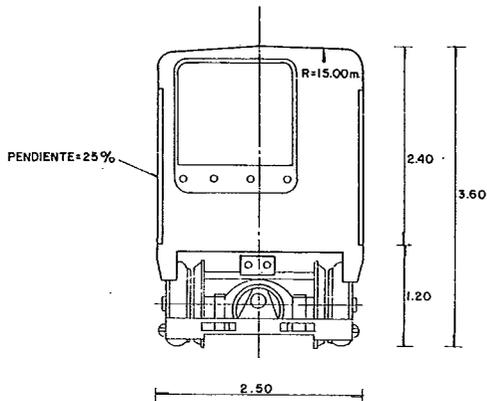
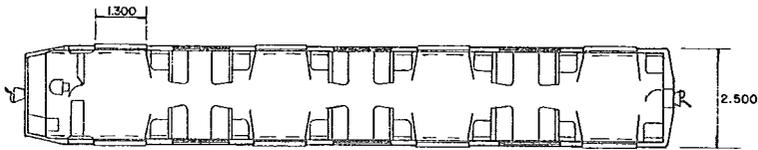
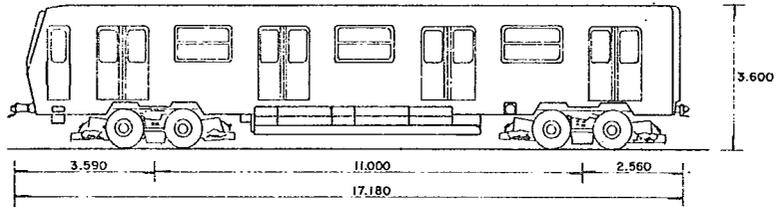
### FORMACION DE UN TREN



LONGITUD 147.62 m.

M = MOTRIZ CON CABINA, N = MOTRIZ SIN CABINA, R = REMOLQUE  
Y PR = REMOLQUE CON PILOTAJE AUTOMATICO.

- a) El largo total del tren de nueve carros es de 147.62 m; el carro motriz con cabina de conducción mide de largo 17.18m, el carro motriz sin cabina de conducción y el carro remolque tienen la misma longitud de 16.18m.
- b) El ancho de todos los carros es de 2.50m.
- c) Las puertas de los carros miden 1.87m de altura por 1.35m de ancho; cada carro tiene 4 puertas por lado. (total 8 puertas).
- d) La altura de la pista de rodamiento a la parte superior de los carros es de 3.60m y la altura del piso al techo del mismo es de 2.40m.
- e) El peso estático del tren (vacío) es de 225,850kg, a 4/4 de carga pesa 332,950 kg (70 kg de peso por pasajero), y a 5/4 de carga pesa 359,950 kg (212 pasajeros por carro). La capacidad



<b>U N A M</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
INGENIERIA CIVIL		<b>DIMENSIONES DE UN CARRO MOTRIZ CON CABINA DE CONDUCTOR</b>
TESIS PROFESIONAL		RUBEN A. OCHOA TORRES

de pasajeros del tren es de 1530 a 4/4 de carga.

f) La velocidad máxima es de 80 km/h y una velocidad promedio comercial de 35km/h.

#### CARACTERISTICAS DE LOS CARROS:

MOTRIZ "M". En una extremidad de la caja del carro está colocada la cabina de conducción. La caja reposa sobre dos carretillas equipadas cada una con dos motores de tracción (carretillas motoras - Boguie).

MOTRIZ "N". La caja no tiene cabina de conducción, reposa sobre dos carretillas motoras idénticas a las de las motrices "M". Bajo las cajas de las motrices (M o N) están instalados los equipos que aseguran el funcionamiento de los motores de tracción.

REMOLQUE. La caja es idéntica a la de la motriz N; ésta reposa sobre dos carretillas desprovistas de motores de tracción llamadas: "Carretillas portadoras". Bajo la caja de remolque están instalados:

- a) EL COMPRESOR: Que produce el aire comprimido que es utilizado para el frenado automático y para la apertura y cierre de las puertas.
- b) LAS BATERIAS: Que dan la corriente de baja tensión de 72 Volts para los circuitos de comandos y mandos del tren.
- c) EL GRUPO MOTOR GENERADOR: Que da la corriente alterna de 250 Volts, que es destinada principalmente al alumbrado propio de los carros y para

la alimentación de los rectificadores del tren. El compresor y el grupo motor generador trabajan con la corriente de 750 Volts proporcionada por la motriz "N" adyacente.

- d) CAPTOR DE PILOTAJE AUTOMATICO: Equipo de procesamiento de la señal del pilotaje automático (Únicamente el remolque del segundo grupo).

CARRETILLAS. Elementos comunes a las carretillas motoras y a las carretillas portadoras.

Una carretilla tiene dos ejes en cuyos extremos están fijadas dos llantas portadoras que están solidarias a dos ruedas de seguridad de acero.

Las llantas portadoras ruedan sobre las pistas metálicas. Las ruedas de seguridad rodarán sobre los rieles asegurando el rodamiento de las carretillas en caso de que alguna llanta portadora se desinflen, y sirven también para asegurar la guía de la carretilla en caso de que las ruedas de guía también se desinflen, o cuando las barras de guía son interrumpidas (aparatos de vía o en algunas vías secundarias). En vías principales, las ruedas de seguridad no están en contacto con los rieles de seguridad.

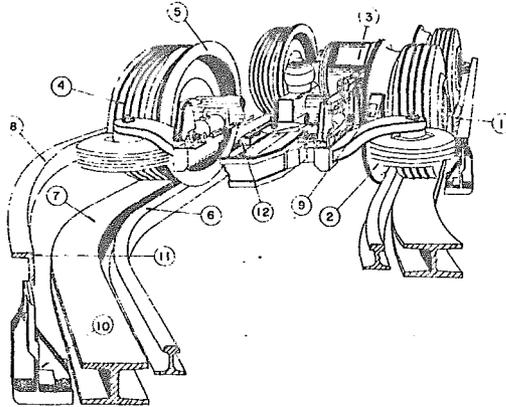
Las ruedas de guía son horizontales y están fijadas a los brazos de las extremidades del chasis de la carretilla; estas ruedas se apoyan en las barras de guía y así orientan a la carretilla sobre los ejes de la vía.

El frenado se asegura por cada rueda, por medio de zapatas de freno, (estas zapatas son de madera de haya blanca que es traída de Mozambique, Africa). La zapata hace presión sobre la banda de rodamiento de la rueda de seguridad, por medio de un juego de varillaje; este varillaje es accionado por un cilindro de freno que funciona por medio de aire comprimido.

Cada carretilla consta:

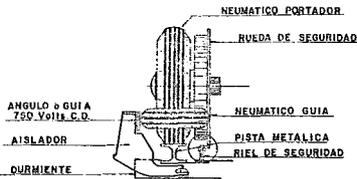
- 4 Cilindros de freno
- 8 Zapatas de freno
- 4 Ruedas de guía
- 4 Ruedas portadoras
- 4 Ruedas de seguridad.

# CARRETILLAS

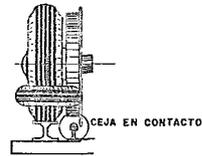


- 1) : ESCOBILLA POSITIVA
- 2) : NEUMATICO GUIA
- 3) : MOTOR ELECTRICO
- 4) : NEUMATICO PORTADOR
- 5) : RUEDA DE SEGURIDAD
- 6) : RIEL DE SEGURIDAD
- 7) : PISTA METALICA
- 8) : TAPETE DE PILOTAJE AUTOMATICO
- 9) : ZAPATA DE FRENO
- 10) : AISLADOR
- 11) : ANGULO GUIA DE CORRIENTE
- 12) : ESCOBILLA NEGATIVA

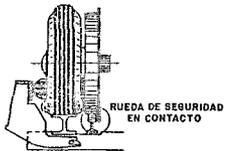
## DIFERENTES FUNCIONAMIENTOS DE LOS NEUMATICOS Y RUEDAS DE SEGURIDAD



POSICION EN TRAMO RECTO

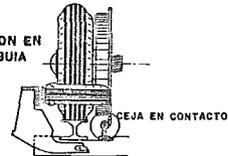


PASO POR UN CAMBIO DE VIA



PERDIDA DE PRESION EN UN NEUMATICO PORTADOR

PERDIDA DE PRESION EN UN NEUMATICO GUIA



<b>U N A M</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
INGENIERIA CIVIL	<b>CARACTERISTICAS DE RODAMIENTO</b>	
TESIS PROFESIONAL	RUBEN A. OCHOA TORRES	

### 3. SISTEMA DE VIA.

La vía como elemento base para la circulación del material rodante, está integrada por tres pares de perfiles metálicos que aseguran la sustentación y el guiado de los trenes.

Estos perfiles se colocan simétricamente respecto al eje de la vía con una trocha de 1.435m en tramos tangentes y curvas de radios mayores o iguales a 500m, y una trocha de 1.439m en curva de radios menores de 500m.

El conjunto de perfiles esta constituido por:

- A) UNA VIGUETA "H". Que funciona como pista de rodamiento para los neumáticos portadores y su cara superior representa el nivel de rasante del proyecto de perfil.
- B) UN RIEL "80 ASCE". Casi al mismo nivel de la pista de rodamiento, cuya función es operar como elemento de seguridad para el guiado o sustentación del tren en caso de pérdida de presión de los neumáticos portadores o los de guiado y en las maniobras de cambio de vía. En condiciones normales de operación, la rueda de seguridad no toca el riel de seguridad; este elemento va colocado a 2mm por debajo del nivel de la rasante. A través de estos rieles por medio de escobillas, se realiza el retorno de corriente.
- C) UN ANGULO DE ACERO. (Barra guía) Colocado a 0.50m hacia el lado exterior del paño interior del riel de seguridad y a 0.256m arriba del nivel de rasante y sujeto a aisladores de fibra de vidrio. Tiene como función guiar al tren y conducir el paso de corriente directa (750 Volts) que será tomada por los carros por medio de escobillas.

#### 4. GALIBO HORIZONTAL.

El gálibo horizontal es la distancia que se necesita entre muros laterales; esta distancia se determina en función de la dimensión del tren, la entrevía, el trazo del tramo, andadores, etc.

En la totalidad del tramo Vallejo - I. M. P. se presenta vía doble, la distancia entre los dos ejes de vía es 2.90m. En la cabecera oriente de la estación I. M. P. se tiene un aparato de comunicación de tangente 0.13 con entrevía de 2.90m, para la maniobra "O", por ser estación terminal.

Se analizará el gálibo horizontal mínimo para tramos tangente y curva.

##### 4.1 GALIBO HORIZONTAL EN TRAMO TANGENTE.

(Vía doble y entrevía de 2.90m).

Escantillón	=	1.435
Entrevía	=	2.900
Dos banquetas de 0.60m	=	1.200
Distancia del paño interior del riel al punto más alejado del aislador (0.6792x2)	=	<u>1.359</u>
		6.894m $\approx$ 6.90m.

De este análisis se deduce que la distancia del eje de vía al muro es de 2.0m, cuando el tramo sea construido con muro "Milán" estructural con acompañamiento; cuando se tenga tramo con muro "Milán" estructural secillo, debido a las imperfecciones del colado, esta distancia será de 2.15m; si el muro se desplanta a más de 9.00m de profundidad, la distancia será de 2.20m.

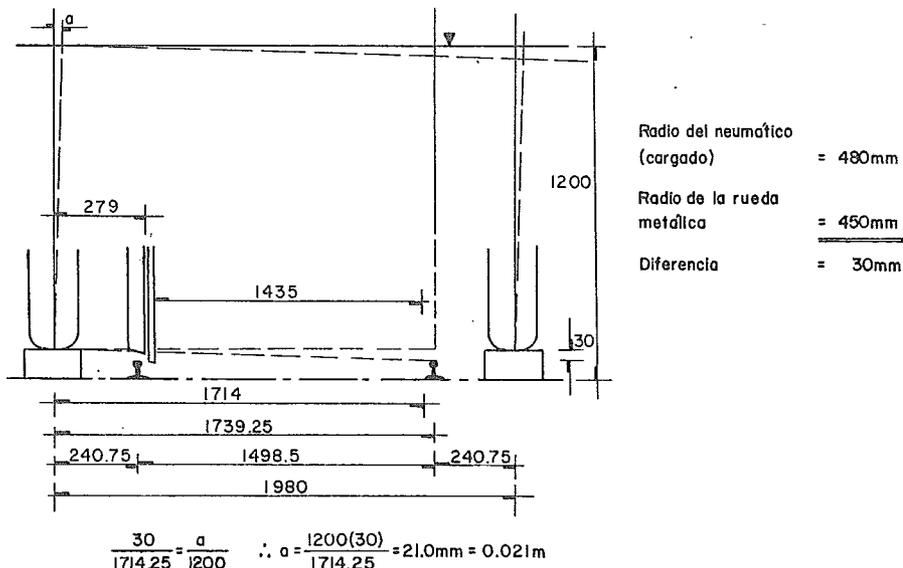
También se puede observar que la separación mínima entre carros, ubicados respectivamente sobre vía N° 1 y vía N° 2, es de 0.40m.

#### 4.2. GALIBO HORIZONTAL EN CURVA (Vía doble).

El gálibo horizontal para curvas con radios mayores a 500.0 m, se considerará igual que para los tramos tangente. Para las curvas de radio igual o menor a 500.0m, la distancia entre los ejes de vía y el gálibo horizontal, se ampliarán para permitir la libre inscripción del material rodante.

Se analizará el gálibo horizontal para una curva de radio de 150.0m con clotoides de transición, ya que este radio es el mínimo permisible en tramo interestación en vías principales.

##### A) DESPLAZAMIENTO DEBIDO A LA PONCHADURA DE UN NEUMATICO.

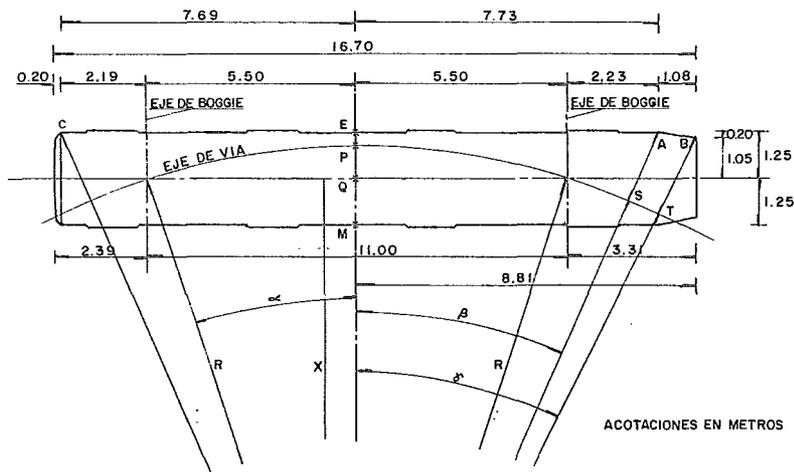


B) DESPLAZAMIENTO POR BALANCEO DE LA SUSPENSION.

Determinado empíricamente  $b = 0.010\text{m}$ .

C) DESPLAZAMIENTO DEL CARRO HACIA ADENTRO DE LA CURVA.

El desplazamiento de un carro hacia adentro de una curva circular con clotoides de transición, se presenta a la mitad de los ejes de boggie y a todo lo largo del tramo de la curva circular. Analizaremos un carro motriz con cabina de conducción, por ser el de mayor longitud. La distancia entre ejes de boggie es la misma para los tres tipos de carro.



$$\text{Sen } \alpha = \frac{5.500}{R} \quad \text{_____} \quad (1)$$

$$X = R \text{ Cos } \alpha \quad \text{_____} \quad (2)$$

$$\overline{PM} = \overline{PQ} + 1.250$$

$$\overline{PQ} = R - X$$

$$\overline{PQ} = R - R \text{ Cos } \alpha = R (1 - \text{Cos } \alpha)$$

$$\overline{PM} = R (1 - \text{Cos } \alpha) + 1.250 \quad \text{_____} \quad (3)$$

Para un radio de eje de trazo de 150.0m, tendremos para la vía interior el siguiente radio:

$$RI = 150.0 - (*3.06 - 1.45) \quad (*\text{Entrevía máxima en la curva})$$

$$\underline{RI = 148.390\text{m}}$$

Sustituyendo en (1) tenemos:

$$\text{Sen } \alpha = \frac{5.500}{148.390} = 0.037064492$$

$$\therefore \alpha = 2^{\circ}07' 26.85'' \text{ y } \text{Cos } \alpha = 0.999312876$$

Sustituyendo valores en (2) tenemos:

$$X = R \text{ Cos } \alpha = 148.390 (0.999312876) = 148.2880376$$

$$\boxed{X = 148.288\text{m}}$$

De (3) tenemos:

$$\begin{aligned} \overline{PM} &= R (1 - \text{Cos } \alpha) + 1.250 = 148.390 (1 - 0.999312876) + 1.250 \\ &= 1.3519623690 \end{aligned}$$

$$\boxed{\overline{PM} = 1.352\text{m}} \quad (\text{Desplazamiento hacia adentro de la curva para la vía interior}).$$

Para la vía exterior tendremos el siguiente radio:

$$RE = 150.000 + 1.45 = 151.450$$

$$\underline{RE = 151.450m.}$$

De la ecuación (1) tenemos:

$$\text{Sen } \alpha = \frac{5.500}{151.450} = 0.036315616$$

$$\therefore \alpha = 2^{\circ}04' 52.28'' \text{ y } \text{Cos } \alpha = 0.999340371$$

Sustituyendo valores en (2) tenemos:

$$X = R \text{Cos } \alpha = 151.45 (0.999340371) = 151.3500991$$

$$\boxed{X = 151.350m}$$

de (3) tenemos:

$$\begin{aligned} \overline{PM} &= R (1 - \text{Cos } \alpha) + 1.250 = 151.450 (1 - 0.999340371) + 1.250 \\ &= 1.349900888. \end{aligned}$$

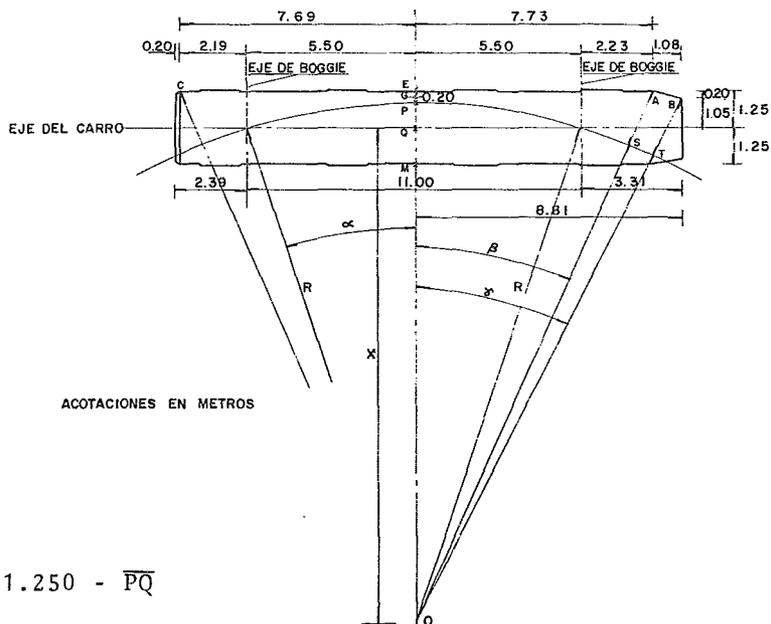
$$\boxed{\overline{PM} = 1.350m} \text{ (Desplazamiento hacia adentro de la curva para la vía exterior).}$$

#### D) DESPLAZAMIENTO DEL CARRO HACIA AFUERA DE LA CURVA.

Tomemos en cuenta que la distancia de la mitad de ejes de boggie al extremo posterior del carro, es menor que la distancia a la cabina, por lo tanto el desplazamiento hacia afuera de la curva será mayor en esta última y a lo largo de la curva circular.

