

248-A



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ELEMENTOS TOPOGRAFICOS PARA LA CONSTRUCCION
DEL TRAMO TACUBA - SAN JOAQUIN DEL SISTEMA DE
TRANSPORTE COLECTIVO DE LA CIUDAD DE MEXICO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA**

**P R E S E N T A
ALFONSO MEDRANO HERRERA**

MEXICO, D. F.

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	PAG.
CAPITULO I ANTECEDENTES	1
CAPITULO II ELECCION DE RUTA	8
II.1. AREA URBANA DE LA CD. DE MEXICO.	8
II.2. POBLACION Y ASPECTOS DEMOGRAFICOS.	8
II.3. TRANSPORTES Y USUARIOS.	10
II.4. PROBLEMAS DEL TRANSPORTE.	12
II.5. OBRAS VIALES EN LA CIUDAD.	13
II.6. SELECCION DE RUTA.	16
CAPITULO III LEVANTAMIENTOS EN SUPERFICIE	23
III.1. POLIGONALES DE APOYO.	23
III.2. ORIENTACION ASTRONOMICA.	26
III.3. LEVANTAMIENTOS.	47
III.4. LEVANTAMIENTO DE INSTALACIONES MUNICIPALES.	48
CAPITULO IV ALINEAMIENTO HORIZONTAL.	50
IV.1. TRAZO DE EJE DE LINEA.	50
IV.2. RESTRICCIONES DEL ALINEAMIENTO.	51
IV.3. ELEMENTOS Y CALCULO DE UNA CLOTOIDE.	55
IV.4. REFERENCIAS.	72

CAPITULO V	ALINEAMIENTO VERTICAL	77
	V.1. PERFIL.	77
	V.2. PENDIENTES.	77
	V.3. CURVAS VERTICALES.	79
	V.4. LEVANTAMIENTOS ALTIMETRICOS Y BANCOS DE NIVEL.	85
	V.5. REFERENCIAS DE LOS BANCOS DE NIVEL.	93
CAPITULO VI	CONTROL VERTICAL EN TUNEL	95
	VI.1. INTRODUCCION DE NIVELACION A TUNEL.	95
	VI.2. REPOSICION DE TRAZO SOBRE LOZA.	98
	VI.3. COLOCACION DE LA VIA.	99
	VI.4. ALINEACION Y NIVELACION DE RIEL Y PISTA.	101
	VI.5. COLOCACION DE AISLADORES Y BARRAS GUIA.	103
	VI.6. TOLERANCIAS.	104
CAPITULO VII	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	108
BIBLIOGRAFIA.		110

CAPITULO I

I. ANTECEDENTES

En 1821 con 137,000 habitantes y 1076 hectáreas, la ciudad contaba con un servicio de transportación urbana en que servían 2,500 carruajes de distintos estilos, de particulares y de alquiler.

En 1830 se inauguró el servicio de buques de vapor entre Chalco y la ciudad de México, a través del canal de la Viga; este tipo de transporte duró varios años.

En 1835 se otorga la primera concesión para construir una vía férrea que uniera la ciudad con el puerto de Veracruz aunque hasta 1855 se inició el proyecto, inaugurándose en 1857 el tramo del centro de la ciudad a la Villa de Guadalupe. Para el siguiente año se otorgó la concesión de la ruta Plaza de Armas - Tacubaya, que motivó protestas de los propietarios de las líneas de coches de alquiler, por lo cual se estableció un servicio mixto: de Tacubaya a Bucareli, con máquina de vapor y de ahí a la Plaza de Armas, con tracción animal.

En 1857 se expidió el primer reglamento en que se fijaron los derechos y obligaciones del usuario y prestatario del servicio, tales como: "Que los pasajeros no podrán tomar lugar en la plataforma en que está colocado el cochero; los pasajeros que no presenten boleto pagarán una mitad más de -

de la cuota a que se expende, se prohíbe la entrada de animales en los coches y sanción a quien no cumpla con esta disposición; los coches tirados por solo dos bestias podrán conducir hasta veinte personas paradas y otras tantas sentadas; - los tirados por cuatro bestias podrán conducir hasta el doble".

Las restricciones que desde 1877 se habían establecido en el uso de la locomotora en los tranvías de las calles de la ciudad de México, lo avanzado de los experimentos en materia de tracción eléctrica y dado que en otros países ya se empleaban normalmente los tranvías, llevaron a la empresa -- tranvías del Distrito Federal, S.A., concesionada en 1882 a solicitar en 1896 permiso para cambiar en algunas de sus -- líneas la tracción animal por la eléctrica, bajo el sistema "Trolley" que empezó a funcionar en 1901.

La integración de la empresa tranviaria dentro del consorcio al que también pertenecía la Compañía de Luz y Fuerza motriz, aceleró el proceso de electrificación del sistema tranviario, mismo que en un principio le había servido para encontrar colocación a sus excedentes, pero al incrementarse la demanda de energía para otros usos dejó de interesarle el negocio de los tranvías y propició su declinación.

Hacia 1908 el transporte tranviario implantó el servicio de trenes llamados "rápidos", salían del zócalo con - -

dirección Tlalpan, Coyoacán, San Angel, Mixcoac y Tacubaya. Hasta que por ley del 31 de Diciembre de 1946 se constituyó la institución del servicio público descentralizado "Servicio de transportes eléctricos del Distrito Federal" mismo que se vió fortalecido en su parque vehicular e infraestructura por los regímenes posteriores a su nacimiento.

También en el presente siglo llegaron a México los primeros automóviles de combustión interna. Eran 136 en el año de 1903 y crecieron a 800 en un lapso de tres años, los camiones de pasajeros aparecieron en 1917 a raíz de una huelga de tranviarios. Por consiguiente la época del automovilismo no se hizo esperar con la producción en masa, la ocupación permanente de una gran población laborante, el auge económico que provocó, y el progreso contemporáneo de otros campos de la industria y la actividad de los estados modernos, crearon básicamente la clase media de poder adquisitivo suficiente, lo que hizo que la tendencia única en materia de transporte se enfocara al automóvil.

Esta explosión se multiplicó increíblemente en los Estados Unidos de Norteamérica y después en los países Europeos, hasta llegar a ser a mediados de siglo una industria vital prácticamente para todos y cada uno de los países de la tierra. Desafortunadamente los resultados negativos de esta libertad no se hicieron esperar, y el automóvil empezó

a generar problemas, se limitó y reglamentó su uso, se frenó su libertad de acción, las calles proyectadas sin prever el automóvil se congestionaron, surgieron los semáforos y los - sentidos de circulación en calles.

El ingenio del hombre se aplicó a proporcionar condiciones adecuadas para que el automóvil pudiera desarrollar - su cada vez mayor y diversificada eficiencia.

Se destinaron grandes inversiones a satisfacer los imperativos del automóvil y surgieron así grandes super carreteras e impresionantes viaductos y vías rápidas urbanas.

Extensos espacios y monumentales edificaciones inundaron las ciudades modernas, sin embargo, todas estas obras se hacen enseguida insuficientes, la capacidad de adquisición - de vehículos por gente, crece a mayor velocidad que las soluciones que requiere la enorme producción automotriz.

Coincidiendo con esta etapa del automóvil, el transporte colectivo entra en crisis, el número de pasajeros que utilizan tranvía decrece notablemente al hacerse unánime la preferencia por el automóvil.

Al iniciarse la segunda mitad del siglo, la humanidad empezó a comprender que el automóvil no es la panacea irrefu - table al problema del transporte, que la actividad moderna -

del hombre lo requiere y lo seguirá usando, pero restringido en algunas áreas, generalmente en las grandes urbes, para lo que debe buscarse una solución, la ciudad de México no escapa a ninguno de los problemas que en el plano de transporte se presenta en la zona urbana.

El problema del transporte en la capital, como todos - los derivados de la explosión demográfica urbana, tiene sus raíces en la intensidad del desarrollo nacional.

La capital de la República ha tenido grandes cambios - en su fisonomía, en un período de 25 años se ha convertido - en un asentamiento humano de cinco millones de habitantes en una área de 316 Km² a uno de aproximadamente 18.5 en 590 Km² como se observa en la Figura No. 1

Por consecuencia la demanda de servicios básicos ha -- crecido de igual forma.

El crecimiento anárquico que ha experimentado la ciudad y los centros de población que la rodean, ha propiciado graves problemas, no solo en el transporte, sino también de - - abasto, seguridad, educación, empleo, por mencionar sólo algunos de los más importantes.

Por tanto, para evitar que siga el deterioro de la - - calidad de vida, será necesario cumplir con los lineamientos

1524



30,000 Habitantes
270 Hectáreas

1800



137,000 Habitantes
1,076 Hectáreas

1900



541,000 Habitantes
2,713 Hectáreas

1940



1'760,000 Habitantes
11,753 Hectáreas

1980



14'500,000 Habitantes
100,000 Hectáreas

1988



• 18'500,000 Habitantes
• 125,680 Hectáreas
• Estimado.

marcados por el "programa de reordenación urbana y protección ecológica", uno de cuyos objetivos es lograr que la población no llegue a ser mayor del 15% con respecto al total nacional.

Según datos del X Censo General de Población y Vivienda, el Distrito Federal alcanzó en 1980 los 8'831,000 habitantes, la población de los municipios conurbados se estimó en 5'054,000 y en toda la zona metropolitana un total de - - 14'100,000 habitantes.

Con la información obtenida de los censos realizados - entre 1950 y 1980, se han elaborado pronósticos para los --- años 1994, 2000 y 2010; y se estima de acuerdo a la hipótesis de crecimiento medio, marcada para la política demográfica del Distrito Federal y el Estado de México, que la zona - metropolitana podría llegar a tener en el año 2010, 54'300,000 habitantes, correspondiendo 15'740,000 al Distrito Federal y 18'560,000 a los municipios conurbados. Las cantidades antes mencionadas dan clara idea de la magnitud de las soluciones a desarrollar y sobre todo, específicamente en materia - de transporte.

CAPITULO II

II. ELECCION DE RUTA

II.1. AREA URBANA DE LA CIUDAD DE MEXICO

Se estudiaron en detalle las características de la Me-
trópoli, encontrándose que la zona metropolitana está for-
mada por 16 Delegaciones Políticas y 17 Municipios del Esta-
do de México y en un radio de 100 Km. se concentra cerca de
la sexta parte de la población del país, son los municii-
pios del Estado de México más activos los siguientes: Atiza-
pan de Zaragoza, Coacalco, Cuautitlán de Romero Rubio, - - -
Chimalhuacán, Ecatepec, Huizquilucan, Naucalpan, Netzahualco
yotl, La paz, Tultitlán y Tlalnepantla, como se muestra en -
la Figura No. 2

II.2. POBLACION Y ASPECTOS DEMOGRAFICOS

En 1980 la población total del área metropolitana era
de 8'831,000 habitantes, distribuidos en las 16 delegaciones
políticas del Distrito Federal, y la de los municipios conur-
bados se estimó en 5'054,000.

La tasa anual de crecimiento de la población del país
de la década 1960-1970, fue del 3.4% comparada con el 5.4% -
para el área metropolitana y es 3.7% la del Distrito Federal.

La evolución registrada en el período 1970-1980 en la
zona metropolitana fué de 6.2% y para el Distrito Federal de

4.1%, lo que hace notar una continua concentración de la población en dicha área, provocada principalmente, por los - - flujos migratorios procedentes del interior del país.

II.3. TRANSPORTES EN LA CIUDAD Y PASAJEROS TRANSPORTADOS.

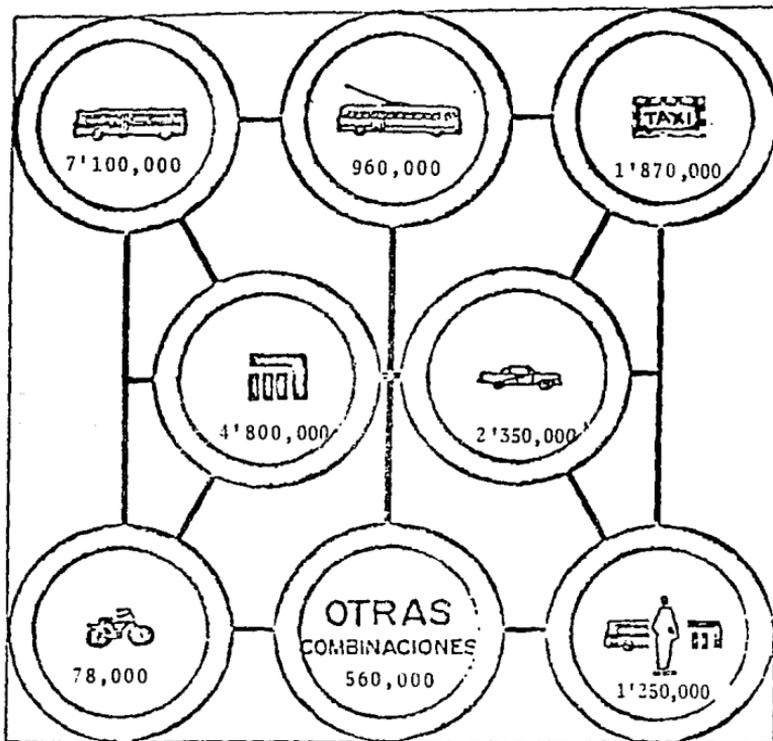
El 17 de enero de 1984 se creó la "Coordinación General de Transporte", como entidad rectora en la materia, a fin de integrar los sistemas de transportación a cargo del gobierno capitalino y dar congruencia a las políticas de vialidad y - transporte público y privado concesionado.

Las funciones de la Coordinación General del Transporte son: elaborar, estudiar, coordinar y mantener actualizado el programa integral de transporte y vialidad del Distrito - Federal.

Conjuntamente con la "Comisión de Vialidad y Transporte Urbano" han elaborado investigaciones y actualmente se registran 21 millones de viajes/persona/día, de los cuales - - - 4'220,000 utilizan medios individuales como son taxis y automóviles; 12'800,000 se movilizan utilizando transportes colectivos, de los cuales 7'100,000 usan autobús; 4'700,000 -- metro y 960,000 transportes eléctricos (ver Figura No. 3).

AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO TRANSPORTE UTILIZADO

11



1 9 8 7

NOTA: LAS CIFRAS SE REFIEREN AL NUMERO DE PERSONAS MAYORES DE 6 AÑOS QUE UTILIZAN ESTE MEDIO DE TRANSPORTE SIN CONSIDERAR LA FRECUENCIA DE USO

FIGURA NO. 3

Si el índice de movilidad dentro del área metropolitana se estabiliza y se considera una hipótesis media para el crecimiento de la población, para el año 2000 se tendrá que resolver el problema que representan 57 millones de viaje/persona/día, que nos da una idea de la magnitud del mismo.

El transporte colectivo se realiza en nuestra ciudad - por medio de autobuses, metro, trolebuses, tranvías y taxis colectivos. Cada uno de ellos tiene ventajas y limitaciones y en consecuencia al tratar de hacer una reestructuración de conjunto, deben tenerse en cuenta sus características particulares, para que operen en la forma más racional posible, - de acuerdo a la demanda de las zonas que conforman la urbe, y las condiciones socio-económicas de sus habitantes.

Esta asignación de funciones de los medios de transporte, es de carácter dinámico y deben irse adaptando sustituyendo y complementando conforme la ciudad se transforma y -- densifica.

II.4. CAUSAS DEL PROBLEMA DEL TRANSPORTE.

Con base en los estudios antes mencionados, fue posible establecer las múltiples causas del problema del transporte en la ciudad de México, entre las cuales se destacan - los siguientes.

A) Demanda excesiva de transporte de pasajeros, derivada principalmente de la falta de zonificación tanto de la ciudad como de las zonas circunvecinas.

B) Numerosas líneas de transportes colectivos que operan sin la adecuada coordinación.

C) Falta absoluta de planeación del sistema de transporte.

D) Carencia de terminales adecuadas para los servicios urbanos y sub-urbanos.

E) Instalaciones inadecuadas e insalubres de las pocas terminales existentes.

F) Equipos anticuados, excesivamente usados, deficientes, faltos de confort y lenta operación.

G) Falta de trazo adecuado de gran número de arterias importantes, carentes de continuidad que obligan a recorridos exagerados.

II.5. OBRAS VIALES EN LA CIUDAD DE MEXICO.

Es conocido el hecho, que la única vía que cruza íntegramente la ciudad es la avenida de los Insurgentes, con una

longitud de 29.9 Km, prácticamente todo el resto de las avenidas, calzadas, paseos y calles importantes tienen un recorrido parcial y se ven interrumpidas por construcciones o trazos opuestos.