A continuación se estudiará el desplazamiento de los puntos A y B para determinar cual es el más crítico.

Desplazamiento del punto A:



$$\overline{PE} = 1.250 - \overline{PQ}$$

$$\overline{PQ} = R - X$$

Sustituyendó tenemos:

$$\overline{PE} = 1.250 - R + X$$

$$R + \overline{PE} = 1.250 + X$$

$$\tan \phi = \frac{7.730}{R + \overline{PE}} = \frac{7.730}{1.250 + X}$$

$$\therefore \phi = \text{ang tan } \frac{7.730}{1.250 + X} \quad (4)$$

$$\text{Sen } \phi = \frac{7.730}{R + \overline{SA}}$$

$$\overline{SA} = \frac{7.730}{\text{Sen } \phi} - R \quad (5)$$

Para la vía interior tenemos:  $RI = 148.390$  y  $X = 148.2880376$ , sustituyendo en (4).

$$\beta = \text{ang tan } \frac{7.730}{1.250 + 148.2880376} = \text{ang tan } 0.051692533$$

$$\beta = 2^{\circ}57' 32.87'' \text{ y Sen } \beta = 0.051623607$$

Sustituyendo en (5)

$$\overline{SA} = \frac{7.730}{0.051623607} - 148.390 = 1.347696000$$

$$\boxed{\overline{SA} = 1.348 \text{ m}}$$

(Desplazamiento hacia afuera de la curva para la vía interior).

Para la vía exterior tenemos:  $RE = 151.450$  y  $X = 151.3500991$  sustituyendo en (4).

$$\beta = \text{ang tan } \frac{7.730}{1.250 + 151.3500991} = \text{ang tan } 0.050655275$$

$$\beta = 2^{\circ}53' 59.48'' \text{ y sen } \beta = 0.050590410, \text{ Sustituyendo en (5).}$$

$$\overline{SA} = \frac{7.730}{0.050590410} - 151.450 = 1.345756300$$

$$\boxed{\overline{SA} = 1.346 \text{ m}}$$

(Desplazamiento hacia afuera de la curva para la vía exterior)

Desplazamiento del punto B:

$$\overline{PG} = \overline{PE} - 0.20$$

$$\overline{PE} = 1.250 - \overline{PQ}$$

Sustituyendo tenemos:

$$\overline{PG} = 1.250 - \overline{PQ} - 0.20$$

$$\overline{PG} = 1.050 - \overline{PQ}$$

Tenemos que  $\overline{PQ} = R - X$

$$\therefore \overline{PG} = 1.050 - R + X$$

$$\overline{PG} + R = 1.050 + X$$

$$\tan \delta = \frac{8.810}{\overline{PG} + R} = \frac{8.810}{1.050 + X}$$

$$\delta = \text{ang tan } \frac{8.810}{1.050 + X} \text{ (6)}$$

$$\text{Sen } \delta = \frac{8.810}{R + \overline{TB}}$$

$$\overline{TB} = \frac{8.810}{\text{sen } \delta} = R \text{ (7)}$$

Para la vía interior tenemos:  $RI = 148.390$  y  $X = 148.2880376$   
sustituyendo en (6)

$$\delta = \text{ang tan } \frac{8.810}{1.050 + 148.2880376} \text{ ang tan } 0.058993677$$

$$\delta = 3^{\circ}22' 34.23'' \text{ y } \text{sen } \delta = 0.058891288$$

sustituyendo en (7)

$$\overline{TB} = \frac{8.810}{0.058891288} - 148.390 = 1.207679100$$

$\overline{TB} = 1.208 \text{ M}$  (Desplazamiento hacia afuera de la curva  
para la vía interior)

$\overline{TB} < \overline{SA}$   $\therefore$  se considera el punto más crítico en "A"

Para la vía exterior tenemos: RE = 151.450 y X = 151.3500991  
sustituyendo en (6).

$$\gamma = \text{ang tan} = \frac{8.810}{1.050 + 151.3500991} = \text{ang tan } 0.057808361$$

$$\gamma = 3^{\circ}18' 30.57'' \text{ y } \text{sen } \gamma = 0.057712011$$

Sustituyendo en (7)

$$\overline{TB} = \frac{8.810}{0.057712011} - 151.450 = 1.204532600$$

$\overline{TB} = 1.205\text{m}$  (Desplazamiento hacia afuera de la curva  
para la vía exterior).

$\overline{TB} < \overline{SA}$  . . se considera también el punto más crítico  
en "A".

E) DISTANCIA ENTRE EJES DE VIA.

Carro interior:

Desplazamiento hacia afuera de la curva  
para la vía interior \_\_\_\_\_  $\overline{SA} = 1.348\text{m}$

Desplazamiento por balanceo de la suspen-  
sión \_\_\_\_\_ b = 0.010m

Desplazamiento debido a la ponchadura de un  
neumático \_\_\_\_\_ a =  $\frac{0.021\text{m}}{1.379\text{m}}$

Desplazamiento hacia afuera del carro  
interior \_\_\_\_\_ = 1.379m

Carro exterior:

Desplazamiento hacia adentro de la curva  
para la vía exterior \_\_\_\_\_  $\overline{PM}$  = 1.350m

Desplazamiento por balanceo de la suspen-  
sión \_\_\_\_\_ b = 0.010m

Desplazamiento debido a la ponchadura de  
un neumático \_\_\_\_\_ a = 0.021m

Desplazamiento hacia adentro del carro  
exterior \_\_\_\_\_ = 1.381m

Entrevía teórica:

Desplazamiento hacia afuera del carro  
interior \_\_\_\_\_ = 1.379m

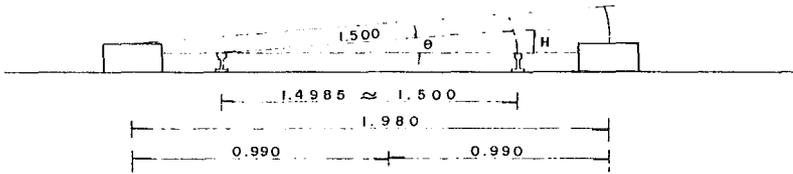
Desplazamiento hacia adentro del carro  
exterior \_\_\_\_\_ = 1.381m

Separación entre carros (lámina de aire) = 0.300m

ET = 3.060m
-------------

Considerando la sobreelevación, la traza del eje verti-  
cal de la vía exterior se proyecta a una distancia "c"

Sobreelevación máxima permisible por confort H = 0.160m



$$\text{Sen } \theta = \frac{H}{1.500} = \frac{0.160}{1.500} = 0.106667$$

$$\theta = 6^{\circ}07'23.52'' \text{ (Angulo de giro del carro)}$$

$$\text{Cos } \theta = 0.994295$$

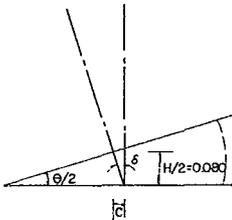
Para vía exterior tenemos:

$$\delta = \frac{\theta}{2} = \frac{6^{\circ}07'23.52''}{2} = 3^{\circ}03'41.76''$$

$$\text{Tan } \delta = 0.053486$$

$$c = H/2(\text{Tan } \delta) = 0.080 \text{ (0.053486)}$$

$$c = 0.004279 \text{ m}$$



En resumen, tenemos que la distancia entre ejes de vía será:

$$\text{DEV} = \text{ET} - c = 3.060 - 0.004279 = 3.055721 \quad 3.060 \text{ (redondeado)}$$

$$\underline{\underline{\text{DEV} = 3.060 \text{ m (Distancia entre ejes de vía)}}}$$

#### F) DISTANCIA DE LA VIA EXTERIOR DEL MURO.

Desplazamiento hacia afuera de la curva.

$$\text{Para la vía exterior } \overline{\text{SA}} = 1.346 \text{ m}$$

Proyección del desplazamiento ( $\overline{\text{SA}}$ ) debido a la sobreelevación:

$$\begin{aligned} \overline{SA} \times \cos \theta &= 1.346 \times 0.994295 = 1.338 \text{ 211 m (proyección)} \\ &+ \underline{0.600 \text{ 000 m (Banqueta)}} \\ &\underline{1.938 \text{ 211}} \approx 2.00\text{m} \end{aligned}$$

Se dejarán 2.00m, por facilidad de construcción.

$$\underline{\underline{VEM = 2.00 \text{ m (Distancia de la vía exterior al muro)}}$$

G) DISTANCIA DE LA VIA INTERIOR AL MURO.

Considerando el ángulo debido a la sobreelevación, tendremos:

Proyección del desplazamiento hacia adentro  
de la curva para el carro interior:

$$\overline{PM} \times \cos \theta = 1.352 \times 0.994295 \underline{\hspace{2cm}} = 1.344 \text{ m}$$

Proyección de la rasante a piso del carro:

$$1.200 \times \sin \theta = 1.200 \times 0.106 \text{ 667 } \underline{\hspace{2cm}} = 0.128 \text{ m}$$

Proyección de piso de techo del carro con-  
siderando la pendiente natural del carro  
de 2.5%:

$$2.400 \left( \frac{H}{1.500} - 0.025 \right) =$$

$$2.400 \left( \frac{0.160}{1.500} - 0.025 \right) \underline{\hspace{2cm}} = 0.196 \text{ m}$$

$$\text{Desplazamiento por balanceo de la suspen-} \\ \text{sión (b) } \underline{\hspace{2cm}} = 0.010 \text{ m}$$

$$\text{Desplazamiento por ponchadura de un neumá-} \\ \text{tico (a) } \underline{\hspace{2cm}} = 0.021 \text{ m}$$

$$\text{Banqueta: } \underline{\hspace{2cm}} = \underline{0.600 \text{ m}} \\ \underline{2.299} \approx 2.300 \text{ m}$$

VIM = 2.300m (Distancia de la vía interior del muro).

H) GALIBO TOTAL.

Tomando como base las consideraciones anteriores tendremos:

Distancia de la vía interior al muro (VIM) = 2.300m

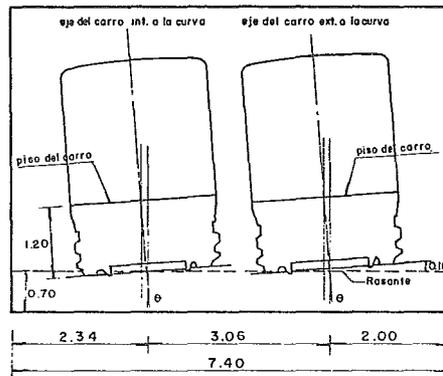
Distancia de la vía exterior al muro (VEM) = 2.000m

Distancia entre ejes de vía (DEV) =  $\frac{3.060m}{7.360m} \approx 7.400m$

**GT = 7.400m (Gálibo total)**

Para facilidad de construcción se deja un gálibo de 7.400m, cumpliendo la distancia del eje de vía interior al muro a 2.34m.

Este gálibo será considerado en todas las curvas con radios menores o iguales a 500m.



## 5. GALIBO VERTICAL.

Llamamos gálibo vertical al espacio vertical necesario que se requiere para la libre circulación del convoy, su dimensionamiento dependió fundamentalmente del tipo de sección estructural, de las características del trazo, perfil y las rejillas de ventilación utilizadas en el tramo. También afectaron el gálibo vertical las sobreelevaciones en zona de curvas y las dimensiones estáticas y dinámicas del material rodante.

### 5.1. GALIBO VERTICAL EN TRAMO TANGENTE.

Holgura del techo del carro a intrados_____	0.50m
Altura del carro _____	3.60m
Espesor de riel y durmiente _____	0.30m
Espesor de balasto _____	<u>0.40m</u>
	4.80m

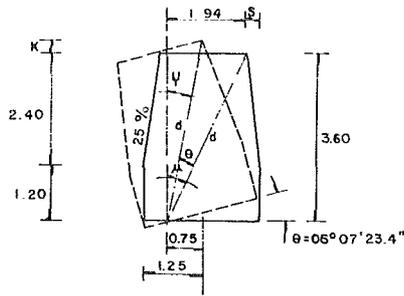
El gálibo necesario para tramo tangente será de 4.80m, pero debido a las diferencias en los desplantes de la estructura se aumentó a 4.90m.

### 5.2. GALIBO VERTICAL EN TRAMO DE CURVA HORIZONTAL.

Cuando se tengan curvas horizontales con radios mayores a 500m, el gálibo vertical será considerado igual que en tramo tangente (4.90m).

Para curvas con radio menor o igual a 500m, se tendrán las siguientes consideraciones:

La sobreelevación máxima permisible será de 160mm.



$$\frac{S}{2.40} = 0.025 \quad S = 0.025 (2.40) = 0.060 \text{ m.}$$

$$1.250 - 0.060 = 1.190\text{m}$$

$$1.190 + 0.75 = 1.940\text{m}$$

$$\text{Tan } \mu = \frac{1.940}{3.600} = 0.538889$$

$$\mu = 28^{\circ}19'11.04''$$

$$-\theta = \underline{6^{\circ}07'23.52''}$$

$$\Upsilon = 22^{\circ}11'47.52'' ; \text{Cos } \Upsilon = 0.925893$$

$$\text{Sen } \Upsilon = \frac{1.940}{d} \quad d = \frac{1.940}{\text{Sen } \mu} = \frac{1.940}{0.474391} = 4.089 \text{ 450}$$

$$\text{Cos } \Upsilon = \frac{X}{d} \quad X = \text{cos } \Upsilon \cdot d = (0.925893) (4.089450) = 3.786\text{m}$$

$$\underline{K = X - 3.60 = 3.786 - 3.60 = 0.186 \text{ m.}}$$

Para dar una mayor seguridad se consideró K = 25 cm

Por lo tanto para curvas horizontales con radio menor o igual a 500m, el gálibo vertical se aumentará en 25 cm, o sea 5.15 m.

### 5.3. GALIBOS VERTICALES PARA SECCION SUBTERRANEA.

Las dimensiones del gálibo vertical para sección subterránea estan dadas entre el nivel de la subrasante e in-

trados de la losa superior.

<u>T R A M O</u>	<u>GALIBO VERTICAL</u>
Zona de estación _____	5.05m
Tangente _____	4.90m
Curvas horizontales, $R > 500m$ _____	4.90m
Curvas horizontales, $R \leq 500m$ _____	5.15m
Tangente en zona de rejilla de ven- tilación _____	4.90m + $\frac{1}{2}$ ancho de rejilla.
Curva horizontal en zona de rejilla de ventilación _____	5.15m + $\frac{1}{2}$ ancho de rejilla.

## 6. SECCIONES.

Para el diseño de las secciones del tramo Vallejo - I.M.P., las restricciones principales estuvieron dadas por los análisis anteriores de gálibos horizontales y verticales y otras generales que a continuación se describen:

- 1) En curvas de radio mayor a 500m, la dimensión del gálibo se consideró igual que en tramo tangente.
- 2) En las curvas de radio menor o igual a 500m, el gálibo vertical se incrementó 25 cm y en el gálibo horizontal 50cm hacia la parte interior de la curva.
- 3) Uno de los factores que determinaron la dimensión del gálibo horizontal de la sección fueron las entrevías, siendo las más importantes las siguientes:

Para tramos tangentes, entrevía de 2.90 m.

En zona de curva, entrevía variable según el radio.

En zona de aparatos de enlace, entrevía de 3.15 en vías principales.

- 4) Otro de los factores que influyeron en la dimensión de las secciones fué la distancia mínima entre ejes de vía y los muros de la sección estructural. Teniéndose para cada caso diferentes necesidades de espacio, por lo que se determinaron las siguientes dimensiones:

2.000 m, para sección con milán de acompañamiento.

2.150 m, para sección de milán estructural.

- 5) En "colas definitivas", se consideraron andenes de maniobras con ancho de 80 cm, altura de 1.10 m desde la rasante y la longitud de 150 m. Para "colas provisionales" se consideraron solamente banquetas.

6) Para aquellas colas en que se requirieron "fosas de visita", se utilizaron entrevías de 4.20 m y una distancia mínima de 2.50 m entre el eje de la fosa y el paño interior del muro.

7) Otros elementos que determinaron el gálibo horizontal son los que a continuación se mencionan.

Bayonetas para cambio de entrevía.

Espuelas de comunicación con otra línea.

Naves de depósito en terminales.

Zona de talleres (pequeña y gran revisión).

Nichos para instalaciones electromecánicas.

Nichos de seguridad.

Estaciones.

Siendo las estaciones Vallejo e I. M. P. de la línea N° 6 de dos andenes con dos vías centrales, el tramo entre estaciones se planteó mediante secciones estructurales que dieron cabida a las instalaciones electromecánicas y previendo además dejar andadores laterales de 0.60 m mínimo. Las secciones que se utilizaron en el tramo quedaron distribuidas como se representa en el plano de gálibos (anexo).

## 7. NICHOS.

Se define como nicho a una cabida o espacio limitado que se ubica a las orillas del cajón del Metro para diferentes finalidades.

Los nichos se pueden clasificar en tres grupos: Nichos de seguridad, nichos de aparatos de vía y nichos especiales.

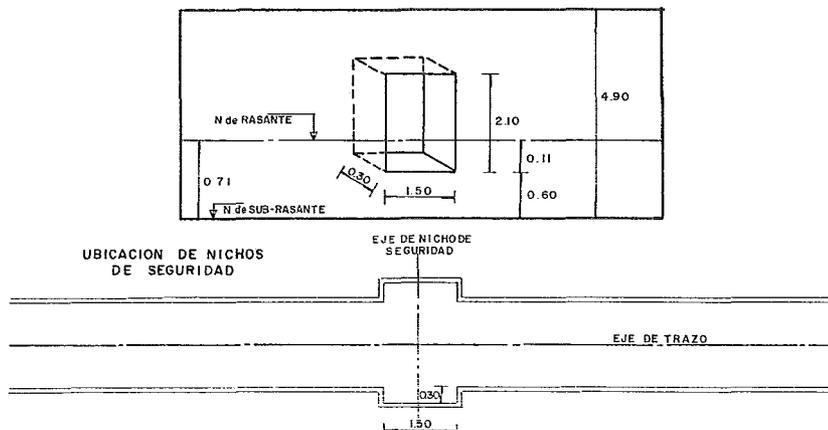
### 7.1. Nichos de seguridad.

Los nichos de seguridad, como su nombre lo dice, sirven para dar protección al personal de operación y mantenimiento de la línea; las dimensiones de éstos es de 150 m de longitud por 0.30 m de profundidad en el muro y 2.10 m de altura.

Los nichos se ubican a cada 50 m en tramo tangente, a cada 25 m en curvas horizontales con radios menores o iguales a 500 m y a cada 50 m en curvas horizontales con radios mayores a 500 m.

Los nichos de seguridad siempre se ubicarán en ambos lados del cajón.

DIMENSIONES DE NICHOS DE SEGURIDAD  
EN TRAMO SUBTERRANEO



### 7.2. Nichos de aparato.

Los nichos de aparato sirven para alojar el motor de los aparatos de cambio de la vía y su localización depende precisamente de la ubicación del aparato.

Las dimensiones de los nichos y la ubicación de los motores dependerá de las características del tramo (Elevado, superficial, subterráneo o túnel) y de la ubicación geográfica del aparato de vía.