Lo anterior constituye importantemente para que las líneas de transporte de superficie, estén mal distribuidas en la ciudad y no proporcionen un buen servicio a los usuarios, ya que existe una tendencia general de dichas líneas a concentrarse en las pocas arterias que cuentan con mayor longitud.

Atendiendo a los antecedentes del problema del transporte en la ciudad de México y conscientes de que llegar a una solución de carácter integral implica enfrentarse a numerosos aspectos, muchos de ellos imponderables, se han estudiado las posibilidades que representan las principales arterias de la ciudad para implementar la solución a éste, ubicándolas por las zonas de más alta densidad demográfica.

De los estudios efectuados, las vialidades se jerarquizan en preferenciales, y ejes viales de acceso controlado, primarias y secundarias.

Las preferenciales y ejes viales son calles amplias que fueron acondicionadas para circulación ágil y equipadas con mobiliario específico; las primarias son aquellas que --

intercomunican a las zonas habitacionales y tienen recubrimiento de pavimento especial para soportar cargas importantes de tránsito; las secundarias son para circulación local (angostas) y con capas de asfalto leve.

Por lo que respecta a las vías de acceso controlado, son las que permiten circular a altas velocidades.

Actualmente están en servicio 105 Km de vías primarias, además de 404 Km de ejes viales y vías preferenciales.

La vía de acceso controlado de mayor longitud en el Distrito Federal es el Anillo Periférico que comprende desde los límites del Estado de México en Cuatro Caminos hasta el Canal de Cuemanco con 31.8Km, le sigue el Circuito Interior con 27.5 Km y la más corta, es la avenida Ejército Nacional Oriente, entre avenida General Mariano Escobedo y Circuito Interior Poniente con una longitud de 1.4 Km.

Por otra parte, el eje vial 1 Oriente es hasta el momento el más largo, ya que se inicia en el límite con el Estado de México en Río de los Remedios, y llega hasta el Anillo Periférico con una extensión de 25.8 Km, mientras que el Eje 2A -Sur entre avenida Yucatán y José T. Cuellar es el más corto con sólo 2.8 Km.

Otras importantes vialidades construídas son Copilco-Universidad y Ciudad Universitaria, Avenida Imán, vialidades coincidentes con el Metro en Pantitlán, Calzada México-Tacuba, Molino del Rey-Alencastre, vialidad del Tercer Circuito de Ciudad Universitaria, restitución de 6 vialidades en Ticomán y los correspondientes a Pantitlán-Chimalhuacan y Puente Chabacano.

Para la protección y mejoramiento del ambiente del -- Distrito Federal, se reubicaron 91 bases de ruta y recorridos de transporte de penetración suburbana a los paraderos del Metro como son: Pantitlán, Zaragoza y Santa Anita al -- Oriente; Martín Carrera, el Rosario, Indios Verdes e Instituto Politécnico Nacional al Norte y Cuatro Caminos y Observatorio al Poniente, limitando así la entrada a la zona central de la ciudad de más de 50,000 corridas diarias. Estos paraderos permiten al usuario un eficiente transbordo entre los diferentes modos de transporte y un desalojo en la vialidad de la ciudad.

II.6. SELECCION DE RUTA

El sector poniente de la ciudad de México, carecía de una solución al Sistema de Transporte Colectivo Metro, y -- siendo ésta una prioridad en la ciudad se efectuó el proyecto de la línea siete, considerando los siguientes principios fundamentales para la concepción de una red de Metro.

A) Tender a cubrir las zonas de mayor densidad demográfica.

B) Permitir a los usuarios un ahorro de tiempo por medio de rutas e interconexiones múltiples.

C) Intercomunicar los principales centros de actividad.

D) Identificación con las corrientes establecidas de tránsito masivo de pasajeros.

E) Permitir la reestructuración progresiva de los transportes de superficie en coordinación con el metro.

F) Ayudar a descongestionar las arterias de la ciudad, induciendo a utilizar al usuario del automóvil a utilizar el Sistema de Transporte Colectivo.

G) Las líneas no deben exceder de una distancia de - - 18 Km para tener una óptima operación.

H) El trazo de las líneas no deben perjudicar o anular la vialidad existente.

I) En donde la sección de la avenida permita la integración de la solución vial con el Metro se deberá implementar.

J) El trazo de las líneas debe dar servicio en los lugares donde la demanda sea mayor de 10,000 pasajeros/hora.

K) Evitar la entrada de autobuses foráneos y suburbanos al centro de la ciudad.

L) Posibilidades físicas para la construcción de las estructuras.

M) Alcanzar una velocidad comercial alta mediante un trazo con mínimo de curvas y estaciones compatibles, estas últimas con la población servida y con la localización en los sitios de mayor movimiento.

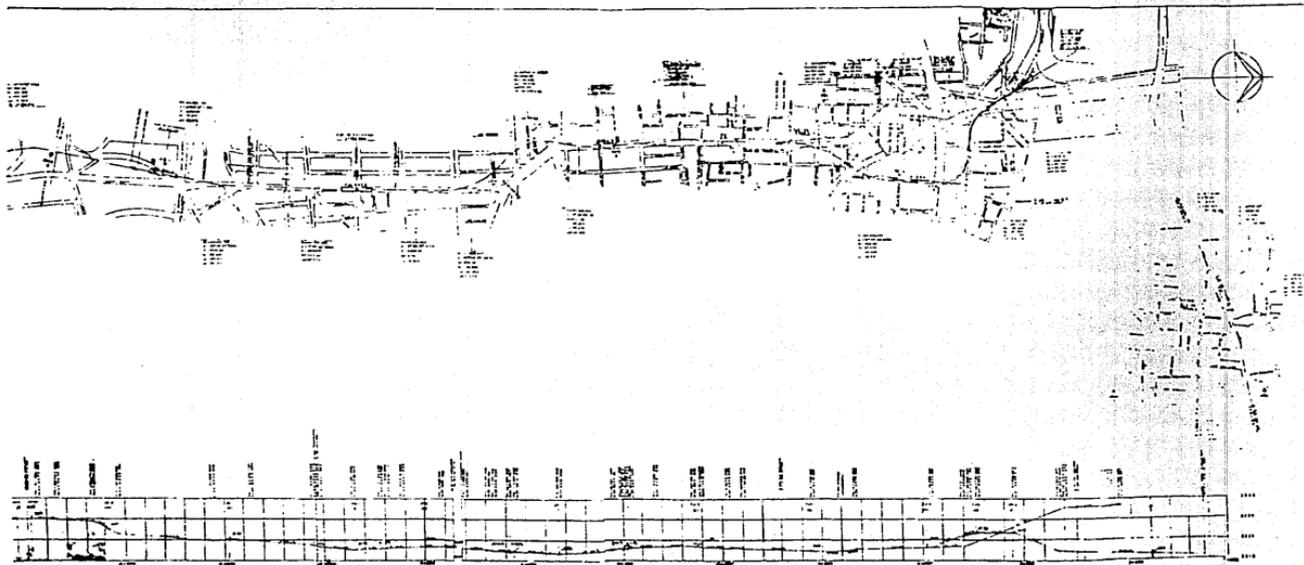
Atendiendo a los principios fundamentales antes citados se llegó a la selección de la ruta que en dirección Norte-Sur abarca desde la estación "Tacuba" de la línea, hasta la estación "Barranca del Muerto" con una extensión de 13.769 Km y 10 estaciones en operación inicial.

El plano No. 1 muestra la ubicación de la línea siete en la ciudad y su correspondencia con las líneas uno, dos y nueve.

El plano No. 2 muestra el trazo de la línea, que se inicia en la calle de Golfo de Tehuantepec y Parque Vía.

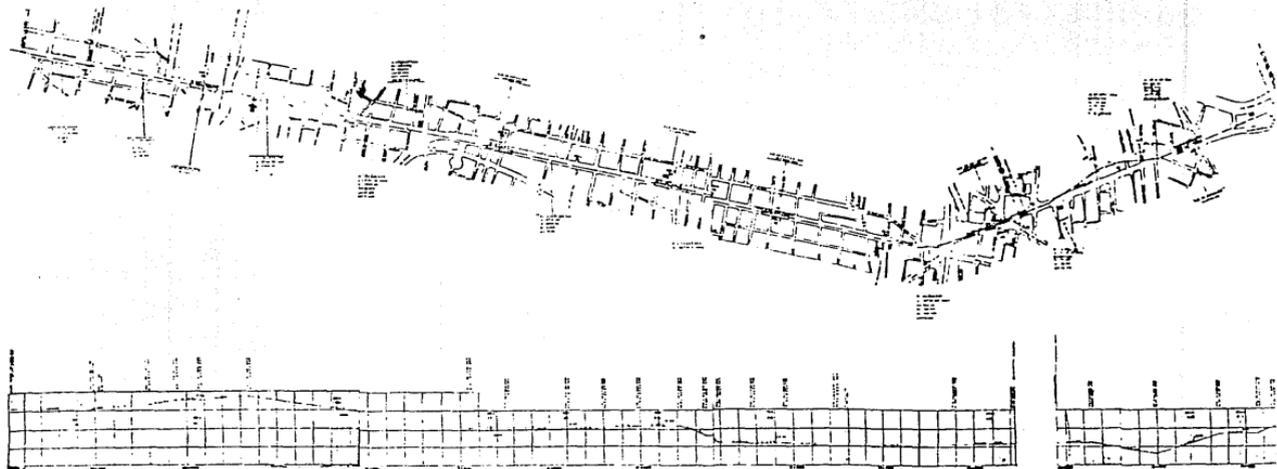
De la ubicación anterior, se continúa en dirección Sur hacia la calle Mar Okhostsk y cruzando la Calzada México-Tacuba se encuentra la estación "Tacuba" haciendo correspondencia con la Línea No. dos; cruza la calle Golfo de Bengala -- para llegar a la calle Golfo de México, cruza la avenida -- Marina Nacional y continúa por la calle de Lago Hielmar y en el cruce con las calles Laguna de Términos y Lago Ginebra se encuentra la estación "San Joaquín". Continúa y cruza la -- avenida Río San Joaquín y sigue por la calle de Arquímedes y en el cruce con la avenida Horacio se localiza la estación - "Polanco"; continúa por la calle de Arquímedes hasta llegar a la esquina que forman las avenidas Paseo de la Reforma y - Molino del Rey, donde se encuentra la estación "Auditorio"; - la línea continúa por la avenida Parque Lira y entre la avenida Constituyentes y la calle Luis Curiel se localiza la es tación "Constituyentes"; continuando por la misma avenida y el cruce de la avenida Jalisco se localiza la estación "Tacu baya" que hace correspondencia con la línea número uno y con la línea número nueve; la línea continúa y atravieza el - - Viaducto Miguel Alemán para continuar por la avenida Revolución y el cruce con la calle nueve y la calle cuatro se en-- cuentra la estación "San Pedro de los Pinos" Continuoando - por la misma avenida Revolución y en el cruce con la avenida San Antonio se localiza la estación "San Antonio"; continuando por la avenida Revolución y en el cruce con la calle de - Empresa se ubica la estación "Mixcoac" continuando por la --

misma avenida Revolución, después del cruce con la avenida --
Barranca del Muerto entre la calle Gustavo E. Campos y la --
calle Condor se ubica la estación "Barranca del Muerto", la
cual será terminal provisional, porque la línea contará con
seis estaciones más hacia el sur, al igual que la estación -
"Tacuba" ya que contará con cuatro estaciones más y final-
mente hará correspondencia con la línea seis en el Rosario.



PLANO NO. 2





PLANO NO. 2

CAPITULO III

III LEVANTAMIENTOS EN SUPERFICIE

III.1. POLIGONAL DE APOYO

Parte importante de la topografía se refiere a la forma de obtener la información de campo, su transformación a datos numéricos, a la manera de representar esos datos en el plano y también a la forma correcta de interpretarlos.

Uno de los procedimientos para tomar esa información es la ubicación en el terreno de vértices que conformen un polígono, y para poder conocer la calidad del trabajo, ese polígono debe ser cerrado o iniciar y terminar en puntos de coordenadas conocidas.

Los vértices de los polígonos de apoyo empleados, han sido grabados en el pavimento o bien se ha hincado un clavo de acero, con la finalidad de garantizar su conservación y fácil identificación durante el proceso del proyecto y el desarrollo de la obra, ya que también son empleados para replanteos posteriores y obtención de información complementaria.

El valor de los ángulos se determinó empleando teodolitos con lectura directa de un segundo de arco, por un mínimo de dos series, cada una de ellas consta de una lectura en cada posición del anteojo del aparato, no válidas las dife-

rencias mayores a 10" entre lecturas y se cuidó de tener - diferentes orígenes para cada una de ellas. La aceptación de los 10" de diferencia máxima se justifica principalmente por las condiciones de observación en la zona urbana: intensa refracción provocada por la temperatura del pavimento, el frecuente paso de vehículos y peatones y la contaminación atmosférica.

El valor máximo permitido de corrección angular para - el cierre del polígono, tolerancia fue de 10" \sqrt{n} , donde - - "n" es el número de vértices de la poligonal. Las distancias fueron medidas generalmente con distanciómetro electrónico, y ocasionalmente con cinta de acero, en ambos casos se aplicaron las correcciones correspondientes. La precisión mínima aceptada es de 1:10,000.

Se presenta enseguida el cálculo de una poligonal que se hizo en el tramo Tacuba-San Joaquín del P.S.T. 8+835.030
al P.S.T. 10+236.190
donde se empleó para ello el uso de calculadoras electrónicas, ya que el empleo de éstas reducen considerablemente el tiempo necesario para el cálculo. (véase Planilla de Cálculo).

EST.	P.V.	Angulo sin corregir	Angulo corregido	AZIMUT	DIST.	PROYECCIONES		CORRECCIONES		PROYECCIONES CORRECTIVAS		COORDENADAS		VERTICES
						Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	
P.S.T.*8+835.030	P.I.*8+882.510		92° 23' 25"	167° 03' 53"	47.480					- 46.875	- 10.628	9571.487	10114.425	P.I.*8+882.510
P.I.*8+882.510	P.I.*9+168.08		211° 44' 03"	198° 47' 56"	288.848					-273.440	+ 93.080	9298.047	10021.345	P.I.*9+168.038
P.I.*9+168.038	P.I.*5+799.323		149° 36' 01"	168° 23' 57"	635.366					-622.387	+127.767	8675.660	10149.112	P.I.*9+799.323
P.I.*9+799.323	P.S.T.*10+236.190		172° 33' 33"	160° 57' 30"	437.057					-413.142	+142.592	8262.518	10291.704	P.S.T.*10+236.190
P.S.T.*10+236.190	A	89° 26' 14"	89° 26' 15"	70° 23' 45"	244.984	+ 82.197	+230.783	0.017	0.030	+ 82.186	-230.813	8344.698	10523.517	A
A	B	180° 38' 10"	180° 48' 10"	71° 11' 55"	450.992	+145.350	+426.928	0.030	0.055	+145.320	+426.983	8490.018	10949.500	B
B	C	90° 50' 57"	90° 50' 57"	342° 02' 52"	284.699	+270.838	- 87.751	0.055	0.011	+270.783	- 87.740	8760.801	10861.760	C
C	D	179° 01' 51"	179° 01' 51"	341° 04' 44"	251.709	+219.189	- 75.135	0.045	0.010	+219.144	- 75.125	8979.945	10786.635	D
D	E	180° 06' 06"	180° 06' 06"	341° 10' 30"	211.300	+200.004	- 68.163	0.041	0.009	+199.963	- 68.154	9179.908	10718.481	E
E	F	134° 02' 05"	134° 02' 05"	295° 12' 55"	186.553	+ 79.475	-168.777	0.016	0.022	+ 79.459	-168.755	9259.367	10549.726	F
F	G	182° 07' 43"	182° 07' 43"	297° 20' 38"	194.414	+ 91.597	-177.133	0.019	0.023	+ 91.578	-177.110	9350.945	10372.616	G
G	H	229° 26' 52"	229° 26' 52"	346° 47' 30"	187.767	+182.800	- 42.903	0.038	0.006	+ 82.762	- 42.897	9533.707	10329.719	H
H	I	179° 49' 12"	179° 40' 12"	346° 27' 42"	138.784	+134.784	- 32.454	0.028	0.004	+134.756	- 32.450	9668.463	10297.269	I
I	J.V.3.	90° 14' 38"	90° 14' 38"	256° 14' 20"	63.252	+ 14.545	- 61.557	0.005	0.008	- 14.548	- 61.549	9653.915	10235.720	J.V.3
J.V.3.	P.S.T.*8+835.030	177° 58' 08"	177° 58' 08"	254° 40' 28"	136.787					- 36.153	-131.923	9617.762	10103.797	P.S.T.*8+835.030

2359° 59' 57" 2340° 00' 00" 3744.844 0.292 - 0.178

L. = 0.342

III.2. ORIENTACION ASTRONOMICA

En los trabajos topográficos es frecuente la necesidad de conocer el azimut de una línea, que es el ángulo que forma dicha línea con la meridiana astronómica y el cual se mide a partir del norte en el sentido del movimiento de las manecillas del reloj de 0° a 360° .

Esta determinación del azimut es indispensable, puesto que con él se orienta correctamente el sistema de coordenadas ortogonales que generalmente sirven de referencia al dibujo de los levantamientos topográficos.

El azimut de una línea se determina por observaciones angulares de algun cuerpo celeste, que es comunmente el sol.

Este procedimiento de observación el de distancias zenitales del sol en posición directa e inversa del anteojo -- proporciona aproximación suficiente para el objetivo del -- trabajo.

En términos generales la determinación de un azimut -- comprende dos operaciones como son:

- A) Medida del ángulo horizontal entre la línea considerada y la visual al astro.

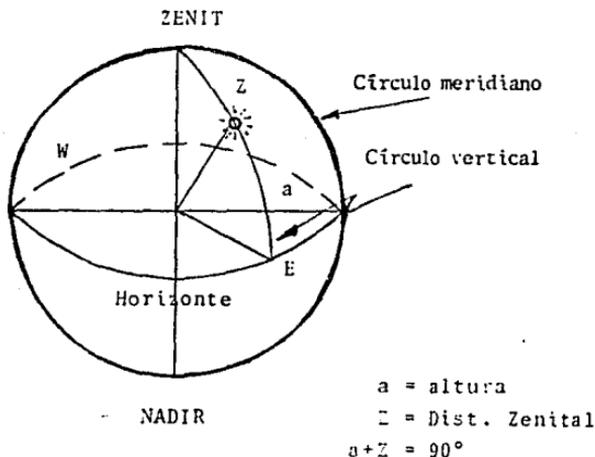
B) Cálculo astronómico del azimut del astro.

Para el cálculo del azimut es necesario la obtención de la fórmula por lo cual hay que recurrir al triángulo astronómico y considerar los siguientes términos astronómicos.

ALTURA Y DISTANCIA ZENITAL

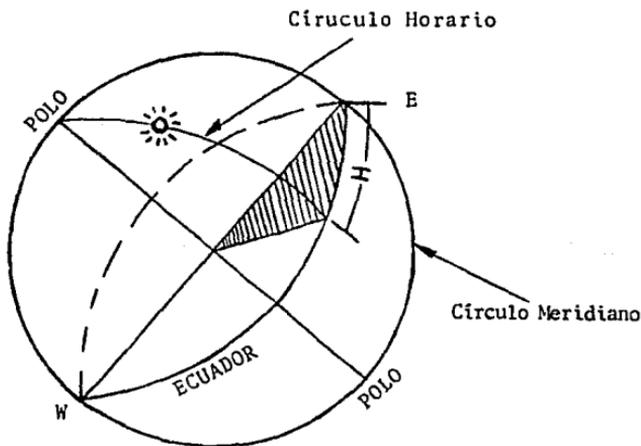
La altura de un astro es su elevación angular sobre el horizonte, esto es el número de grados que mide el ángulo -- que forma la visual al astro con el horizonte, medidos sobre el círculo vertical que pasa por el astro.

La distancia zenital es el complemento de la altura.



ANGULO HORARIO

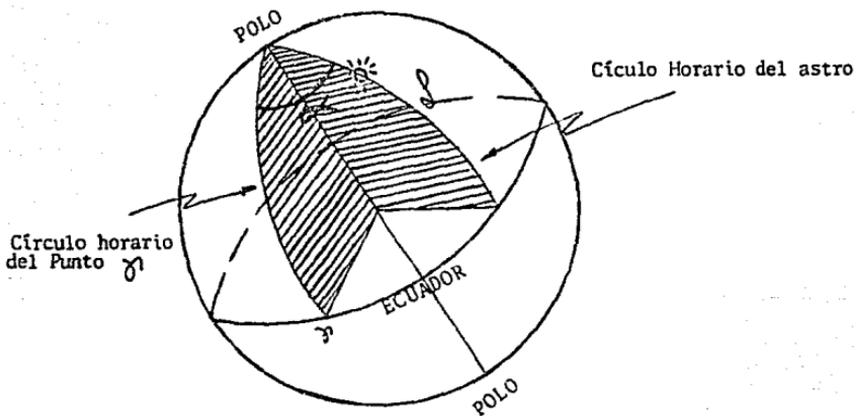
El ángulo horario de una estrella en un instante dado, es el ángulo formado en el polo por el meridiano celeste y el círculo horario de la estrella o bien el arco medido sobre el ecuador hacia el W desde el meridiano celeste hasta la intersección del círculo horario, este ángulo puede medirse como cualquier otro en grados; pero como depende del tiempo transcurrido desde que el astro pasa por el meridiano, es más usual medirlo en horas, minutos y segundos de tiempo. La hora entonces equivale a $\frac{1}{24}$ de la circunferencia o sea 15° y el minuto de tiempo $15'$ de arco y el segundo de tiempo es igual a $15''$ de arco.



H = Ángulo Horario

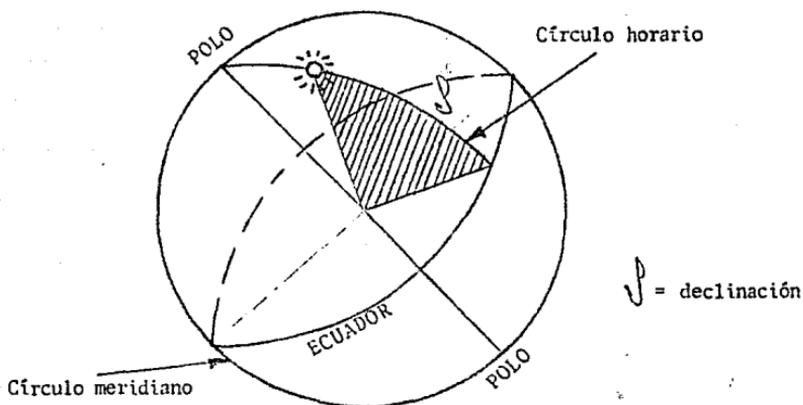
ASCENSION RECTA

Se llama ascensión recta de una estrella el ángulo que forma en el polo celeste, el círculo horario del astro y el círculo horario que pasa por el punto vernal y el punto donde el círculo horario de la estrella corta al ecuador. La ascensión recta se cuenta siempre desde el punto vernal hacia el este de 0° a 360° ó de 0 a 24 horas.



DECLINACION

La declinación de una estrella es la distancia angular al ecuador celeste se mide de 0° a 90° a partir del ecuador - hacia el polo norte (+) y hacia el polo sur (-); se corresponden directamente con la latitud de un lugar de la tierra; pero no puede llamarse latitud terrestre, ya que el término latitud se utiliza exclusivamente para puntos sobre la tierra.



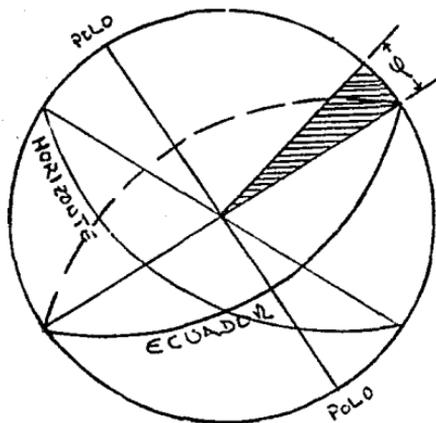
DISTANCIA POLAR

Es la componente de la declinación o sea $90^{\circ} - \delta$ se llama también codeclinación.

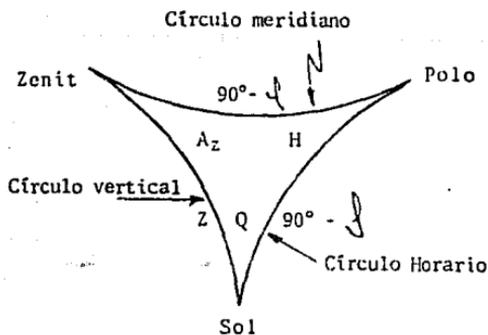
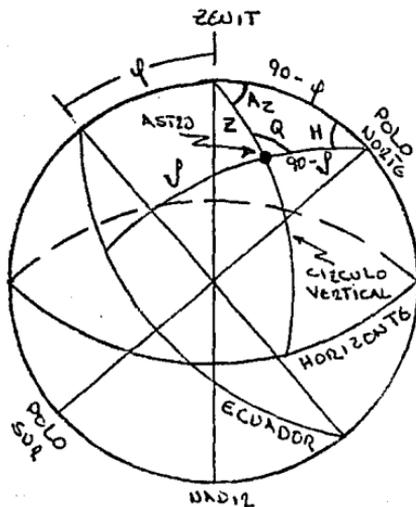
LATITUD ASTRONÓMICA

Es evidente que la apariencia es aspecto del cielo, -- para cualquier espectador está totalmente ligada a la distancia entre su zenit y el ecuador.

Esta distancia angular se llama latitud astronómica y está definida por el ángulo que forma la vertical del lugar del observador con el plano del ecuador.



Con los conceptos anteriores podemos comprender el - - siguiente triángulo astronómico cuya solución nos determinará el azimut buscado de una orientación astronómica con observaciones zenitales del sol.



Los elementos de triángulo astronómico son los siguientes:

LADOS

- $90^\circ - \phi$ Colatitud del lugar de observación.
 $90^\circ - \delta$ Distancia polar o codeclinación del astro.
 Z Distancia angular del zenit al astro o distancia zenital.

ANGULOS

- H Angulo horario del astro
 $180^\circ - Z$ Angulo del suplemento del azimut (los azimutes se cuentan del sur hacia el oeste), en topografía se cuentan a partir del norte hacia el este.
 Q Angulo paraláctico.

En el triángulo astronómico se conoce por lo regular los lados $90 - \phi$, $90 - \delta$ y se mide el lado Z (en trigonometría esférica se pueden conocer todos los elementos de un triángulo conociendo tres elementos de éste sin importar que sean tres ángulos)

El cálculo del azimut del astro en el momento de la observación se calcula por la fórmula fundamental del coseno de trigonometría esférica.

Del triángulo astronómico:

$$\cos (90-f) = \cos (90-\phi) \cos Z - \sin (90-\phi) \sin Z \cos 180-Az$$

Simplificando:

$$\sin f = \sin \phi \cdot \cos z + \cos \phi \cdot \sin z \cdot \cos Az$$

Despejando Cos Az

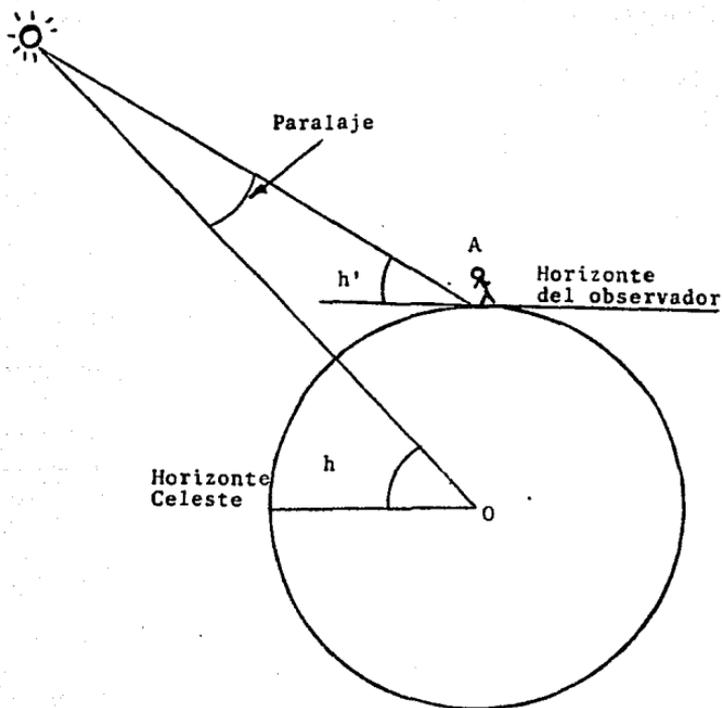
$$\cos Az = \frac{\sin f - \sin \phi \cdot \cos Z}{\cos \phi \cdot \sin Z}$$

Hay que tener en cuenta de corregir las observaciones por refracción y paralaje, las cuales se describen a continuación:

CORRECCION POR PARALAJE

Para los conceptos astronómicos se considera una esfera celeste de radio infinito y que el ángulo vertical medido de una estación en la superficie de la tierra es el mismo que si se hiciera medido de una estación en el centro de la misma. Para las estrellas fijas esta suposición de resultados son suficientemente precisos para los trabajos que se utilizan, pero la distancia entre el sol y la tierra es relativamente pequeña, y en las observaciones se añade una corrección por paralaje a la altura observada para obtener la altura -- del sol del centro de la tierra como se observa en la figura No. 4.

FIGURA No. 4



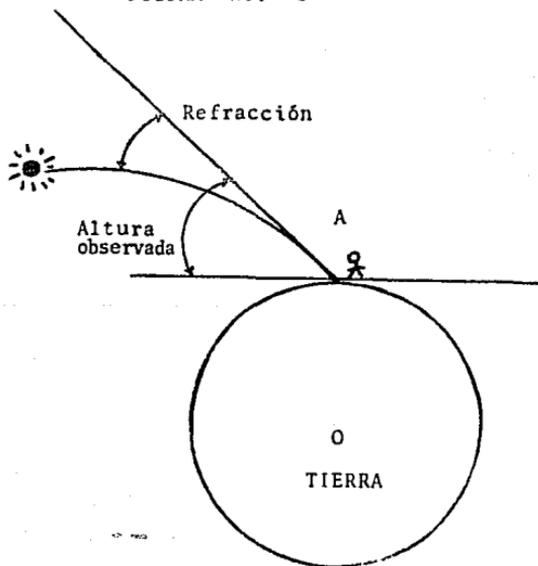
CORRECCION POR REFRACCION

Quando un rayo de luz que proviene de un cuerpo celeste pasa por la atmósfera de la tierra, el rayo se desvía hacia abajo. Por lo tanto el sol y las estrellas parecen estar a mayor altura sobre el horizonte que lo que están en realidad.

El ángulo de desviación del rayo de su dirección al entrar en la atmósfera de la tierra, a su dirección en la superficie de la misma, se llama refracción del rayo luminoso. Se resta una corrección por refracción (Cr) igual a la refracción, de la altura observada, para determinar la altura real h' arriba del horizonte del observador.

La magnitud de la corrección por refracción depende de la temperatura y de la presión barométrica de la atmósfera y de la altura del rayo luminoso variando con la contangente de la altura (ver Figura No. 5).

FIGURA No. 5



SECUENCIA PARA EL CALCULO DE LA ORIENTACION

- 10.) Hacer resumen de las observaciones de campo, en el que estén contemplados los promedios de la hora, los ángulos verticales; es recomendable colocar los datos en un cuadro, esto se hace para tenerlos en orden.
- 20.) Efectuar el cálculo de la declinación (δ) del astro al momento de la observación, con los datos obtenidos del anuario y la hora de observación.
- 30.) Hacer las correcciones por refracción y paralaje pertinentes a la distancia zenital o altura según sea el caso.
- 40.) Se calcula el azimut del sol mediante la fórmula deducida anteriormente.
- 50.) Se determina el explemento del ángulo horizontal de cada serie, se suma o se resta este valor al azimut del sol, dependiendo si la observación fue realizada por la mañana o por la tarde respectivamente.
- 60.) Se desechan las observaciones que discrepen en más de un minuto de las demás. Aquí habrá que aplicar un criterio personal, ya que se puede presentar el caso que en más del 50% de las observaciones no se aproximan al

minuto; siendo lo más recomendable repetir las operaciones de campo.

ORIENTACION ASTRONOMICA
 =====

De el lado PI = 8 + 882.510

Al lado PI = 9 + 168.038

Fecha: 28 - Oct. - 1985

Lugar: México, D.F.