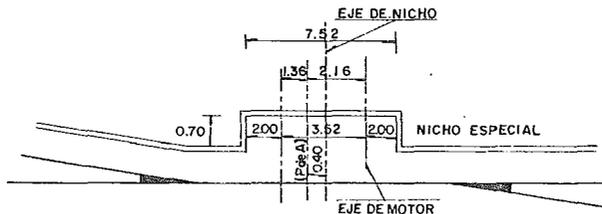
A continuación se anexa croquis y características para todos los casos que se puedan presentar.

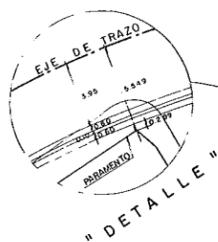
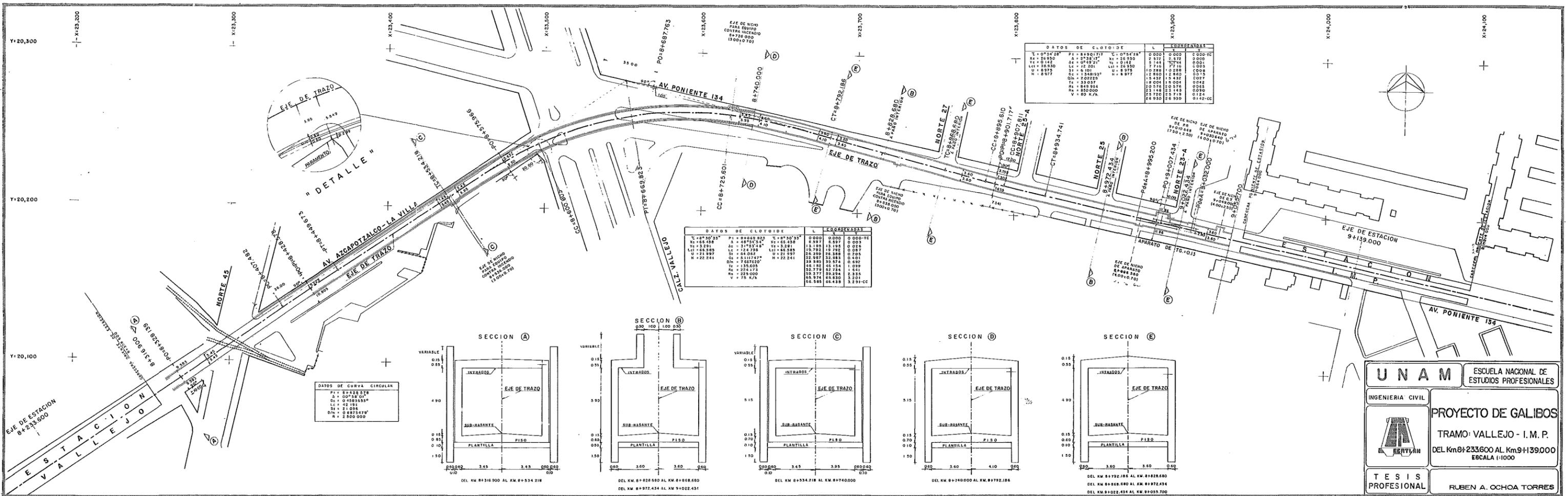
### 7.3. Nichos especiales.

Estos nichos están destinados para ubicar instalaciones electromecánicas como seccionadores, puestos de rectificación eléctrica, interruptores, visitadores, etc., su localización y dimensiones dependen de los estudios correspondientes de cada especialidad.

NICHOS DE MOTOR DE APARATO TANG.O.13

LINEA	EN SUPERFICIE Y ELEVADA			EN TUNEL	
	POSICION DEL MOTOR % VIA	PEGADO A LA VIA			LEJANO A LA VIA
% APARATO	DISTANCIA	DIMENSIONES DE NICHOS		DISTANCIA	DIMENSION
	PdeA-EJE DENICHO	MURO A 1.80	MURO A 2.50	PdeA-EJE DENICHO	NICHO
A LA DERECHA (d)	2.295	SIN CHAROLAS 1.15 x 4.00	5 x 0.70	1.36	4 x 0.70
A LA IZQUIERDA (I)	1.305	SIN CHAROLAS 1.15 x 4.00	5 x 0.70	2.16	4 x 0.70

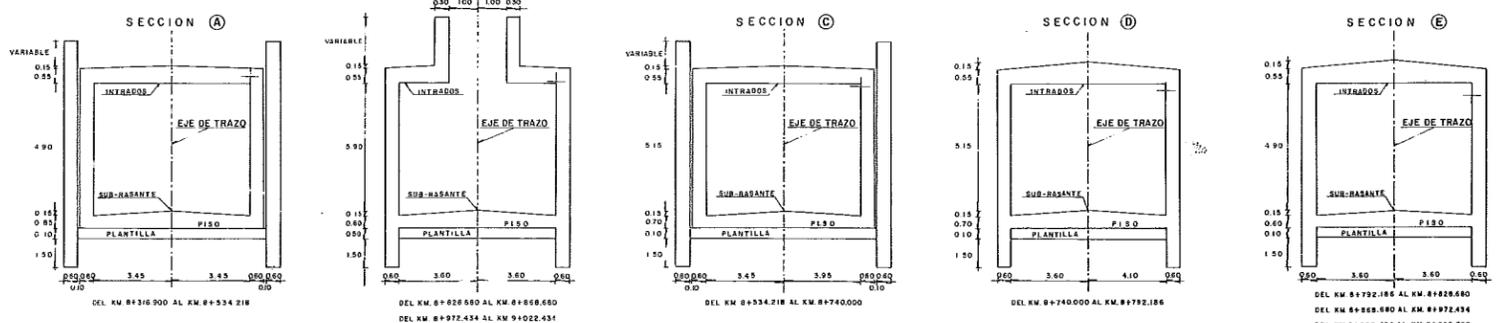




DATOS DE CLOTIDE		COORDENADAS	
L	0.000	X	0.000
Y	0.000	Y	0.000
Xc	0.000	Xc	0.000
Yc	0.000	Yc	0.000
Lc	0.000	Lc	0.000
H	0.000	H	0.000
R	0.000	R	0.000
V	0.000	V	0.000

DATOS DE CLOTIDE		COORDENADAS	
L	0.000	X	0.000
Y	0.000	Y	0.000
Xc	0.000	Xc	0.000
Yc	0.000	Yc	0.000
Lc	0.000	Lc	0.000
H	0.000	H	0.000
R	0.000	R	0.000
V	0.000	V	0.000

DATOS DE CURVA CIRCULAR	
Pi	8+428.078
A	0°52'01"
Gc	0.4583653°
Lc	42.781
Si	1.036
Ur	0.882479°
R	2.900.000



**UNAM** ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

INGENIERIA CIVIL

**PROYECTO DE GALIBOS**

TRAMO: VALLEJO - I. M. P.

DEL Km. 8+233.600 AL Km. 9+139.000

EBCALA 1:1000

TESIS PROFESIONAL

RUBEN A. OCHOA TORRES

**CAPITULO**  

---

**VII**

## C A P I T U L O V I I

### V E N T I L A C I O N .

#### 1. INTRODUCCION.

Uno de los graves problemas a los que actualmente se enfrenta el personal encargado de la buena operación del sistema de transporte colectivo (S T C ) "Metro", es sin duda el relativo a las altas temperaturas que el usuario tiene que soportar, tanto en los vagones como en las estaciones.

Estas altas temperaturas, sumadas a algunos otros factores, repercuten directamente y de manera importante en el bajo confort que en la actualidad el sistema ofrece a los usuarios.

La diferencia entre las temperaturas de las estaciones del Metro de la ciudad de México y la temperatura ambiente exterior con relación a las que se tenían en 1970, han sufrido un incremento gradual a lo largo del tiempo, originado básicamente por el aumento del número de usuarios y la necesaria disminución del intervalo entre trenes, los que generan una gran cantidad de calor, en su mayor parte proveniente del frenado reostático. Este aumento de la temperatura ha ocasionado, desde luego, condiciones ambientales aún más desfavorables para los usuarios, sobre todo en verano.

El presente capítulo describe una revisión detallada del diseño y forma de operación del sistema de ventilación en las líneas actualmente en servicio, llevándose a cabo mediciones de temperatura, humedad relativa, velocidades del aire en las estaciones subterráneas y en las rejillas de ventilación, tanto en las estaciones como en las interestaciones de las líneas uno y dos; además se revisaron los criterios, condiciones y restricciones en las que se basó el diseño de las

instalaciones actualmente en servicio, tomando en cuenta la experiencia acumulada por el S T C durante más de 10 años de operación.

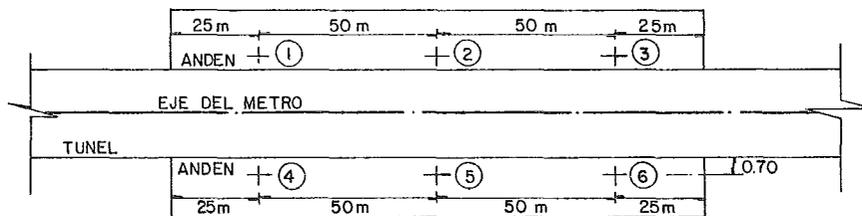
Como resultado del análisis y estudio de la información anterior, incluyendo los registros y experiencias del Metro y documentos originados en otros Metros del mundo, este capítulo concluye con una serie de recomendaciones preliminares, tendientes a mejorar el confort para los usuarios, compatibles con los proyectos geométricos, arquitectónicos y estructurales adoptados.

## 2. PROCEDIMIENTO DE MEDICION.

### 2.1. Estaciones.

Las mediciones fueron practicadas en las estaciones subterráneas de las líneas uno y dos, en horas de operación y durante el mes de octubre de 1979.

Las mediciones de temperatura y humedad en los andenes se realizaron a una altura de 1.50 m sobre el nivel del piso y a 0.70 m de la nariz de andén, tomando tres lecturas en cada uno, por corresponder sensiblemente esta zona a la de mayor calor en el andén (ver figura). Se utilizaron psicrómetros de onda marca Taylor.

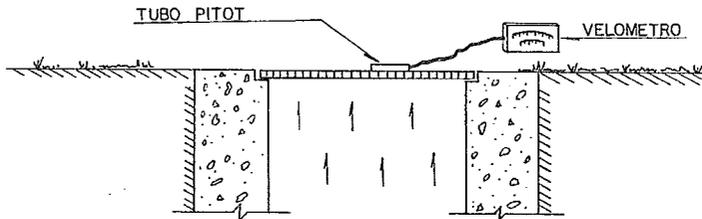


Las mediciones de velocidad del aire en las estaciones se tomaron en accesos, vestíbulos y andenes a 1.50 m sobre el nivel del piso y en la rejilla principal de succión, a una distancia de 0.05 m en puntos distribuidos de acuerdo a las áreas de las propias rejillas. Para estas mediciones, en simultaneidad con las de temperatura, se empleó un termómetro marca Wallac, cuyo elemento sensor es una resistencia eléctrica con respuesta rápida.

## 2.2. Interestaciones.

Las mediciones en las rejillas de las interestaciones se efectuaron con un velómetro marca Alnor con rango de 0 a 12.5 m/seg. y psicrómetros de onda marca Taylor.

Para las lecturas de velocidad de aire de entrada y salida se colocó el tubo de Pitot, tangente a la parte superior de la rejilla, tal como se ilustra en la figura.



Nota. El tiempo durante el cual se establecen corrientes de aire al paso del tren, es en promedio de ocho segundos. Cuando no hay trenes circulando, la velocidad del aire en las rejillas es prácticamente igual a cero (ver gráfica N<sup>o</sup> 1).

### 3. MEDICIONES EN ESTACIONES.

El resumen de los resultados de las mediciones practicadas en los andenes de las estaciones de las líneas uno y dos, se consignan en las tablas siguientes.

#### Observaciones sobre las mediciones practicadas.

Se constató que las temperaturas más críticas se presentan entre las 17:00 y 20:00 horas; ésto se debe a que en este lapso de tiene una de las máximas afluencias de pasajeros, con la mayor frecuencia de trenes y el almacenamiento de una parte del calor generado durante el día, en los muros de las estaciones y del túnel.

Se detectó que en general, la temperatura en las estaciones sube 1°C cuando llega un tren, mientras que cuando llegan los dos trenes se eleva 2°C, lo que tiene su origen básicamente en el calor disipado por las resistencias de frenado.

En los andenes, la velocidad del aire cuando llega un tren es del orden de 2.8 m/seg , mientras que cuando se presentan dos simultáneamente es de 5.0 m/seg, por lo que la temperatura aparente durante este lapso para los usuarios, es de unos 6 a 7°C abajo de lo real.

La temperatura máxima registrada en las subestaciones de alumbrado y fuerza fué de 40°C, mientras que en locales técnicos de 36°C, el promedio resultó de 35°C y 30°C respectivamente. La temperatura en ambos locales aumenta durante el día en 1°C aproximadamente. En los proyectos de las actuales ampliaciones, estos locales están provistos de ventilación forzada, con la que su temperatura será menor, mejorando la eficiencia de los equipos.

**RESUMEN DE LAS MEDICIONES PRACTICADAS EN LOS ANDENES DE ESTACIONES  
SUBTERRANEAS DEL METRO DE LA CIUDAD DE MEXICO LINEA-I**

ESTACION	LINEA	TEMP. AMBIENTE EXTERIOR MAX. °C	TEMP. INTERIOR MAXIMA °C	HUMEDAD RELATIVA MAXIMA INT. %	VELOCIDAD DEL AIRE m/s	OBSERVACIONES
OBSERVATORIO	I	26	28	37 %	0.4 - 1.1	ESTACION SUPERFICIAL
TACUBAYA	I	26	29	26 %	0.4 - 1.0	CUENTA CON UN VENTILADO POR ANDEN
JUANACATLAN	I	25	31	27 %	0.4 - 0.8	CUENTA CON UN VENTILADOR
CHAPULTEPEC	I	25	30	34 %	0.3 - 0.6	CUENTA CON UN VENTILADOR POR ANDEN
SEVILLA	I	26	34	34 %	0.4 - 0.7	NO TIENE VENTILADOR
INSURGENTES	I	26	30	28 %	0.3 - 1.0	CUENTA CON UN VENTILADOR
CUAUHTEMOC	I	27	31	28 %	0.3 - 1.0	CUENTA CON UN VENTILADOR
BALDERAS	I	27	32	32 %	0.2 - 1.2	CUENTA CON UN VENTILADOR
SALTO DEL AGUA	I	26	30	32 %	0.3 - 0.9	NO TIENE VENTILADOR
ISABEL LA CATOLICA	I	26	33	28 %	0.2 - 0.8	CUENTA CON UN VENTILADOR
PINO SUAREZ	I	27	31	30 %	0.4 - 1.2	CUENTA CON UN VENTILADOR
MERCED	I	27	32	30 %	0.2 - 0.8	CUENTA CON UN VENTILADOR
CANDELARIA	I	27	31	20 %	0.3 - 0.8	NO TIENE VENTILADOR
SAN LAZARO	I	27	33	20 %	0.3 - 0.9	NO TIENE VENTILADOR
MOCTEZUMA	I	25	33	36 %	0.2 - 1.0	CUENTA CON UN VENTILADOR
BALBUENA	I	25	31	30 %	0.2 - 1.2	CUENTA CON UN VENTILADOR
AEROPUERTO	I	25	33	26 %	0.2 - 0.8	CUENTA CON UN VENTILADOR
GOMEZ FARIAS	I	25	31	23 %	0.2 - 1.0	CUENTA CON UN VENTILADOR
ZARAGOZA	I	25	32	18 %	0.2 - 0.2	CUENTA CON UN VENTILADOR

LAS TEMPERATURAS INDICADAS CORRESPONDEN A BULBO SECO

**RESUMEN DE LAS MEDICIONES PRACTICADAS EN LOS ANDENES DE ESTACIONES  
SUBTERRANEAS DEL METRO DE LA CIUDAD DE MEXICO L-2**

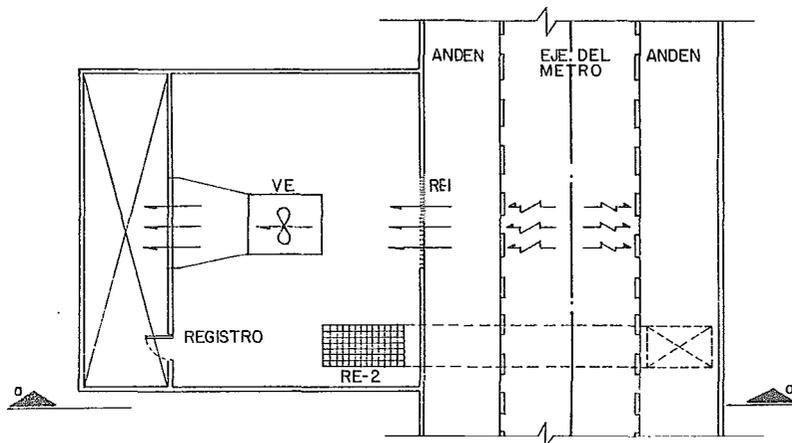
ESTACION	LINEA	TEMP. AMBIENTE EXTERIOR MAX. °C	TEMP. INTERIOR MAXIMA °C	HUMEDAD RELATIVA MAXIMA INT. %	VELOCIDAD DEL AIRE m/s	OBSERVACIONES
TACUBA	2	27	34	35 %	0.2 - 0.9	CUENTA CON UN VENTILADOR
CUITLAHUAC	2	24	35	30 %	0.2 - 1.2	NO TIENE VENTILADOR
POPOTLA	2	24	36	31 %	0.2 - 0.8	NO TIENE VENTILADOR
COLEGIO MILITAR	2	24	36	25 %	0.2 - 0.6	NO TIENE VENTILADOR
NORMAL	2	26	33	34 %	0.2 - 0.8	NO TIENE VENTILADOR
SAN COSME	2	26	35	34 %	0.3 - 0.8	CUENTA CON UN VENTILADOR
REVOLUCION	2	26	33	33 %	0.2 - 0.9	CUENTA CON UN VENTILADOR
HIDALGO	2	26	34	37 %	0.2 - 1.4	CUENTA CON UN VENTILADOR
BELLAS ARTES	2	23	30	34 %	0.4 - 1.6	CUENTA CON UN VENTILADOR
ALLENDE	2	23	33	26 %	0.2 - 1.2	CUENTA CON UN VENTILADOR
ZOCALO	2	25	32	39 %	0.3 - 1.0	CUENTA CON UN VENTILADOR
PINO SUAREZ	2	25	31	40 %	0.2 - 0.6	CUENTA CON UN VENTILADOR

LAS TEMPERATURAS INDICADAS CORRESPONDEN A BULBO SECO

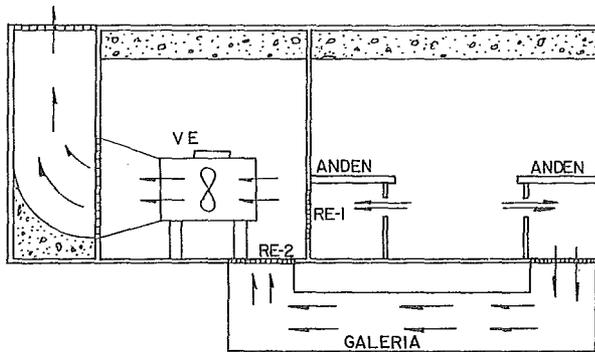
Se encontró que el rango de temperaturas máximas en estaciones con un ventilador, estuvo comprendido entre  $29^{\circ}\text{C}$  y  $34^{\circ}\text{C}$ , siendo el promedio de  $31.6^{\circ}\text{C}$ , mientras que en estaciones sin ventilador las temperaturas máximas estuvieron comprendidas entre  $31^{\circ}\text{C}$  y  $36^{\circ}\text{C}$ , con un promedio de  $33.4^{\circ}\text{C}$ . La diferencia de temperaturas de una estación con y sin ventilador es del orden de  $2^{\circ}\text{C}$ .