Aparato: Wild T2

Serie	POS	P.V.	Reloj	θ	ϕ
	D	P.I 8+882.510		00° 00' 00"	
1	D	SOL	9 ^h 28 ^m 13 ^s	90 44 59	53° 16' 41"
2	D	SOL	9 39 35	92 47 59	51 05 17
3	D	SOL	9 42 17	93 19 42	50 34 47
1	I	SOL	9 29 23	271 33 54	306 23 59
2	I	SOL	9 40 50	273 44 41	308 36 01
3	I	SOL	9 43 55	274 21 05	309 10 47
	I	P.I 9+168.038		180 00 08	

P R O M E D I O S

	RELOJ	θ	\varnothing
	9 ^h 28 ^m 13 ^s	90° 40' 59"	53° 16' 41"
	9 29 23	91 33 46	53 36 01
	<u>18 57 36</u>	<u>182 14 45</u>	<u>106 52 42</u>
(1)	9 ^h 28 ^m 48 ^s	91° 07' 22" (1)	53° 26' 21" (1)
	9 39 35	92 47 59	51 05 17
	9 40 50	93 44 33	51 23 59
	<u>19 20 25</u>	<u>186 32 32</u>	<u>102 29 16</u>
(2)	9 ^h 40 ^m 12 ^s	93° 16' 16" (2)	51° 14' 38" (2)
	9 42 17	93 19 42	50 34 47
	9 43 55	94 20 57	50 49 13
	<u>19 26 12</u>	<u>187 40 39</u>	<u>101 24 00</u>
(3)	9 ^h 43 ^m 06 ^s	93° 50' 19" (3)	50° 42' 00" (3)

RESUMEN DE ROMEDIOS

SERIE	RELOJ	θ	\varnothing
1	9 ^h 28 ^m 48 ^s	91° 07' 22"	53° 26' 21"
2	9 40 12	93 16 16	51 14 38
3	9 43 06	93 50 19	50 42 00

CORRECCION DE Z

$$Z = Z' + r - p$$

$$r = f\beta\gamma$$

Donde

f = refracción media

β = coeficiente por temperatura

γ = coeficiente por presión atmosférica

$p' = 685 \frac{\text{mm}}{\text{Hg}}$ presión

$t = 10^{\circ}\text{C}$ teperatura

Del anuario Tabla (XVI)

$$f \left\{ \begin{array}{l} 53 \quad 20 \quad \text{---} \quad 1' \quad 11.8'' \\ 53 \quad 40 \quad \text{---} \quad 1' \quad 19.0'' \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{DIF por } 20' = 1'' \\ \text{Por } 1' = 0.05'' \times 6' \quad 21'' = 0.32'' + 1' \quad 18'' \\ = 1' + 18.32'' \quad (1) \end{array}$$

$$f \left\{ \begin{array}{l} 51 \quad 00 \quad \text{---} \quad 1' \quad 11.8'' \\ 51 \quad 20 \quad \text{---} \quad 1' \quad 12.7'' \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{DIF por } 20' = 0.9 \\ \text{Por } 1' = 0.04 \times 14'' \quad 38'' = 0.66'' + 1' \quad 11.8'' \\ = 1' \quad 12.46'' \quad (2) \end{array}$$

$$f \left\{ \begin{array}{l} 50 \quad 40 \quad \text{---} \quad 1' \quad 10.9'' \\ 51 \quad 00 \quad \text{---} \quad 1' \quad 11.8'' \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{DIF por } 20' = 0.9'' \\ \text{Por } 1' = 0.04 \times 2 = 0.08'' + 1' \quad 10.9'' \\ = 1' \quad 10.98'' \quad (3) \end{array}$$

De la Tabla XIX y para los valores de:

$$p' = 685 \frac{\text{mm}}{\text{Hg}}$$

$$\beta = 0.899$$

$$t = 10^{\circ}\text{C}$$

$$\tau = 1.000$$

Con los valores determinados de

β, τ, f se substituye en "r"

Se tiene:

$$r = \beta \tau f$$

$$r = (0.899) (1.000) (1' 18.32'') = 1' 10'' \quad (1)$$

$$r = (0.899) (1.000) (1' 11.08'') = 1' 03'' \quad (2)$$

$$r = (0.899) (1.000) (1' 10.98'') = 1' 03'' \quad (3)$$

p = paralaje

A = 90 - Z

$$90^{\circ} - (53^{\circ} 26' 21'') = 36^{\circ} 33' 31'' \quad \text{---} \quad p = 7.2'' \quad (1)$$

$$90^{\circ} - (51^{\circ} 14' 38'') = 39^{\circ} 15' 22'' \quad \text{---} \quad p = 6.8'' \quad (2)$$

$$90^{\circ} - (50^{\circ} 42' 00'') = 39^{\circ} 18' 00'' \quad \text{---} \quad p = 6.8'' \quad (3)$$

Substituyendo las correcciones
de refracción y paralaje en

$$Z = z' + r - p$$

Se tiene:

$$Z = 53^{\circ} 26' 21'' + 1.10'' - 7'' = 53^{\circ} 27' 24'' \quad (1)$$

$$Z = 51^{\circ} 14' 38'' + 1.03'' - 7'' = 51^{\circ} 15' 34'' \quad (2)$$

$$Z = 50^{\circ} 42' 00'' + 1.03'' - 7'' = 50^{\circ} 42' 56'' \quad (3)$$

CALCULO DE LA DECLINACION (I)
DEL SOL PARA LA HORA DE OBSERVACION

Por utilizar un anuario atrasado a la hora de observación se le resta 5.813 Hr. por el número de años que halla entre el anuario atrasado y la fecha de observación; y si -- hubiera años bisiestos se suman 24 hr. por cada uno de ellos

Con lo que se tendrá la hora de observación corregida con lo que debemos calcular el intervalo para corregir la -- declinación por variación horaria obteniéndose, finalmente -- la declinación a la hora de observación, como se indica a -- continuación:

Fecha 28 - Oct - 1985.

Anuario de 1982

Para la Serie 1

Ho = 09 28 48 ; n = 3

n = 1

- 5.813 ^H x 3 = - 17.439		09 28 48
+ 24.000	+	06 33 39.6
<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>		<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>
+ 6.561		16 02 27.6

Ho = 16 02 27.6 (Hora de observación corregida)

HI = 12 00 00.0 (Hora tabular de la declinación)

I = 04 02 27.6 (Intervalo)

VH = 00 00 50.4 (Variación horaria en declinación
anuario de 1982).

CVH = 00 03 23.7 (Corrección por variación horaria)

δ_{12} = $-13^{\circ} 11' 06.5''$ (Declinación a las 12^{Hr.} para el --
28 de Oct. de 1982).

δ = $-13^{\circ} 14' 30.2''$ - (1)

De la misma forma para las otras series se tiene:

δ = $13^{\circ} 14' 30''$

δ = $13^{\circ} 14' 39''$

δ = $13^{\circ} 14' 42''$

CALCULO DEL AZIMUT DEL LADO

$$\text{Formula} = \frac{\text{Sen } \rho - \text{Sen } \varphi \cdot \text{Cos } Z}{\text{Cos } \varphi \cdot \text{Sen } Z}$$

$$\text{Donde: } \varphi = 19^{\circ} 20' 35''$$

ELEMENTO	SERIE I	SERIE II	SERIE III
Z'	53° 26' 21"	50° 44' 38"	50° 42' 00"
r	01' 10"	01' 03"	01' 03"
p	07"	07"	07"
Z	53° 27' 24"	51° 15' 34"	50° 42' 56"
φ	19° 20' 35"	19° 20' 35"	19° 20' 35"
ρ	13° 14' 30"	-13° 14' 39"	-13° 14' 42"
SEN ρ	-0.2290588	-0.2291012	-0.2291154
SEN φ	0.3312235	0.3312235	0.3312235
COS Z	0.5954305	0.6257949	0.6331707
NUMERADOR	-0.4262789	-0.4363788	-0.4388362
COS φ	0.9435523	0.9435523	0.9435523
SEN Z	0.8034067	0.7799876	0.7740121
DENOMINADOR	0.7580562	0.7359588	0.7303205
COS Az	-0.5623315	-0.5929391	-0.6008816
Az Sol	124° 13' 02"	126° 21' 57"	126° 55' 59"
θ	91° 07' 22"	93° 16' 16"	93° 50' 19"
Az LADO	33° 05' 40"	33° 05' 41"	33° 05' 40"

$$\text{Az} = 33^{\circ} 05' 40''$$

=====

III.3. LEVANTAMIENTOS.

La distribución de los vértices de los polígonos de apoyo es planteada previamente a su localización en el terreno en planimetría a escalas 1:2000 ó 1:5000.

La planeación anticipada de la localización de las poligonales de apoyo ha permitido reducir considerablemente el número de puntos auxiliares necesarios para complementar el levantamiento y por tanto el tiempo de ejecución y costo de los trabajos. Desde los vértices principales y puntos auxiliares se miden ángulos y distancias a paramentos, guarderías, pasos elevados o subterráneos para peatones y en general todo tipo de construcciones que deben ser tomadas en cuenta para el proyecto de trazo, la medición angular de estos detalles no debe contener errores mayores a 30" y linealmente medirlos con cinta de acero o distanciómetro electrónico. Es importante recalcar que sobre todo los paramentos son ubicados con mayor exactitud a la que generalmente es aceptada en los levantamientos, ya que frecuentemente se toman como puntos obligados que definen la posición de las tangentes del eje de trazo tanto del metropolitano como de las modificaciones a la vialidad existente, nuevas vialidades ó para definir los paramentos resultantes de las afectaciones.

Cuando el paso del "metro" es por medio de tunel, con profundidad promedio de 23 m, como es el caso de la línea -- siete, y cruza por varias manzanas construidas, no es posible realizar el trazo directamente sobre el terreno, entonces se hace indispensable referir este a las edificaciones importantes y permanentes y determinar analíticamente las -- distancias y ángulos entre los puntos de inflexión.

III.4. LEVANTAMIENTO DE INSTALACIONES MUNICIPALES.

Importante complemento del levantamiento mencionado - en el tema anterior, es el de las redes de drenaje, agua potable, subterráneas y aéreas de energía eléctrica, gasoductos y teléfonos. Estos levantamientos, se trabajan en forma conjunta con dependencias como: el departamento del Distrito Federal, Compañía de Luz y Fuerza del Centro, Teléfonos de México y Petróleos Mexicanos.

En los estudios previos para determinar si es posible la construcción de cada línea del metropolitano, se identifican con la información disponible los grandes colectores, -- las líneas importantes de conducción de agua potable, gasoductos y poliductos, así como los postes y torres que sustentan a los cables de alta tensión. Posteriormente, ya en la etapa de elaboración del proyecto definitivo, es indispensable conocer con mayor detalle la posición y características de cada red de servicios, para lograrlo se levantan por - -

ángulo y distancia a partir de los lados del polígono de - - apoyo y puntos auxiliares, en este caso las distancias pueden ser tomadas estadimétricamente, ya que las características de las instalaciones subterráneas, como se mencionó anteriormente, será necesario establecer una comunicación directa con otras dependencias a fin de tener conocimiento de la ubicación precisa y detallada en su caso de cada una de sus redes, líneas, gasoductos o poliductos según corresponda.

CAPITULO IV

IV. ALINEAMIENTO HORIZONTAL

IV.1. TRAZO DE EJE DE LINEA.

Para determinar los recorridos que brinden servicio al mayor número de usuarios se han realizado estudios de demanda de transporte, origen y destino entre otros como ya se vió en el capítulo II. La planeación de cada línea se desarrolla en planimetría en escala 1:2,000 ahí se diseña la trayectoria, se propone la ubicación de estaciones, se señalan las interferencias importantes: colectores, gasoductos, líneas de alta tensión y también centros de servicios urbanos y las líneas de metro en operación, así como líneas futuras. El diseño se rectifica hasta asegurar la factibilidad de construcción y mayor economía de la obra.

El siguiente paso es el proyecto preliminar, para ello se emplean planos a escala 1:500 y en él se procura que el trazo quede al centro de las calles para hacer mínimas las afectaciones por este concepto, ya que por los accesos a las estaciones es difícil evitarlas. Sobre los planos se determinan gráficamente ángulos y distancias entre tangentes consecutivas para determinar si es posible satisfacer las condiciones del proyecto geométrico.

El proyecto preliminar es trazado en campo, midiendo con precisión la longitud de las tangentes y los ángulos de

deflexión entre ellas, para tal fin se emplean distanciómetros electrónicos y teodolitos en los que sea posible leer en forma directa un segundo de arco las condiciones de tolerancia y precisión angular son las mismas que han sido señaladas para los polígonos de apoyo en el capítulo III.

Con esta información se hacen los cambios convenientes hasta llegar a lo que será el proyecto definitivo, entonces se procede al cálculo de los elementos de las curvas y de los cadenamientos de los puntos importantes del eje de trazo.

IV.2. RESTRICCIONES DEL ALINEAMIENTO.

Es conveniente señalar que debido a las características del material rodante y a limitaciones debidas al tipo de estructura que alojará a las instalaciones se deben respetar las siguientes restricciones:

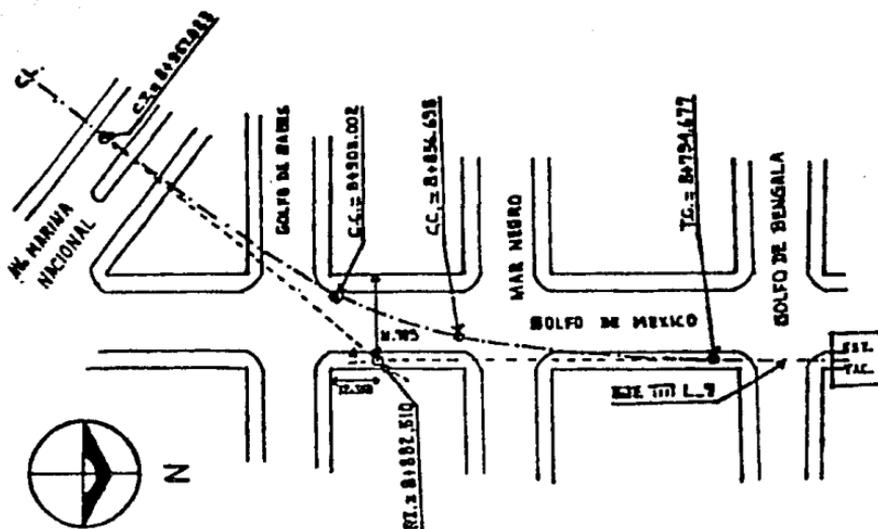
- La distancia entre el término y el inicio de dos curvas consecutivas no deberá ser menor de 12 m.
- En toda curva horizontal de radio menor a 2,000 m debe existir una sobre-elevación.
- En todo tipo de curva horizontal debe tenerse una longitud de curva circular mínima de 16.0 m.

- En el trazo de una línea se debe utilizar el menor número de curvas posibles.
- Los aparatos de cambio de vía deben ubicarse siempre en tangentes horizontales y verticales, pudiendo localizarse en pendientes máximas de 0.4%.
- Las estaciones deben localizarse siempre en tramo tangente.
- El trazo de una línea debe ser apoyada por poligonales cerradas con el fin de fijar su posición.
- La distancia mínima entre la estructura del metro y los paramentos de las edificaciones cercanas, es determinada por los estudios de mecánica de suelos.

En base a las especificaciones anteriores se fijan las tangentes, se procura que pasen al eje de las calles, tratando en lo posible de no afectar construcciones existentes en el tramo y tener el mínimo de curvas. Se miden las deflexiones entre las tangentes que se cruzan, para unir las con curvas circulares con enlaces clotoides calculándose éstas para tener una idea aproximada por donde pasará el trazo y fijando el radio para cada curva que no sea menor de 2000 m.

Considerando lo anterior, la línea siete se lleva a cabo en campo para ser trazado, en donde se localizan los puntos de control para todas las tangentes, se midieron las

deflexiones reales entre ellas y se tomaron las referencias de los PI con distancias a paramentos cercanos para su fácil localización, se midieron distancias entre los PI consecutivos y entre las cabeceras de estación fijadas y el PI más -- próximo, como se muestra en la Figura No. 6.



De donde :

PI = punto de inflexión

Δ = deflexion en el P.I.

Rn = radio nominal

Lc = longitud de curva circular

Lcl = longitud de curva clotoide

CC = punto de clotoide a circular.

TC = punto de tangente a circular.

CT = punto de circular a tangente.