En el caso de estaciones con dos ventiladores (uno en cada andén), la temperatura en los dos andenes es del orden de  $0.5^{\circ}\text{C}$  a  $1.0^{\circ}\text{C}$  más baja que con un solo ventilador; aún cuando la capacidad de éste fuera igual a la suma de los dos anteriores. Esto se debe a que en cada andén se tiene menos pérdidas por fricción, aumentando la eficiencia global del sistema de extracción.

En la rejilla de succión directa del cuarto de extracción de aire cuando llega un tren, la temperatura aumenta de  $5^{\circ}\text{C}$  a  $8^{\circ}\text{C}$ , mientras que en la de succión por la galería aumenta de  $1^{\circ}\text{C}$  a  $3^{\circ}\text{C}$  en promedio. La temperatura máxima registrada en la rejillas de succión directa fué de  $44^{\circ}\text{C}$ .

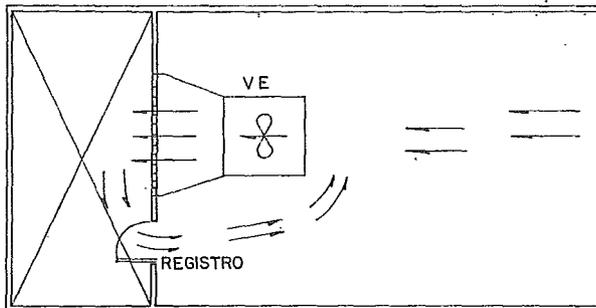


RE-1=REJILLA DE EXTRACCION A SUCCION DIRECTA  
RE-2=REJILLA DE EXTRACCION A SUCCION POR GALERIA



CORTE a - a'

Se detectó que parte del aire de expulsión recircula, debido a que normalmente se encuentra abierto el registro (paso de hombre) que comunica la descarga del aire con el cuarto del ventilador. Esto da como resultado una reducción de la eficiencia de extracción.



Se puede observar que en las estaciones que cuentan con taquillas situadas frente a los accesos, la circulación del aire en dirección de los andenes se entorpece por la formación de turbulencias.

En siete estaciones de línea 1 con ventilador, la eficiencia de extracción es de 72%, mientras que en cuatro estaciones de línea 2 con ventilador, la eficiencia es de 54% según se resume en la tabla siguiente; esta baja eficiencia general es

debida entre otras causas a la reducción del área efectiva en las rejillas por la acumulación de materiales extraños.

La humedad relativa para las temperaturas medias no implica problemas debido a que en la mayor parte de las estaciones es del orden del 30%; el problema se presentaría a partir del 70% donde se inicia la condensación.

**EFICIENCIA DEL SISTEMA DE EXTRACCION EN ESTACIONES  
DE LAS LINEAS 1 Y 2**

ESTACIONES	AREA (M2) EN REJILLAS DE SUCCION	VELOCIDAD (m/s)	VOLUMEN (M3/s)	EFICIENCIA RESPECTO A LA CAPACIDAD QUE ES DE 60 M3/s.
LINEA 1				
TACUBAYA	7.29	6.5	47.38	79%
JUANACATLAN	6.33	8.2	51.90	86%
CHAPULTEPEC	7.44	4.4	32.72	55%
INSURGENTES	7.78	7.7	59.90	100%
CUAUHTEMOC	3.00	6.1	18.30	30%
BALDERAS	6.48	7.9	51.19	85%
BALBUENA	5.20	6.5	40.30	67%

LINEA 2				
TACUBA	6.90	5.5	38.00	63%
REVOLUCION	8.68	5.0	43.40	72%
BELLAS ARTES	3.45	5.6	19.30	32%
ALLENDE	4.72	6.2	29.26	49%

PROM. EFICIENCIA LINEA 1 (7 ESTACIONES) 72%

PROM. EFICIENCIA LINEA 2 (4 ESTACIONES) 54%

#### 4. MEDICIONES DE REJILLAS DE VENTILACION EN INTER-ESTACIONES SUBTERRANEAS.

El resumen de los resultados de las mediciones practicadas en rejillas de ventilación de las interestaciones subterráneas en las líneas 1 y 2 se consignan en las tablas incluidas a continuación.

##### Observaciones a las mediciones practicadas.

##### Línea 1.

El área total de rejillas en la línea 1, que cuenta con 18 interestaciones, es de  $3,798.1 \text{ m}^2$ , de los cuales  $2,504 \text{ m}^2$  corresponden al área neta para salida y entrada efectiva del aire, por lo que en cada interestación se tienen en promedio  $211 \text{ m}^2$  de área total y  $139 \text{ m}^2$  de área neta, representando esta última el 65%.

Se encontró que con relación al volumen total de aire que sale por las rejillas, entra solamente alrededor del 54%, lo que nos indica que el 46% restante ingresa por las estaciones favoreciendo la ventilación de éstas.

##### Línea Dos.

El área total de rejillas en la línea 2 que tiene 11 interestaciones subterráneas es de  $2,528.2 \text{ m}^2$ , de los cuales  $1,588.3 \text{ m}^2$  corresponden al área neta. En cada interestación se tienen en promedio  $230 \text{ m}^2$  del área total y  $144.2 \text{ m}^2$  de área neta, que corresponde al 63%. Con relación al volumen total que sale de las rejillas, entra solamente alrededor del 54% por las mismas, o sea que el 46% del aire entra por las estaciones como en el caso de la Línea 1.

**RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES PRACTICADAS EN LAS REJILLAS DE VENTILACION  
DE LAS INTERESTACIONES SUBTERRANEAS DEL METRO DE LA CD. DE MEXICO**

**L I N E A I**

INTERESTACION COMPRENDIDA ENTRE	AREA TOTAL M <sup>2</sup>	AREA NETA M <sup>2</sup>	VELOCIDADES PROMEDIO DEL AIRE m/s		VOLUMEN DE AIRE m <sup>3</sup> /s PROMEDIO CONSTANTE		DIF. PROM. DE TEMP DEL AIRE A LA SALIDA VS. AMBIENTE °C	H. R. PROMEDIO DEL AIRE A LA SALIDA
			DE SALIDA	DE ENTRADA	DE SALIDA	DE ENTRADA		
OBSERV.-TACUBAYA	125.2	72.34	0.35	0.27	25.3	19.5	2.3	29
TACUBAYA-JUANACATLAN	229.0	103.1	0.49	0.19	50.5	19.6	2.0	42
JUANACATLAN-CHAPULT.	213.0	138.2	0.43	0.24	59.4	33.2	2.0	36
CHAPULT.-SEVILLA	204.6	137.2	0.27	0.17	37.0	23.3	2.0	35
SEVILLA-INSURGENTES	234.3	154.1	0.32	0.21	49.3	32.4	3.0	51
INSURGENTES-CUAUHT.	281.1	184.4	0.35	0.19	64.5	35.0	3.2	45
CUAUHTEMOC-BALDERAS	141.4	93.7	0.45	0.26	42.2	24.4	3.0	51
BALDERAS-S.DEL AGUA	324.0	220.8	0.29	0.17	64.0	37.5	2.2	46
S.DEL AGUA-I.LACATOLICA	166.1	105.3	0.36	0.16	37.9	16.8	2.8	40
I.LACATOLICA-PSUAREZ	241.0	149.4	0.39	0.17	58.3	25.4	2.0	46
PSUAREZ-MERCED	275.1	115.2	0.44	0.20	50.7	23.0	2.8	41
MERCED-CANDELARIA	72.0	49.2	0.47	0.21	23.1	10.3	2.3	29
CANDELARIA-SN.LAZARO	200.6	142.2	0.24	0.14	34.1	19.9	1.3	28
SN.LAZARO-MOCTEZUMA	175.1	113.4	0.25	0.14	28.3	15.9	1.2	37
MOCTEZUMA-BALBUENA	193.2	107.9	0.28	0.17	30.2	18.3	2.0	35
BALBUENA-AEROPUERTO	237.3	164.4	0.32	0.14	52.6	23.0	2.7	39
AEROPUERTO-G.FARIAS	228.0	158.2	0.28	0.15	44.3	23.7	1.7	37
G.FARIAS-ZARAGOZA	423.2	295.0	0.22	0.12	64.9	35.4	1.8	35

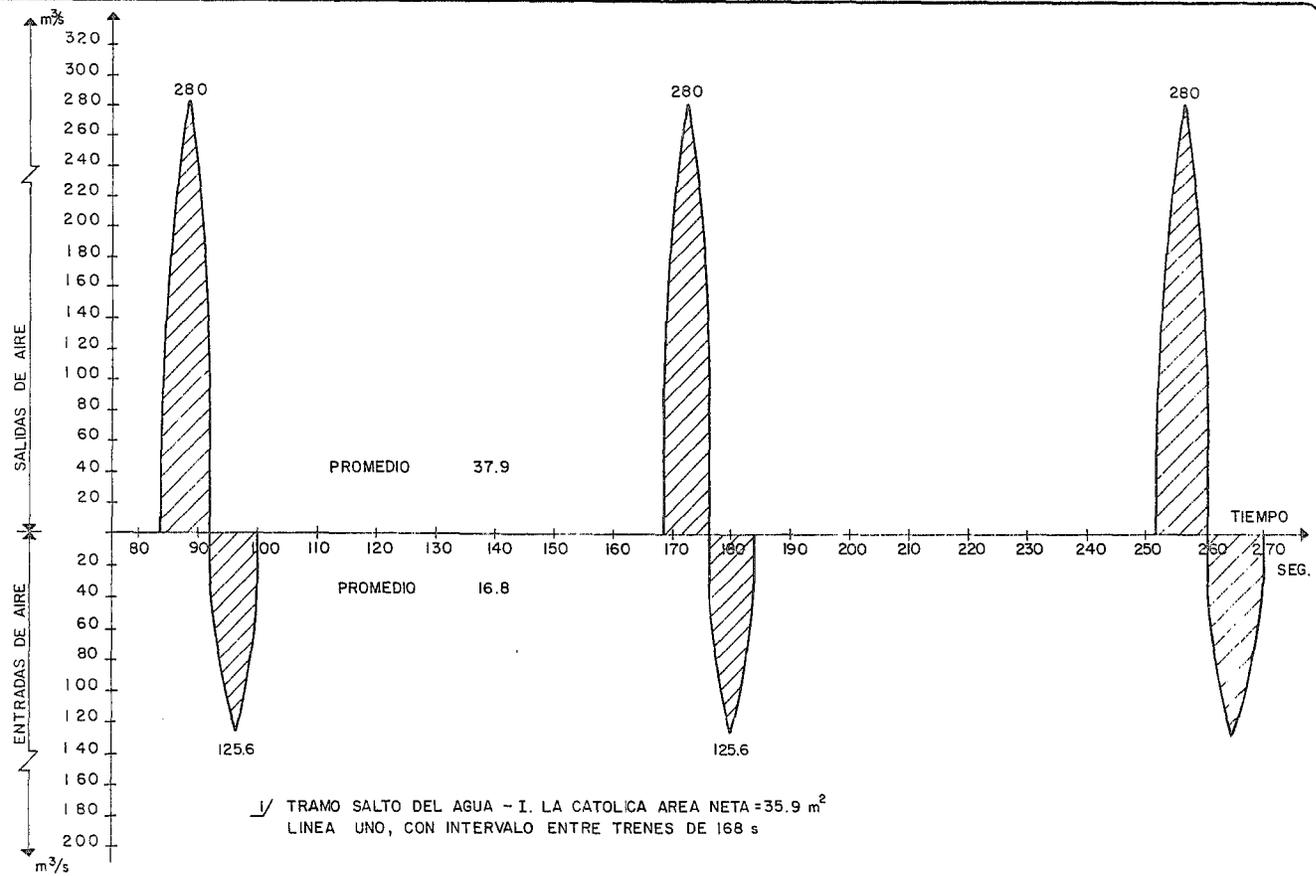
TOTAL                      816.6                      436.6

OBSERVACIONES: EL TIEMPO DURANTE EL CUAL SE REGISTRARON VELOCIDADES DEL AIRE FUE DE 8 SEG. POR EL PASO DEL TREN FRENTE A LAS REJILLAS (UNO CADA 84 SEG. CONSIDERANDO AMBOS SENTIDOS) CON UN INTERVALO DE 168 SEG.

H. R. = HUMEDAD RELATIVA

FECHA: DIC. 1979.





GRAFICA TIPO DE ENTRADAS Y SALIDAS DE AIRE PARA UNA REJILLA DE VENTILACION. ✓/

## 5. CALOR GENERADO Y VENTILACION REQUERIDA.

### 5.1. Objetivos.

Para llevar a cabo y conseguir las mejoras que se proponen en favor de la comodidad de los usuarios, se han convenido como parámetros prioritarios los siguientes:

a) Temperatura máxima promedio durante los meses más calientes en el interior de las estaciones:  $28^{\circ}\text{C}$ . Para la determinación de este límite se consideraron los promedios de las temperaturas máximas mensuales exteriores. El promedio de estas temperaturas durante los meses más calientes (de abril a agosto) fué de  $24.75^{\circ}\text{C}$  (1). Dentro de las estaciones se fijó como aumento límite de temperatura  $3^{\circ}\text{C}$ , con relación al promedio de  $24.75^{\circ}$ ; o sea los  $28^{\circ}\text{C}$  aproximadamente.

Esta temperatura combinada con la humedad relativa de 30%, se encuentra en el límite máximo en la zona de confort de Yaglou dentro del diagrama psicrométrico del aire.

b) La ventilación debe asegurar por lo menos diez cambios por hora del aire de la estación.

c) Las velocidades del aire en las áreas públicas subterráneas no debe sobrepasar 5 m/s en régimen constante. Estos límites son los normalmente recomendados por los tratados sobre ventilación.

d) La humedad relativa en el interior de las estaciones debe permanecer dentro del rango comprendido entre 30% y 70%.

(1) Datos obtenidos de los registros del observatorio astronómico de la ciudad de México.

## 5.2. Cálculo de calor generado.

El calor que se libera dentro de la línea tiene su origen en tres fuentes principales:

Q1 = Calor proveniente de la energía utilizada para la tracción.

Q2 = Calor liberado por los usuarios.

Q3 = Calor liberado por instalaciones eléctricas en general.

### 5.2.1. Calor proveniente de la energía de tracción, Q1.

Puede calcularse para cada tramo, constituido éste por estación y la interestación correspondiente entre dos estaciones, con la siguiente fórmula:

$$Q1 = 860 \times 2 T \times w \times l \times N \text{ en k cal/h}$$

De donde tenemos:

860 = Factor de conversión de KWH a kcal/h.

2T = Número de trenes que circulan por las dos vías en una hora.

W = Peso de un tren incluyendo pasajeros, en Ton.

L = Longitud del tramo entre ejes de estación en km.

N = Consumo de energía de tracción en KWH/Ton-km.

Considerando las condiciones actuales de operación, los valores quedan como sigue:

T = 40 Trenes/h, con un intervalo entre trenes de 90 S.

W = 329.4 Toneladas a 4/4 de carga.

L = 1.00 Km para fines de cálculo.

$N = 0.10$  KWH/Ton-km, sin recuperación de energía y con velocidad comercial de 35 km/h.

Sustituyendo valores tenemos:

$$Q1 = 860 \times 2(40) \times 329.4 \times 1.00 \times 0.10$$

$$Q1 = 2,266,272 \text{ kcal/h por tramo de 1 km}$$

### 5.2.2. Calor generado por los pasajeros Q2.

Considerando:

2262 pasajeros por estación y por hora (1).

16 minutos de permanencia por pasajero.

200 kcal/h, desprendidas por cada pasajero (2)

Tenemos:

$$Q2 = (2262) \frac{16}{60} (200)$$

$$Q2 = 120,640 \text{ kcal/h - tramo.}$$

### 5.2.3. Calor generado por las instalaciones eléctricas en general, Q3.

La carga total de alumbrado y otras de fuerza y control, es en promedio por tramo (estación e interestación) de:

$$\underline{95 \text{ kw}}$$

El calor generado por hora será:

$$Q3 = 95.0 \times 860 = 81,700 \text{ kcal/h.}$$

- (1) Valor promedio durante el año de 1979, en las líneas en operación.
- (2) Valor promedio correspondiente a una actividad semejante a la que desarrollan los usuarios en las estaciones del metro.

5.2.4. Calor total generado,  $Q_t$ .

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Sustituyendo los valores encontrados se tiene:

$$Q_t = 2,266,272 + 120,640 + 81,700$$

$$Q_t = 2,468,612 \text{ kcal/h - tramo (3)}$$

5.3. Cálculo de gasto de ventilación.

Se considera un  $t$  de  $3^\circ\text{C}$ , con relación a la temperatura promedio máxima mensual exterior de  $24.75^\circ\text{C}$  (ver inciso 5.1. a).

Para este cálculo se emplea la fórmula siguiente:

$$G = \frac{Q_t}{\Delta H \delta} \text{ de donde:}$$

$G$  = gasto de aire en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$Q_t$  = calor total generado, 2,468,612 kcal/h - tramo.

$\delta$  = densidad promedio del aire en la ciudad de México.  
=  $0.91 \text{ kg/m}^3$ .

$\Delta H$  = Diferencia de entalpías entre las condiciones exteriores e interiores.

$H_1$  = entalpía exterior, en kcal/kg, función de la temperatura y la humedad relativa a la intemperie.

$$\Delta H = H_2 - H_1$$

$H_2$  = Entalpía interior, en kcal/kg, función de la temperatura y la humedad relativa en el interior.

En base a la carta psícométrica tenemos:

De las condiciones exteriores:  $t = 24.75^\circ\text{C}$

$hr$  = humedad relativa = 61.28%

$H_1 = 19.8 \text{ kcal/kg}$ . (4)

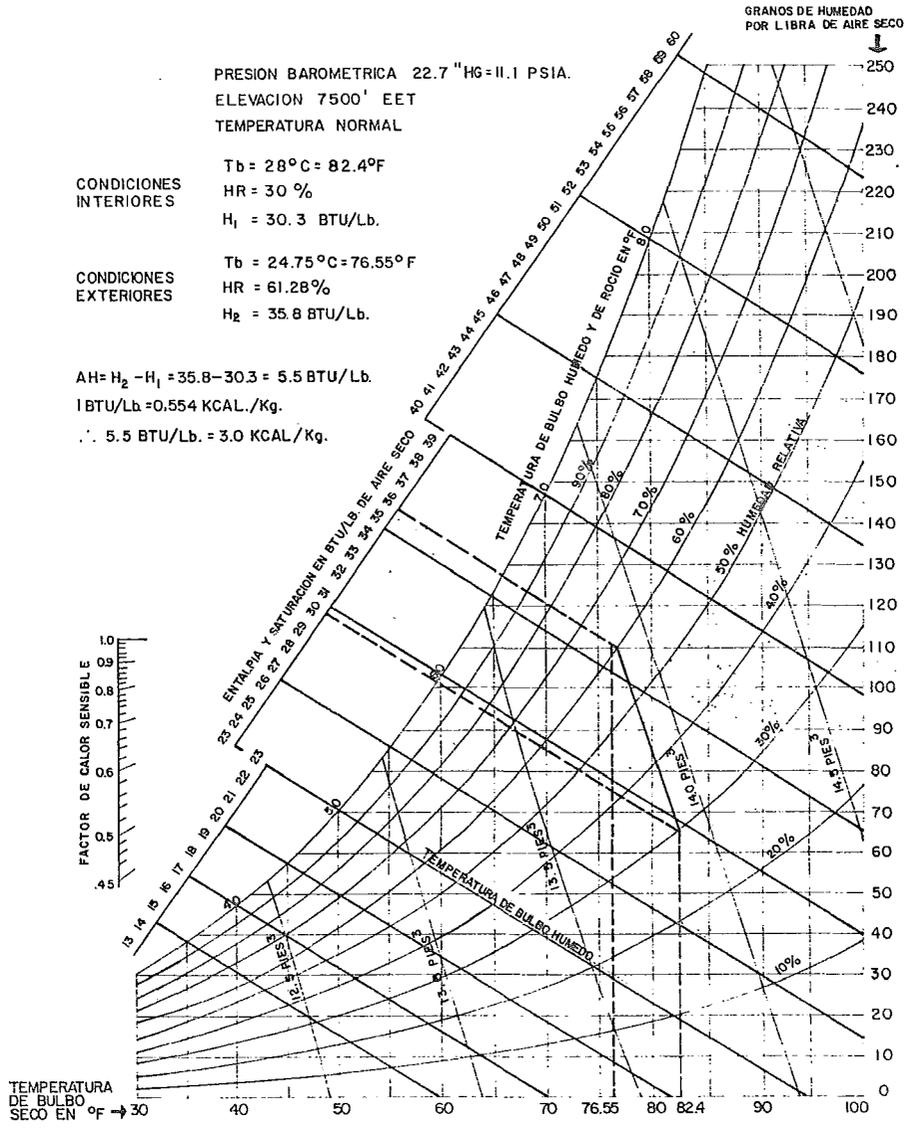
De las condiciones interiores:  $t = 28^\circ\text{C}$

$hr$  = humedad relativa = 30%

$H_2 = 16.8 \text{ kcal/kg}$

(3) Este total se verá disminuído con la introducción de los sistemas de recuperación de energía en los trenes.