DATOS DE LA CURVA

P.I. = 8 882.510

Δ = 21 44' 03" (dex)

Rn = 200.000 m

Tc = 87.833 m

Lc = 48.404 m

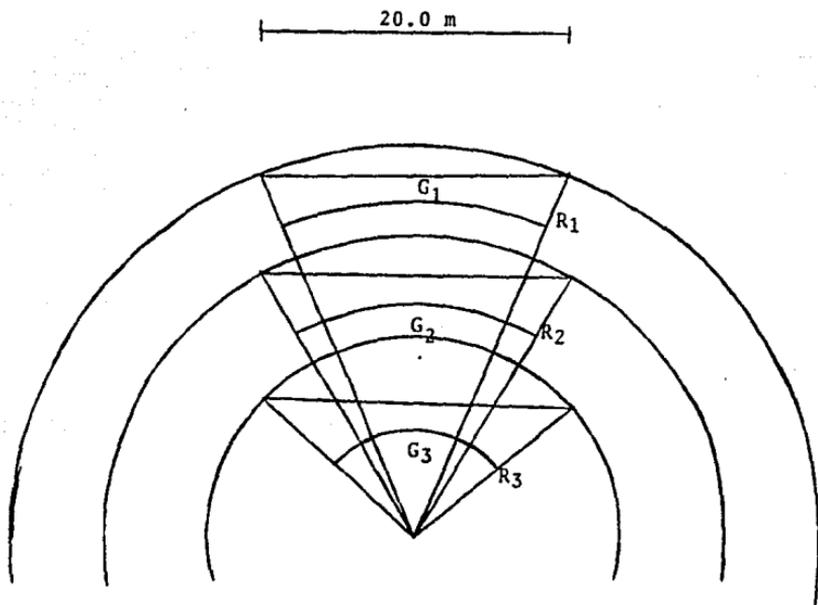
Lcl = 62.021 m

FIGURA NO. 6

IV.3. ELEMENTOS Y CALCULO DE UNA CLOTOIDE.

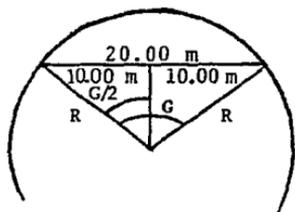
CURVA CIRCULAR

Lo pronunciado de una curva se puede expresar por el "grado de curvatura", se llama así al ángulo que subtiende una cuerda de 20 m, ésta varía en proporción directa al radio como se observa en la sig. Figura.



Conociendo ya cómo determinar el grado de curvatura, se está en condiciones de poder elegir la curva mas conveniente para cada caso, con la seguridad de que en ningún momento será inadecuada.

Es recomendable que el grado máximo de curvatura sólo se use en casos extremos, pues siempre se procura usar -- las curvas de menor grado, con el fin de hacer más segura la circulación.



De la figura se tiene:

$$\text{Sen } \frac{G}{2} = \frac{10.00}{R}$$

$$\text{Donde } R = \frac{10.00}{\text{Sen } \frac{G}{2}}$$

De esta forma el radio de una curva de 10. es:

$$R = \frac{10.00}{\text{Sen } 30^\circ}$$

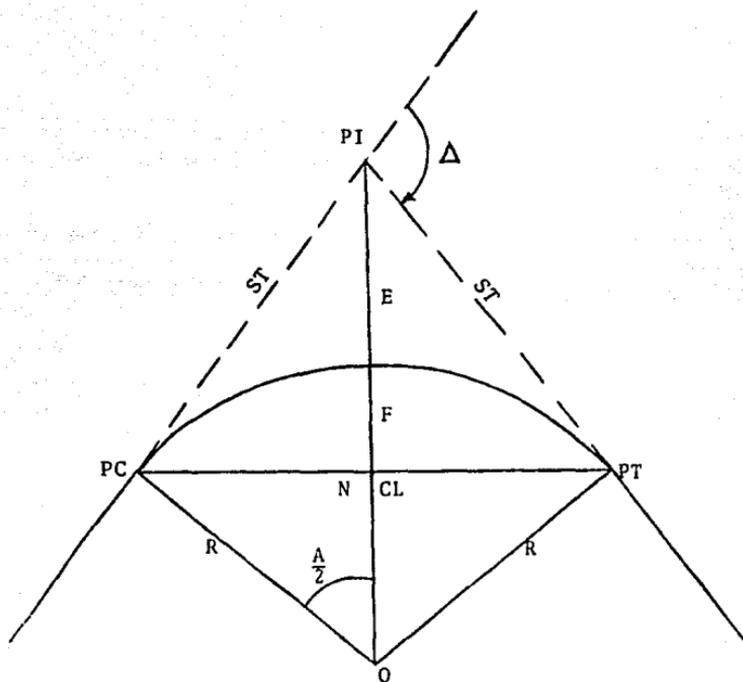
$$R = \frac{10.00}{0.008726}$$

$$R = 1145.92 \text{ m.}$$

Como el grado de curvatura y el radio son inversamente proporcionales, entonces se tiene:

$$R = \frac{1145.92}{G} \quad \text{o bien} \quad G = \frac{1145.92}{R} \quad \text{---} \quad (1),(2)$$

ELEMENTOS DE UNA CURVA CIRCULAR



Donde:

PI = punto de Intersección

GC = Grado de Curvatura

Δ = Angulo de deflexión

R = Radio de la curva

PC = Principio de la Curva

ST = Subtangente

LC = Longitud de la Curva

PT = Principio de Tangente

CL = Cuerda Larga

F = Flecha

E = Externa

N = Punto auxiliar

El cadenamamiento del PI, el grado de la curva y el valor del ángulo de deflexión siempre serán datos conocidos y a -- partir de ellos se pueden calcular todos los demás elementos.

El primer dato por calcularse, siempre será el radio R para el cual se emplean cualquiera de las dos expresiones antes obtenidas (1) y (2).

Una vez conocido el radio, se calcula la subtangente o sea la distancia del PI al PC para conocer el punto donde principia la curva circular.

SUBTANGENTE

De la figura anterior, en el triángulo O, PC, PI tenemos:

$$\text{TAN } \frac{A}{2} = \frac{ST}{R}$$

por lo tanto

$$ST = R \text{ TAN } \frac{A}{2} \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad (3)$$

LONGITUD DE CURVA

De la figura anterior se tiene:

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

De donde:

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

CUERDA LARGA

De la figura anterior en el triángulo O, PC, N se --
tiene:

$$\text{Sen } \frac{A}{2} = \frac{PC - N}{R} \quad \text{Donde}$$

$$CL = 2 (PC - N)$$

$$\text{Sen } \frac{A}{2} = \frac{2 (PC - N)}{R}$$

$$\text{Sen } \frac{A}{2} = \frac{2 CL}{R}$$

$$CL = 2 R \text{ Sen } \frac{A}{2}$$

FLECHA

De la misma figura en el triángulo O, PC, N

$$\text{Cos } \frac{A}{2} = \frac{R - F}{R}$$

$$R - F = R \text{ Cos } \frac{A}{2}$$

$$- R + F = -R \text{ Cos } \frac{A}{2}$$

$$F = R - R \text{ Cos } \frac{A}{2}$$

EXTERNA

De la misma figura en el triángulo O, PC, PI

$$\text{Cos } \frac{A}{2} = \frac{R}{O - PI}$$

$$\text{Donde } O - PI = R + E$$

$$\cos \frac{A}{2} = \frac{R}{R + E}$$

$$R + E = R \sec \frac{A}{2}$$

$$E = R \sec \frac{A}{2} - R$$

$$E = R \left(\sec \frac{A}{2} - 1 \right)$$

DEFLEXION POR METRO

Por definición $f = \frac{G}{2}$

f = deflexión

Si f_1 = deflexión para 1 m

entonces proporcionalmente

$$\frac{f}{20} = \frac{f_1}{1}$$

$$f_1 = \frac{f}{20}$$

$$f_1 = \frac{\frac{6}{2}}{20}$$

$$f_1 = \frac{G}{40} \quad (60 \text{ minutos})$$

$$f_1 = \frac{60 G}{40}$$

$$f_1 = 1.5 G$$

Las curvas se trazan cada 5m en campo. Como ejemplo de estos trabajos se muestra el cálculo de los elementos de la curva en el P.I = 8 + 882.510 que se localiza sobre la calle Golfo de México. Para calcular, la circular se tienen los siguientes datos:

$$\Delta_c = 13^\circ 53' 39''$$

$$PI = 8 + 882.510$$

$$G_c = 5.752790^\circ = 5^\circ 45' 10''$$

$$L_c = \frac{20 \Delta}{G} = \frac{20 (13^\circ 53' 39'')}{5.752790} = 48.304 \text{ m.}$$

$$R_c = \frac{1145.92}{G} = \frac{1145.92}{5.752790} = 199.194$$

$$ST = R \tan \frac{\Delta}{2} = 199.194 \tan \left(\frac{13^\circ 53' 39''}{2} \right)$$

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

$$C_L = 2R \text{ Sen } \frac{\Delta}{2} = 2 (199.194) \left(\text{Sen } \frac{13^\circ 53' 39''}{2} \right)$$

$$CL = 48.186 \text{ m}$$

$$f_1 = 1.5 G = 1.5 (5.752790^\circ) =$$

$$f_1 = 8.629186'$$

CURVAS DE TRANSICION

Cuando un vehículo pasa de un tramo tangente a otro en curva circular, requiere hacerlo en forma gradual, tanto por lo que se refiere al cambio de dirección como a la sobre-elevación y a la ampliación necesarias. Para lograr este cambio gradual se usan las curvas de transición.

Se define como curva de transición a la que liga o une una tangente con una curva circular, teniendo como característica principal, que en su longitud se efectúa, de manera continua el cambio en el valor del radio de curvatura, desde el infinito para la tangente hasta el que corresponde para la curva circular.

En el proyecto de trazo de una vía férrea, para pasar de una tangente a una curva circular con radio menor de 2000m con el fin de asegurar el confort y mantener la velocidad de los trenes; se usan curvas de transición denominadas clotoides.

Estas curvas permiten limitar los efectos de la aceleración centrífuga producida por el paso de los carros de un tramo tangente a un tramo en curva.

Esta aceleración centrífuga está en función de la velocidad y la masa de los carros al cambiar de dirección.

Por medio de la curva de enlace o clotoide se puede producir una sobre-elevación paulatina de las vías la cual permite que la aceleración centrífuga quede dentro de los límites aceptables, logrando con esto un mejor confort para los pasajeros.

La aceleración centrífuga de un vehículo que se mueve a velocidad uniforme V , es igual a $V = \frac{V^2}{R}$ para este caso la aceleración varía de manera continua desde cero para la tangente, hasta $V = \frac{V^2}{R_c}$ para la curva circular de radio R_c .

La curva circular debe proyectarse de manera que la variación de la curvatura γ , por tanto la variación de la aceleración centrífuga, sean constantes a lo largo de ella. Si la longitud de la curva de transición es L_e , la variación de la aceleración centrífuga por unidad de longitud vale $V = \frac{V^2}{R_c L_e}$; en un punto cualquiera de la curva, situado a una distancia L del origen de la transición, la aceleración centrífuga valdrá $V = \frac{V^2 L}{R_c L_e}$ por otra parte, si la curvatura en el punto considerado es $\frac{1}{R}$ la aceleración centrífuga en ese mismo punto valdrá $\frac{V^2}{R}$

Por lo tanto:

$$\frac{V^2 \cdot L}{R_c \cdot L_e} = \frac{V^2}{R}$$

$$V^2 R \cdot RL = V^2 (R_c L_e)$$

$$\frac{v^2 \cdot RL}{v^2} = R_c L_c$$

$$RL = R_c L_c$$

Pero

$$R_c L_c = A^2$$

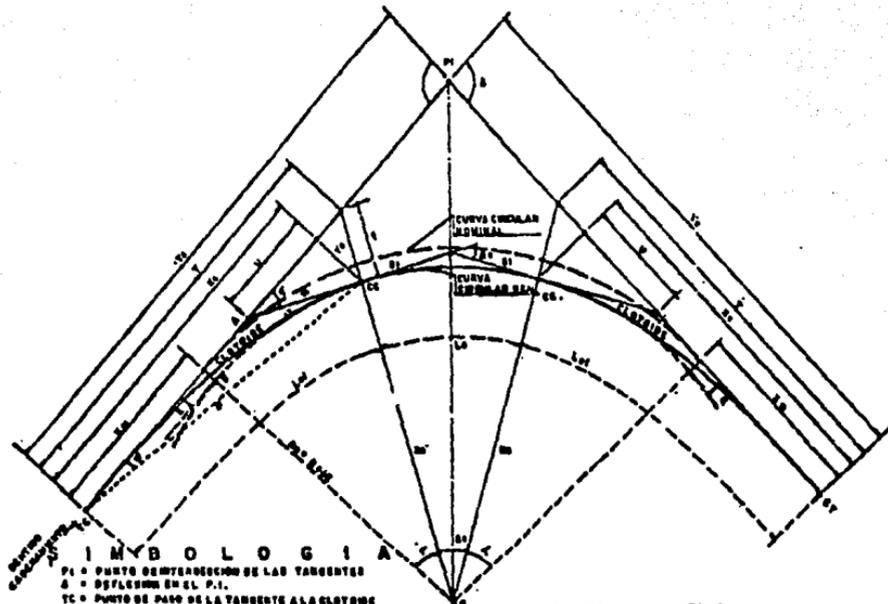
En donde A^2 es una magnitud constante, ya que $R_c L_c$ también lo son entonces:

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

La expresión anterior es la ecuación de una clotoide o espiral de euler, que cumple con la condición de que el radio y la longitud a un punto cualquiera es constante.

Tiene la propiedad de que cuando aumenta ó reduce su parámetro A , todas las medidas lineales cambian en la misma proporción, permaneciendo los elementos que determinan su forma sin cambio alguno; lo que significa que todas las clotoides tienen la misma forma, pero difieren entre sí por su longitud.

En la Figura número 7 se muestran los elementos principales de una curva circular con clotoides.



LEYENDA

- P1 • PUNTO DE INTERSECCION DE LAS TANGENTES
- P2 • DESPLAZAMIENTO EN EL P.I.
- CC • PUNTO DE PASO DE LA TANGENTE A LA CLOTOIDE
- PC • PUNTO DE PASO DE LA CLOTOIDE A LA CURVA CIRCULAR
- CO • PUNTO DE PASO DE LA CURVA CIRCULAR A LA CLOTOIDE
- CT • PUNTO DE PASO DE LA CLOTOIDE A LA TANGENTE
- α • ANGULO TOTAL DE CADA CLOTOIDE
- α1 • ANGULO CENTRAL DE LA CURVA CIRCULAR REAL
- R • RADIO DE LA CURVA CIRCULAR REAL
- Rc • RADIO DE LA CURVA CIRCULAR NOMINAL
- Lc • LONGITUD DE LA CURVA CIRCULAR REAL
- L • LONGITUD TOTAL (INSTANCIA DEL P.I. AL P.C.)
- T • ABSCISA DE LA SUBNORMAL
- NO • ABSCISA DEL PUNTO CC
- TO • ORDENADA DEL PUNTO CC
- NO • ABSCISA DEL PUNTO "a"
- TO • ORDENADA DEL PUNTO "a"
- U • DISTANCIA DEL PUNTO "a" AL NO
- U • DISTANCIA DEL PUNTO "a" AL CO
- Z • CUERDA LADEAL (DISTANCIA DEL TO AL CO)
- W • DESPLAZAMIENTO AL P.C.
- P • DISTANCIA NOMINAL A LA CURVA CIRCULAR REAL DEL CO A LA SUBTANGENTE TOTAL
- q1 • DISTANCIA DE LA CURVA CIRCULAR REAL

- Lc1 • LONGITUD DE LA CLOTOIDE
- Lc2 • LONGITUD DE LA CURVA CIRCULAR REAL

ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA CURVA CIRCULAR CON CLOTOIDES.

CIA. PERMAN. AEROFOTO S.A.
 ..

FIGURA NO. 7

CALCULO DE UNA CLOTOIDE

Para el cálculo de la clotoide, se parte de la consideración de que la pendiente máxima de enlace para los peraltes no debe ser mayor de 4mm, quedando esta consideración -- definida por la expresión $S_m \leq \frac{180}{V}$ en donde V es la velocidad máxima permitida. Por lo que en este caso extremo se -- tiene $S_m = \frac{180}{40}$

$$S_m = 4 \text{ mm}$$

Establecida la condición para el cálculo de la pendiente máxima, se calcula la velocidad máxima V en función del radio nominal por medio de la expresión $V = 5.13 \sqrt{R_n}$ el valor obtenido por medio de la fórmula es redondeado a su valor inmediato inferior, ejemplo: para $R_n = 150$

$$V = 5.13 \sqrt{150}$$

$$V = (5.13)(12.24745)$$

$$V = 62.829 \quad \text{Por lo que se deja un}$$

$$\text{valor de } V = 60 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}}$$

la aplicación de la fórmula anterior es para radios inferiores a los 250 m. Para radios $\geq 250\text{m}$ por razones de orden práctico se considera una velocidad máxima de $80 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}}$.

Una vez conocida la velocidad se calcula el peralte teórico (H_c) por medio de la expresión:

$H_t = \frac{11.8 V^2}{R_n}$ valor al cual se le restan 30 mm, para en-

contrar el valor del peralte práctico (Hrc) y éste se redondea a su valor inmediato superior para conocer el valor del peralte práctico (Hr) que se va a aplicar. Cuando el valor del peralte calculado (Hrc) es mayor de 160 mm, que es el valor máximo del peralte que se puede considerar (por especificación) ejemplo:

$$R_n = 150 \text{ m}$$

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

$$V = 60 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}}$$

$$H_t = \frac{11.8 (60)^2}{150}$$

$$H_t = \frac{11.8 (3600)}{150}$$

$$H_t = \frac{42480}{150}$$

$$H_t = 283.20$$

$$Hrc = 283.20 - 30$$

Hrc = 253.20 mm. valor que excede a los 160 mm por lo que se considera Hrc = 160 mm

Para velocidades máximas y peraltes prácticos, consultar la siguiente tabla.

TABLA DE VELOCIDADES MAXIMAS
Y PERALTES PRACTICOS

RADIO NOMINAL (R) m	VELOCIDAD MAXIMA (V) Km/h	PERALTE TEORICO (H) mm	PERALTE PRACTICO CALCULADO (H) mm	PERALTE PRACTICO (H) mm	
150	60 Km/h	283.20	253.20	160	
175	65 Km/h	284.89	254.89	160	
200	70 Km/h	289.10	259.10	160	
225	75 Km/h	295.00	265.00	160	
250	80 Km/h	302.08	272.08	160	
275	80 Km/h	274.62	244.62	160	
300	80 Km/h	251.73	221.73	160	
325	80 Km/h	232.369	202.369	160	
350	80 Km/h	215.771	185.771	160	
375	80 Km/h	201.3867	171.3867	160	
400	80 Km/h	188.80	158.80	160	
425	80 Km/h	177.694	147.694	150	
450	80 Km/h	167.822	137.822	140	
475	80 Km/h	158.989	128.989	130	
500	80 Km/h	151.04	121.04	120	
525	80 Km/h	143.8476	113.8476	115	
550	80 Km/h	137.3091	107.3091	110	
575	80 Km/h	131.339	101.339	100	
600	80 Km/h	125.8667	95.86	95	
625	80 Km/h	120.832	90.832	90	
650	80 Km/h	116.1846	86.1846	85	
675	80 Km/h	111.8815	81.8815	80	
700	80 Km/h	107.8857	77.89	80	
725	80 Km/h	104.1655	74.1655	75	
750	80 Km/h	100.6933	70.693	70	
775	80 Km/h	97.4452	67.445	65	
800	80 Km/h	94.40	64.40	65	
825	80 Km/h	91.5394	61.539	60	
850	80 Km/h	88.8471	58.847	60	
875	80 Km/h	86.3086	56.3085	55	
900	80 Km/h	83.9111	53.91	55	
925	80 Km/h	81.6432	51.643	50	
950	80 Km/h	79.4947	49.495	50	
975	80 Km/h	77.4564	47.456	45	
1000	80 Km/h	75.52	45.52	45	
1500	80 Km/h	50.3467	20.35	20	
2000	80 Km/h	37.76	7.76	10	

Establecida la velocidad máxima, se calcula la pendiente máxima de enlace $S_m = \frac{180}{V}$, conociendo este valor, se calcula la longitud teórica de la clotoide requerida (Ltc) utilizando la fórmula $Ltc = \frac{Hr}{S_m}$ establecido este valor, se calcula el valor de una constante denominada (ξ) epsilon que servirá para consultar las tablas de las clotoides unitarias, para el valor de ξ se emplea la longitud teórica de la clotoide y el radio nominal de donde $\xi = \frac{LTC}{R_m}$ y establecido este valor -- exactamente se busca en las tablas, tomando en cuenta que de no encontrarse este valor exactamente se toma el inmediato superior, localizando el valor en las tablas, queda definido el renglón de donde se toman los valores de la clotoide unitaria que multiplicadas las variables por el parámetro "A" definido al principio son los valores reales de la clotoide buscada.

En la siguiente planilla, se muestra los pasos para el cálculo de los elementos de una curva circular con clotoides.

LINEA N° 7 TRAMO Tacuba-San Joaquín

CALCULO DE LA CURVA EN EL PIVOTE PARA UN RADIO NOMINAL DE 123.54 Y UN Δ DE 30° 26' 40"

DATOS PARA EL CALCULO DE LA CLOTOIDE

VELOCIDAD = V = 80 Km/h

PERALTE PRACTICO = Hr = 160

CALCULO DE LA CLOTOIDE

$100/V = Sm = 100/80 = 1.25$
 $Hr / Sm = Lte = 160/1.25 = 128$
 $Lte / Rn = f = 128/123.54 = 1.036298$
 $A = 0.001503$
 $r = 2.293578$
 $C = 0.436$
 $A \cdot Rn = E = (0.001503)(123.54) = 0.185$
 $Rn - E = Re = 123.54 - 0.185 = 123.355$
 $Re / r = A = 123.355/2.293578 = 53.777$
 $C \cdot A = Lcl = (0.436)(123.355) = 53.777$
 $T = 95^{\circ} 26' 40''$
 $x = A = Xa = (0.436)(123.355) = 53.777$
 $y = A = Ya = (0.001503)(123.355) = 0.185$
 $zm = A = Xma = (0.217935)(123.355) = 26.877$
 $s = A = S = (0.436)(123.355) = 53.777$
 $w = 0^{\circ} 40' 54''$
 $Ye / Sen T = U = 123.355 / 0.0995335 = 1233.44$
 $Ye / Cos T = H = 123.355 / 0.0995335 = 1233.44$

CALCULO DE LA CURVA CIRCULAR REAL

$A - 2T = Δc = 30.47777 - 10.891666 = 19.58611$
 $Δc \text{ rad} \cdot Rc = Lc = (19.58611)(374.436) = 7314.159$
 $tan Δc/2 \cdot Rc = ST = 19(19.58611/2)(374.436) = 6962.96$
 $2Rc \cdot sen Δc/2 = c = 2(374.436)sen(19.58611/2) = 12737.558$
 $ST \cdot tan Xm = Tc = (6962.96)tan(15^{\circ} 26' 40''/2) + 35.5707 = 1377.737$

COMPROBACION DE LOS CALCULOS

$2[sen((180^{\circ} - Δ)/2) \cdot Tc] = 2[sen(174.7611)(137.7373)] = 265.7885$
 $sen((180^{\circ} - (90^{\circ} + ((180^{\circ} - Δ)/2))) - w) \cdot 2S + C = Cos((Δ/2) - w) \cdot 2S + C = Cos(34.2369)(2715.053) + 27375.68 + 265.7885$

CALCULO DE CADENAMIENTOS

$Pl - Tc = TC = 2428.184 - 137.7373 = 2290.447$
 $TC + Lcl = CC = 2290.4467 + 53.777 = 2344.224$
 $CC + Lc = CC = 2344.224 + 127.998 = 2472.222$
 $CC + Lcl = CT = 2472.224 + 53.777 = 2526.001$

NOMENCLATURA EMPLEADA

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

IV.4. REFERENCIAS

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

Las referencias que se toman de los PI y PO del eje, son las distancias a paramentos cercanos para relocalizarlos fácilmente.

En la Figura número 8, se muestran las referencias -- que se tomaron del PI = 9 + 168.038 del eje de trazo de la línea 7 que se localiza entre las calles de Lago Ontario, -- Lago Espiridino y Golfo de Adén, del tramo Tacuba-San Joaquín. En esta figura se puede apreciar las distancias tomadas sobre el paramento de la calle Golfo de Adén.

Para obtener esas distancias, primero se saca una normal al paramento oriente de la calle Golfo de Adén, que debe pasar por el punto referenciado. Esta normal se obtiene apoyándose en una paralela que para facilitar el trabajo se -- ubicó a 1.00 m del paramento mencionado.

Una vez que se tiene la normal al paramento elegido, ésta se prolonga hasta el paramento opuesto; y después se -- toman las medidas necesarias para que quede debidamente referenciado el punto en cuestión.

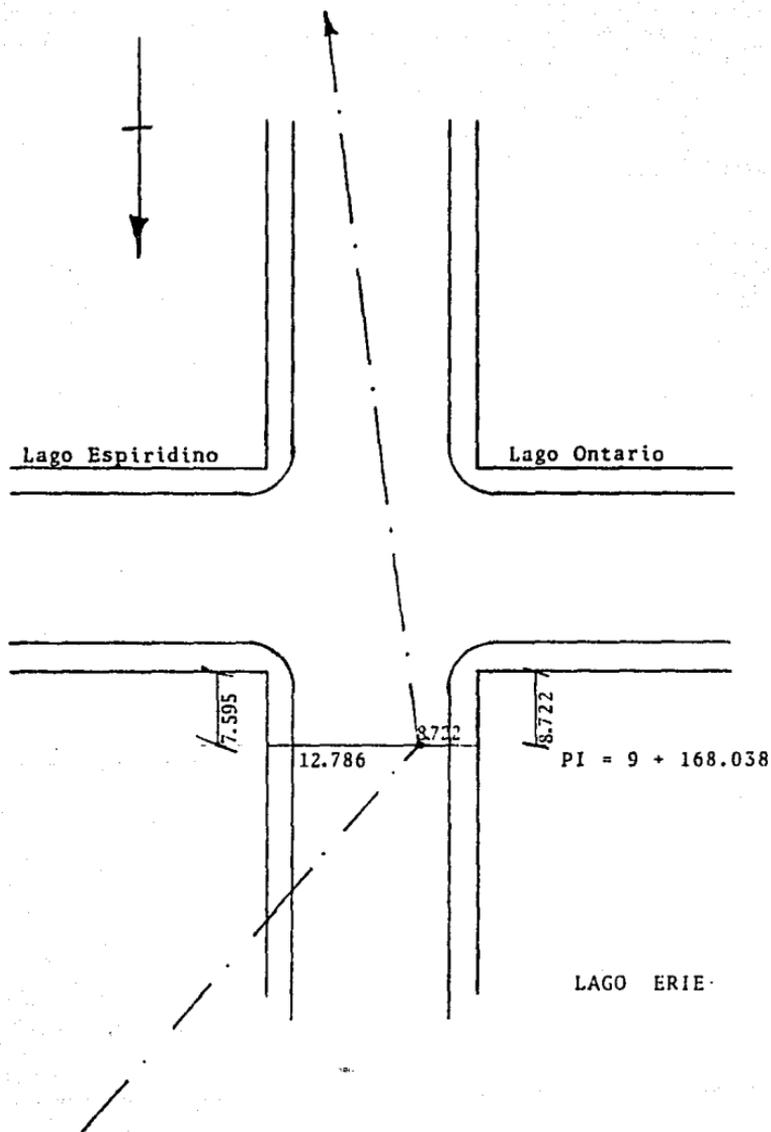


FIGURA NO. 8

Otras de las referencias que se toman para los puntos importantes del trazo como son los puntos obligados, puntos de inflexión y cuando sea necesario TC, CC, CT, se hacen por medio de triángulos.

Estas referencias se ubican por medio de puntos que se ponen en lugares convenientes (que no sean afectados por la construcción de la obra), que formen triángulos, en el caso del PI = 9 + 168.038 del eje de trazo se ubicaron las referencias R-1, R-2, R-3, R-4 como se muestra en la Figura No. 9.

Como se indica se midieron las distancias y los ángulos en cada uno de los vértices de los triángulos formados por el PI y las referencias.

Las distancias lineales se toman al milímetro midiéndose varias veces.

Los ángulos se miden al segundo, haciendo por lo menos tres series angulares en cada vértice.

Para los triángulos obtenidos la precisión mínima aceptable debe ser de 1:5000 en el sentido lineal y de 9" el cierre angular.

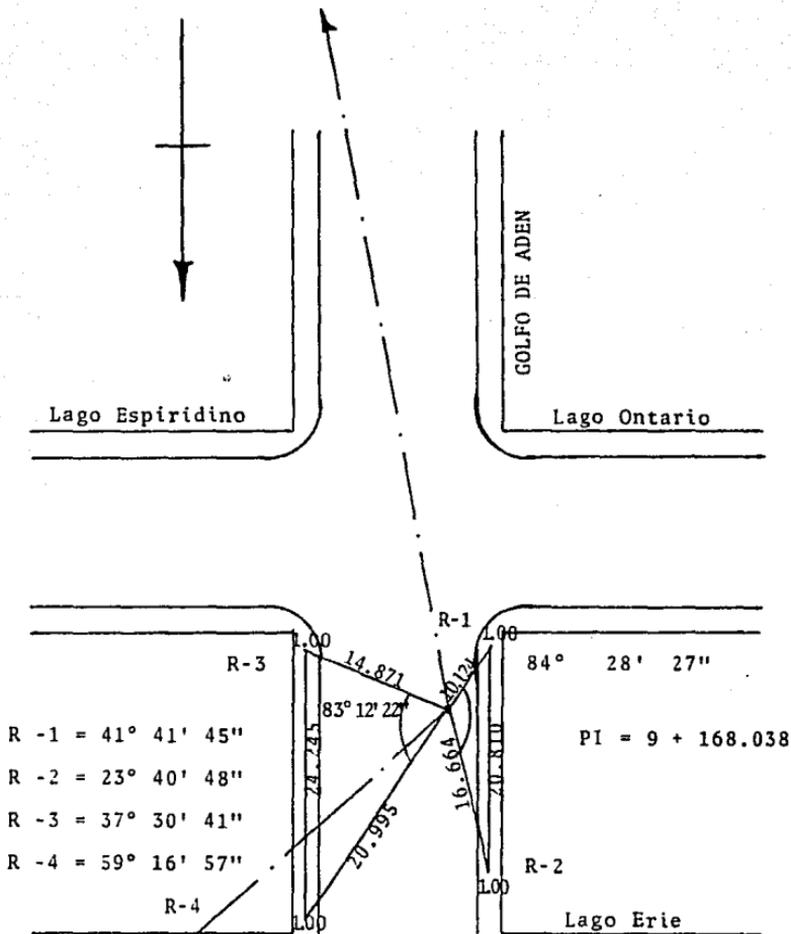


FIGURA NO. 9

Las referencias ubicadas se amarran a las esquinas de los paramentos cercanos, para facilitar su localización posteriormente.

CAPITULO V

V. ALINEAMIENTO VERTICAL

V.1. PERFIL

El alineamiento vertical es la proyección vertical ó perfil del desarrollo del eje de trazo, en él se determinan elevaciones con respecto a un plano de comparación.

El proyecto vertical parte integrante e importante -- del análisis geométrico en las líneas del metro de la ciudad de México, es el que define la posición que deberá tener el perfil para librar o esquivar las diferentes interferencias existentes, y plantea las necesidades para las obras futuras.

Debe tomarse muy en cuenta que el proyecto proporcione facilidad en las etapas constructivas, conservación del material rodante y sobre todo confort al usuario.

V.2. PENDIENTES

En el proyecto de perfil debe tomarse en cuenta las pendientes mínimas y máximas existentes en las diferentes -- zonas de la línea, como son:

Tramo inerestación

Estación

Aparatos de vía.

TRAMO INTERESTACION

La pendiente mínima permisible para dar drenaje longitudinal en tramo interestación es 0.2%.

La pendiente máxima deseable es 4% y excepcionalmente hasta 7%, tratando en lo posible de evitar este caso.

ESTACION

En estación la pendiente longitudinal debe ser nula - para evitar que un convoy estacionado tenga necesidad de - aplicar los frenos, y así mismo dar mayor confort a los usuarios.

ZONA DE APARATOS DE VIA

En la zona de aparatos de vía la pendiente máxima --- permisible es de 2% se busca hasta lo posible que en un tramo interestación, la pendiente longitudinal cambie 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.

V.3. CURVAS VERTICALES

En el alineamiento vertical así como el alineamiento horizontal, también se compone de tangentes y curvas.

A) Pendiente de las tangentes verticales.

La pendiente de las tangentes verticales se obtiene -- dividiendo el desnivel de los puntos extremos de la tangente, entre la distancia horizontal de esa tangente, el resultado se expresa en porcentaje, aproximándolo a dos decimales, a menos que condiciones especiales como igualdades en elevaciones ó ligas, requieran de más decimales.

El enlace entre pendientes, se realiza por medio de una curva vertical parabólica de transición del tipo:

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

Donde:

y = Elevación

x = Distancia

R = Radio

La pendiente es positiva cuando la elevación del punto extremo de adelante es mayor que el de atrás, y es negativa - en caso contrario.

ESTA TERCERA SALIDA DE LA OBRA EN ESTE MOMENTO

RADIO

La longitud para el radio de curvatura R en el vértice de la parábola debe ser de 2500 m para una $V = 80 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}}$.