(4) Promedio de la humedad relativa media mensual de los registros del observatorio astronómico de la ciudad de México.



CARTA PSICOMETRICA

Por lo tanto:

$$\Delta H = 19.8 - 16.8$$

$$\Delta H = 3 \text{ kcal/kg}$$

Sustituyendo estos valores en la fórmula se tiene:

$$G = \frac{2,468,612}{3(0.91)3600}$$

$$G = 251.2 \text{ m}^3/\text{S}$$

5.4. Volumen de aire manejado en las rejillas de ventilación de las líneas 1 y 2 en base a las mediciones practicadas.  
(ver tablas).

5.4.1. Línea 1.

Area total de rejillas = 3,964.2 m<sup>2</sup> en 18 interestaciones.

Area neta de rejillas = 2,504.0 m<sup>2</sup>

Area promedio por tramo = 220.2 m<sup>2</sup>

Longitud de la línea de la estación Observatorio a Zaragoza.  
= 15,230 m

Area promedio por km

$$\frac{3,964.2}{15.230} = 260.3 \text{ m}^2$$

Volumen total de salida = 816.6 m<sup>3</sup>/S

Volumen total de entrada = 436.6 m<sup>3</sup>/S

Volumen por interestación (18)

De salida = 45.4 m<sup>3</sup>/S

De entrada = 24.3 m<sup>3</sup>/S

Longitud promedio por  
interestación. = 846.1 m

Intervalo entre trenes = 2'48" = 2.8 min (1)

(1) Promedio durante 1979.

5.4.2. Línea 2.

Area total de rejillas = 2,528.2 m<sup>2</sup> en 11 interestaciones.

Area neta por rejilla = 1,588.3 m<sup>2</sup>

Area promedio por tramo = 229.8 m<sup>2</sup>

Longitud de la línea de la estación Tacuba a Pino Suárez  
(tramo subterráneo) = 7860.0 km

Area promedio por km

$$\frac{2,528.2}{7.860} = 321.7 \text{ m}^2$$

Volumen total de salida = 564.1 m<sup>3</sup>/S

Volumen total de entrada = 301.7 m<sup>3</sup>/S

Volumen por interestación (11)

de salida = 51.3 m<sup>3</sup>/S

de entrada = 27.4 m<sup>3</sup>/S

Longitud promedio por inter-  
estación = 714.5 m<sup>3</sup>/S

Intervalo entre trenes = 3.0 min (1)

5.4.3. Valores promedio para las dos líneas.

Area promedio de rejillas por tramo

$$\frac{3964.2 + 2528.2}{19 + 11} = 223.9 \text{ m}^2$$

Area promedio por km.

$$\frac{3964.2 + 2528.2}{15.230 + 7.860} = 281.2 \text{ m}^2$$

Volumen total de salida

$$816.6 + 564.1 = 1,380.7 \text{ m}^3/\text{S}$$

Volumen total de entrada

$$436.6 + 301.7 = 738.3 \text{ m}^3/\text{S}$$

Volumen por interestación (18 + 11)	
De salida $\frac{1380.7}{18 + 11}$	= 47.6 m <sup>3</sup> /S
De entrada $\frac{738.3}{18+11}$	= 25.5 m <sup>3</sup> /S
Longitud de promedio por interestación	= 796.2 m
Intervalo entre trenes	= 2.9 min (174 seg).
Volumen por km	
De salida $\frac{47.6 \times 1000}{796.2}$	= 59.8 m <sup>3</sup> /S
De entrada $\frac{25.5 \times 1000}{796.2}$	= 32.0 m <sup>3</sup> /S

5.5. Intercambio esperado y compartimiento de la ventilación en las líneas de la segunda etapa, de acuerdo al proyecto actual.

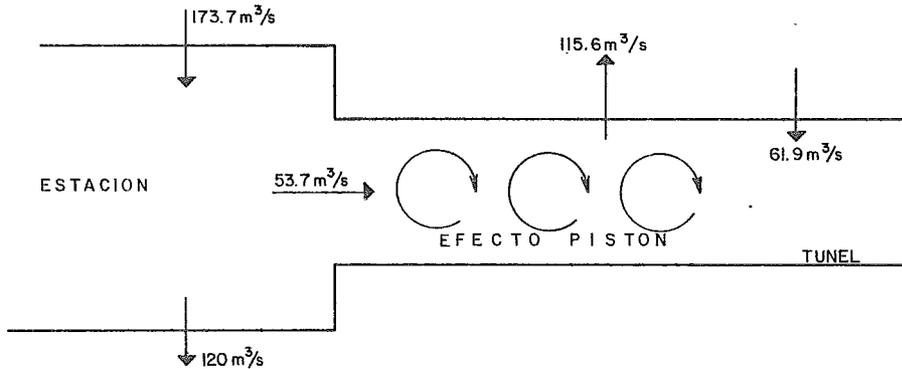
5.5.1. Consideraciones.

a) Intervalo entre trenes	= 90 S(1)
b) Area total de rejillas por km	= 388.23 m <sup>2</sup>
c) El volumen de aire por km manejado a través de las rejillas por el efecto pistón se mantiene a los valores medios por km en las líneas actuales, o sea:	
De salida	= 59.8 m <sup>3</sup> /S
De entrada	= 32.0 m <sup>3</sup> /S
Corrección por intervalo	
De salida $\frac{59.8 \times 174}{90}$	= 115.6 m <sup>3</sup> /S
De entrada $\frac{32.0 \times 174}{90}$	= 61.9 m <sup>3</sup> /S
Diferencia	53.7 m <sup>3</sup> /S
d) Dos extractores por estación, uno de 60 m <sup>3</sup> /S en cada anden.	

(1) Considerando el paso de tren en ambos sentidos.

### 5.5.2. Balace promedio.

Con base a las mediciones y datos mencionados se establece el siguiente balance (ver gráfica siguiente)



### 5.6. Volumen adicional requerido.

De acuerdo con el resultado del cálculo desarrollado en el inciso 5.3. se requiere en total el ingreso de aire de  $251.2 \text{ m}^3/\text{S}$  al sistema, y tomando como base al balance promedio anterior, tenemos un abastecimiento de  $173.7 \text{ m}^3/\text{S}$ , por lo tanto será necesario inyectar adicionalmente:

$$251.2 - 173.7 = 77.5 \text{ m}^3/\text{S}$$

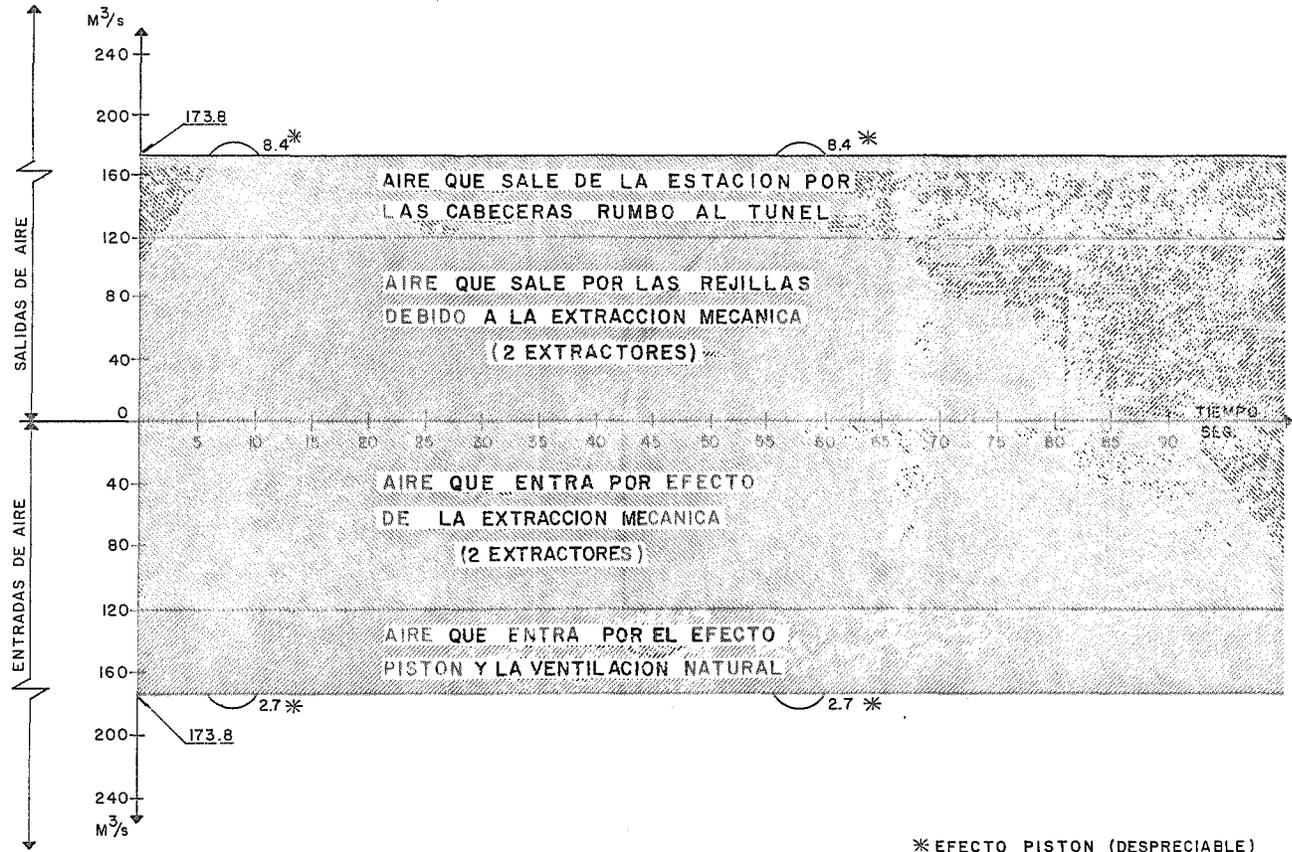
Este gasto deberá de inyectarse desde la cabecera de estaciones.

Considerando como volumen del tramo (estación + interestación)  $38,200 \text{ m}^3$  de un km, se tienen los siguientes cambios por hora:

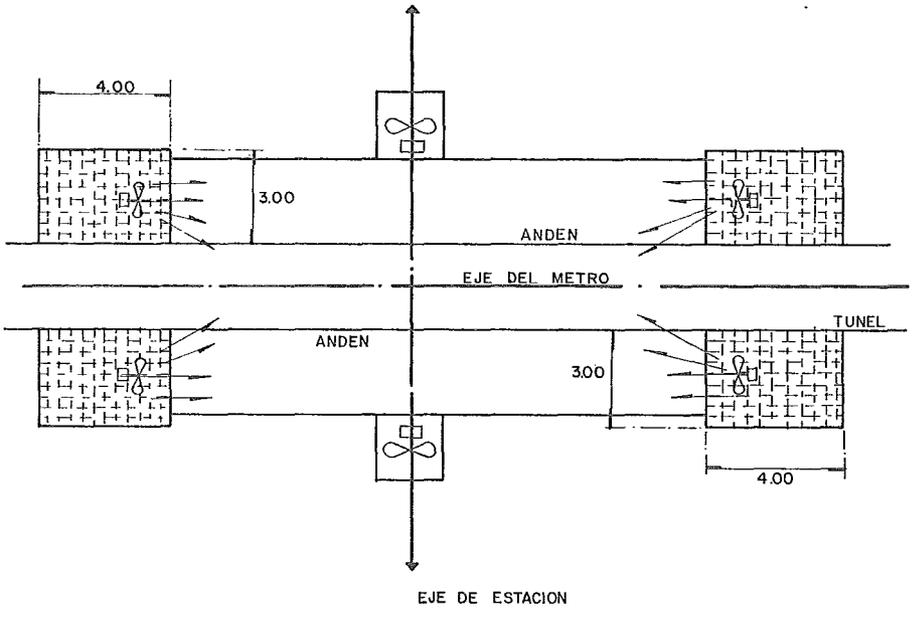
$$\frac{251.2 \times 3600}{38,200} = 23.7$$

que corresponde a más de lo fijado como objetivo en el inciso 5.1.

# GRAFICA QUE ILUSTRA EL BALANCE EN ESTACION

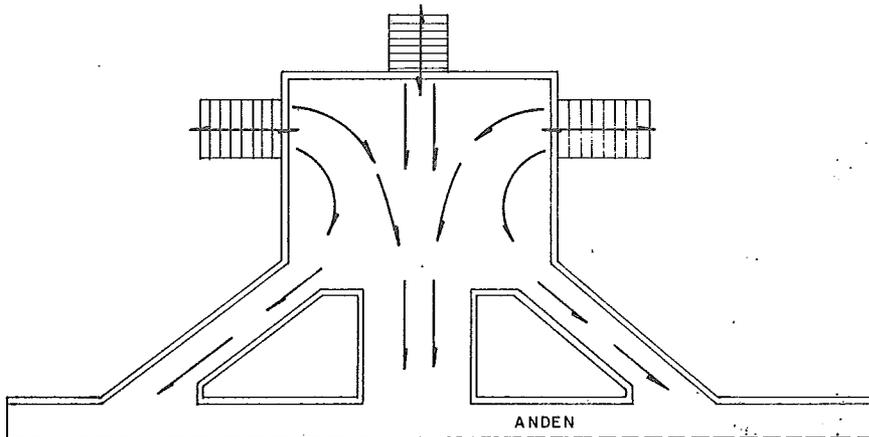


# LOCALIZACION DE EQUIPOS DE INYECCION Y EXTRACCION EN ESTACIONES

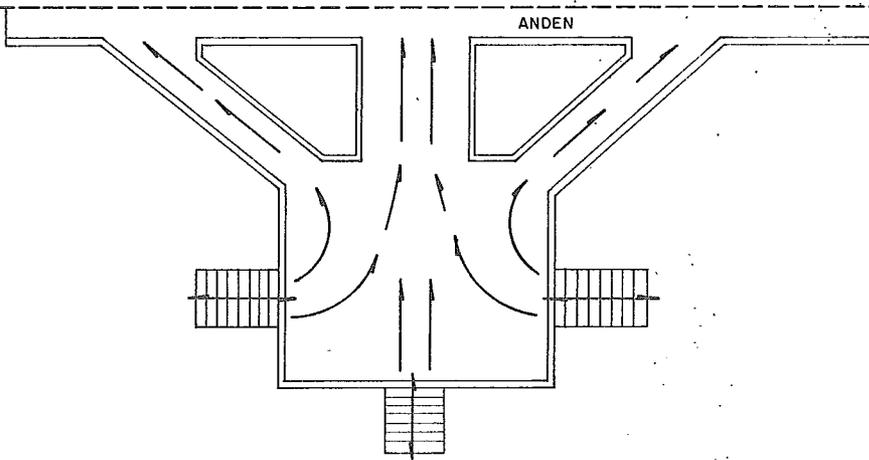


INYECCION TOTAL	80 m <sup>3</sup> /s
EXTRACCION TOTAL	120 m <sup>3</sup> /s

DISEÑO GEOMETRICO  
PARA UNA ESTACION SUBTERRANEA



EJE DEL METRO



ANDEN

## 6. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

### 6.1. Sobre la ventilación en las estaciones.

- a) El diseño geométrico de las estaciones debe apegarse en lo posible al sugerido en la figura siguiente, semejante al de la estación Cuauhtémoc, pero evitando que las taquillas constituyan un obstáculo para el flujo del aire como es el caso de la estación.
- b) La extracción del aire en las estaciones deberá llevarse a cabo a través de los huecos bajo andén con ventiladores centrífugos localizados al eje de estación.
- c) La sección y geometría del ducto bajo andén, así como el área y la distribución de los huecos para la extracción del aire, deberán dar lugar a una succión uniforme a todo lo largo del bajo andén.
- d) En las cabeceras de las estaciones debe inyectarse un volumen total de  $77.5 \text{ m}^3/\text{S}$ , provocando corrientes forzadas a la altura de las cabezas de los usuarios.
- e) La velocidad de incidencia sobre los usuarios deberá estar comprendida como máximo entre 1.2 y 1.8 m/S.
- f) Para eliminar el calor almacenado durante la operación, tanto la inyección como la extracción debe funcionar permanentemente, aprovechando así el periodo de suspensión del servicio de 1:00 a 5:00 A. M.
- g) La velocidad admisible en las rejillas de descarga de los locales con ventilación mecánica, en zonas peatonales, no debe ser mayor de 3 m/s, mientras que en las zonas no peatonales puede ser de 8 m/s

### 6.2. Sobre la ventilación en las interestaciones.

- a) Debe evitarse la ubicación de rejillas en zona de curva horizontal para facilitar el procedimiento constructivo de las secciones.
- b) En lo que se refiere al área total de rejilla por km, conservar lo determinado en el diseño de las ampliaciones actuales, o sea  $388.23 \text{ m}^2$ .
- c) Es conveniente instalar escaleras tipo marino en las zonas de rejillas para facilitar su limpieza y mantenimiento.

### 6.3. Conclusión.

Con la observación de las recomendaciones anteriores, y en especial las relativas a la forma geométrica de las estaciones, el adecuado manejo de la extracción de aire y a la inyección de  $80 \text{ m}^3/\text{S}$ , podrá lograrse mantener  $28^\circ\text{C}$  como promedio de las temperaturas máximas en el interior de las estaciones (sin incurrir en obras y equipos adicionales costosos), consiguiendo de esta manera cumplir con uno de los objetivos básicos del sistema: ofrecer a los usuarios del metro un mejor servicio en materia de confort.

**CAPITULO**  

---

**VIII**

## C A P I T U L O   V I I I .

### IMPLANTACION DE VIA. .

#### 1. GENERALIDADES.

La vía con la cual se ha dotado al sistema de transporte colectivo, es de características especiales tales, que hacen que la denominemos con el nombre de vía neumática. Dicha vía, ya utilizada durante la primera etapa de construcción, corresponde a un sistema que se desarrolló durante los años sesentas en los "Metros Urbanos" a nivel mundial; por su versatilidad para adaptarse a terrenos poco estables, así como por las ventajas y ahorros que representaba tener un tipo de material - unificado, se optó por continuar con el mismo sistema de vía para las líneas futuras.