En vía principal, sólo en casos especiales puede utilizarse como radio mínimo 1250 m. En vías secundarias el radio mínimo es de 1000 m.

DISTANCIA

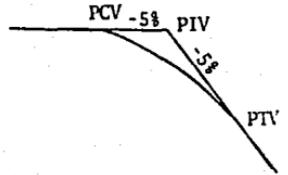
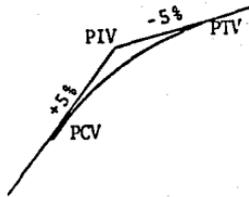
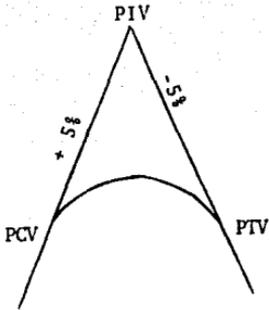
La distancia mínima entre dos curvas que es la longitud de la tangente entre ellas, deberá ser tan grande como lo permita el proyecto y considerar 16 m como distancia mínima entre el final de la curva y el principio de la siguiente.

B) Tipos de Curvas verticales.

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas de alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de entrada a la tangente de salida. Deben dar por resultado un cambio de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas. El punto común de una tangente y una curva vertical, es en el inicio de ésta, y se representa como PCV en el punto común de la tangente y la curva al final de ésta, es PTV, el punto donde se intersectan las tangentes verticales se denomina PIV.

Por la ubicación del PIV, se tienen dos tipos de curvas verticales; curvas verticales en cresta (PIV arriba) y curvas verticales en columpio (PIV abajo). Según las combinaciones de los signos de las pendientes, se presentan tres casos en cada uno de los tipos anteriores, como se observa en la Figura No. 10.

C R E S T A



C O L U M P I O

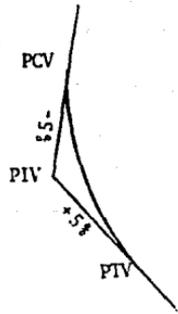
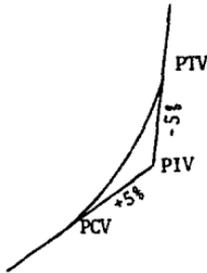
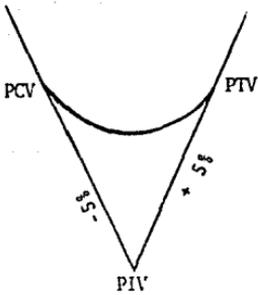


FIGURA No. 10

c) Longitud de las curvas verticales.

La longitud de las curvas verticales es la distancia medida horizontalmente entre el PCV y el PTV, y existen cuatro criterios para determinar la longitud de las curvas, que a continuación se indican:

Criterio de comodidad.

Se aplica al proyecto de curvas verticales en columnas, en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección, se suma al peso propio del vehículo. Se recomienda que en la curva la aceleración centrífuga no exceda a $0.305 \frac{m}{seg^2}$ o sea que:

$$A_c = \frac{V^2}{R} \leq 0.305 \frac{m}{seg^2}$$

$$\therefore R \geq 3.28 V^2$$

Si se asemeja la parábola a un círculo, se tendrá:

$$L = R \Delta \quad \text{y} \quad \Delta = A$$

Por lo que

$$L \geq 3.28 V^2$$

y también

$$L \geq 3.28 V^2$$

y se expresa V en $\frac{\text{Km}}{\text{Hr}}$

y A se expresa en %

$$K = \frac{L}{A} \geq \frac{V^2}{305}$$

siendo K el recíproco de la variación de pendiente por unidad de longitud.

Criterio de Apariencia

Se aplica al proyecto de curvas verticales con visibilidad completa, o sea a las curvas en columpio, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente. -- Empíricamente la A.A.S.H.O. ha determinado que:

$$K = \frac{L}{A} \geq 30$$

Criterio de Drenaje

Se aplica al proyecto de curvas verticales en cresta ó en columpio, cuando están alojadas en corte. La pendiente en cualquier punto de la curva, debe ser tal que el agua pueda escurrir fácilmente. La A.A.S.H.O. ha encontrado que para que esto ocurra debe cumplirse:

$$K = \frac{L}{A} \leq 43$$

Criterio de Seguridad

Este criterio se aplica a curvas en cresta y en columpio. La longitud de curva debe ser tal, que en toda la curva

la distancia de visibilidad sea mayor ó igual que la de parada. En algunos casos el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales con la distancia de visibilidad de rebase.

V.4. LEVANTAMIENTOS ALTIMETRICOS Y BANCOS DE NIVEL.

Paralelamente al anteproyecto de trazo, se hacen nivelaciones sobre los ejes de las calles y en cada una de las esquinas, para conocer de manera aproximada la topografía del terreno a lo largo de la ruta y así elaborar los proyectos preliminares del perfil.

La información de las nivelaciones se apoya en tres tipos de bancos de nivel que son los siguientes:

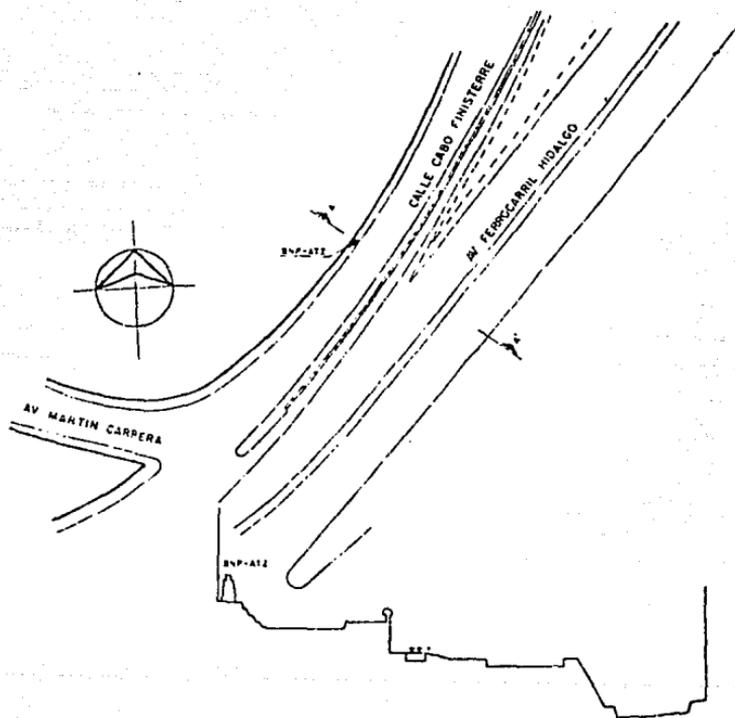
A) -El banco de nivel "Atzacocalco", es el banco al cual se han referido todas las nivelaciones, desde el inicio de las obras en 1967. Es un banco perteneciente a la nivelación de precisión de la comisión de aguas del Valle de México, se encuentra al norte de la ciudad y se asienta en la masa rocosa de la estribación de la Sierra de Guadalupe, por esta característica no presenta movimientos y su elevación se considera inalterable para los fines de proyecto y construcción. El banco es una placa metálica ahogada en una mojonera de concreto, su elevación es 2,245.008 metros sobre el nivel del mar y se localiza cerca de la esquina norponiente de la calle Cabo Finisterre y la Av. Martín - -

Carrera, en la delegación Gustavo A. Madero. La Figura - -
No. 11 es el croquis de localización del banco de nivel --
Atzacocalco.

B) -Bancos de nivel profundos: por medio de una perforación se hacen llegar hasta el estrato resistente dos tubos de diferente diámetro, el de diámetro mayor (76mm) sirve como ademe para evitar derrumbes, el de diámetro menor - (25 mm) es propiamente el banco de nivel. La mayoría de -- estos bancos están protegidos por una caja de registro con tapa metálica, periódicamente es necesario recortar y renivelar los tubos debido a los hundimientos que presenta en - general el Valle de México, lo que hace que aparentemente - emerjan los tubos (ver Fig. No. 12).

C) -Bancos superficiales o de trabajo: se ubican hij cuando un clavo de acero en guarniciones o aceras de concreto hidráulico; se prefieren clavos de acero y no placas metálicas ya que éstas son mas fáciles de destruir. Estos - Bancos fueron colocados por lo menos, a 50 m de la zona de obra, espaciándose aproximadamente 500 m para que cada uno de ellos cubra zonas de trabajo de 250 m a ambos lados.

Debido a las características y especificaciones tan rígidas del proyecto y los problemas de los asentamientos - diferenciales del valle de México, es necesario seleccionar



CORTE A - A'

FIGURA NO. 11

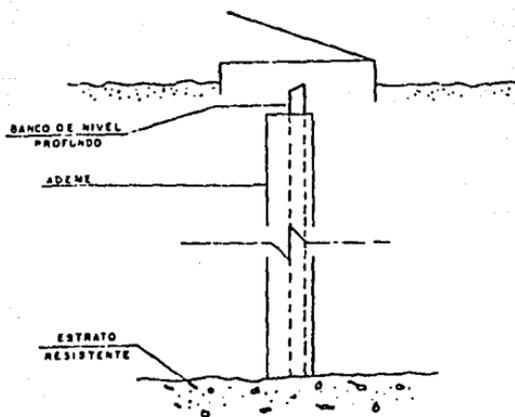


FIGURA NO. 12

los lugares que según el plano de curvas de igual hundimiento, sean los mas propicios para situarlos, con el objeto de que los movimientos verticales que sufran sean lo más uniformes.

La información que se obtiene a partir de los Bancos de nivel de trabajo son:

- A).- Niveles para proyecto
(perfiles, secciones transversales)
- B).- Niveles para construcción.
- C).- Información relativa al control de movimientos verticales relativos, sin tomar en cuenta el - - hundimiento general del Valle de México con el fin de conocer el comportamiento mecánico del - suelo.
- D).- Nivelaciones periódicas y actualización de las -- cotas de los Bancos de todas las líneas.

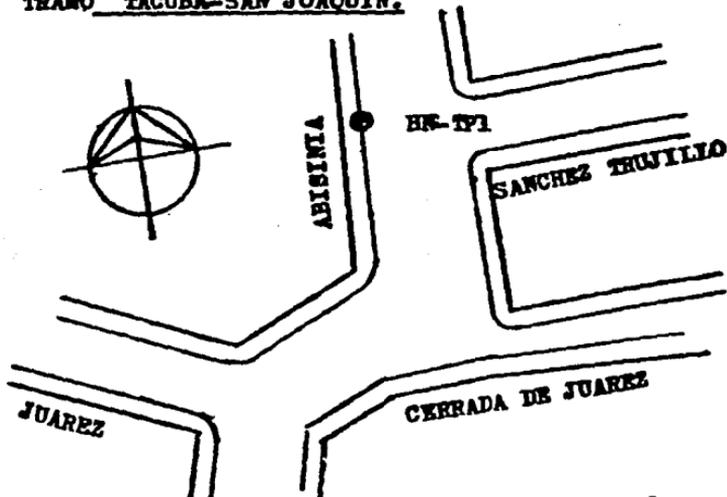
Observando lo anterior se deduce que el control que se haga de los bancos de nivel de trabajo se debe realizar en forma periódica, una vez por mes como mínimo y partiendo de un banco de nivel profundo.

De acuerdo a las nivelaciones diferenciales que se --
tengan desde los bancos de nivel profundos, se asigna una --
elevación a los bancos de nivel de trabajo cuyo valor no - -
cambiará mientras el movimiento relativo de los bancos más -
cercanos tengan una variación máxima de dos centímetros.

El procedimiento de nivelación es el de doble altura
de aparato con una diferencia máxima tolerable entre lectu--
ras de 0.002 m. La tolerancia es $0.008 K$; donde K es la
distancia nivelada en Km.

Se emplean niveles basculantes o automáticos fabrica-
dos por las casa Wild o Zeiss debidamente ajustados. La di-
stancia entre puntos de liga debe ser uniforme; no se conside-
ra necesario la corrección por presión o temperatura.

La figura No. 13 es un ejemplo de ubicación de banco
de nivel, BNTPl en el Km 8 + 000 al 8 + 300. y su croquis -
de ubicación, así como también el banco de nivel BN-TP2 (Fi-
gura No. 14).

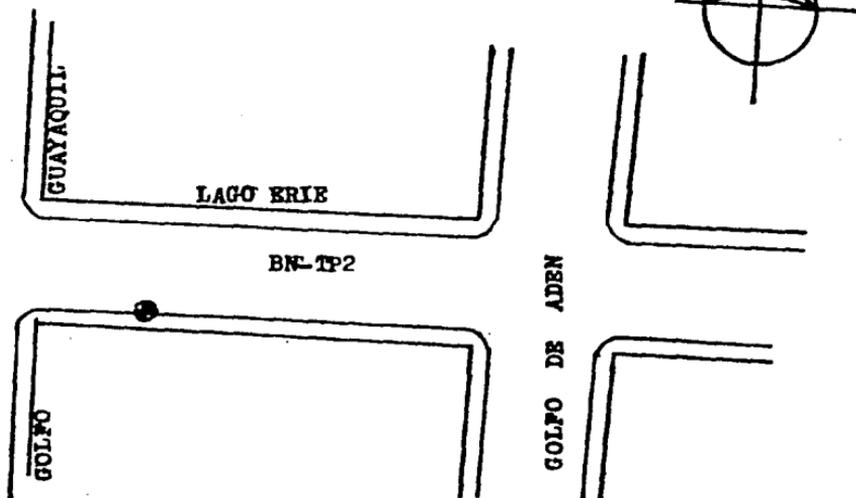
BANCO DE NIVEL No TP-1LINEA No 7TRAMO TACUBA-SAN JOAQUIN.

NIVELADOR	BANCO DE PARTIDA		FECHA DE NIVELACION	ELEVACION OBTENIDA
	No.	FECHA		
ING. A. SOLIS	HNP-CP	24/1/81	2238.553	24 Ene 1981 2242.907

NOTAS:

- 1.- El origen de cotas HNP Atzacolco.
Elevación 2245.008 m S.N.M.
- 2.- Localización: Sobre coladera pluvial en banquetta - pte. de la calle Abisinia, frente a la bocacalle -- Sánchez Trujillo.

FIGURA NO. 13

BANCO DE NIVEL No TP-2LINEA No 7TRAMO TACUBA-SAN JOAQUIN

NIVELADOR	BANCO DE PARTIDA		FECHA DE		ELEVACION
	No	FECHA	ELEVACION	NIVELACION	OBTENIDA
ING. A. SOLIS	BNP	24/1/81	2238.653	24 Ene 1981	2244.888

CA

NOTAS:

- 1.- El origen de cotas BNP Atzacalco.
Elevación 2245.098m S.N.M.
- 2.- Localización: En coladera pluvial en banqueta del predio No 32 sobre la calle Lago Erie y a 62.00m. aprox. al norte del entronque con calle Golfo de Aden.

V.5. REFERENCIAS DE LOS BANCOS DE NIVEL.

En las referencias de los bancos de nivel ya sean -- profundos o de trabajo, deben estar muy bien definidos los puntos a los cuales se les ha dado la elevación. Para que - en determinado momento que se ponga el estadal en el punto que corresponde al banco de nivel, no tope en algun otro - punto aledaño a él, puesto que daría lecturas erróneas.

Cada uno de los bancos de nivel deben estar pintados con colores fuertes para su fácil localización en campo an tándoles su respectiva nomenclatura en muros, postes, o sim plemente en el piso; la elevación no necesariamente tiene - que anotarse porque de antemano se sabe que estas elevacio- nes están constantemente cambiando; pero sí debe registrar- se su fecha de nivelación.

Para una localización rápida de un banco de nivel en campo, además de lo anterior es necesario hacer un croquis - de la zona en que se encuentra, anotando distancias aproxima das de esquinas o paramentos hacia él, así como su punto car dinal respecto a alguna calle principal.

Para esto se anexa una lista de los bancos de nivel - de la línea siete y su respectiva localización, en el tramo - Tacuba-San Joaquín, hasta Guardias Presidenciales en Molino - del Rey.