La construcción en todos los casos fué de vías dobles, reduciendo el uso de la marcha en contrasentido en los servicios provisionales y zonas de maniobras; la entrevía mínima fué de 2.90m, por un material rodante estandarizado con gálibo de 2.50m.

Para la segunda etapa de construcción se estudiaron diferentes sistemas de fijación, aplicadas a cada una de las secciones estructurales: Subterráneo, superficial, elevado y túnel.

Para los dos primeros casos se contaba con la experiencia y los datos de su comportamiento durante el servicio continuo de diez años, en tanto que, para la solución elevada, fué necesario realizar diversos estudios con el fin de dar una solución óptima.

En general el proyecto de implantación de vía contempla la elaboración de diversos tipos de planos, variando el número y clase, según la solución y tramo en cuestión.

## 2. DESCRIPCION GENERAL DE LA VIA.

La vía, como elemento base para la circulación del material rodante, está integrada por 3 pares de perfiles metálicos que aseguran la sustentación y guiado de los trenes.

Estos perfiles se colocan simétricamente respecto al eje de la vía, con una trocha de 1.435m en tangente y curvas de radio mayor o igual a 500m, y de 1.439 en curvas de radio menor a 500m.

La vía en su aspecto general está compuesta por tres tipos de perfiles:

a) Vigueta "H", que funciona como Pista de rodamiento para los neumáticos portadores; su cara superior representa el nivel de rasante del proyecto de perfil.

b) Riel 80 ASCE, cuya función es operar como elemento de seguridad para el guiado o sustentación del tren en caso de pérdida de presión de los neumáticos portadores o de guiado.

En condiciones normales de operación, la rueda de seguridad no tocará el riel, sólo en las maniobras de cambio de vía.

Este elemento va colocado a 2mm por debajo del nivel de rasante del proyecto de perfil.

c) Angulo de acero, cuya finalidad es funcionar como Barra de guiado y Tomá de corriente; este ángulo va colocado al exterior de la vía sobre aisladores de fibra de vidrio.

### 3. FIJACION DE VIA.

(Vía sobre balasto en solución subterránea).

La vía colocada en estos tramos está bajo el efecto de muy leves variaciones de temperatura, como consecuencia de que una vez terminado el túnel (o sección cajón) y puesto en operación, la temperatura se estabiliza por efecto de las aportaciones térmicas del material rodante en servicio (de manera primordial) y de los usuarios; la inercia térmica del túnel y el breve lapso durante el cual se interrumpe el servicio, son también factores determinantes. Esta estabilidad en la temperatura se traduce en una facilidad para que la vía pueda ser implantada con el mínimo de discontinuidades, como son los aparatos de vía, las juntas aislantes y juntas técnicas que se implanten.

#### 3.1. Durmientes.

Son el soporte directo de los perfiles metálicos y fueron hechos en madera dura (importada de Camerún y denominado Azo-be alophera Bongossi).

La elección de este tipo de madera responde a las siguientes características:

Vida media alta: 40 años.

Resistencia promedio a la extracción del material de fijación: 12 toneladas.

Tratamiento de impregnación para su protección: Nulo.

Requerimientos de plantillas para soporte de la vía: Nulo.

Facilidad para dar un buen acabado al producto.

Es decir, que la utilización de durmientes en estas condiciones es netamente superior al fabricado en maderas semiduras

como el encino y el roble; lo más importante es el aspecto seguridad, pues evita el riesgo de intoxicación en caso de incendio, a causa del creosotado y los gases que originaría.

Las funciones esenciales del durmiente son:

Ser el elemento que recibe y transmite las cargas dinámicas al balasto (ya sea por neumático o la rueda de seguridad).

Mantener la trocha (escantillón) de riel a riel conforme a los requerimientos (ídem para la pista de rodamiento).

Dar la inclinación necesaria (1/20) a los rieles.

Ser el asiento de los aisladores que a su vez soportan a la barra de alimentación, tracción y guiado.

Las dimensiones básicas que se manejaron fueron:

(a) 2.600 x 0.240 x 0.140.

(b) 2.700 x 0.260 x 0.150.

Para el caso que tratamos, los clasificados en la categoría (a) reúnen el siguiente tipo de durmientes:

Tipo A = utilizados en tangente y  $R \geq 500.00m$ .

Tipo C = utilizados en  $R < 500.00m$ .

Tipo T = utilizados en la transición tangente o  $R \geq 500.00m$  a  $R < 500.00m$ .

Para la categoría (b) tenemos:

Tipo GA utilizados normalmente a cada 3.00m con el fin de sostener las barras guía, en los tramos tangente y  $R \geq 50.00m$

Tipo GC utilizados normalmente a cada 1.80m en los tramos con  $R < 500.00m$ .

El peso promedio en la clasificación (a) es de  $\approx 110$  kg/durmiente, en tanto para la clase (b) es de  $\approx 140$  kg/durmiente.

Una categoría aparte constituyen los durmientes que conforman la zona en la cual se ubicaron los aparatos de vía; estos

durmientes se tratarán en un párrafo posterior.

Cabe mencionar sin embargo, otro tipo de durmiente que se ha comenzado a utilizar, diseñado en concreto; está formado por dos bloques de forma trapezoidal, unidos por un riel tipo ASCE 25 lb/yd y tiene un peso cercano a 240 kg/durmiente.

Durante la segunda etapa de construcción del "metro" únicamente se ha incluido la construcción y colocación de durmientes tipo "O", utilizándolos como soporte de riel y pista de rodamiento, más no al aislador que apoya la barra guía; dicho soporte se logrará posteriormente con un durmiente del tipo "S", que actualmente se ensaya en el laboratorio y en una vía en operación normal (L - 2 interestación G. Anaya - Taxqueña).

La utilización de este tipo de material representa una gran ventaja desde el punto de vista económico, ya que:

Es construído en fábrica nacional.

Tiene una mayor longevidad.

Aumenta la resistencia lateral de la vía (doble área de contacto).

Aumenta la resistencia longitudinal de la vía (mayor peso).

Como desventajas podemos mencionar que requiere un especial cuidado en:

Su fabricación.

Aislamiento eléctrico.

Manejo y estibamiento.

Colocación y apriete de los perfiles (tolerancia de escantillón, etc.).

Colocación y bateado del balasto (es frágil).

Obviamente deben ser más estrictas las normas de fabricación y manejo en este tipo de durmientes y más aún en el caso de vías a cielo abierto.

El espaciamiento con que se colocaron fué igual que los de madera, a cada 0.750 m en tangente o  $R \geq 500.00$  m y a cada 0.600 en curvas con  $R < 500.00$  m, esto último con el fin de reforzar la resistencia a los empujes laterales, producto de la acción de los trenes y la misma inercia de los perfiles.

### 3.2. Rieles.

Salvo en el caso de las zonas de aparatos de vía, la vía está conformada por rieles con perfiles en normas ASCE de 80 lb/yd (39.694 kg/m); dichos elementos se suministraron en longitud de laminado = 18.000 m  $\pm$  2.0 mm, pudiendo admitirse hasta un 10% del total del suministro en peso en barras con longitud inferior al mencionado, pero igual o superior a 9.00 m y en múltiplos de 0.750 m. La calidad de la dureza es la considerada ordinaria, es decir que se tendrá un esfuerzo máximo a la tensión del orden de 69 a 83 deca newtons/mm<sup>2</sup> con una deformación máxima del 14%.

Funciones de los rieles.

La utilidad de éstos estriba en asegurar el rodamiento del tren en el caso de que cualesquiera de los neumáticos portadores presentara una pérdida de presión, para el caso de que el incidente se tuviera a nivel de los neumáticos de guiado (laterales); igualmente quedaría asegurada la dirección del carro por el guiado de la rueda metálica - riel.

La inclinación en la que se montan (1/20) tiene por finalidad facilitar el rodamiento del material de mantenimiento.

Desde el punto de vista de la alimentación - tracción, los rieles sirven de conducto para permitir el retorno de la corriente al paso del tren (corriente continua a 750 V).

Igualmente es el medio por el cual se realiza la división de la línea en secciones (CDV) que permiten la señalización por medio del denominado sistema tapón. En este caso,

la corriente utilizada puede ser alterna, alterna modulada o continua.

Como ya se mencionó, el índice de variación de temperatura es mínimo, por lo que la vía es continua; dicha característica se obtiene con la soldadura entre rieles para tener un solo perfil. El método para lograrlo ha sido por medio de soldadura de tipo aluminotérmico, en el cual tenemos una mezcla debidamente dosificada de un óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

La separación entre riel y riel, medido a la cara inferior, es de 1435mm (+3-1.5mm) para un tramo tangente o con  $R \geq 500\text{m}$ , por abajo de dicho radio la trocha se lleva hasta 1.439mm con una transición hecha por medio de dos durmientes denominados "T"; esta variación tiene la finalidad de permitir una buena inscripción del material rodante, tomando en consideración las dimensiones entre bogies y ruedas.

### 3.3. Pista de rodamiento.

Es un perfil igualmente en acero de calidad ordinaria, en el cual los esfuerzos máximos son del orden de 36 Deca newtons/ $\text{mm}^2$  a 44 Deca newtons/ $\text{mm}^2$  a la ruptura y con una deformación máxima al 28%. Igual que los rieles, se suministraron en longitud de 18.00 m,  $\pm 2.0\text{mm}$ , el porcentaje de perfiles laminados menores a 18.00m pero  $\geq 9.00\text{m}$  es del 15%, y en múltiplos de 0.750 m. Las dimensiones generales de la sección se pueden observar en la siguiente figura.

Funciones de la pista de rodamiento.

Este perfil es el que ordinariamente debe soportar la carga que es transmitida a través de los neumáticos portadores, que supone un tren en servicio, carga estimada en máxima de 11 000 kg/eje (estático). Igualmente coadyuva en el retorno de corriente al paso de un tren, siendo indispensable para la operación cuando ésta llegue a su capacidad máxima.

Como consecuencia de las conexiones que existen entre riel y pista, estos últimos son aislados igualmente en los puntos correspondientes a las juntas aislantes y juntas técnicas, localizadas a lo largo de la línea.

Los procesos de uniones soldadas corresponden a los descritos anteriormente, variando unicamente el tipo de carga a utilizar por razones obvias.

Un punto importante que cabe resaltar respecto a la colocación de las juntas aislantes o técnicas, es el hecho de buscar realizarlas en la parte central de un perfil, ya que al cortarlo se tendrán dos secciones exactamente iguales a cada lado de los end post, es decir "junta perfecta".

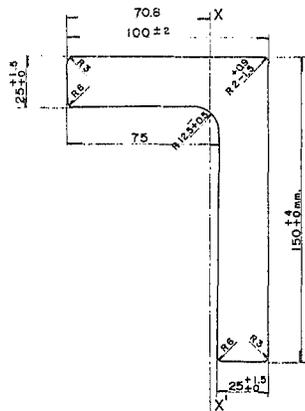
#### 3.4. Barra guía.

Es el perfil más ligero de los tres; su resistencia a la ruptura varía entre 33 Deca newtons/mm<sup>2</sup> y 41 Deca newtons/mm<sup>2</sup>, con un alargamiento  $\geq 30\%$ ; al igual que los perfiles anteriores, se recepciona el material en longitud de 18.00 m o hasta un porcentaje del 10% del peso total en barras  $18 > L > 9.00$  múltiplos de 0.750 m, su tolerancia es de  $\pm 5$  mm.

Este perfil es energizado a una tensión nominal de 750 voltios durante el servicio diario, ésto es por la alimentación de los motores de los trenes; igualmente es el soporte del tapiz electromagnético que da la información al sistema de pilotaje automático (en su cara horizontal), y es el portador de la telefonía de la alta frecuencia de que son dotados los trenes, que los liga al PCC y estaciones.

Mecánicamente tiene la función de sustituir al riel en su función de guía del tren, por lo que cuatro neumáticos a cada lado de los carros (sobre bogies) hacen las veces de la ceja de la rueda metálica.

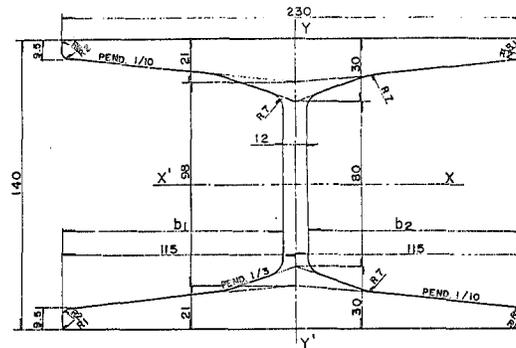
### BARRA GUIA



#### CARACTERISTICAS

SECCION 5651mm<sup>2</sup>  
 PESO POR METRO 44.36 Kg.  
 MOMENTO DE INERCIA  
 EN RELACION AL  
 EJE X - X' 419.92 cm<sup>4</sup>  
 MODULO DE INERCIA  $\frac{1}{V} = 59.3 \text{ cm}^3$   
 DENSIDAD 7.85

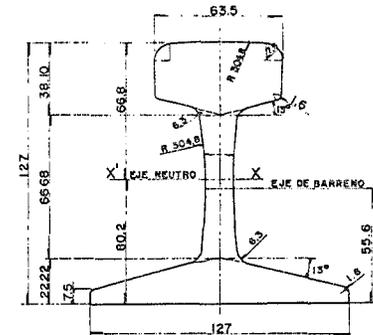
### PISTA DE RODAMIENTO



#### CARACTERISTICAS

SECCION 8705mm<sup>2</sup>  
 PESO POR METRO 88.334 Kg.  
 MOMENTO DE INERCIA  
 EN RELACION AL  
 EJE X - X' 29.26 cm<sup>4</sup>  
 MOMENTO DE INERCIA  
 EN RELACION AL  
 EJE Y - Y' 25.28 cm<sup>4</sup>  
 DENSIDAD 7.85

### RIEL 80 ASCE.



#### CARACTERISTICAS

SECCION 5071 mm<sup>2</sup>  
 PESO POR METRO 39.807 Kg.  
 MOMENTO DE INERCIA  
 EN RELACION AL  
 EJE X - X' 1098.9 cm<sup>4</sup>  
 DENSIDAD 7.85

U N A M

ESCUELA NACIONAL DE  
 ESTUDIOS PROFESIONALES

INGENIERIA CIVIL



**DIMENSIONES Y  
 CARACTERISTICAS  
 DE BARRA,  
 PISTA Y RIEL**

TESIS  
 PROFESIONAL

RUBEN A. OCHOA TORRES

Dicha función es retomada por la rueda metálica bajo la pérdida de presión de los neumáticos.

### 3.5. Balasto.

Es el elemento que recibe la carga producto de los trenes en circulación a través de los durmientes, y a su vez la transmite uniformemente a la capa dura del suelo. Igualmente es por este medio que se logra dar el peralte necesario a las vías en las zonas de curvas. Por último, cumple la función de permitir el drenado de las aguas, por escurrimiento o zenitales, hacia los ductos del drenaje.

El material está constituido en su origen, por rocas duras y estables: granito, basalto, cuarzo, etc. con formas angulosas; el índice de resistencia método "Los Angeles" al desgaste es  $R \leq 28\%$ ; sus dimensiones están comprendidas entre los 30 y 60 mm, evitando siempre la inclusión de finos, ya que en gran medida influyen no solo en el drenado sino también en sus propiedades mecánicas.

El espesor mínimo de balasto está calculado en 30 cms, medido a partir de la base inferior de los durmientes; esto como consecuencia del hecho de suponer que las cargas de los durmientes se transmiten en un ángulo de  $45^\circ$  (a los extremos).

Este mismo hecho es el que determina que la implantación de los durmientes se tenga a cada 0.750 m de eje a eje para tramos tangentes, o con  $R \geq 500.00$  m.

En condiciones especiales, el valor del espesor del balasto se redujo a 25 cm, medidos a la base inferior del durmiente.

Señalándose igualmente que la posición inicial del nivel de rasante (pista de rodamiento) se construye con 20 mm por encima del nivel de proyecto, alcanzando su nivel de proyecto al paso de una carga aproximada de 100 000 toneladas.

### 3.6. Fijación de los diversos elementos .

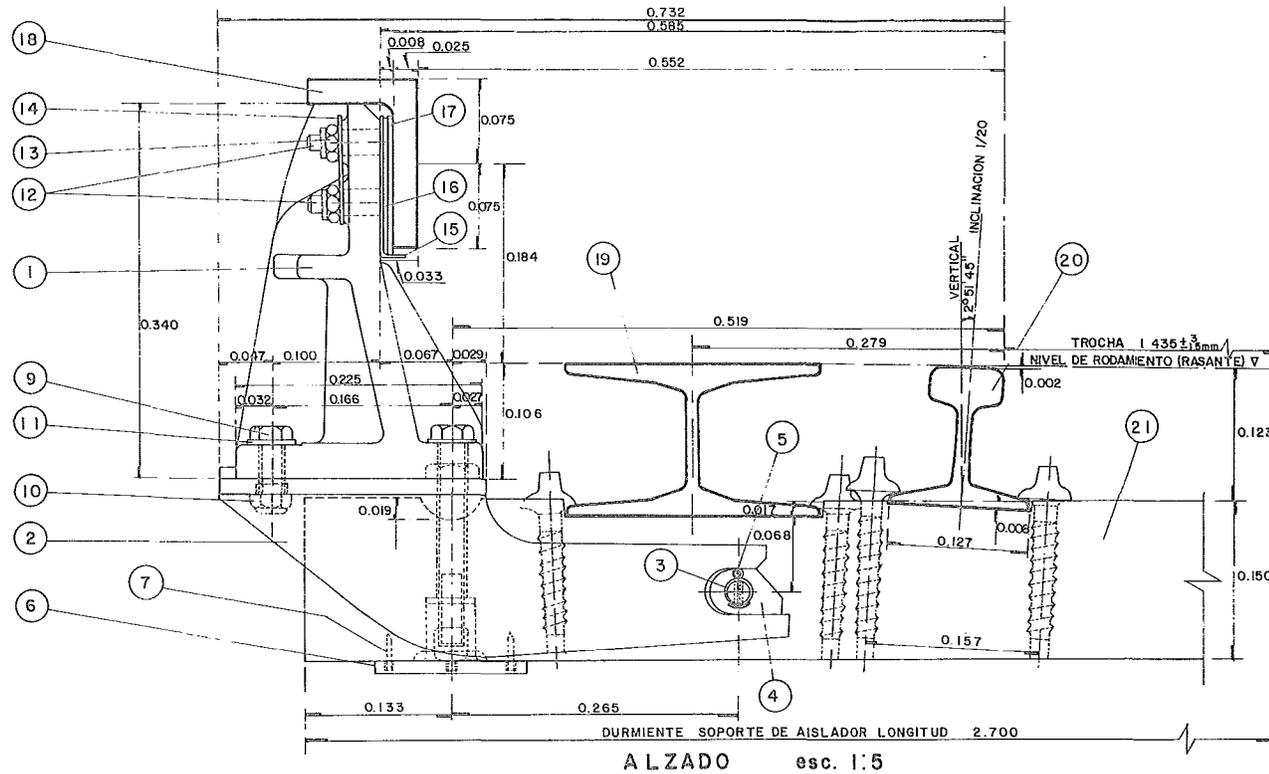
Para el caso que nos interesa, vía sobre balasto en subterráneo, únicamente consideramos el uso de durmientes de madera.

Los rieles y pistas de rodamiento se fijan por medio de tornillos tirafondos  $\emptyset$  23 mm de una manera directa, es decir, que tenemos una fijación rígida; su uso es favorecido por las condiciones del túnel mencionadas.