LINEA 7

<u>BANCO</u>	<u>ELEVACION</u>	<u>FECHA</u>	
BN-TP1	2242.997	24-ENE-1981	En coladera pluvial, banqueta Pta. Calle Abisina frente a bocacalle Sánchez a - bocacalle Sánchez Trujillo.
BN-TP2	2244.888	24-ENE-1981	En coladera pluvial banqueta predio No 32 de calle - Lago Erie a 62.00 m. aprox. al Norte de entronque con calle Golfo Aden.
BN-TP3	2248.315	24-ENE-1981	Al pié de poste con arbotante de calle Cda. casa amarilla a 50.00 m. aprox. de la Av. Lago Chiem.
BN-TP4	2249.816	24-ENE-1981	Lado Ots. coladera pluvial al 30.00 m. aprox. esquina Sur bocacalle Laguna - Mayran y Lago Hielmar.
BN-TP5	2248.765	24-ENE-1981	Esquina suroeste del cruce de calle Temistoóles con Av. Homero.
BN-TP6	2250.818	24-ENE-1981	En coladera pluvial en esquina noreste de Auditorio Nacional en esquina de Paseo de la Reforma y Calzada Chivatito.
BN-TP8	2257.988	24-ENE-1981	Banqueta Sur de calle lateral al Cuartel General, del cuerpo de guardias Presidenciales a 53.00 m. aprox. al Pte. de Molino de Rey.

CAPITULO VI

VI. CONTROL VERTICAL PARA LA
CONSTRUCCION DE LA VIA.

VI.1. INTRODUCCION DE NIVELACION A TUNEL

Para el caso de la línea siete del Metro, se introduce la nivelación al tunel como se observa en la Figura No. 15

El registro de datos es el siguiente:

PV	+	Δ	-	ELEVACION
BN-TP1	0.885	36.800		35.915
PL-1			1.995	34.815
BN-TP1	1.008	36.925		35.915
PL-1			2.118	34.805
PL-1	- 29.535	5.270		34.805
PL-2			1.455	3.815
PL-1	- 29.808	4.997		34.805
PL-2			1.182	3.815

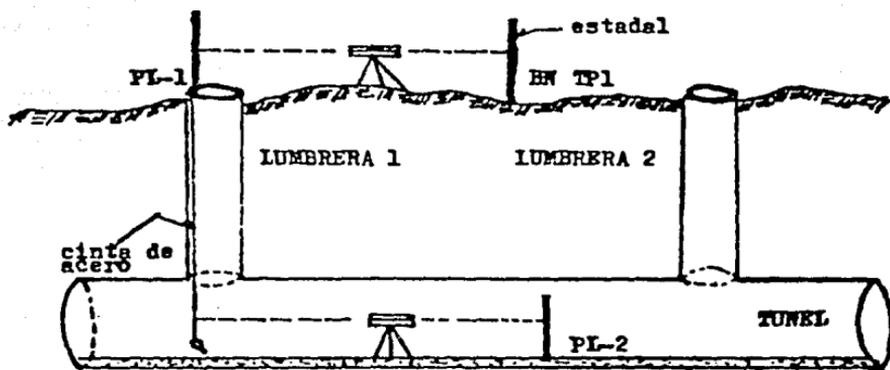


FIGURA NO. 15

Posteriormente, teniendo la cota en el túnel, se ubican bancos de nivel en los muros del túnel ya rebocado, los cuales se ubican a cada 500 metros aproximadamente junto a cada lumbrera.

Entre estos bancos se corren varias nivelaciones diferenciales para obtener una elevación promedio que sea confiable para los trabajos por realizar.

A apoyados en estos bancos se ubicaron puntos de ligas en los muros, los cuales también se nivelan varias veces para tener bien definida su elevación y con esto evitar imperfecciones en la construcción de la losa y en la implantación de la vía.

CONSTRUCCION DE LA LOSA E IMPLANTACION DE LA VIA SOBRE LA MISMA.

Una vez que se tienen bien definidas las elevaciones de los bancos que se van a utilizar se está en condiciones de iniciar la construcción de la vía.

Después de hacer el proyecto de rasante según las especificaciones, se determinan las dimensiones de la losa de concreto.

Los datos de áreas y espesores de la losa, así como --
andadores necesarios para la fijación de la vía se dan en --
los planos definitivos del proyecto geométrico.

Con los datos anteriores se procede a la construcción de la losa. Antes de iniciar el colado, se hacen las preparaciones indicadas en el proyecto de instalaciones electromecánicas.

Para colar la losa se colocan guías metálicas en ambos lados de los ejes de vía, después de niveladas y cimbradas, se comprueba que se encuentren a la distancia del eje de trazo que marque el proyecto, para poder iniciar el vaciado del concreto, respetando la tolerancia máxima de cinco milímetros de desnivel por tres metros de longitud del piso.

VI.2. REPOSICION DE TRAZO SOBRE LA LOZA.

Después de haber colado la losa y tener el tiempo necesario de fraguado se hace la reposición del trazo de los ejes de vía sobre la losa.

La reposición se hace bajando por intersecciones las referencias que se ubicaron en el intrados.

Después de ubicar los puntos importantes del trazo, se comprueban las deflexiones y distancias de las tangentes. Con esto se ubican marcas del eje de cada vía a cada 2.50 m

sobre la losa. Estas marcas son las que se toman como referencia para la colocación de los rieles, pistas y barra guía.

Después de ubicar el trazo en ambas vías se obtiene el perfil de la losa a 0.75 m en ambos lados de cada eje de vía y a cada 2.50 m. Con esto se hace el plano de rectificación de losa para determinar las zonas en que sea necesario desbastar o rellenar, estas zonas son las que rebasan la tolerancia de 15 milímetros respecto a las elevaciones de proyecto.

VI.3. COLOCACION DE LA VIA.

En línea recta como en curva esta fase de los trabajos comprende las siguientes operaciones:

- A) Perforación de los agujeros en la losa de apoyo - para las varillas de fijación de los rieles.
- B) Colocación de los rieles y soldadura aluminotérmica.
- C) Colocación de las calzas, grapas, tirantes y la -- realización del alineamiento y de la nivelación.
- D) Sellamiento de las varillas y relleno de las calzas con mortero expansivo.
- E) Retiro de los tirantes.
- F) Colocación de las juntas aislantes.

Tanto para el riel como para la pista se realizan 4 - agujeros a cada 0.75 m en ambos lados de cada vía en forma - alternada.

Cada agujero debe tener 50 milímetros de diámetro y - 145 milímetros de profundidad con respecto al nivel del piso. Estas perforaciones se realizan perpendiculares con respecto al eje de la vía. Y se perforan perpendiculares al plano -- del piso por medio de una plantilla de acero que sirve de -- guía y con los accesorios necesarios para lograr la longitud conveniente.

En caso de que se obtengan separaciones que rebasen - la tolerancia especificada, que para las perforaciones de -- riel y pista es de +8 milímetros, -5 milímetros, se perforan agujeros con un radio más grande para obtener la distancia - requerida.

Para evitar que los errores se acumulen longitudinalmente se colocan marcas sobre el eje de cada vía, para la posición consecutiva de la plantilla de perforación.

Para perforar los agujeros en curva se hace un ajuste del eje para el guiado de la plantilla, este ajuste se -- debe a la inclinación del riel y de la pista producida por - la sobre-elevación, debiéndose hacer una corrección hacia -- afuera de la curva para que las anclas de fijación queden --

bien centradas en la perforación cuando se alinien y nivelen estos.

VII.4. ALINEACION Y NIVELACION DE RIEL Y PISTA.

Los rieles son transportados y depositados en su lugar final sobre piezas de asentamiento provisional, se soldan -- por un proceso aluminotérmico y una vez armado el riel con el material de fijación le son colocados tirantes metálicos que sirven para mantener la separación entre los hongos de - los rieles que debe ser de 1.435 m, también sirven para ali- near y nivelar el riel con referencia a las marcas de nivela ción y alineamiento colocadas anteriormente. Los tirantes - están espaciados 3.00 m entre sí.

Ya con los tirantes de alineación y nivelación, además de estar presentado con las calzas sobre la losa, se comprue ba la alineación y nivelación con respecto al eje de la vía marcado en el piso; deben corregirse las lecturas que estén fuera de tolerancia admitida que es de + 2 milímetros tanto para la alineación como para la nivelación respecto a los -- datos del proyecto.

Posteriormente se introduce el mortero de sellamiento limpiando previamente los orificios con aire comprimido.

Para el sellamiento se utiliza el mortero expansivo - que se introduce por gravedad justo hasta el nivel del piso.

Cuando el material de sellado se ha secado, se retiran los tirantes de sujeción y se comprueba nuevamente tanto la alineación como la nivelación del riel a cada 2.5 metros, para verificar que el riel ha quedado con la alineación tanto vertical como horizontal deseados.

Al transcurrir un poco más de 72 horas de haber sellado el riel, se lleva a cabo el sellado de las pistas de rodamiento y para esto tiene lugar la alineación y nivelación de pistas la cual ya armada, soldada y con sus tirantes de sujeción debe estar a 10 cm del paño exterior del hongo del riel y a 2 mm arriba de la elevación del riel en cada cadena, admitiendo una tolerancia para ambos de ± 2 milímetros.

Comprobando los requerimientos anteriores, se procede a sellar las varillas de sujeción. El sellamiento se efectúa justo hasta el nivel del piso sin sobrepasarlo. Una vez que el mortero expansivo ha secado se retiran los tirantes y se comprueba nuevamente la alineación y nivelación.

Cuando se está trabajando sobre tramos en curva, el riel y la pista se colocan por deformación elástica cuando el radio de la curva es mayor o igual a 300 m, en caso contrario se curvan previamente. Además las calzas aislantes no llevan necesariamente los mismos distanciamientos en las dos filas.

La separación de la vía debe ser de 1.435 m para las curvas con radio superior o igual a 500 m y en tangente, para curvas con radio inferior debe ser de 1.439 m.

VI.5. COLOCACION DE AISLADORES Y BARRA GUIA.

La precisión que requiere la colocación del aislador es elevada ya que de ella depende el mayor ó menor ajuste en la barra guía, se cuidará el ajuste y la revisión periódica de las plantillas de perforación fija y ajustable, así como de los escantillones del aislador y la barra guía.

Lo más importante es que las perforaciones para el -- anclaje queden perpendiculares al plano de rodamiento y las distancias que se indican en el proyecto, siendo esto necesario por el tipo de anclaje que consiste en taquetes con conos de plomo y tornillos con cabeza, ya que estos quedan bien centrados en la perforación y no toleran más de uno o dos -- milímetros respecto a la perforación del aislador.

Las barras guía descansan sobre los aisladores en situación definitiva, y son fijadas sobre los aisladores por medio de tuercas autofrenadas atornilladas a los pernos -- Nelson.

VI.6. TOLERANCIAS.

Las tolerancias máximas admisibles para cada uno de los trabajos que a continuación se señalan y detallan como se observa en la Fig. No. 16

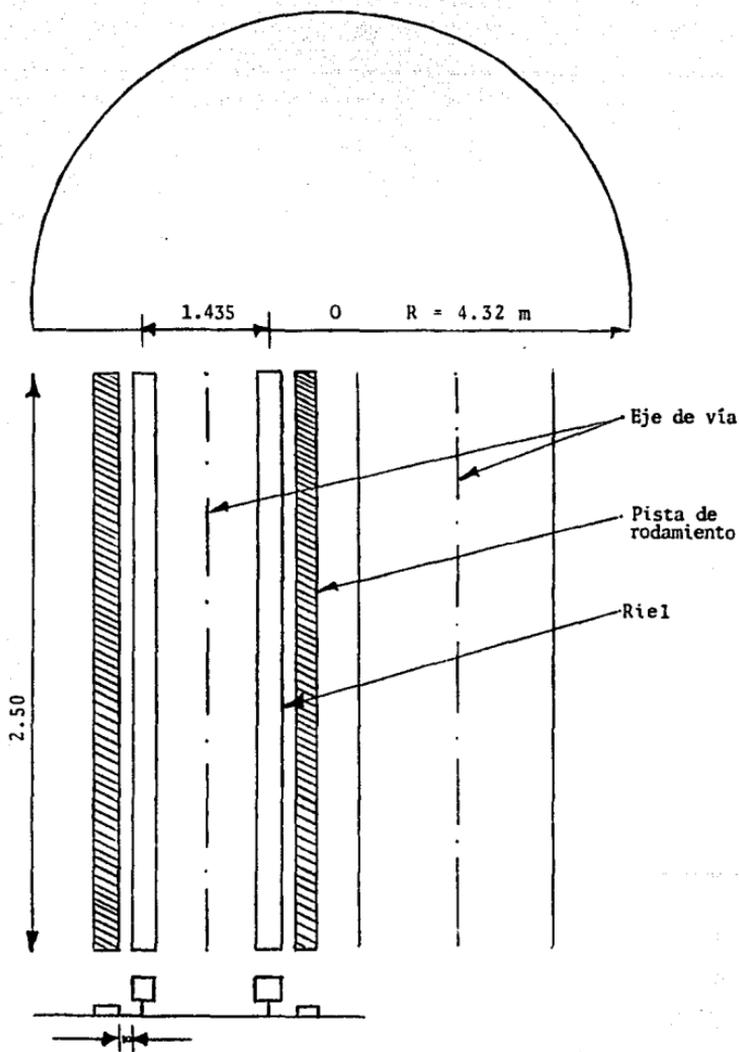


FIGURA NO. 16

PERFORACION DE ORIFICIOS

- A) Profundidad de los agujeros con respecto al nivel del piso -0mm , $+ 5\text{mm}$.
- B) Posición transversal de los orificios con respecto al eje de vía ± 3 mm.
- C) Posición longitudinal ± 5 mm.
- D) Los dos orificios de una misma calza aislante deben ser perfectamente perpendiculares al eje de la vía.

ALINEACION

- A) Alineación longitudinal del riel de la fila interior en la ubicación de los puntos de referencia $\pm 2\text{mm}$.
- B) Distancia del eje de las pistas respecto al borde interior del riel más cercano ± 3 mm.
- C) Alineación de todos los puntos en línea recta y en curva de radio superior a 150 m medido con cordel de 10 m desplazado por tramos de 5 m ± 2 mm.
- D) Alineación en todos los puntos en curvas de radio inferior o igual a 150 m medido con cordel de 10m desplazado por tramos de 2 m $\pm 2\text{mm}$.

NIVELACION

- A) Nivelación longitudinal + 2 mm con respecto al nivel teóórico.
- B) Variación de nivelación longitudinal entre dos puntos -- cualesquiera 0.5 mm/m.
- C) Nivelación transversal 1 mm de una fila con respecto a -- la otra.
- D) Nivelación transversal de una pista con respecto a la -- otra ± 2 mm.

CAPITULO VII

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El tramo de la estación Tacuba a la estación Barranca del Muerto que se puso en servicio, tiene una construcción tipo tunel. Una obra de esta naturaleza requiere desde su planeación, resolver gran número de problemas técnicos como: - determinación de origen y destino de los usuarios, localización y situación de ruta y estaciones, elección de criterios de proyecto y construcción así como equipo a utilizar, etc.

Por las características del terreno donde se construyó el tunel, se optó por la instalación de la vía directamente sobre una losa de concreto, la cual reúne varias ventajas.

Debido a que en la ciudad de México el suelo es limoso hasta 10 ó 15 metros de profundidad existen hundimientos diferenciales y regionales en determinadas zonas.

Para la línea siete se construyó un tunel a una profundidad superior a los 25 metros, desde la superficie a la base estructural inferior con un diámetro de 8.64 metros. Profundidad a la cual se encuentra un estrato sólido y rígido donde no existe posibilidad de hundimientos importantes, lo cual favorece al sistema de fijación de la vía sobre concreto, teniendo las siguientes ventajas:

- A) Eliminación del mantenimiento periódico en los -- elementos mecánicos como realineación y renivelación del riel, pista y barra guía.
- B) No existen afectaciones superficiales a excepción de zonas en las que se construyen los accesos a - las estaciones y lumbreras.
- C) Las molestias al público en el proceso de construcción son mínimas.
- D) Como no hay deformaciones en las vías, los daños - al equipo motriz son mínimos.
- E) Construcción de fosas antisuicidas en las estaciones.

En cuanto a las desventajas de este sistema sólo cabe decir que su costo inicial de construcción es demasiado elevado, (21.5 millones de U.S. por Km) pero a través del tiempo, es recuperado.

Los trabajos topográficos para el trazo y construcción de la vía para la línea siete, constituyen uno de los trabajos principales para el correcto funcionamiento del metro, - ya que intervienen directamente durante todo el proceso de -- construcción del mismo. Desde el levantamiento planimétrico de la zona que ocupa la obra, y el trazo preliminar, hasta la implantación de la vía, pistas y barra guía para la puesta en funcionamiento del sistema.

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

1. Topografía General
Higashida Miyabara Sabro,
México 1973.
2. Covitur 1977-82, publicación del
Departamento del Distrito Federal.
3. Transporte Motor de la Gran Ciudad
1987, Publicación del Departamento
del Distrito Federal.
4. Boletín Informativo, Nov.-1987 del
Sistema de Transporte Colectivo.
5. Replanteo de curvas,
Sarrazin Ober Becis - 1970.