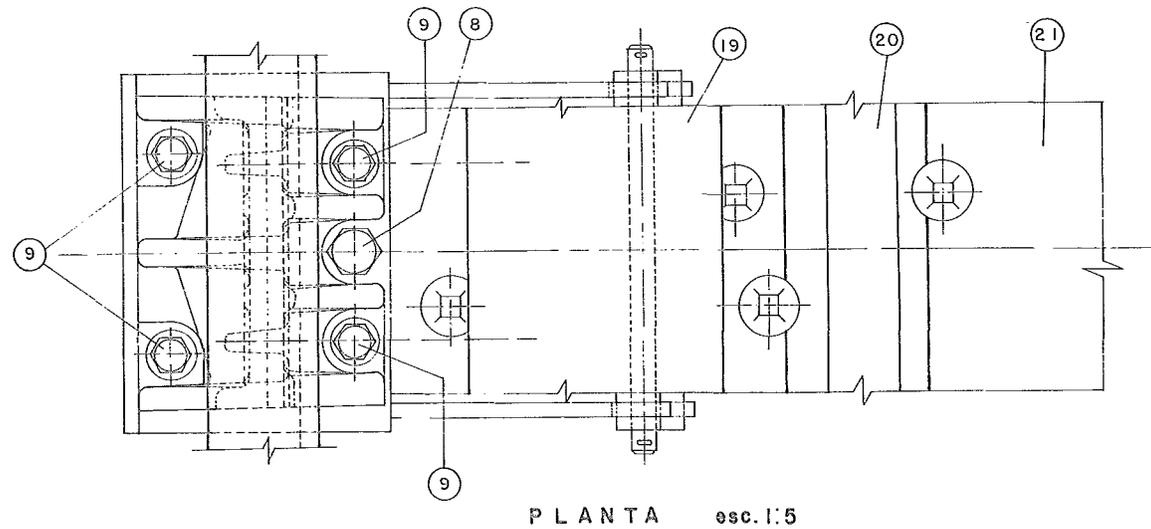
Las características mecánicas del material son muy variables, dependiendo del tipo del acero, variando su resistencia desde un mínimo de 36 Deca newtons/mm<sup>2</sup> hasta 71 Deca newtons/mm<sup>2</sup>, su  $\emptyset$  es de 23 mm y su longitud tipo A de 115 mm.

El aislamiento eléctrico se logra por medio del mismo durmiente de sujeción de la barra. A diferencia del riel y la pista, la barra guía y de toma de corriente tiene sujeciones a cada 3.000 m, ésto en tangente o  $R \geq 500$  m, es decir un soporte a cada cuatro durmientes. En este perfil tenemos una fijación indirecta al durmiente y una directa; la segunda es por medio de tres pernos autosoldables al arco eléctrico del lado de la barra; y la primera por atornillamiento al soporte aislador. Esta operación requiere ser ejecutada con exactitud (+ 1 - 1.5 mm) ya que de dicho ajuste depende substancialmente el buen guiado del tren.

Un segundo elemento de fijación indirecta de la barra al durmiente, es el soporte metálico; es un zóclo con bridas que se sujeta firmemente tanto transversal (perno) como verticalmente (clavos y candelero) al durmiente y al soporte aislador. Por otra parte, como consecuencia del mejoramiento de los materiales sintéticos, se ha substituído completamente el uso de los aisladores fabricados en vidrio, mismos que cumplían con todas las normas tanto eléctricas como mecánicas.



CANTD.	Nº	CLASIFICACION	OBSERVACIONES
1	1	AISLADOR Y SOPORTE DE LA BARRA GUIA	
1	2	ZOCLO CON BRIDAS LATERALES	
1	3	PERNO BROCHE	
2	4	CUÑA O CANDADO	
2	5	CHAVETA V6.3-50	
1	6	CANDELERO	DEL TIPO ORDINARIO
4	7	CLAVO "HILTI"	CLAVOS PARA MADERA DURA
1	8	TORNILLO HM24-150	
4	9	TORNILLO HM22-65	
3	10	TUERCA HM22	
4	11	ROLDANA ALARGADA Ø22	
3	12	PERNO NELSON Ø16 LONGITUD 80	VA SOLDADO A LA BARRA GUIA
3	13	TUERCA AUTOFRENADA M16	
1	14	CALZA EXTERIOR	
1	15	CALZA PERMANENTE DE TALON	
1	16	CALZA DE AJUSTE EN 2 PARTES	
1	17	CALZA DE AJUSTE DE 3 BARRENOS	
1	18	BARRA GUIA Y DE TOMA DE CORRIENTE	
1	19	PISTA DE RODAMIENTO	
1	20	RIEL DE 80 A.S.C.E.	
1	21	DURMIENTE SOPORTE AISLADOR	



<b>UNAM</b>	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
INGENIERIA CIVIL	<b>IMPLANTACION DE VIA</b>
	<b>FIJACION DE VIA SOBRE DURMIENTES DE MADERA</b>
TESIS PROFESIONAL	RUBEN A. OCHOA TORRES

### 3.7. Juntas aislantes y cupones neutros.

Las juntas aislantes son elementos electromecánicos de vía por medio de los cuales se activa la señalización para la seguridad del sistema, y en algunos casos su función es netamente para permitir el retorno de corriente y la inversión de polaridad del sistema eléctrico de alimentación a los trenes.

Los cupones neutros son seccionadores de vía que permiten el corte de corriente entre sub-estaciones de rectificación, dando la facilidad de aislar tramos de vía en caso de falla del material rodante, corto circuito, accidentes, etc.

### 3.8. Aparatos y juntas de dilatación.

Los aparatos y juntas de dilatación, son mecanismos cuya función primordial consiste en absorber las variaciones físicas de los perfiles, provocadas por variaciones de la temperatura ambiente en vía a la intemperie, manteniendo la continuidad de la vía y evitando posibles deformaciones.

Estos mecanismos son colocados en la barra guía, el riel y la pista, variando la distancia entre ellos en función de la solución para el cajón y los elementos de vía a proteger.

En tramos elevados se colocan a cada 126.0 m, en tramos tangentes y curvas de radios mayores o iguales a 1000.0 m, y a cada 72.0 m en curvas de radios menores a 1000.0 m; para la solución superficial, se ubican a cada 126.0 m en tramos tangentes y en curvas con radios mayores o iguales a 300.00 m, y a cada 72.00 m en curvas de radios menores a 300.00 m.

Los aparatos de dilatación son implantados sobre la barra guía, y las juntas de dilatación sobre el riel y la pista, debiendo ser coincidentes en las soluciones (elevado y su-

perficial).

Cuando el elemento a proteger es una junta aislante, ésta se ubica al centro de un tramo de 180.00 m entre juntas de dilatación de riel y pista, coincidiendo una de éstas con un aparato de dilatación de barra guía y formando parte de un conjunto de 72.00 m a 126.00 m.

En el caso de tener un cupón neutro, los aparatos de dilatación se colocan a una distancia entre 7.40 y 25.50 m, a partir de los blocks aislantes de la barra, formando un conjunto variable de 27.00 a 63.00 m; este conjunto forma parte de un tramo de 72.00 a 126.00 m y uno de los aparatos de dilatación coincide con una junta de dilatación.

Para la protección de los aparatos de vía, se colocan mecanismos de dilatación en riel, pista y barra, a una distancia variable entre 5.50 y 27.00 m, a ambos lados de la zona de transición del aparato.

Estos tramos de 126.00, 72.00m y de longitud variable, se anclan al centro de los mismos mediante ángulos soldados a la barra guía y apoyados en los laterales de los dos aisladores centrales.

### 3.9. Aparatos de vía.

Con este nombre se designa a los equipos instalados sobre una línea, que sirven para lograr un cambio de dirección o de vía; la variedad de éstos en función de su ángulo y cantidad de vías que enlaza o diseña es muy amplia; por razones de orden técnico como económico, se ha limitado a la clase de los implantados ya durante la primera etapa.

Por el ángulo de desvío que se tiene, se clasifican en aparatos tangente 0.13 y tangente 0.20; los primeros fueron instalados en vías principales y en "colas de maniobras"; los segundos se limitaron a las áreas de maniobra de talleres.

La operación de todos los aparatos se realiza por tele-comando, y se encuentran dotados también para operación manual en caso de falla de dicho sistema; la excepción son los aparatos que dan acceso a las vías de pruebas, dotados de mando manual únicamente, y los aparatos que se colocaron en previsión de enlazar con futuras líneas, en cuyo caso se anula provisionalmente la posibilidad de maniobra, incluyéndose un seguro mecánico que impide el movimiento accidental del aparato.

### 3.9.1 Descripción de los aparatos Tg 0.13.

A) Enlaces. Esquemáticamente se trata de un tramo tangente con una longitud de 25.912, localizándose el P. I. del ángulo correspondiente al desvío izquierdo o derecho a 7.246 m; la longitud de este tramo es igual a 20.2365m, aún cuando las dimensiones verdaderas son mayores, se toma este esquema, ya que sus extremos son puntos característicos que corresponden a los denominados: Punta del aparato ( P. de A. ) y talones del aparato ( T. de A. ), partes que físicamente corresponden al inicio y final de las piezas moldeadas del conjunto, que por tratarse de un material (acero al manganeso) moldeado, sumamente rígido, requiere de un trabajo de implantación cuidadoso y localización bien definida. El aparato en sí, continúa en 8.625 m más allá de la punta del aparato y del talón de aparato, ubicado en la vía desviada, y 10.125 en el talón de la vía en tangente. Dada la naturaleza del conjunto, su implantación se busca realizarla en tangente y con una pendiente nula (tolerancia de 0.2%).

El tipo de riel utilizado es de 100 lbs/yd (en normas R. E.); la pista y barra guía permanecen inalterables; además se cuenta con el uso de contrarrieles igualmente del tipo 100 R. E., del tipo corto en la zona de punta --

del aparato y largos en sus talones.

El uso de los contrarieles responde a la necesidad de asegurar el guiado de los trenes, dado que éste se anula a nivel de la barra de alimentación, al obligarse a ser interrumpido en su parte central. Esta discontinuidad es hecha por intermedio de las denominadas "cruceetas", elementos estandarizados en longitud de 7.500 y 11.00 m, que son los que permiten el paso gradual de los frotadores positivos del sistema eléctrico. Cabe mencionar que esta discontinuidad no afecta la instalación del sistema de pilotaje automático ni la telefonía de alta frecuencia.

El cambio de dirección realizado por medio de agujas de 9.300 del tipo flexible; éste a nivel de la punta del aparato.

La parte central se asegura por piezas monoblock fijas.

El radio mínimo en la zona de aparatos es de 90.00 y 150.00 m al abordar el cambio y al salir del desvío, respectivamente.

La sección de los durmientes utilizados en la zona del aparato es de 150 mm x 260 mm variando la longitud de 2.600 a 5.000 m como máximo, pudiéndose tener también el traslape de durmientes para tramos mayores a los 3.500 m.

La posición de cada uno de ellos queda determinada de manera exacta, ya que el maquinado de estos debe corresponder a la forma de la pieza que soportará en dicho punto.

Los durmientes tienen una mayor facilidad para ser intercambiados, son los ubicados fuera de las puntas de aparatos y talón de aparato.

La fijación de los diferentes elementos del aparato, se realizó por medio de tirafondos tipo A y C con  $L = 115$  y  $135$  mm respectivamente  $\emptyset = 23$  mm.

La operación de la maniobra del aparato se efectúa con un motor (tipo T-72), montado sobre dos de los durmientes. El enclavamiento de las agujas se aseguró por medio de cerrojos axiales (al eje de la vía) o individuales (uno en cada aguja) dependiendo de la manera en que se lleva a cabo la operación.

La operación del aparato queda asegurada por la señalización, que opera bajo el sistema de derivación; esto es, que los circuitos de vía mantienen una sección aislada continuamente.

- B) Comunicaciones. Las longitudes de cada uno de estos, varía conforme a la entrevía que se adopte, teniéndose los valores de 54.000 m, 55.973 y 64.050 m respectivamente, para las entrevías de 2.900, 3.15 y 4.200.

Básicamente, el diseño de las piezas moldeadas corresponde al de los enlaces; la diferencia más notable es a nivel de las piezas centrales, que son más cortas, para permitir lo que será un acoplamiento entre dos aparatos de enlace, pero disminuyendo el desarrollo que se tendría.

El tipo de fijación a utilizar es similar: tirafondos A y C. La operación de los aparatos y los sistemas de señalización (señalización por derivación) son similares.

Cabe mencionar, sin embargo, que la posición de los motores de mando, frecuentemente no se colocó en posición adyacente al sistema de agujas de cambio de vía, sino a distancia; ésto fué hecho tanto por la operación como por la seguridad del personal durante su manipulación.

Para la implantación de cada uno de los mencionados aparatos, se recurrió a la elaboración de planos que sirvieron tanto para el cotejo con el fabricante como para la guía del personal de obra electromecánica, encargado de su recepción, verificación de cada una de las partes puesta en servicio y como posterior control del desgaste de cada uno de ellos. Dado el costo sumamente elevado de estos aparatos, dicho control es requisito indispensable.

### 3.9.2. Descripción de los aparatos Tg 0.20.

Dada la posición que deben ocupar, la cantidad de aparatos y el servicio que desempeñan, la longitud de estos aparatos se reduce sensiblemente, teniendo 20.392m de extensión sobre la vía en tangente y 11.946 m sobre la vía desviada, medidas a partir del P. I. que se ubica a 8.446 de la punta de aparato.

La transición entre los rieles ordinarios en 80 lbs/yd ( $h = 127\text{mm}$ ) y las piezas moldeadas, se logra por medio de un riel de 100 lbs/yd ( $h = 152.4\text{mm}$ ), denominado de enlace; su longitud generalmente no supera los 5.00m.

El sistema de agujas de desvíos es del tipo articulado y su longitud es de 3.500 m.

El guiado es asegurado únicamente por los rieles y reforzado por contrarieles a nivel del talón de aparato. La posición de la barra de alimentación-tracción es definida para cada aparato y su caso depende del sistema adoptado para cada taller y área; en caso de corte de la misma, la transición se realiza por crucetas de 7.500 ó de 12.000 conforme a la posición en que se ubique.

El tipo de barra utilizado fué de dos clases:

La estandarizada de 150 x 100 x 25 mm de sección y otra más que se tuvo en medidas inglesas 6" x 4" x 1".

Con objeto de facilitar la colocación de la barra y crucetas en los radios tan reducidos, se utilizó un soporte diferente al zoclo con bridas; ésto fué por medio de un mecanismo de tornillos que se desplazan entre una ranura circular (platillo).

La fijación de los elementos fué con el mismo tipo de tornillería y calzas.

La dimensión de los durmientes varía entre 2.600 y 5.700m, y debe igualmente definirse la posición de cada uno de ellos desde su proyecto.

El enclavamiento correcto de las agujas queda hecho por medio de las palancas de mando, reversibles y talonables, o por su mecanismo de telemando. La excepción la constituyen los aparatos que dan a la vía de prueba, que están dotados de cerrojo axial y operación manual únicamente.

Estas particularidades responden a la necesidad de poder franquear un aparato desde su talón sin estar con sus agujas debidamente dispuestas, causando el menor daño posible.

El radio que se maneja en estos aparatos es el mínimo admisible para el material rodante utilizado en México,  $R = 55.00 \text{ m}$ .

#### 4. SOBREELEVACIONES.

En principio, un tren al desplazarse a lo largo de una curva horizontal, se encuentra sometido a un sistema de fuerza, en función de su masa, velocidad y radio de curvatura, generando un deslizamiento, el cual es anulado por la sobre-elevación asignada al riel exterior de la vía.

Los valores teóricos de la sobre-elevación aplicada a cada curva dependen fundamentalmente del proyecto definitivo de trazo, de la velocidad estimada y de las condiciones de confort que pretendan proporcionarse a un sistema de transporte como el "Metro".

Los valores reales de la sobre-elevación utilizada en esta etapa de construcción, se calculan en función de la "Marcha Tipo", con un límite, por condiciones de confort, de 16mm.

El proyecto de sobre-elevaciones tiene como plano de referencia los niveles de rasante del proyecto de perfil, y como zona de desarrollo la longitud de la clotoide, es decir, la distribución del peralte es diferente para cada solución (subterráneo, superficial y elevado) y sus valores de cero a máxima corresponden a los puntos denominados: Tangente clotoide (TC) o clotoide tangente (CT) y clotoide circular (CC) o circular clotoide (CC) respectivamente, conservándose la sobre-elevación máxima a lo largo de toda curva circular.

##### 4.1. Teoría general.

Cuando un tren recorre una curva horizontal con una velocidad de consigna, se produce una fuerza centrífuga inversamente proporcional al radio de curvatura y directamente proporcional al cuadrado de la velocidad tangencial, o sea:

$$F = \frac{MV^2}{R}$$

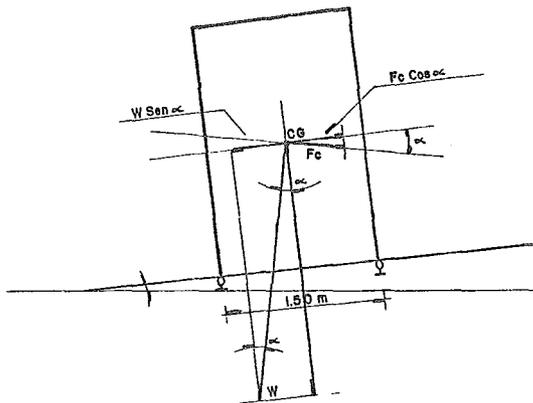
Se considera que un vehículo al pasar por una curva horizontal con una cierta velocidad, deberá estar en equilibrio, para lo cual es necesario que la componente de la fuerza centrífuga, paralela al plano de vía, sea igual a la componente del peso del vehículo, que también es paralela al plano de vía.

La fórmula teórica queda expresada de la siguiente forma:

$$F_c = \frac{Wv^2}{gR}$$

De donde:

$F_c$	= Fuerza centrífuga	(kg)
$W$	= Peso del vehículo	(kg)
$v$	= Velocidad del vehículo	(m/seg)
$g$	= Aceleración de la gravedad	(m/seg <sup>2</sup> )
$R$	= Radio de la curvatura horizontal	(m)



Igualando las fuerzas paralelas al plano de la vía (componente de la fuerza centrífuga y componente del peso del vehículo), tenemos:

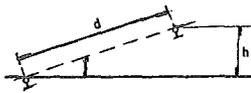
$$F_c = \text{Cos } \alpha = W \cdot \text{Sen } \alpha$$

De la fórmula teórica de la fuerza centrífuga tenemos:

$$\frac{Wv^2}{gR} \cdot \text{Cos } \alpha = W \cdot \text{Sen } \alpha$$

$$\frac{v^2}{gR} \cdot \text{Cos } \alpha = \text{Sen } \alpha \quad (1)$$

De la figura anterior tenemos:



Trocha de la vía  
escantillón.

1.4350

Hongo de riel

0.0635

Fig 4.1.2

1.4985 m

$$d = 1.4985 \text{ m} \approx 1.50 \text{ m}$$

$$\text{Sen } \alpha = \frac{h}{1.50} \quad (2)$$

Sustituyendo (2) en (1)

$$\frac{v^2}{gR} \cdot \text{Cos } \alpha = \frac{h}{1.50}$$

$$h = \frac{1.50 v^2}{gR} \cdot \text{Cos } \alpha = \frac{1.50 v^2}{9.81 R} \text{ Cos } \alpha$$

$$h = 0.1529 \frac{v^2}{R} \text{ Cos } \alpha$$

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

$$h = \frac{0.1529 v^2}{(3.6)^2 R} \quad h \text{ en (m)}$$

$$h = 0.011798 \frac{v^2}{R} \text{ Cos } \alpha \quad v \text{ en (km/hr)}$$

R en (m)

Si se quiere obtener el valor de  $h$  en milímetros, y siendo  $h$  un valor muy pequeño, se puede considerar que el coseno de  $\alpha$  se acerca a la unidad; por lo tanto:

$$h = (1000)0.11798 \frac{V^2}{R} \quad h \text{ en (mm)}$$

$$h = 11.8 \frac{V^2}{R} \quad V \text{ en (km/hr)}$$

$$R \text{ en (m)}$$

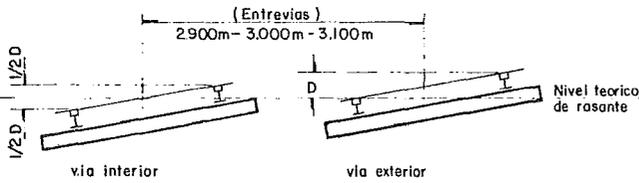
La sobreelevación se dará gradualmente a lo largo de las clotoides de entrada; empezando con una sobreelevación igual a cero en un punto determinado (1), que se localiza antes del TC de la curva, y terminando con el valor de la sobreelevación en un punto (M) que se ubica después del CC de la curva.

La transición entre el punto (1) con clotoide de entrada y la clotoide de salida con punto (M), se hará por medio de la curva vertical parabólica con radio de curvatura de 2500m.

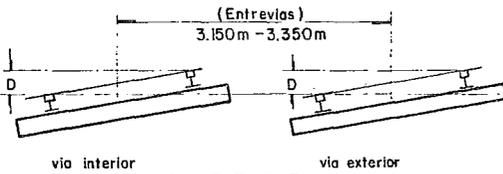
(Ver capítulo de perfil).

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

De manera inversa se aplica la sobreelevación en las clotoides de salida, es decir, se inicia con el valor de la sobreelevación en un punto antes del CC y se termina con la sobreelevación igual a cero en un punto después del CT.

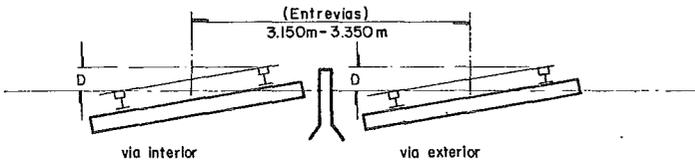


1- VIAS EN SUBTERRANEO

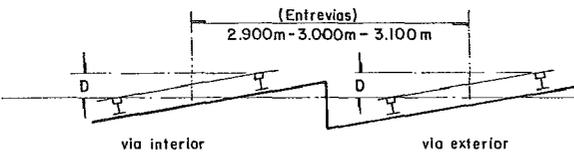


2- VIAS AEREAS

SUPERFICIAL



ELEVADO



3- TUNEL Y SUBTERRANEO

FIJACION SOBRE CONCRETO

U N A M

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

T E S I S PROFESIONAL

POSICIONES RELATIVAS DE LAS VIAS PERALTADAS

RUBEN A. OCHOA TORRES

INGENIERIA CIVIL





b) La vía exterior girará en el riel interior, levantando el riel exterior hasta obtener la sobreelevación calculada (ver siguiente figura).

#### 4.2. Insuficiencia máxima de peralte.

Cuando un vehículo toma una curva peraltada a velocidad inferior a la que se calculó el peralte, o cuando se detiene en ella, la vía y los elementos de guía del vehículo quedan sometidos a una fuerza dirigida hacia el interior de la curva y directamente proporcional al peralte.

Por causas de confort a los pasajeros del vehículo, se ha determinado por medios empíricos que el peralte máximo permisible sea de 160 mm, de manera que la pendiente para llegar a dar esta sobreelevación, no rebase los 4mm/m.

Debido a esta restricción, es necesario utilizar todos los recursos del sistema de vía que puedan observar parte del empuje ocasionado por la fuerza centrífuga; se ha calculado que el sistema de sujeción de las vías, rieles, barra guía, soportan una parte de la fuerza centrífuga, equivalente a  $\frac{1}{10}$  del peso del vehículo ( $F_i = \frac{1}{10} W$ )

De la figura 4.1.1. tenemos:

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

Y de la figura 4.1.2. tenemos:

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

Igualando las dos ecuaciones:

$$\frac{F_i}{W} = \frac{h}{1.50}$$

Sustituyendo el valor de  $F_i$ :

$$\frac{\frac{1}{10} w}{w} = \frac{h}{1.50}$$

$$\therefore \frac{1}{10} = \frac{h}{1.500}$$

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

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

De lo anterior se deduce que en este caso se tolerará una insuficiencia máxima en el peralte de 150mm, es decir: si el peralte real es de 160mm, el peralte teórico máximo podrá ser de  $160 + 150 = 310\text{mm}$ ; o sea que la velocidad máxima de operación estará en función de este último valor.

De la fórmula  $h = 11.8 \frac{V^2}{R}$ , si  $h = 310\text{mm}$ .

$$V = \sqrt{\frac{Rh}{11.8}}$$

$$V = \sqrt{\frac{R(310)}{11.8}} = 5.1255V\sqrt{R}$$

$$V = 5.126 V\sqrt{R} \quad (\text{para sobreelevación de } 160\text{mm}).$$

#### 4.3. Aplicación numérica.

Tomaremos como ejemplo de cálculo la curva N<sup>o</sup> 171 - 172 del tramo: Vallejo - Instituto Mexicano del Petróleo de la línea 6, con los siguientes datos:

Curva 172 (vía exterior)

$$h = 0.140$$

$$LcL = 72.743$$

$$Km(TC) = 8 + 531.147$$

$$Km(CT) = 8 + 796.383$$

La velocidad máxima de operación se obtiene de la gráfica de marcha tipo del tramo, sobre vía 1 y vía 2 respectivamente (ver marcha tipo en el capítulo de perfil)

Cálculo:

Siendo  $h = 0.140$  y  $Lc1 = 72.743$ , la pendiente "s" será:

$$s = \frac{h}{Lc1} = \frac{0.140}{72.743}$$

$$s = 0.0019246 \approx 0.0019$$

$$Lc = (2500) \cdot s = (2500) (0.0019246)$$

$$Lc = 4.812 \text{ m}$$

$$St = \frac{Lc}{2} = \frac{4.812}{2}$$

$$St = 2.406 \text{ m}$$

$$d = Lc1 - Lc = 72.743 - 4.812$$

$$d = 67.931 \text{ m.}$$

Esta longitud "d", deberá dividirse en cuerdas cercanas a 5m de longitud, para dar niveles: siendo 13, quedará a cada 5.225m cada riel.

Aplicando la fórmula tenemos:

$$y = \frac{x^2}{5000} = 0.0002 x^2$$

Se obtienen los niveles en los puntos principales de la parábola:

$$Y_2 = 0.0002(ST)^2 = 0.0002(2.406)^2$$

$$Y_2 = 0.00115 \approx 0.001 \text{ (punto 2)}$$

$$Y_2 = 0.0002(Lc)^2 = 0.0002(4.812)^2$$

$$Y_3 = 0.0046 \approx 0.005 \text{ (punto 3)}$$

Curva 171(vía interior).

$$2h = 0.110$$

$$h = 0.055$$

$$Lc1 = 79.256$$

$$Km.(TC) = 8 + 527.900$$

$$Km (CT) = 8 + 797.002$$

Cálculo:

$$S = \frac{h}{Lc1} = \frac{0.055}{79.256}$$

$$S = 0.0006940 \approx 0.0007$$

$$Lc = (2500) \cdot S = (2500) (0.0006940)$$

$$Lc = 1.735 \text{ m}$$

$$St = \frac{Lc}{2} = \frac{1.735}{2}$$

$$St = 0.867 \text{ m}$$

$$d = Lc1 - Lc = 79.256 - 1.735$$

$$d = 77.521 \text{ m}$$

Con  $d = 77.521$ , tendremos 15 niveles a cada 5.168 m.

Aplicando la fórmula tendremos:

$$Y2 = 0.0002(ST)^2 = 0.0002 (0.867)^2$$

$$Y2 = 0.00015 \approx 0.000 \text{ (punto 2)}$$

$$Y3 = 0.0003(Lc)^2 = 0.0003 (1.735)^2$$

$$Y3 = 0.00060 \approx 0.001 \text{ (punto 3)}$$

Con los datos anteriores se elevará el plano de sobrelevaciones, dando los niveles con respecto al nivel de la rasante, a separaciones constantes a todo lo largo de la zona de clotoide y en los puntos principales de la parábola de enlace (puntos 2 y 3), anotando los cadenamientos de cada una de las vías con respecto al eje de trazo.

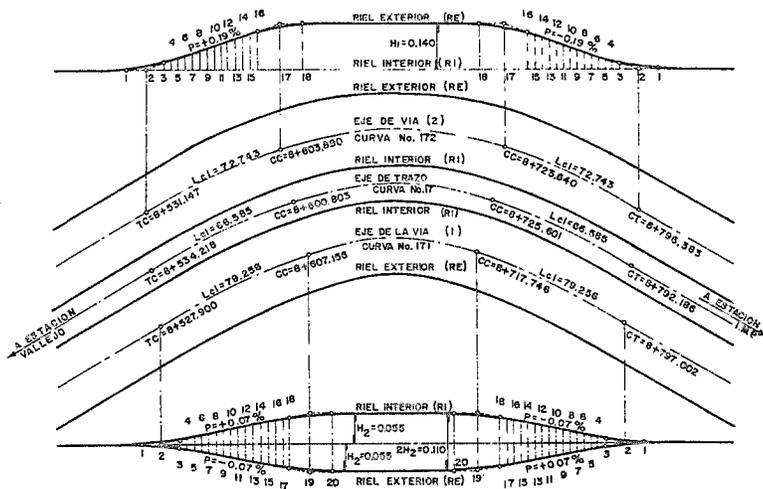
El mismo procedimiento se aplicó para calcular la sobreelevación de todas las curvas del tramo.

CURVA No. 172	NUM. DE SECCION	DISTAN- CIA	SOBRE- ELEVACION TOTAL	RE VIA(2)	RI VIA(2)	CADENAMIENTOS	ENTRE- VIA
	1	2.406	0.000	0.000	0.000	8+528.741	8+798.789
	2 CT		0.001	0.001	0.000	8+531.147	8+796.383
	3	2.406	0.005	0.005	0.000	8+533.553	8+793.977
	4	5.226	0.015	0.015	0.000	8+538.779	8+788.751
	5	5.226	0.025	0.025	0.000	8+544.005	8+783.525
	6	5.226	0.035	0.035	0.000	8+549.231	8+778.299
	7	5.226	0.045	0.045	0.000	8+554.457	8+773.073
	8	5.226	0.055	0.055	0.000	8+559.683	8+767.847
	9	5.225	0.065	0.065	0.000	8+564.909	8+762.621
	10	5.225	0.075	0.075	0.000	8+570.134	8+757.396
	11	5.225	0.085	0.085	0.000	8+575.359	8+752.171
	12	5.225	0.095	0.095	0.000	8+580.584	8+746.946
	13	5.225	0.105	0.105	0.000	8+585.809	8+741.721
	14	5.225	0.115	0.115	0.000	8+591.034	8+736.496
	15	5.225	0.125	0.125	0.000	8+596.259	8+731.271
	16	2.406	0.135	0.135	0.000	8+601.484	8+726.046
	17 CC		0.139	0.139	0.000	8+603.890	8+723.640
	18	2.406	0.140	0.140	0.000	8+606.296	8+721.234

1.450 - 1.300 - 1.450

CURVA No. 171	NUM. DE SECCION	DISTAN- CIA	SOBRE- ELEVACION TOTAL	RE VIA (1)	RI VIA (1)	CADENAMIENTOS	ENTRE- VIA
	1	0.867	0.000	0.000	0.000	8+527.033	8+797.869
	2 CT		0.000	0.000	0.000	8+527.900	8+797.002
	3	0.867	0.001	-0.001	+0.001	8+528.767	8+796.135
	4	5.168	0.008	-0.004	+0.004	8+533.935	8+790.967
	5	5.168	0.016	-0.008	+0.008	8+539.103	8+785.799
	6	5.168	0.022	-0.011	+0.011	8+544.271	8+780.631
	7	5.168	0.030	-0.015	+0.015	8+549.439	8+775.463
	8	5.168	0.038	-0.019	+0.019	8+554.607	8+770.295
	9	5.168	0.044	-0.022	+0.022	8+559.775	8+765.127
	10	5.168	0.052	-0.026	+0.026	8+564.943	8+759.959
	11	5.168	0.058	-0.029	+0.029	8+570.111	8+754.791
	12	5.168	0.066	-0.033	+0.033	8+575.279	8+749.623
	13	5.168	0.072	-0.036	+0.036	8+580.447	8+744.455
	14	5.168	0.080	-0.040	+0.040	8+585.615	8+739.287
	15	5.168	0.088	-0.088	+0.088	8+590.783	8+734.119
	16	5.168	0.094	-0.047	+0.047	8+595.951	8+728.951
	17	5.169	0.102	-0.051	+0.051	8+601.120	8+723.782
	18	0.867	0.108	-0.054	+0.054	8+606.289	8+718.613
	19	0.867	0.110	-0.055	+0.055	8+607.156	8+717.746
	20 CC		0.110	-0.055	+0.055	8+608.023	8+716.879

1.450 - 1.800 - 1.450



RADIO NOMINAL DE LA CURVA CIRCULAR (EJE DE TRAZO) = 225.000

**UNAM**

INGENIERIA CIVIL

TESIS PROFESIONAL

ESUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

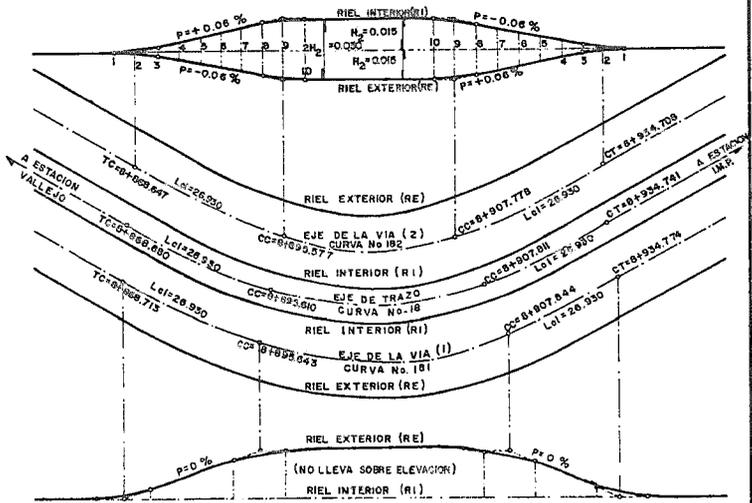
**PLANO DE SOBRE ELEVACIONES**

**TRAMO: VALLEJO-IMP**

**CURVAS No. 171 y 172**

RUBEN A. OCHOA TORRES

CURVA No. 182	NUM. DE SECCION	DISTAN- CIA	SOBRE- ELEVACION TOTAL	RE VIA(2)	RI VIA(2)	CADENAMIENTOS	ENTRE- VIA
	1	0.696	0.000	0.000	0.000	8+867.951	8+935.404
	2CT	0.000	0.000	-0.000	+0.000	8+868.647	8+934.708
	3	0.696	0.001	-0.001	+0.001	8+869.343	8+934.012
	4	5.108	0.006	-0.003	+0.003	8+874.451	8+928.904
	5	5.108	0.012	-0.006	+0.006	8+879.559	8+923.796
	6	5.108	0.018	-0.009	+0.009	8+884.667	8+918.688
	7	5.107	0.024	-0.012	+0.012	8+889.774	8+913.581
	8	5.107	0.030	-0.015	+0.015	8+894.881	8+908.474
	9CC	0.696	0.030	-0.015	+0.015	8+895.577	8+907.778
	10	0.696	0.030	-0.015	+0.015	8+896.273	8+907.082
1.450 - 1.450 - 1.450							
CURVA No. 181	NUM. DE SECCION	DISTAN- CIA	SOBRE- ELEVACION TOTAL	RE VIA(1)	RI VIA(1)	CADENAMIENTOS	ENTRE- VIA
(NO LLEVA SOBRE ELEVACION)							
1.450 - 1.450 - 1.450							



RADIO NOMINAL DE LA CURVA CIRCULAR(EJE DE TRAZO) = 850.000

U N A M

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

---

INGENIERIA CIVIL



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PLANO DE SOBRE ELEVACIONES

TRAMO: VALLEJO-IMP

CURVA No. 182

---

T E S I S  
P R O F E S I O N A L

RUBEN A. OCHOA TORRES

## 5. IMPLANTACION DE VIA TRAZO Y PERFIL.

### 5.1. Implantación de vía trazo.

Una vez terminada la obra civil, fué necesaria la implantación de los ejes de vía; información indispensable para ejecutar la obra electromecánica del sistema.

El proceso técnico de esta etapa del proyecto fué el siguiente:

- a) Ubicación del eje de trazo proyecto sobre la estructura (cajón, superficial, elevada o túnel), incluyendo las curvas horizontales.
- b) Medición de gálidos horizontales a cada 20.00 m en tangente y a cada 5.00 en curva.
- c) Con la anterior información de campo, se elaboró el plano de implantación de vía - trazo, en el cual se analizó la sección de la estructura construída y se comparó contra la sección de la estructura proyecto; utilizando los gálidos horizontales mínimos se determinaron los ejes de vía reales.
- d) Ratificación o rectificación en su caso de los ejes de vía sobre la estructura.

El resultado de esta etapa del proyecto quedó contenida en los planos de implantación de vía - trazo.

### 5.2. Implantación de vía perfil.

Después de definido un eje de trazo real sobre la estructura; se obtuvo en campo la nivelación de la subrasante a cada 20.00m; con estos datos se desarrolló el plano de Implantación de vía-perfil, en el que se analizaron las pendientes longitudinales del proyecto original y tomando en cuenta las irregularidades

de la obra civil, se definió un nuevo proyecto de perfil de la rasante, calculándose niveles puntuales en tramos de tangente vertical, a cada 20.00m y en zonas de curva vertical a cada 5.00m.

## **BIBLIOGRAFIA**

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

- 1) ESTUDIOS, PROYECTOS Y MEMORIAS DEL DEPARTAMENTO DE VIA Y TOPOGRAFIA DE INGENIERIA DE SISTEMAS DE TRANSPORTE METROPOLITANO, SOCIEDAD ANONIMA (ISTME, S. A.).
- 2) DATOS Y ESPECIFICACIONES PROPORCIONADOS POR SOCIEDAD FRANCESA DE ESTUDIOS DE TRANSPORTE URBANO, SOCIEDAD ANONIMA (SOFRETU, S. A.).
- 3) REVISTAS Y PUBLICACIONES DEL METRO DE MEXICO, EDITADAS POR LA COMISION DE VIALIDAD Y TRANSPORTE URBANO (COVITUR) Y EL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO (S T C).
- 4) INVESTIGACIONES SOBRE EL METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE MEXICO. (INSTITUTO DE INGENIERIA - VOL. XL N<sup>o</sup> 3).
- 5) TABLE DE CLOTHOIDE.  
POR: PIERRE KLAUS, UNION DE PROFESSIONALS DE LA ROUTE, ZURICH, SUISSE, 1977.
- 6) CONSTRUCTIONS DES METROS.  
ESTABLISSEMENT DES PROJETS.  
POR: MICHEL BIGEY - FRANCIS GUITTONNEAU  
RATP, PARIS FRANCE, 1973.
- 7) URBAN TRANSPORT AND DEVELOPMENT OF CITES IN JAPAN  
BY MITSUO NAKANO  
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY.