



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN

**“PROYECTO GEOMÉTRICO PARA LA REHABILITACIÓN DE VÍAS EN OPERACIÓN
DE LA ESTACIÓN PANTITLÁN A NAVE DE DEPÓSITO DE LA LÍNEA 9 DEL S.T.C.
METRO”**

Trabajo profesional que para obtener el grado de

INGENIERO CIVIL

Presenta:

DAVID ERNESTO RODRÍGUEZ LOMELI.

Asesor:

ING. RUBÉN ALFONSO OCHOA TORRES.

Naucalpan, Edo. De México. Marzo de 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
CAPITULO 1. ANTECEDENTES	8
1.1. HISTORIA DEL TRANSPORTE A NIVEL MUNDIAL.....	8
1.2. HISTORIA DEL TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MÉXICO HASTA LOS INICIOS DEL METRO.....	10
1.3. SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO.....	14
1.3.1. Antecedentes (Historia del Metro).....	15
Particularidades de la Ciudad de México.....	15
Principios Básicos para la Creación de una red.....	16
Factibilidad Técnica, Económica y Financiera.....	18
Propuesta de Trazo.....	21
Determinación de las Primeras Líneas.....	21
1.3.2. Etapas de Construcción.....	23
1.3.3. Plan Maestro del Metro y Trenes Ligeros (PMMTL).....	25
Clasificación de los Sistemas Ferroviarios Dentro del PMMTL.....	26
Antecedentes del PMMTL.....	27
Corredores y red General 2020.....	28
CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO	32
2.1. INSTALACIONES NECESARIAS PARA LA OPERACIÓN DE UNA LÍNEA.....	33
2.1.1. Tramo Interestación.....	33
2.1.2. Estaciones.....	34
2.1.3. Vías.....	37
2.1.4. Aparatos de Vía.....	40
2.1.5. Instalaciones Electromecánicas.....	41
Subestaciones de Rectificación.....	41
Subestaciones de Alumbrado y Fuerza.....	41
Subestación de Tracción.....	42
2.1.6. Talleres.....	42
2.1.7. Puesto Central de Control (P.C.C.) y Puesto de Alta Tensión (P.H.T.).....	43
2.1.8. Centro Administrativo.....	43
2.2. ASPECTOS GENERALES DE LÍNEA 9.....	45
2.2.1. Etapas de Construcción de Línea 9.....	46
2.2.2. Estación Pantitlán.....	46
2.3. ZONA DE TRABAJO.....	46
2.4. ESPECIFICACIONES Y NORMATIVIDAD.....	47

CAPITULO 3. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO GEOMÉTRICO	49
3.1. ESPECIFICACIONES DE TRAZO.....	49
3.1.1. Definición.....	49
3.1.2. Generalidades.....	49
3.1.3. Implantación de vía Trazo.....	54
3.2. ESPECIFICACIONES DE PERFIL.....	55
3.2.1. Definición.....	55
3.2.2. Generalidades.....	55
3.2.3. Implantación de vía Perfil.....	57
3.3. ESPECIFICACIONES DE GÁLIBOS.....	59
3.3.1. Definición.....	59
3.3.2. Gálidos Horizontales.....	59
Gálidos en Solución Cajón Subterráneo.....	59
Gálidos en Solución Túnel.....	61
Gálidos en Solución Superficial y Elevada.....	62
Gálidos en Colas.....	63
Gálidos en Naves de Depósito y Talleres.....	63
3.3.3. Gálidos Verticales.....	64
Tramo Tangente.....	64
Tramo en Curva.....	64
Tramo con Zona de Rejillas.....	64
 CAPITULO 4. PROYECTO GEOMÉTRICO PARA LA REALINEACIÓN Y RENIVELACIÓN DE VÍAS EN OPERACIÓN	 65
4.1. TRABAJOS PRELIMINARES.....	65
4.1.1. Generalidades.....	65
4.1.2. Topografía.....	67
4.2. TRAZO.....	70
4.2.1. Proyecto Preliminar.....	70
4.2.2. Proyecto Definitivo.....	70
4.2.3. Cálculo de una Curva Circular.....	71
4.3. PERFIL.....	82
4.3.1. Proyecto Preliminar.....	82
4.3.2. Proyecto Definitivo.....	82
4.3.3. Cálculo de una Curva Vertical.....	84
4.4. IMPLANTACIÓN DE PROYECTO DE TRAZO.....	98
4.4.1. Referencias.....	98
4.4.2. Tolerancias.....	98
4.4.3. Verificación de la Implantación del Proyecto de Trazo.....	99

4.5. IMPLANTACIÓN DE PROYECTO DE PERFIL.....	100
4.5.1. Referencias.....	100
4.5.2. Tolerancias.....	100
4.5.3. Verificación de Proyecto de Perfil.....	100
CONCLUSIONES.....	101
AGRADECIMIENTOS.....	103
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	104

“PROYECTO GEOMÉTRICO PARA LA REHABILITACIÓN DE VÍAS EN OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN PANTITLÁN A NAVE DE DEPÓSITO DE LA LÍNEA 9 DEL S.T.C. METRO”

INTRODUCCIÓN.

El S.T.C. (Sistema de Transporte Colectivo) Metro surge como una solución a la necesidad del transporte masivo en la ciudad de México, provocado principalmente por el aumento excesivo de la población, y sumado a esto, una mala y decadente planeación de los sistemas de transporte de la ciudad y sus zonas conurbadas.

La población de la Ciudad de México entre 1950 y 1970, se incrementó de tres millones de personas a más de siete millones a inicios de la década de los setentas, y cerca de nueve millones considerando los habitantes de la zona conurbada; también se incrementó el área urbana de 200 a 320 km². El número de vehículos automotores se incrementó de 130,000 a 450,000 en este mismo periodo. Actualmente el D.F. (Distrito Federal) tiene una población estimada de dieciséis millones de habitantes. En este primer periodo, el D.F. presentaba graves problemas de transporte público y congestionamientos viales, principalmente en la zona centro, concentrándose aquí alrededor del 40 % del total diario de los viajes realizados dentro de la ciudad, circulando 65 de las 91 líneas de autobuses y transportes eléctricos de pasajeros y cerca de 150 mil automóviles particulares. Por lo cual se vio en la necesidad de implementar un sistema de transporte colectivo masivo el cual se conoce como Metro, caracterizado principalmente por tener una planeación racional mediante la explotación de trenes.

En 1958 inician los estudios para la construcción del Metro, analizando principalmente los problemas técnicos, económicos y financieros, apoyados en una investigación colectiva de otras tantas ciudades, para conocer principalmente sus orígenes, desarrollo y experiencias acumuladas, con el fin de determinar lo más conveniente para la Ciudad de México adaptándolas a las características propias de nuestra ciudad.

Después de esta serie de estudios se coincidió en la conveniencia de construir un sistema rápido de transporte colectivo en vía libre, conocido mundialmente como Ferrocarril Metropolitano o “Metro”. Es así como el 29 de abril de 1967 es publicado en el diario oficial el decreto presidencial mediante el cual se crea un organismo público descentralizado, el Sistema de Transporte Colectivo, con el propósito de construir, operar y explotar un tren rápido con recorrido subterráneo para el transporte público del D.F.

El 19 de junio de 1967, se realizó la ceremonia de inauguración de las obras del Metro de la Ciudad de México, iniciando con esto “la obra civil más grande en la historia de la Ciudad”. Años más tarde el 4 de septiembre de 1969, se hizo el recorrido inaugural, entre las estaciones Insurgentes y Zaragoza de la línea 1.

El Metro es un sistema de transporte de grandes masas, con una vía exclusiva para su funcionamiento, está coordinado con los transportes existentes para dar solución a la gran demanda de transporte y a los

problemas de tránsito. Es considerado la obra civil y arquitectónica más grande y compleja de la Ciudad, teniendo como característica principal un proceso permanente de transformación y crecimiento, por la incorporación de nuevas tecnologías.

Actualmente las cosas no han cambiado y de forma contraria, se han complicado puesto que hay un incremento considerable de la población y el tránsito vehicular, como consecuencia de ello, se generan los “grandes congestionamientos viales”, en las principales arterias de la ciudad.

El S.T.C. Metro, es de vital importancia para la Ciudad de México, es considerado la columna vertebral del transporte colectivo en la ciudad, por lo cual es de suma importancia su correcto funcionamiento.

Para lograr esto en una línea o en una red compuesta por varias líneas del Metro, así como en cualquier red de transporte colectivo, se debe tener en cuenta que se debe cumplir con ciertas características principales de operación como: la seguridad, la regularidad, el confort, la rapidez y el costo.

Estas características cumplirán solo si se efectúa un mantenimiento adecuado y oportuno de las instalaciones del sistema, para su óptimo desempeño.

El S.T.C. Metro cuenta con un total de 201.3 km de vías dobles, 11 líneas en operación, 175 estaciones, 7 talleres de mantenimiento, alrededor de 14 mil trabajadores y un promedio de 4.2 millones de usuarios transportados diariamente.

De los 201.3 km de vías dobles en operación, 15.4 km corresponden a la línea 9, la cual atraviesa cuatro delegaciones por el centro de la ciudad, (Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza e Iztacalco), de oriente a poniente, con correspondencia a las líneas A, 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 8 lo que representa aproximadamente el 72% de la red.

Para el mantenimiento preventivo; el cual es esencial para el correcto funcionamiento y operación del sistema; se deben de monitorear el total de las instalaciones, esto con la finalidad de tener un control del funcionamiento del sistema, y de esta forma detectar y prevenir posibles fallas.

Un aspecto muy importante dentro del mantenimiento es la rectificación del proyecto geométrico, el cual consiste en la rectificación de la alineación y nivelación de las vías que se encuentran operando, que debido al paso de los trenes sobre ellas son alteradas por los asentamientos de balasto; estas alteraciones provocan fatiga del material rodante, falta de confort en los pasajeros y una degradación de los materiales constitutivos de la vía.

El sistema de vías del Metro se clasifica en vías principales y vías secundarias. Las vías principales son aquellas en las cuales el material rodante circula en servicio normal con usuarios entre la estación de origen y la estación de destino, se localizan a lo largo de una línea en los tramos interestación y en las estaciones. Las vías secundarias son aquellas en las cuales el material rodante circula sin usuarios y a baja velocidad, estas se localizan en espuelas de comunicación, peines de acceso a naves de depósito, colas definitivas de maniobras y en general en vías de talleres.

En este trabajo se analizará la metodología que se utilizó en la elaboración del proyecto geométrico para la rehabilitación de las vías en operación del tramo entre la estación pantitlán y la nave de

depósito (vías secundarias) de la línea 9, considerando la problemática y las soluciones que se le dio a la misma.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1. HISTORIA DEL TRANSPORTE A NIVEL MUNDIAL

El ser humano desde sus orígenes siempre ha buscado la forma de transportarse, utilizando diferentes medios, como animales, balsas, canoas, etc. Sin embargo, fue convirtiéndose en un problema conforme se incrementaba la población dentro de los centros urbanos.

Con el desarrollo industrial, la producción en masa, el incremento demográfico y las concentraciones humanas en las grandes ciudades, fue necesario un gran desarrollo en la tecnología del transporte, cuya aplicación se observa en los sistemas de transporte actuales como el ferrocarril, aviones, automóviles, transportes marítimos, etc.

A lo largo de la historia, los transportes han facilitado el traslado de personas, mercancías, animales, así como de infinidad de objetos, permitiendo el intercambio cultural, de ideas y costumbres entre distintas regiones.

A mediados del siglo XIX, se inicia la mecanización de la industria y con ello la concentración demográfica en grandes áreas urbanas junto con la necesidad de producir, distribuir, circular y consumir los productos que satisfagan las necesidades del ser humano, obligando al hombre a transportarse de forma más rápida y eficiente.

La máquina de vapor surgió durante la revolución industrial inventada por Eduard Somerst en 1663. Posterior a este invento, aparece el ferrocarril iniciando con ello la investigación y el desarrollo para este medio de transporte.

Entre 1867 y 1890, ciudades como: Londres, Nueva York, Chicago, París y Berlín, adoptaron el ferrocarril de vía libre como solución de transporte, creando las primeras redes de transporte urbano. Es así como aparecieron las primeras líneas de ferrocarriles metropolitanos, siendo una de sus características que es subterráneo, incrementándose de forma importante con el desarrollo de la máquina eléctrica.

En 1886 aparece el automóvil, como resultado de la necesidad de transporte, el cual con el tiempo gana terreno a los trenes colectivos, considerándose “una extensión de la personalidad del hombre”, y símbolo de su libertad, puesto que puede ser utilizado en cualquier momento.

Se inicia con ello la era del automovilismo, su producción en masa, el consumo de acero, hule, madera y otros materiales para su fabricación y con esto, la creación de industrias auxiliares como la petroquímica.

Se crea así la infraestructura necesaria para el uso del automóvil, como carreteras, viaductos, estacionamientos, entre otros, sin embargo toda esta infraestructura vial, con el paso del tiempo se vuelve insuficiente para cubrir la demanda.

En esta etapa, el transporte colectivo entra en crisis, llega a parecer obsoleto, en ninguna ciudad es fomentado y se estanca su desarrollo. Se crea la falsa idea de que los sistemas de transporte colectivo son inoperantes y crece una preferencia por el automóvil.

Tiempo después, se observan los problemas generados por esta nueva opción de transporte. Se limita y reglamenta su uso, frenando con ello su libertad de acción. Las calles las cuales no fueron diseñadas para el automóvil se congestionan, surgen los reglamentos de tránsito; y poco a poco es más difícil estacionar los vehículos.

Debido a estos problemas, las personas comprenden que el automóvil no es la mejor, ni la forma más eficiente de transporte, acorde a las necesidades de las actividades del hombre.

El siglo XX se caracterizó principalmente por los grandes problemas de transporte masivo, derivados del incremento de la población, y la concentración de esta en ciertos puntos.

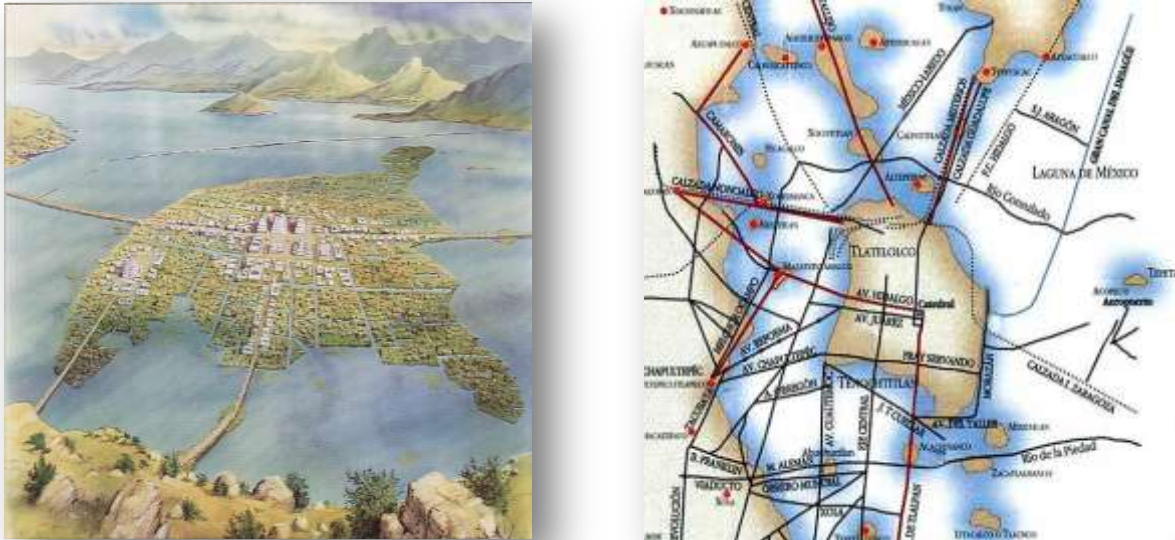
Después de esto, se revive el sistema de transporte colectivo, denominado entonces de segundo piso, siendo el método más eficiente para el transporte en masa dentro de las áreas poco propicias para el automóvil. En esta etapa los técnicos hicieron énfasis en mejorarlo, procurando comodidad, velocidad, eficiencia y seguridad. Buscando que sea competitivo con el automóvil.

En abril de 1967, se celebra en Pittsburgh, Pensilvania, la 2ª. reunión sobre problemas de Transporte Urbano, estableciéndose aquí los siguientes postulados:

1. Para la mayor eficacia del transporte en las ciudades congestionadas, deberán combinarse, coordinarse y complementarse los distintos sistemas de transporte existentes.
2. Se procurará que la operación de cada uno de los sistemas se realice bajo condiciones óptimas, mediante su localización en aquellas zonas donde puedan ser mejor aprovechadas sus características específicas y particulares por su adaptación al medio.
3. Debe buscarse un mayor perfeccionamiento de las tres principales formas de transporte: automóvil, transportes colectivos superficiales, y transportes colectivos de segundo piso, tanto de manera particular como en operación conjunta.
4. El problema del transporte no es el único existente en las ciudades, por lo que habrá que resolverlo sin dejar de satisfacer las demás necesidades de la vida moderna.

1.2. HISTORIA DEL TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MÉXICO HASTA LOS INICIOS DEL METRO

En la ciudad de México desde la fundación de la gran Tenochtitlán en 1325, la población se transportaba en canoas que navegaban por los canales de esta ciudad, posteriormente en las carrozas y locomotoras de vapor, hasta la etapa eléctrica del transporte, cuya evolución a lo largo del tiempo ha marcado épocas en la historia del país.



Figuras 1.1, 1.2 La gran Tenochtitlán.

En 1521 la antigua ciudad de la gran Tenochtitlán (Fig. 1.1) se formaba por dos zonas principales comunicadas entre sí, Tenochtitlán y Tlatelolco las cuales formaban el imperio rodeado de núcleos satélites menores que alojaban los pueblos vasallos de los aztecas como: Azcapotzalco, Tlacopan, Culhuacán, Chalco, Xochimilco, Coyoacán, etc. con una población de 30,000 habitantes.

Las vías de comunicación más importantes (Fig. 1.2) eran cuatro calzadas que partían del centro de la ciudad hacia todos los puntos cardinales como: Iztapalapa al sur, Tlatelolco-Tepoyac al norte, Tacuba al poniente y Texcoco al oriente. Existía comunicación también entre Tlatelolco y Azcapotzalco, Tenochtitlán y Chapultepec, y entre Tacuba y Azcapotzalco.

Cuando llegaron los españoles, trajeron nuevas costumbres como el uso del caballo para transportarse individualmente. Los nobles empleaban lujosas andas, a lomos de “tamemes”, utilizando después carretas y carrozas tiradas por caballos.

En 1625 cerca de 40 mil residentes españoles utilizaban este tipo de vehículos, por lo que se necesitaron nuevas vías de circulación. El sistema vial de aquella época estaba formado principalmente por trochas, veredas, calles de tierra canales y acequias.

En 1629, debido al “Aguacero de San Mateo”, la ciudad sufrió la destrucción de varios edificios, derivada de la inundación, sin embargo fue reconstruida apoyada en la Real Cédula de Felipe II, dicho documento contenía conceptos de planeación, dando origen a la estructura del barrio.

El uso de diligencias para el transporte foráneo de carga y pasajeros, incrementó el movimiento de vehículos en la capital de la Nueva España.

En 1769, comenzaron las primeras obras de empedrado en las calles y banquetas. Poco después en 1792, la población de la ciudad llegó a 130,000 habitantes.

Durante la primera mitad del siglo XIX, una vez instaurada la República, la composición geográfica y social de la Ciudad de México tenía la necesidad de crear un medio de transporte para la gente que venía a trabajar y comercializar sus productos desde lugares alejados, se dio solución a esto con el ómnibus, que eran grandes carretones tirados por caballos, con asientos laterales y accesos por la parte trasera.

En 1821, cuando México surgió como nación independiente, los liberales consideraron que el establecimiento de ferrocarriles era un factor fundamental para el desarrollo y progreso de nuestro país y sin duda un símbolo de modernidad.

En 1856 se otorgó la primera concesión para construir una línea de tranvías de tracción animal conocidos como tranvías de mulas, los cuales sustituyeron lentamente al ómnibus, la multiplicación de este medio de transporte trajo a la ciudad el crecimiento urbano a lo largo de sus rutas.

El 4 de julio de 1857, el presidente Ignacio Comonfort puso en marcha el primer tramo de la ruta entre México y Veracruz, prestando servicio durante muchos años entre el centro de la Ciudad y la Villa de Guadalupe.

Entre 1864 y 1867, se construyó el actual Paseo de la Reforma.

El 1ro de enero de 1873 fue inaugurado el Ferrocarril Mexicano, con 420 km de longitud entre México y Veracruz.

En 1881, la red ferroviaria se incrementó con el Ferrocarril interoceánico entre Veracruz, México y Balsas, Gro., y en 1884 llegó hasta Ciudad Juárez.

Fue así como surgió el centro ferroviario de la capital, constituido en su origen por la estación Buenavista, teniendo la Ciudad una población de 200,000 habitantes.

En 1891, inició la pavimentación de calles con adoquines.

Durante esta periodo, la ciudad junto con su población crecían y las diversas líneas se vieron en la necesidad de efectuar diversos cambios. Por sus características, peso y tamaño, los ferrocarriles no tenían acceso a las estrechas calles. Debido a esta situación, las autoridades dispusieron que los ferrocarriles se instalaran en las periferias, mientras que el servicio al interior de la ciudad se daría en coches tirados por mulas o caballos, conocidos como “tranvías de mulitas”.

En 1895 la población de la Ciudad era de 427'000 habitantes, con una superficie de 1'200 km². Tres años después llegó el primer automóvil al D.F., marcando el inicio de la era automotriz.

A partir de esto, nacieron muchas empresas de ferrocarriles, como la Compañía Limitada de Ferrocarriles, la cual llegó a ser la más grande e importante empresa de este ramo que explotaría el sistema ferroviario hasta 1986.

En 1900 se inició con las operaciones del Sistema de Transportes Eléctricos, con la primera ruta de tranvías entre México y Tacubaya, siendo esta la base del transporte masivo de pasajeros. En este año también se fijaron los límites actuales del D.F. con un total de 1,483 km², correspondiendo solo 23 km² al área urbana de la ciudad, alojando 540,000 habitantes.

Los tranvías eléctricos circulaban sobre las vías en donde transitaban los tranvías de mulitas, sustituyéndose estos en su totalidad en 1934.

En 1901, se utilizó por primera vez asfalto en la pavimentación de calles, con esto el auge de la era automotriz comenzó en México. Para 1906, el parque vehicular era de aproximadamente 800 automotores.

Entre 1915 y 1917, se puso en servicio las primeras líneas de autobuses conocidas entonces como “camiones”.

En 1925 existían 21,200 automóviles en la ciudad, que por su flexibilidad, capacidad y velocidad de desplazamiento, favorecieron al incremento territorial de la zona metropolitana.

En 1930 la población de la ciudad se incrementó hasta un millón de habitantes, incrementando los problemas urbanos. El número de vehículos aumentaba periódicamente, exigiendo la construcción de nuevas vialidades, implementándose nuevas avenidas y calzadas a las existentes (Av. Chapultepec, Bucareli, 5 de mayo, etc.) como: Av. Álvaro Obregón, Insurgentes, Revolución, 20 de Noviembre, Melchor Ocampo, Cuauhtémoc y Baja California, entre otras. Las cuales casi siempre se ubicaban sobre los antiguos derechos de vía de los servicios de tranvías o sobre ríos entubados.

Entre 1930 y 1940, la población creció a 1,760,000 habitantes, y el área urbana a 92 km².

En esta época se impulsó diversos servicios públicos, como la vivienda popular, hospitales, edificios públicos, escuelas, entre otros.

En 1946, aparecieron las primeras zonas industriales al norte del D.F., como industrial Vallejo, Ecatepec, Tlalnepantla y Naucalpan en el Estado de México, extendiéndose como consecuencia la red vial para conectar la ciudad con estas zonas.

En 1948, se inicia la construcción de Ciudad Universitaria (C.U.), generando un importante crecimiento de la ciudad en el sur, como consecuencia surgieron nuevas vías de comunicación como: División del Norte, Av. Taxqueña, Av. Universidad, Cuitláhuac, Río Mixcoac, así como los estudios para la construcción del viaducto.

Entre 1950 y 1964, el crecimiento demográfico alcanzo una tasa media de incremento superior al 5% anual.

La población del D.F. fue de 3,100,000 en 1950, a 5,240,000 en 1960 y a más de 6,000,000 en 1964, así como el área urbana se incrementó de 200 a 320 km² en el mismo periodo. El número de automóviles creció de 130,000 en 1950 a 450,000 a finales de 1964. Este crecimiento repercutió considerablemente en los problemas de tránsito, haciendo que las arterias viales fueran insuficientes, provocando con ello serios congestionamientos.



Figura 1.3 Ciudad de México 1950.

Las autoridades construyeron nuevas vías rápidas de circulación continua de alta velocidad, destinadas principalmente a los automóviles para dar solución a los problemas de congestión vial, como: el viaducto Miguel Alemán, el Anillo Periférico y la Calzada Tlalpan, alejándose con esto la democratización del transporte público, sin embargo se respetó al centro de la calzada Tlalpan un derecho de vía para tranvías, marcando así el primer paso para el transporte colectivo.

Ante esta problemática, las autoridades prohibieron nuevas urbanizaciones de todo tipo, sin embargo esto propició la aparición de colonias clandestinas, sin planeación y fuera de control, así como la emigración de fraccionamientos residenciales en las periferias de la ciudad dando origen a “Ciudades Satélites”, utilizando esta buena parte de los servicios de la ciudad, y agravando los problemas de circulación, dado el volumen de vehículos y la carencia de vías de acceso adecuadas a estas zonas.

La ciudad de México, para 1965 se mostraba como una gran urbe de trazo sin control y planeación alguna, resultado de lo que originalmente tuvo el centro de la ciudad y pueblos vecinos, de derechos de vía creados por los tranvías, de cauces de antiguos ríos entubados y transformados en grandes avenidas. El uso de la tierra tiene una desordenada distribución de centros habitacionales, comerciales, industriales y de otras actividades, obligando a los habitantes a realizar grandes recorridos en todas direcciones.

El área urbana se delimitaba por el anillo periférico con un área de 372 km², con longitudes máximas de 25 km de norte a sur y 20 km de oriente a poniente. Se tenían registrados 309,710 vehículos (Tabla 1.1), el 80 % de este total se encontraba en servicio, circulando diariamente 247,809 vehículos transportando alrededor de 8,383,120 pasajeros. Sumándole a esta cifra los transportes de carga como camionetas, remolques y motocicletas, el número de vehículos ascendía a 450,000.

Las estadísticas mostraban que el 76 % de la población se transportaba en medios masivos y el resto utilizaba taxis y automóviles particulares.

En la segunda mitad del siglo XX, la Ciudad de México presentaba graves problemas de transporte público, y como consecuencia severos congestionamientos viales, particularmente en el centro, en donde en horas pico circulaban 4,000 unidades de transporte urbano de pasajeros correspondientes a 65 de las 91 líneas de autobuses y transportes eléctricos, 150,000 automóviles eran estacionados en sus calles, ocasionando que la velocidad de circulación vehicular fuera menor a la de una persona caminando.

La ciudad de México transitaban diariamente 14,350 autobuses suburbanos y foráneos, transportando a 539,060 pasajeros, principalmente por el oriente de la ciudad.

En 1965 la Ciudad de México tenía una red vial formada principalmente por avenidas importantes, sin embargo varias de ellas presentaban falta de continuidad en algunos de sus extremos, tales como la calzada Tlalpan, en su extremo norte, calzada I. Zaragoza al llegar a Morazán, Oceanía en su extremo sur, Ferrocarril hidalgo con la glorieta a Perlavillo, Vallejo en la Raza, etc., problema que aún se presenta en algunas de ellas.

Las soluciones adoptadas en la Ciudad de México en materia vial demostraron que los viaductos y periféricos, no son la solución más recomendable para el transporte masivo, ya que solo resuelven las necesidades de los automovilistas, no la de grandes mayorías. En segundo lugar, el aumento progresivo y sin planeación de autobuses y transportes en general solo agravo los problemas de tránsito, tiempo perdido, consumos y desgaste excesivo de las unidades, incrementando la contaminación atmosférica.

El transporte de pasajeros, representaba representa uno de los principales problemas de la ciudad. El intenso movimiento diario de personas en transportes urbanos era causa de congestionamientos de tránsito. Fue evidente que la solución del transporte masivo de pasajeros, no podía seguir orientada a

base de sistemas de superficie. Fue aquí donde se observó los beneficios de crear un sistema integral de transporte constituyendo la columna vertebral de este sistema el Metro.

Tabla 1.1 Transporte en la Ciudad de México en 1967

VEHÍCULOS	NÚMERO DE UNIDADES	80% DE UNIDADES EN SERVICIO	PASAJEROS VIAJE POR UNIDAD/DIA	TOTAL DE PASAJEROS EN 24 HRS.
Autobuses de pasajeros	6500	5200	1100	5720000
Transportes eléctricos	492	394	1680	661920
Autobuses escolares	518	415	64	26560
Automóviles particulares	283000	226400	2.6	588640
Automóviles de alquiler	19200	15400	90	1386000
SUMA:	309710	247809		8383120
TRANSPORTES: COLECTIVO		76%	INDIVIDUAL	24%
POBLACIÓN EN 1967		6330000 Hab.		
PASAJEROS AL DÍA		8383000 Hab.		
INDICE DE VIAJES POR HABITANTE			$\frac{8383000 \text{ Hab.}}{6330000 \text{ Hab.}}$	=1.32

1.3. SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO

El metro desde sus inicios tuvo varios obstáculos, dentro de ellos el técnico, económico y financiero, lo cual prolongó el inicio de su construcción. El primero de estos, aludía principalmente a los problemas que representaba el subsuelo de la ciudad para la construcción en general de cualquier tipo de estructura, siendo esta característica, el impedimento determinante para la ejecución de conductos subterráneos de gran longitud como los necesarios por este sistema de transporte.

El impedimento económico consideraba que este nuevo sistema de transporte requeriría de una tarifa que sobrepasaba la capacidad económica del usuario, tomando como base las tarifas de operación de otras ciudades, siendo mayores en todos los casos a las acostumbradas en nuestro medio.

En el aspecto financiero, como consecuencia de los dos anteriores, resultaba negativo, ya que para fijar una tarifa que se adaptara a la capacidad de pago del usuario, se necesitara de un subsidio gubernamental y por otra parte, en caso de superar los dos impedimentos anteriores, la construcción alcanzaría costos excesivos que necesitarían altos financiamientos, cuyas amortizaciones tendrían que absorberse por el Gobierno.

1.3.1. Antecedentes (Historia del Metro)

En 1965, con base en estudios realizados desde 1958, Ingenieros Civiles Asociados (ICA) en colaboración con las autoridades de aquel entonces, dio solución a la problemática del transporte en la capital de la república.

Se denominó un plan de trabajo llamado “Estudio de vías rápidas para la Ciudad de México”, el cual llevo a cabo una recopilación de la experiencia acumulada de 33 sistemas de transporte que se encontraban en operación.

Dicha investigación, permitió obtener información sobre el material rodante y las instalaciones especiales con las que contaban, los procedimientos constructivos y los costos en diferentes especialidades como obra civil, electromecánica, así como las tarifas, el número de pasajeros transportados, los costos de operación, velocidades comerciales, número de trenes, distancias entre estaciones, ventajas y desventajas de las distintas soluciones (elevadas, superficiales, subterráneas o mixtas), y de los sistemas sobre ruedas metálicas o neumáticas; en general, esta investigación permitió conocer sobre las necesidades y requerimientos, así como de aquellas innovaciones tecnológicas las cuales pudieran aplicarse en la ciudad de México.

De las diversas alternativas de trazo propuestas, fue seleccionada aquella que cubriera las necesidades más urgentes del transporte colectivo, así como también, la que solucionara los problemas de congestión del primer cuadro y la zona central de la ciudad. En estas propuestas se analizaban principalmente vías, estaciones subterráneas, superficiales y elevadas, transición entre las diferentes soluciones de vías, construcción de túneles en arcillas a profundidades mínimas, semiprofundas y profundas, construcción de túneles en zonas de transición, cruce a desnivel de líneas, la posibilidad de la aplicación de diversos procedimientos constructivos y sus programas, interferencias, afectaciones, estimación de la demanda, el número de convoyes y carros, trazo, pasos a desnivel necesarios, obras viales, tarifas, recuperación de inversiones, restructuración para el transporte urbano de superficie, etc.

Particularidades de la Ciudad de México

El establecimiento de una red de tránsito rápido en la Ciudad de México debía adaptarse a las condiciones particulares de esta, con el fin de dar solución a la problemática de transporte; considerando para esto:

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

Para cumplir con las consideraciones anteriores, se estudiaron trazos particulares, obedeciendo a requerimientos específicos como: trazo por densidad demográfica, trazo por uso de suelo, trazo por origen y destino de obreros, trazo por origen y destino de empleados y trazo por alimentaciones exteriores, entendiéndose por este último como el estudio de los ejes de penetración que los servicios de transporte empleaban en sus trayectorias por la zona urbana.

Se buscó que el trazo de las líneas, coincidieran con los ejes principales de transporte colectivo de la Ciudad y que abarcara los más importantes núcleos de concentraciones humanas.

Principios Básicos para la Creación de una red

La experiencia internacional, muestra que el transporte es un problema de carácter dinámico, el cual no tiene soluciones integrales inmediatas, y que el desarrollo de una red de transporte colectivo, se va formando paulatinamente, apoyándose principalmente en los resultados y experiencias obtenidas del proyecto, la construcción y la operación de cada línea.

Los trazos iniciales siempre estarán sujetos a ajustes y modificaciones, como consecuencia de las condiciones de servicio a determinadas zonas, el tipo de subsuelo, interferencias con instalaciones de todo tipo, monumentos históricos, entre otras cosas; tratando de que dichas modificaciones no sean radicales, puesto que el trazo inicial se elaboró mediante estudios debidamente fundamentados.

Una red urbana de transportes rápidos se inicia con dos líneas principales perpendiculares entre sí. Se desarrolla mediante la construcción de líneas paralelas, formándose una cuadrícula que debe cubrir progresivamente el área urbana. Esta cuadrilla es ligada posteriormente, con uno o varios anillos (Fig. 1.4).

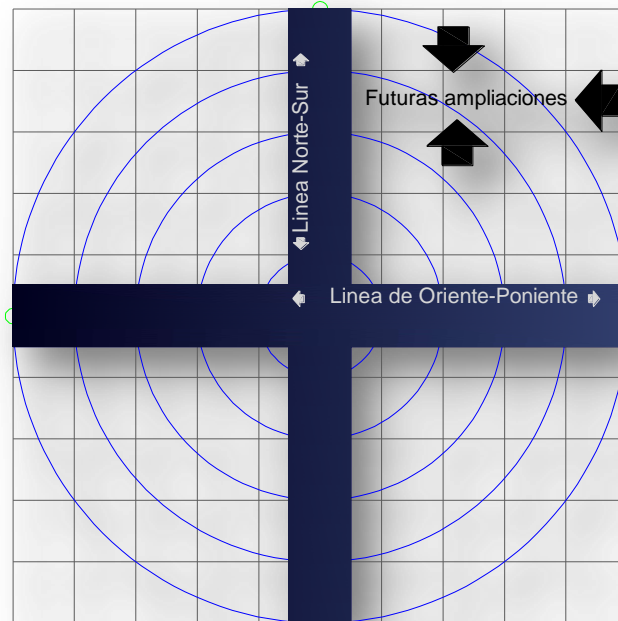


Figura 1.4 Esquema teórico de desarrollo de una red del Metro.

Considerando estudios previos, incluyendo dentro de estos la construcción de un tramo experimental de cajón de metro a escala real para dos vías en arcilla, y por medio de muros colados en sitio, se llegó a la conclusión de:

1. Es necesario utilizar una estructura subterránea denominada cajón (Figura 1.5), desplantada a profundidad mínima y construirla por el método de muros colados en sitio, salvo ciertas particularidades.
2. Preferentemente se dispondrá de calles con un ancho suficiente para utilizar el procedimiento constructivo de excavación a cielo abierto, con taludes y fondos estabilizados por electroósmosis. De ser necesario profundizar la rasante, se utilizará el método de construcción de túnel perforado con escudo.

3. Es necesario elaborar un estudio preciso, para ubicar las interferencias que se presentarían en el trazo de las líneas con las instalaciones municipales, y definir las soluciones correspondientes, programando su ejecución.



Figuras 1.5, 1.6 Construcción del cajón subterráneo (izquierda), Material rodante neumático (derecha).

4. La conveniencia de emplear equipo rodante neumático (Fig. 1.6), el cual tiene las siguientes ventajas:
 - Elimina vibraciones y tiene una marcha más cómoda.
 - Tienen una mayor durabilidad en comparación a los sistemas convencionales de rodada metálica.
 - Permite mayores aceleraciones tanto en arranque como en frenado.
 - Tiene la capacidad de absorber pendientes de hasta el 8%, comparadas con el 3% de los equipos con rodada metálica.
 - Tiene una velocidad comercial alta
 - Otorga mayor seguridad en el rodamiento, puesto que cuenta con rueda metálica y ruedas con función de guiado.
5. La vía deberá de apoyarse sobre durmientes de madera y/ó de concreto, los cuales estarán sobre una capa de balasto (Fig. 1.7), con el objeto de permitir la fácil renivelación y realineación, las cuales son necesarias como parte del mantenimiento de la vía, consecuencia del paso del material rodante y de los asentamientos diferenciales previstos sobre la estructura.



Figura 1.7 Vías, cola de maniobras Pantitlán línea 9.

El estudio preliminar, en el cual se proponía para el sistema el nombre de “Rápidos de México”, se concluyó a mediados de 1965. En octubre del año siguiente, a evaluación de las autoridades del Departamento del Distrito Federal (DDF), se decidió elevarlo a la categoría de proyecto.

Posteriormente, se actualizaron los datos iniciales, profundizando su contenido, y se le dio el carácter definitivo a diversos aspectos, como el trazo de las líneas, el material rodante, el equipo necesario, etc.

Factibilidad Técnica, Económica y Financiera

La factibilidad técnica del proyecto, se basó en obras realizadas recientemente en la ciudad de aquellos tiempos; grandes edificios construidos sobre profundas cimentaciones flotantes, conductos subterráneos y viaductos para vehículos, construcciones para agua y drenaje, las cuales ya no presentan hundimientos como sucedía anteriormente.

Se hizo un planteamiento general de la posible aplicación de cada procedimiento constructivo, tomando en cuenta todos los factores para determinar la solución estructural (vías elevadas, superficiales y subterráneas de tipo semiprofundo y profundo), tomando en cuenta el ancho de las calles, estabilidad de construcciones vecinas, costos y tiempos de ejecución.

Estos estudios permitieron determinar, qué mediante la aplicación de técnicas adecuadas, era posible atravesar el subsuelo de la ciudad con un ducto de longitud considerable, quedando garantizada su estabilidad por un periodo mayor a 50 años.

En cuanto al aspecto económico-financiero, en función del trazo preliminar; se estimó que los 37.5 km de líneas tendrían una captación diaria de 900'000 pasajeros, obteniendo así los costos por kilómetro para los tres tipo de vía, considerando únicamente la obra civil. Los requisitos elementales para el diseño del sistema fueron: las secciones mínimas del cajón, convoyes con seis carros y estaciones para trenes de 6 carros, señalización, telecomunicaciones, electrificación y demás elementos complementarios de la obra electromecánica.

Considerando todo esto y basados en los procedimientos de construcción, se hizo un análisis de programa de obra, definiendo un plazo de 3 años para la construcción de las líneas. La solución

propuesta consideraba 63% de vías superficiales, así como el estudio de recuperación de inversiones para el equipo y sistema de vía, obras civiles y la inversión conjunta.

Se estudió la posibilidad, de que la inversión de la obra civil quedara absorbida dentro del presupuesto gubernamental, o recuperarla a través de un impuesto por plusvalía, el cual se aplicaría a los predios, cuyo valor se incrementaría como consecuencia de las mejoras obtenidas por la obra. Determinando que la recuperación de la inversión por el equipo y el sistema de vías se lograría en un plazo de 15 años, por medio de una tarifa por viaje.

La experiencia mundial de aquella época, demostraba que las inversiones que requieren las obras civiles de un sistema de trenes rápidos, deben hacerlas las ciudades con cargo a su presupuesto. Los ingresos obtenidos por las tarifas establecidas por viaje, deben aplicarse a cubrir las inversiones en vía y equipos, así como a los costos de operación y mantenimiento de los sistemas.

En cuanto a la factibilidad financiera, se ofrecieron varios créditos para equipos por varios países, siendo Francia el que además, propuso otro tanto igual para financiar la obra civil. Esta propuesta fue aceptada, siendo con esto el mayor crédito obtenido en México para un proyecto específico, y también el más grande que Francia había otorgado a algún país. Estipulando dentro de sus condiciones 3 años iniciales de gracia y 15 años para su amortización.

En el estudio preliminar, se consideró que el sistema debería de contar con estaciones de “paso” y de “correspondencia” ubicadas en los cruces de las líneas, dichas estaciones, deberían de estar espaciadas con una distancia media de 750 m., así como de incluir estaciones “cabecera”, en las cuales se establecen terminales para autobuses suburbanos y foráneos (Fig. 1.8), estacionamientos para automóviles, centros comerciales, etc. Estas áreas funcionarían como zona de transferencia entre el Metro y los transportes de superficie, lo cual evitará el ingreso de estos a la zona conflictiva de la capital.



Figura 1.8 CETRAM en la estación del Metro Cuatro Caminos línea 2.

Las instalaciones del Metro, deben de contar también con talleres (Fig. 1.9), depósitos (Fig. 1.10), un edificio de control central de operación (Fig. 1.11), subestaciones (Fig. 1.12) y demás servicios complementarios inherentes al sistema.



Figuras 1.9, 1.10 Talleres de mantenimiento línea A (izquierda), Depósito en Pantitlán, línea 9 (derecha).



Figura 1.11,1.12 Puesto Central de Control (PCC) (izquierda), Subestación eléctrica (derecha).

Propuesta de Trazo

La propuesta consistía básicamente en 2 líneas y 1 ramal, que en conjunto sumaban 37.5 km, con una solución mixta combinando vías de tipo superficial, elevada y subterránea.

La primer línea de tipo superficial en su totalidad (19.9 km), de norte a sur, recorría desde la villa „, sobre cantera, Av. Eduardo Molina, San Lázaro, Parque Venustiano Carranza, Callejón de San Antonio Abad y la calzada de Tlalpan hasta el Club Campestre Churubusco

La segunda línea, con una orientación de oriente a poniente, con 2 km superficiales y 10.2 subterráneos, comenzaba en Zaragoza hasta Francisco del Paso, después en solución subterránea por Corregidora, el Zócalo, 16 de septiembre, Av. Independencia y Morelos, Paseo de la Reforma, Calzada Tacubaya y Av. Jalisco, hasta plaza Cartagena.

La tercera línea, era un ramal poniente. Partiendo de la Glorieta Colón en Paseo de la Reforma, continuando en subterráneo, por Sullivan hasta Melchor Ocampo y después en elevado por Marina Nacional hasta la glorieta de Tacuba y Legaria. Este ramal tenía una longitud de 5.4 km, 1.8 km subterráneos y 3.6 km elevados. La red propuesta sumaban 37.5 km.

Con este estudio, se sentaron las bases, que apoyarían de la construcción del Metro de la Ciudad de México.

Determinación de las Primeras Líneas

Simultáneamente con la determinación del trazo de las primeras líneas, la estimación de pasajeros y el número de carros necesarios, se estudiaron y discutieron varias posibilidades para fijar el número y localización de estaciones del sistema.

Para esto, se realizó una revisión de los sistemas de transporte colectivo en las principales metrópolis, como París, en donde la longitud de interestación promedio es de 430 m, o Nueva York en donde es de 800 m. Concluyendo que: no existe una reglamentación que rija la distancia interestación, las estaciones deben ubicarse de acuerdo con las necesidades de cada ciudad y de cada zona de esa ciudad, conjugando los aspectos de servicio, velocidad y costo.

Los factores básicos que se consideraron para localizar las estaciones fueron:

1. Los puntos obligados.
2. La distribución teórica de las estaciones.
3. Velocidad comercial del Metro, conciliando las necesidades de los usuarios con un número de estaciones el cual permitiera una velocidad no menor a 32 km/h..
4. Soluciones que minimizaran problemas de interferencias con instalaciones de todo tipo, afectaciones, desvíos de tránsito, etc. Así como que optimizarán la conexión del Metro con los sistemas de transporte superficial.
5. Espacios suficientes para la localización del cuerpo de la estación, como sus accesos (ancho de calles y banquetas, predios, afectaciones, etc.)
6. Disponibilidad de espacios cercanos a las estaciones para la ubicación de terminales de autobuses suburbanos y foráneos.
7. Área de influencia de cada estación.

8. Población de las áreas de influencia.
9. Ligas con áreas urbanas y núcleos de concentraciones humanas.
10. Conexión con los sistemas de transporte superficial
11. Requerimientos de trazo (tramos tangente y en curva, de transición, pendientes, etc.).
12. Requerimientos de vía tales como aparatos.
13. Condiciones de subsuelo en el caso de estaciones subterráneas..
14. Interferencias con instalaciones y obstáculos topográficos.
15. Preservación y rescate del patrimonio arqueológico e histórico de la ciudad en la zona de las estaciones.
16. Posibilidades de elongación futura de las líneas.
17. Afectaciones temporales.
18. Coordinación con la oficina del plano regulador.

Fue así con las consideraciones anteriores y la problemática mencionada que, el 29 de abril de 1967, por decreto presidencial, se creó el organismo público descentralizado Sistema de Transporte Colectivo, fungiendo como supervisor del proyecto, obra y la operación del sistema.

En febrero de 1967, el grupo Ingenieros Civiles Asociados (ICA) constituyo la empresa Ingeniería de Sistemas de Transporte Metropolitano (ISTME), que a su vez en junio de ese mismo año, celebro con el S.T.C. un contrato colectivo para llevar a cabo el proyecto del Metro de la Ciudad de México.

1.3.2. Etapas de Construcción

Una vez determinado el proyecto definitivo, se inició la construcción de la red del Sistema de Transporte Colectivo Metro, la cual se dividió en 6 etapas, tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 1.2 Etapas de Construcción del Metro

ETAPA	FECHA	CONSTRUCCIÓN	AMPLIACIÓN	LONGITUD TOTAL DE LA RED (KM)	ESTACIONES
1ra Etapa	19 de junio de 1967 a 10 de junio de 1972	<i>Línea 1</i> Zaragoza- Observatorio		42.4 km	48
		<i>Línea 2</i> Tacuba-Tasqueña			
2da Etapa	septiembre de 1977 a diciembre de 1982	<i>Línea 3</i> Tlatelolco-H. General		79.5 km	80
		<i>Línea 4</i> M. Carrera-Sta Anita	<i>Línea 3</i> Tlatelolco-La Raza		
		<i>Línea 5</i> Pantitlán- Consulado	La Raza-I. Verdes H.General-Zapata		
		Consulado-La Raza La Raza- Politécnico			
3ra Etapa	agosto de 1983 a diciembre de 1985	<i>Línea 6</i> El Rosario-I. del Petroleo	<i>Línea 3</i> Zapata- Universidad	114.7 km	105
		<i>Línea 7</i> Tacuba-Auditorio	<i>Línea 1</i> Zaragoza- Pantitlán		
			<i>Línea 2</i> Tacuba-Cuatro Caminos		
4ta Etapa	agosto de 1987 a noviembre de 1988	<i>Línea 9</i> Pantitlán-C. Medico	<i>Línea 6</i> I. del Petroleo-M. Carrera	140.4 km	125
		C. Medico- Tacubaya	<i>Línea 7</i> Tacuba-El Rosario		
5ta Etapa	agosto de 1991 a julio de 1994	<i>Línea A</i> Pantitlán-La Paz		178.1 km	154
		<i>Línea 8</i> Constitución de 1917-Garibaldi			
6ta Etapa	diciembre de 1994 a finales de 2000	<i>Línea B</i> Buenavista- Ecatepec Ecatepec-Cd. Azteca		201.3 km	175
Ampliación 6ta etapa	junio 2008 a la fecha	<i>Línea 12</i> Tláhuac-Mixcoac		en construcción	

La primera etapa, siendo la más relevante, estuvo bajo la coordinación del Arq. Ángel Borja integrándose equipos multidisciplinarios, con alrededor de 4 mil especialistas, destacando entre estos: ingenieros civiles, químicos, hidráulicos y sanitarios, mecánicos, electricistas, en electrónica, geólogos, especialistas en mecánica de suelos, arqueólogos, biólogos, arquitectos, especialistas en ventilación, estadística, computación, tráfico y tránsito, contadores, economistas, abogados, obreros especializados y peones. Esto permitió terminar en promedio un kilómetro de Metro por mes.

Por medio de los grupos multidisciplinarios, se realizaron los trazos definitivos de las líneas, de forma que durante su edificación, se presentaron un mínimo de contingencias.

Durante la construcción de la red, se identificaron problemas que debían evitarse, como la humedad, producto de las infiltraciones de los niveles de aguas freáticas, la sensación de claustrofobia de un espacio cerrado bajo tierra, falta de iluminación y materiales de difícil mantenimiento.



Figura 1.13 Red actual del STC Metro.

1.3.3. Plan Maestro del Metro y Trenes Ligeros (PMMTL)

El Plan Maestro del Metro y Trenes Ligeros (PMMTL) del Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), se creó como una herramienta de planeación sectorial, con base en políticas y lineamientos urbanos, estipulados en diversos instrumentos de planeación y de la experiencia acumulada por organismos e instituciones metropolitanas del sector de transporte. Sus objetivos principales son:

- Proporcionar de manera eficiente y confiable, donde sea requerido en función de la demanda, el servicio de transporte colectivo de mediana y alta capacidad, sobre corredores que garanticen altas velocidades en vías confinadas, según los lineamientos de los Programas Integrales de Transporte y Vialidad del Distrito Federal y del Estado de México.
- La cobertura de este servicio será el AMCM. Debe de considerar el impacto de los flujos de viajes del resto de la Zona Metropolitana y de las ciudades vecinas de Toluca, en el Edo. de Méx., Pachuca, Hidalgo, Tlaxcala, Tlax., Puebla, Pue., Cuernavaca y Cuautla Morelos, así como Querétaro, Qro.
- Conformar una Red de Metro y de Trenes Ligeros, con la cual se estructure el sistema de transporte de pasajeros del AMCM.
- Obtener el mayor beneficio social de las inversiones, las cuales deberán realizarse en forma, lugar, tiempo y medida que lo requiera la dinámica poblacional y urbana.
- Ofrecer mediante la instrumentación del Plan, un servicio colectivo de transporte de pasajeros, de mediana y alta capacidades, inducir la disminución del uso intensivo del transporte particular, así como también el transporte colectivo de mediana y baja capacidad, dentro de la zona de servicio.
- Apoyar las acciones de reordenamiento de la estructura urbana y de la actividad económica en la zona, de acuerdo a los planes y programas vigentes, y a los acuerdos establecidos con autoridades de desarrollo urbano del Distrito Federal y del Estado de México.
- Incrementar las opciones de transporte de las personas dentro del AMCM.
- Coadyuvar con los programas ecológicos promovidos por parte de las autoridades competentes, dentro del Valle de México.
- Proponer soluciones técnicas y operativas más confiables y económicas, a fin de ser aplicadas en los diferentes corredores de transporte que sean seleccionados.
- Ser el instrumento para prever la infraestructura urbana, el cual facilite la sustitución de los transportes de superficie en los corredores cuya demanda futura estimada, requiera del servicio de una línea de Metro o Tren Ligero.
- Determinar un sistema de Metro y Trenes Ligeros para el año 2020, que atienda la demanda pronosticada para este horizonte, de forma tal, que la operación durante las horas de mayor captación, no presente sobrecargas o subutilización en sus líneas; estableciendo un sistema equilibrado entre la oferta y la demanda.

Clasificación de los Sistemas Ferroviarios Dentro del PMMTL

Dentro del PMMTL, los sistemas ferroviarios se clasifican, de acuerdo a su capacidad de transporte de pasajeros en dos categorías:

✓ Metro

Es un sistema de mediana y alta capacidad, con una capacidad de transporte de 15,000 a 60,000 Viajeros/Hora/Sentido (V/H/S). Su objetivo particular, es proporcionar cobertura en zonas de corredores con altos volúmenes de viajes, mejorando los niveles de servicio de los sistemas de superficie, así como constituirse como el eje de los sistemas de transporte metropolitano de pasajeros.

Sistema de Transporte Colectivo (STC)

METRO (Rodada neumática)

- Línea 1 a línea 9, (*actualmente en operación*).
- Línea B (antes línea 10) actualmente en operación).

METRO (Rodada metálica)

- Línea A, de Pantitlán a la Paz (*Actualmente en operación*).
- Línea 12. (*En construcción*)
- Línea C, de Cuautitlán Izcalli a El Rosario (*Proyecto Horizonte 2020*).
- Línea D, de Coacalco/Ojo de Agua a Santa Clara (*Proyecto Horizonte 2020*).



Figura. 1.14, 1.15 Metro neumático (izquierda), Metro férreo (derecha).

✓ Trenes ligeros

Los Trenes Ligeros son un sistema de baja capacidad de transporte, con menos de 15,000 V/H/S. Su objetivo particular, es proporcionar servicio en los corredores cuyas demandas lo justifiquen, mejorando al igual que el Metro, el nivel de servicio de los sistemas de superficie. Esta Red, tiene la finalidad de auxiliar la estructuración del transporte metropolitano de pasajeros.

Servicio de Transportes Eléctricos (STE)

TREN LIGERO (Rodada metálica)

- Línea T1 de Taxqueña a Xochimilco (*Actualmente en operación*).
- De la línea T-2 a la línea T-10 (*Proyecto horizonte 2020*).



Fig. 1.16 Tren ligero.

Antecedentes del PMMTL

El área de estudio del PMMTL, fue la Región Centro del País, el Valle de México, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), el Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM) y el Área urbana de la Ciudad de México conocida también como mancha urbana.

Originalmente, fue creado el plan de estudio denominado Plan Rector de Vialidad y Transporte, el cual se elaboró con el objetivo de implantar un sistema integral y coordinado de transporte, orientado por una política social la cuál garantice la prestación eficiente de un servicio de transporte, teniendo como objetivo reducir el uso del automóvil. Este plan, fue creado mediante los planes de Metro de transporte de superficie, de vialidad y de estacionamientos.

La primera modificación que sufrió el Plan de Metro fue en 1978, previendo que en el año 2000 se debería de contar con una red de 378 km de longitud, en la que operarían 807 trenes en 21 líneas con una capacidad de transporte de 24 millones de pasajeros por día.

En 1980, el Plan Maestro se modificó con el fin de adaptarse a las necesidades de la ciudad de aquel entonces. La modificación de este plan contempló para el año 2000, una Red de 444.09 km, requiriendo de 882 trenes, y con una capacidad de transporte de 26.33 millones de usuarios.

Para la elaboración del PMMTL, fue necesaria la revisión del Plan Maestro del Metro de 1985 (PMM-85), a fin de evaluar en qué medida se cumplieron las metas del programa, detectar las desviaciones y sus posibles causas.

La metodología empleada para la elaboración de estos dos últimos proyectos, fue muy similar, sin embargo, difieren en su alcance del área de estudio, ya que el PMMTL integra al área metropolitana como parte de este, así como el empleo de tecnología de punta en el Modelo de asignación de Viajes (EMME/2). La mayoría de los objetivos generales del programa continúan vigentes; sin embargo, fueron revisados, analizados y adecuados algunos de ellos, bajo las nuevas condiciones políticas, sociales y económicas que acontecían en el país.

Una de las principales razones por las que fue modificado el PMM-85, fue que la tendencia de crecimiento poblacional elaborada con el X Censo General de Población y Vivienda de 1980 resultó estar sobreestimada, afectando directamente las proyecciones del desarrollo urbano y de movilidad de la población en los diversos horizontes estudiados, y aunque en la definición y evaluación de su área de estudio se reconoce la importancia de los municipios del Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), no fueron considerados dentro de ella y sus alcances fueron rebasados.

Del PMM-85 solo fue construida la línea 8 y con un trazo diferente al original, puesto que la dinámica de desarrollo urbano obligó a desviar recursos para la construcción de las líneas A, B (antes línea 10) y T-1 (Tren ligero) y la concesión de la línea norponiente (tren elevado), de carácter metropolitano.

Con base en esta información, se formuló una “pre-red”, integrando la red general 2020, considerando:

- a) Satisfacer a través de corredores propuestos por líneas de deseo más importantes.
- b) Propiciar el equilibrio de movilidad en la red de transporte masivo, con la redistribución de cargas en el sistema.
- c) A través de ampliaciones a algunas de las líneas actuales, lograr una mayor utilización de la capacidad instalada y optimizar las inversiones ya realizadas.
- d) Atender las líneas de movimiento de mayor intensidad entre el D.F. y los municipios conurbados.

Para la configuración definitiva, fueron elaboradas tres “pre-redes”, concluyendo con un total de 27 líneas, sumando 482.949 km de longitud de servicio, pronosticando una captación de 12.79 millones usuarios/día y una afluencia de 1.53 millones de usuarios en hora de máxima demanda.

Corredores y red General 2020

Las líneas propuestas para el horizonte 2020 se proyectaron de la siguiente manera:

Línea 4, ampliación norte de Santa Clara a Martín Carrera, con una longitud de 5.5 km, tendrá seis estaciones, una de ellas será terminal de correspondencia con la línea D, tendrá una demanda de 387,048 pasajeros por día.

Línea 5, ampliación norte de Tlalnepantla a Politécnico. Se incrementará en 5.85 km, tendrá seis estaciones, una de ellas terminal de correspondencia con la línea C. Se estima una demanda diaria de 480,459 pasajeros.

Línea 6, ampliación oriente de Martín Carrera a Villa de Aragón. Esta ampliación tiene una longitud de 5.6 km, cuatro estaciones de paso y una terminal de doble correspondencia con las líneas B y T-3. Se espera una demanda diaria de 420,594 pasajeros.

Línea 7, ampliación sur de Barranca del Muerto a San Jerónimo, con una longitud de 5.26 km, dos estaciones de paso, una Terminal, dos de correspondencia con línea 1 y otra con doble correspondencia a las líneas 10 y T-8. Tendrá una demanda estimada de 580,787 pasajeros por día.

Línea 8, ampliación norte de Garibaldi a Indios Verdes; y sur, de switch¹ en Francisco del Paso y Troncoso a Calzada Acoxta. En su ampliación norte, se incrementarán 6.29 km, una estación terminal

¹Switch. Las líneas 8 y 12 se prolongarán al sur y poniente respectivamente mediante la facilidad que se tiene prevista en el cruce de las avenidas Fco. del paso y Troncoso y Ermita Iztapalapa.

de correspondencia con línea 3, tres estaciones de correspondencia con las líneas 6, 5 y 13 respectivamente y tres estaciones de paso.

En su ampliación sur, tendrá una longitud de servicio de 9.31 km, contará con una terminal, dos estaciones de correspondencia con la línea 12 y T-8 y cinco estaciones de paso. Se prevé un servicio diario en toda la línea a 1,289,468 pasajeros por día.

Línea 9, ampliación poniente de Tacubaya a Observatorio. Se incrementará una estación y 1.46 km de longitud con un pronóstico de servicio de 426,714 pasajeros diarios.

Línea 10, La construcción de esta línea, se contempla de Eulalia Guzmán a Cuicuilco. Tendrá una longitud de servicio de 18.64 km, 21 estaciones de las cuales dos serán terminales; una de ellas de correspondencia con línea 13, ocho de correspondencia con las líneas B, 2, 11, 1, 9, T-4, 12 y 7; una de doble correspondencia con las líneas 7 y T-8, las 10 estaciones restantes serán de paso. Se estima una captación de 577,668 pasajeros por día.

Línea 11, Construcción de Santa Mónica a Bellas Artes. De carácter metropolitano, recorrerá los municipios de Tlalnepantla y Naucalpan, así como las delegaciones Miguel Hidalgo y Cuauhtémoc. La longitud de servicio será de 19.66 km y contará con 21 estaciones; de las cuales una será correspondencia con la línea T-7, otra tendrá doble correspondencia con las líneas 2 y 8; seis más de correspondencia con las líneas 13, 2, B, 10, 3 y 13 estaciones de paso. Contará con una capacidad de servicio para 383,511 pasajeros por día.

*Línea 12*², Construcción de Santa Lucía a switch¹ en Calz. Ermita Iztapalapa. Esta línea, localizada al sur de la ciudad, con un recorrido poniente-oriente, se tenía contemplada una longitud de servicio de 12.31 km, once estaciones; dentro de las cuales se contempla una terminal, cinco de correspondencia con las líneas 7, 10, 3, 2 y 8, así como cinco de paso. Se preveía una captación en toda la línea de 626,439 usuarios al día.

Línea 13, De Parque Naucalli a San Lázaro, se ubicará al norte de la ciudad con un recorrido de poniente a oriente, Tendrá una longitud de servicio de 17.49 km y contará con 17 estaciones, de las cuales, dos serán terminales, una de ellas ubicada en el poniente hará correspondencia con la línea 11 y la de oriente tendrá correspondencia con las líneas 1 y B, siete de correspondencia con las líneas 7, 10, 3, 8, B, 2 y 4, y ocho de paso. Se pronostica que dará servicio a 274,359 pasajeros por día.

Línea B, ampliación poniente de Buenavista a Hipódromo. Se incrementará la longitud de servicio 7.46 km, tendrá una terminal de correspondencia con línea 11, dos de correspondencia con las líneas 2 y 10, y cinco estaciones de paso. Se prevé una captación aproximada de 788,168 pasajeros por día.

Línea C. De Cuautitlán Izcalli a El Rosario, recorrerá el norponiente del Área Metropolitana con un trazo de norte a sur. Tendrá una longitud de 24.90 km, contará con 18 estaciones; de estas, dos serán terminales, una de ellas con correspondencia a las líneas 6, 7 y T-7; una estación de correspondencia y 15 de paso. Se estima una captación diaria de 344,283 pasajeros.

Línea D. De Coacalco/Ojo de agua a Santa Clara. Su construcción se localizará al nororiente del Área Metropolitana. Esta línea tiene la particularidad de que tendrá dos ramales uno de norte a sur, el cual recorrerá los municipios de Tecámac y Ecatepec, y el otro, de poniente a oriente, recorre los Municipios de Coacalco y Ecatepec, estos dos ramales serán convergentes en la Estación Ecatepec, formando a partir de ahí una sola línea hasta la Estación Santa Clara, donde tendrá correspondencia con la línea 4.

² Estas cifras han sido modificadas consecuencia de las modificaciones del proyecto de esta línea.

La línea D tendrá una longitud de 27.73 km, 24 estaciones de las cuales, 20 de paso, tres terminales, una de ellas correspondencia a línea 4, y en la rama ojo de agua; será correspondencia con la línea T-10. Se prevé una demanda de 291,177 pasajeros por día.

Línea T-2, de Constitución de 1917 a Chalco, se ubicara al suroriente del AMCM, con un recorrido poniente-suroriente. Tendrá una longitud de 23.84 km y contará con 24 estaciones; dos terminales, una con correspondencia a líneas 12 y T-3, otra correspondencia con línea A y 21 estaciones de paso, se prevé una captación diaria de 552,351 pasajeros.

Línea T-3, de Villa de Aragón a Emisora, se ubicará al oriente del D.F., con un trazo norte a sur, cubrirá 16.76 km de servicio, contará con 21 estaciones; dos terminales de correspondencia, una con línea 6 y línea B, la otra con línea T-8, cinco estaciones de correspondencia con las líneas T-6, T-5, A, T-4 y una doble con las líneas 12 y T-2, el resto serán estaciones de paso. Tendrá capacidad de servicio para 482,684 pasajeros por día.

Línea T-4, de Olivar del Conde a Ejército Constitucionalista. Tendrá una longitud de 17.13 km y 17 estaciones; dos terminales, una con correspondencia a línea T-9; seis de correspondencia con las líneas 7, 10, 3, 2, 8 y T-3, con las que proporcionará servicio a 416,586 pasajeros por día.

Línea T-5, de Pantitlán a Degollado. Se ubicará al oriente del AMCM, contará con 23 estaciones; dos terminales, una de correspondencia con las líneas 1, 5, 9, A y T-6; 19 de paso y dos de correspondencia con las líneas T-3 y T-9. Tendrá una longitud de 14.55 km dando servicio con ello a 361,637 pasajeros por día.

Línea T-6, de Pantitlán a Estadio Neza 86, Tendrá 11 estaciones, dos serán terminales de correspondencia, una con líneas 1, 5, 9, A y T-5, la otra tendrá correspondencia con la línea T-9, ocho estaciones de paso y una de correspondencia con la línea T-13. Esta línea dará servicio diario a 253,793 pasajeros y tendrá una longitud de 10.56 km.

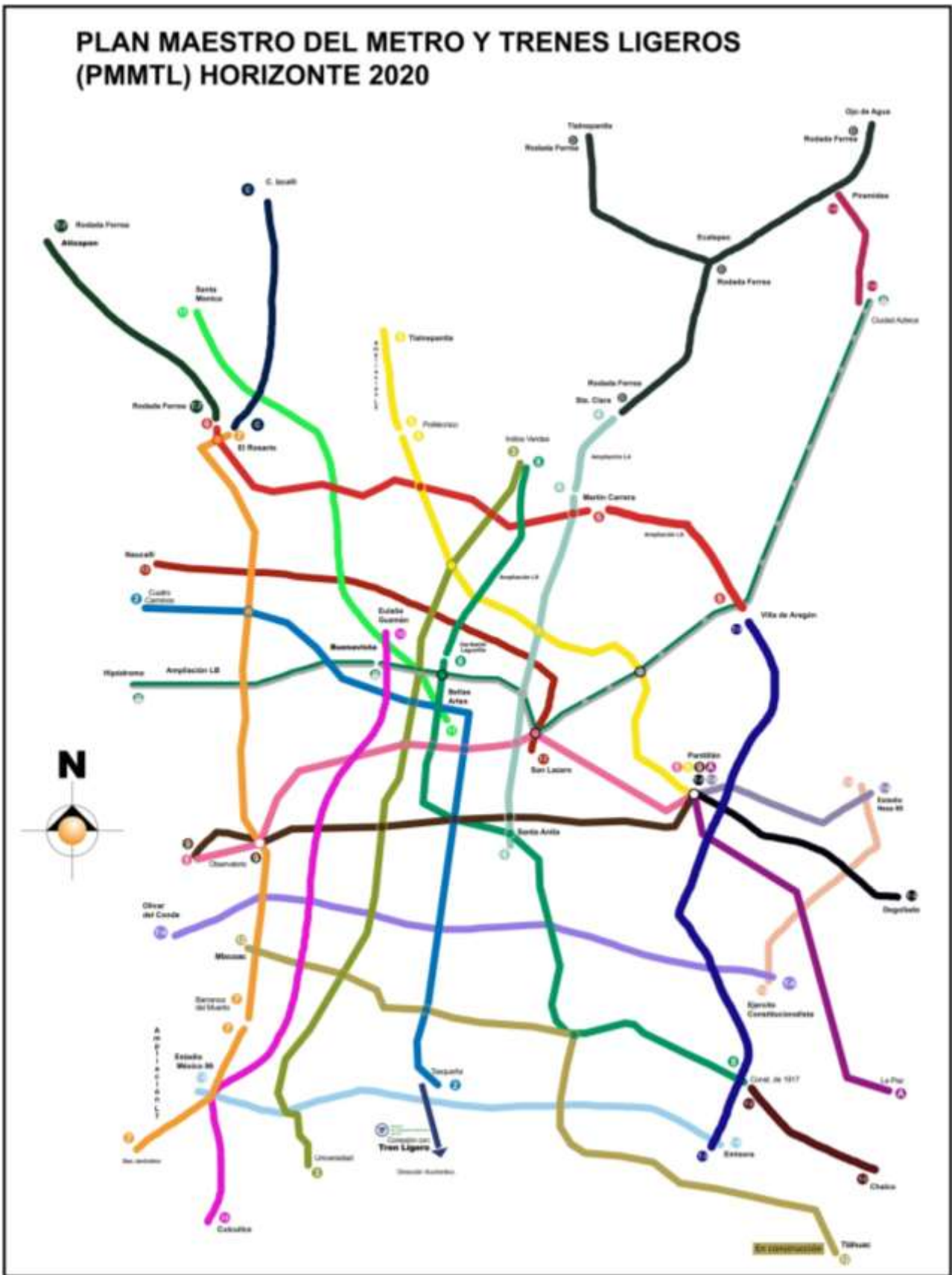
Línea T-7, de Atizapán a El Rosario. Partirá del municipio de Atizapán, recorriendo el municipio de Tlalnepantla y la delegación Azcapotzalco, dará servicio a 248,443 pasajeros por día, con una longitud de 9.99 km, diez estaciones, de las que dos serán terminales; una de ellas, de correspondencia con las líneas 6,7, y C, siete de paso y una más de correspondencia con la línea 11.

Línea T-8, de Estadio México 68 a Emisora. Tendrá una longitud de 13.38 km y 14 estaciones, de las cuales, una terminal de doble correspondencia con líneas 7 y 10, otra con línea T-3 y tres más con las líneas 3, T-1 y 8; así como nueve de paso. Se prevé una captación diaria de 229,289 pasajeros.

Línea T-9, de Ejército Constitucionalista a Estadio Neza 86. Tendrá una longitud de 9.21 km recorriendo de poniente-oriente-norte iniciando en la delegación Iztapalapa. Contará con 15 estaciones; dos terminales de correspondencia líneas T-4 y T-6, dos estaciones de correspondencia con las líneas A, T-5 respectivamente y 11 estaciones de paso. La captación esperada será de 216,969 pasajeros por día.

Línea T-10, de Pirámides a Ciudad Azteca, se localizará al nororiente del AMCM, en el municipio de Ecatepec. Dará servicio a 82,080 pasajeros, con una longitud de 11.11 km, contará con 10 estaciones, dos de ellas terminales de correspondencia con las líneas D y B y ocho de paso.

Con el objeto de establecer una clasificación para las redes, independientemente del servicio que presten sus líneas y de las entidades responsables de su construcción y operación, se determinó la siguiente nomenclatura:



CAPITULO 2

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO

En este capítulo, se describen las características de la zona de trabajo, ubicación, geometría del trazo y perfil, así como las particularidades de cada uno de estos, como son curvas, aparatos, medidas geométricas, perfil existente, pendientes predominantes y radios de curvas verticales propuestas, todo dentro del marco normativo y las especificaciones existentes para proyecto de metro para la Ciudad de México.

Este trabajo se enfoca únicamente a la parte del proyecto de realineación y renivelación (trazo y perfil), sin embargo para llevarlo a cabo, fueron necesarias realizar una serie de actividades complementarias propias del mantenimiento integro de vía, como por ejemplo:

- Cambio de durmientes de madera de longitudes variables para los aparatos de comunicación tangente 0.13
- Retiro y colocación de los cerrojos axiales de dichos aparatos
- Mantenimiento a juntas aislantes tanto en riel, como a contrariel y pista metálica
- Cambio de aislador soporte de barra guía
- Mantenimiento a juntas mecánicas tanto en riel como en pista metálica de rodamiento
- Reacondicionamiento de durmientes de concreto
- Corrección de medidas geométricas de vía
- Sustitución de pernos tirafondo
- Injertos riel, pista metálica y barra guía
- Rolado de riel y pista metálica
- Cortes de riel
- Aplicación de soldadura aluminotérmica en riel, barra guía y pista metálica
- Pulido y grafitado de perfil de barra guía
- Limpieza del área de trabajo

2.1. INSTALACIONES NECESARIAS PARA LA OPERACIÓN DE UNA LÍNEA

La estructura general para la operación de una línea del metro se puede subdividir y categorizar en función de los requerimientos que plantea el equipo de transporte y los derivados del movimiento de pasajeros para abordar y desalojar los trenes:

2.1.1. Tramo Interestación

Es el componente principal del sistema constituyendo alrededor del 95% de la red, es aquel que se encuentra comprendido entre dos estaciones. En su sección se alojan vías las cuales permiten la circulación de los trenes, los gálibos están fijados por los requerimientos estáticos y dinámicos del material rodante que se utilice y en función de las instalaciones fijas.

Existen cuatro tipos de solución constructiva:

1. Viaducto elevado

Es una solución de fácil construcción y económica, recomendada en calzadas y avenidas amplias, con un ancho mínimo de 50 m. y preferentemente que dispongan de un camellón central con la capacidad de alojar las estaciones (Fig. 2.1).

2. Superficial

Este tipo de solución, es de un costo mayor a la solución de viaducto elevado, al igual que la anterior, requiere de una gran amplitud de calle, afectaciones importantes, pasos a desnivel, etc. (Fig. 2.2)



Figuras 2.1, 2.2 Viaducto elevado (izquierda) y Superficial (derecha)

3. Cajón subterráneo

Se encuentra debajo del nivel de la calzada, a profundidades variables entre 9 y 15 m. (Fig. 2.3). Se logra construyendo dos muros tipo tablestaca colados en sitio, los cuales tendrán la función de contener los esfuerzos ejercidos por el suelo, excavando posteriormente a cielo abierto y construyendo una losa de fondo, dejando las preparaciones necesarias para posteriormente concluir con el resto de los muros

junto con la losa de techo y los rellenos para la restitución de la vialidad. Esta solución tiene un costo mayor que las dos anteriores por las afectaciones y obras complementarias requeridas.

4. Túnel

Esta solución se hace por medio de equipo especial perforando el subsuelo, una vez que se determina que ninguna de las tres soluciones anteriores son convenientes. Este tipo de solución es la más costosa. (Fig. 2.4).



Figuras. 2.3, 2.4 Solución en Túnel (izquierda) y Cajón Subterráneo (Derecha).

2.1.2. Estaciones

Las estaciones son los puntos de identificación del usuario con el sistema, en ellas la sección del tramo interestación se amplía para lograr los espacios arquitectónicos requeridos para la circulación, espera y abordaje de trenes por los pasajeros de manera segura, eficaz y confortable. Estas son utilizadas también como transferencia a otros medios de transporte, comunicándose unos con otros a través de pasarelas, plazas, etc.

Las estaciones se pueden clasificar de distintas formas según sus características; como por ejemplo:

Por su funcionamiento dentro de la red:

- Estaciones de paso.
- Estaciones de correspondencia.
- Estaciones terminales.

En cuanto al tipo de construcción o nivel de la vía:

- Subterráneas.



Figura 2.5 Estación I. la Católica línea 1 tipo subterránea.

- Superficial.



Figura2.6 Estación Coyuya línea 8 tipo superficial.

- Viaducto Elevado.



Figura 2.7 Línea 4 estación tipo viaducto elevado.

En cuanto al tipo de andén.

- Con dos andenes laterales



Figura 2.8 Estación con dos andenes laterales.

- Con un andén central



Figura2.9 Estación con un andén central.

- Con doble andén central



Figura2.10 Estación con doble andén central.

- Con andén central y lateral



Figura2.11 Estación con andén central y lateral.

2.1.3. Vías

El Metro de la ciudad de México, se equipó con vía sobre neumáticos desde su primera etapa de construcción, es correspondiente a un sistema que se desarrolló durante los años sesenta en Metros como el de París, proporcionando mayor confort, rodamiento más silencioso y con menos vibraciones. Hasta ahora solo la línea A está equipada con material rodante de tipo metálico y es llamado Metro férreo.

El Metro sobre neumáticos, utiliza una vía formada por tres pares de perfiles de acero paralelos entre sí, dos viguetas “H” o pistas de rodamiento, sobre las cuales se apoyan las llantas neumáticas del tren; dos ángulos a los extremos denominados barras guía, ubicados a los lados de las pistas sobre las cuales se apoyan las llantas neumáticas horizontales de diámetro menor, que tienen la función de guiar al tren en su recorrido, sirven también como conductores de la corriente de tracción; Dos rieles, los cuales forman una vía de seguridad, sobre las que se apoyan las ruedas metálicas adicionales que forman parte de los bogies, a través de las cuales se verifica el regreso de la corriente de tracción.

El sistema de vía es de riel continuo; los elementos se obtienen en tramos de 18 m. uniéndose entre sí con el sistema de soldadura aluminotérmica (Fig. 2.12). Este sistema de vías también es conocido como vía elástica.

Las pistas y rieles, se apoyan sobre durmientes de madera o concreto (bloque, Fig. 2.13 y/o monobloque, Fig. 2.14), estos a su vez sobre una cama de balasto, la cual permitirá las renivelaciones y realineaciones periódicas, necesarias cuando se presentan asentamientos diferenciales como consecuencia del hundimiento irregular de la ciudad o del mismo paso de los trenes.



Figura2.12 Soldadura aluminotérmica.

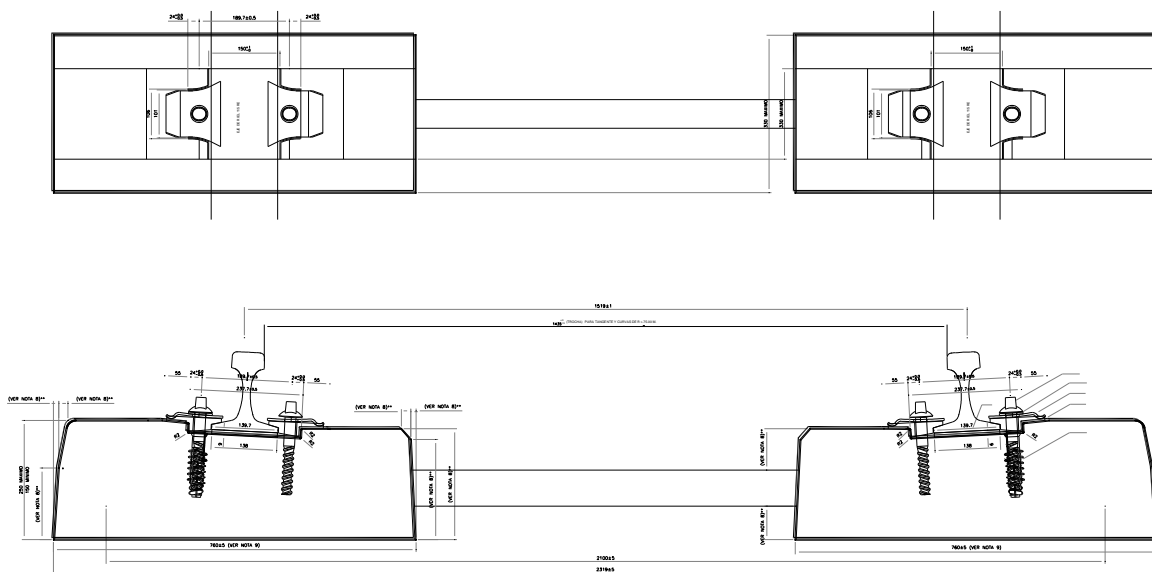


Figura2.13 Durmiente tipo bibloque.

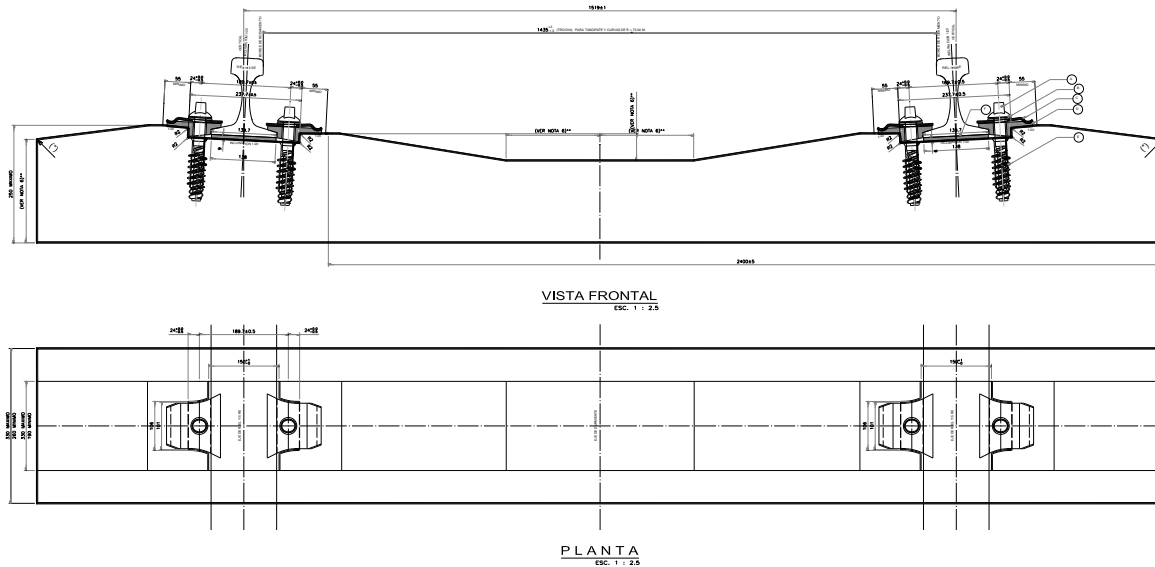


Figura2.14 Durmiente tipo monobloque.

El sistema de vías (en función de su operación) puede dividirse en vías principales y vías secundarias, Siendo las principales, aquéllas en las cuales el material rodante circula en servicio normal con usuarios entre la estación de origen y la estación de destino; se localiza a lo largo de una línea en los tramos interestación y en las estaciones, encontrándose como caso particular las vías de prueba.

Las vías secundarias, son aquellas en las cuales el material rodante circula sin usuarios y a baja velocidad; dentro de estas, se localizan espuelas de comunicación, peines de acceso a naves de depósito, colas definitivas de maniobras, vías de talleres, vías de enlace, vía “Y” y vía “Z”, estas últimas se ubican generalmente a la mitad de una línea y tienen la función de alojar trenes averiados que interfieran con la operación de la línea.

La vía “Y”, es una vía adicional implantada lateralmente a las vías principales, formando una tercera vía, su ubicación dependerá de las características geográficas de la zona. Cuando sea requerido por operación, puede ubicarse una fosa de visita sobre esta vía, para pequeñas averías del material rodante.

La vía “Z”, es una vía que se encuentra ubicada siempre entre dos vías. El costo de una vía “Z”, es mayor que el de la construcción de una vía “Y”, debido a que la sección necesaria para su implantación es mayor.

Las vías de enlace, constituyen la posibilidad de intercirculación entre líneas con el mismo material rodante, ya sea para el abastecimiento de trenes a nuevas líneas, comunicación con talleres en caso de indisponibilidad de estas instalaciones y desplazamiento de trenes de trabajo. La longitud de estas, debe permitir la posición de un tren, de modo que pueda alternar la maniobra entre una línea y la otra, esperando el momento propicio para salir. Es importante considerar comunicar la vía de enlace a la vía “Y”, para evitar interferencia con las vías principales, así como conjugar estas vías con servicios provisionales (S.P.), para reducir el número de aparatos de vía, costos de obra civil y obra electromecánica.

2.1.4. Aparatos de Vía

Los aparatos de vía (Fig. 2.15), tienen la función de comunicar y/o enlazar dos vías distintas y generalmente están ubicados en estaciones terminales, servicios provisionales, zona de peines, talleres y depósitos. Ayudando a facilitar las maniobras requeridas para estacionar, o poner en servicio un tren.

Principalmente son de dos tipos: aparato de enlace vía y de comunicación de vía. Los aparatos de comunicación pueden ser a su vez de dos tipos, de comunicación (Fig. 2.16) y comunicación con junta desviada (Fig. 2.17). Estos pueden tener dos ángulos de desviación $\text{tg } 0.13$ ($7^{\circ}24'24.88''$) y $\text{tg } 0.20$ ($11^{\circ}18'35.76''$).

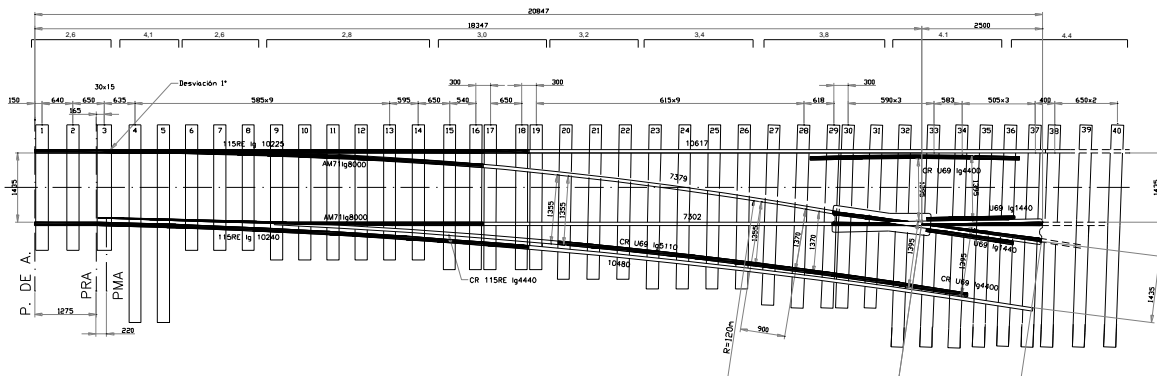


Figura 2.15 Aparato de enlace de vía.

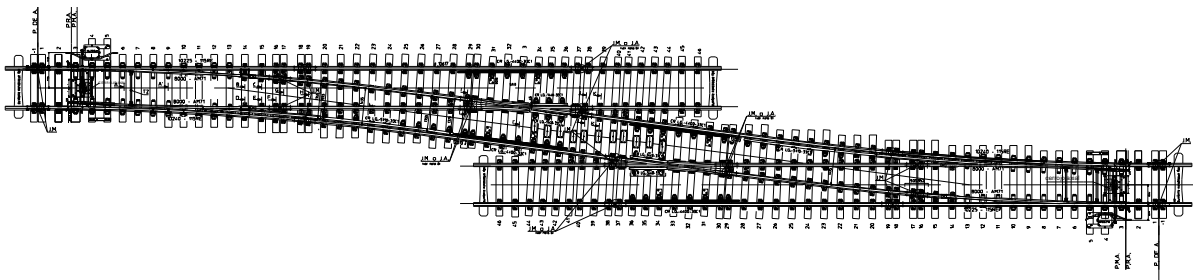


Figura 2.16 Aparato de comunicación de vía.

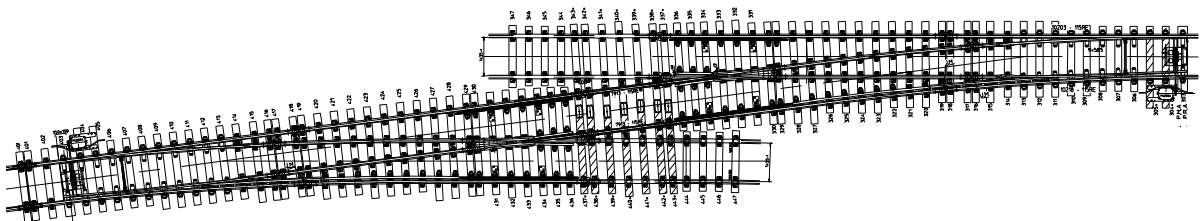


Figura 2.17 Aparato de comunicación de vía con junta desviada.

2.1.5. Instalaciones Electromecánicas

Son necesarias para el correcto funcionamiento y operación de una línea encontrando dentro de ellas:

Subestaciones de Rectificación

Son instalaciones sencillas de un nivel, ubicadas en predios aledaños a las líneas del Metro. Se encuentran sobre edificaciones de concreto y muros de block vitrificado, para asegurar su fácil mantenimiento (Fig. 2.18). Cuentan con acceso para vehículos de carga pesada y con los dispositivos para realizar maniobras de carga y descarga.



Figura2.18 Interior de subestación de rectificación.

Están localizadas a lo largo de la línea, teniendo la función de proporcionar alimentación eléctrica al sistema de tracción por medio de ductos subterráneos.

Subestaciones de Alumbrado y Fuerza

La corriente de baja tensión, se obtiene de subestaciones reductoras de alumbrado y fuerza, las cuales se localizan en pares dentro de los locales especiales de cada estación. El alumbrado y fuerza de túneles y estaciones, así como de otros servicios, requieren corriente trifásica y monofásica en baja tensión.

Se consideran dos subestaciones alimentadas por cables diferentes de alta tensión, suponiendo que en caso de falla accidental de alguna de ellas, la otra pueda sustituirla y garantizar cuando menos el 50% del servicio de alumbrado y el 100% de seguridad. Para su óptimo funcionamiento conviene considerar:

1. La autonomía del sistema eléctrico de la red, con respecto a las redes alimentadoras municipales.
2. Contar por lo menos con dos fuentes de energía diferentes, para garantizar la continuidad del servicio.

3. Que la fuente alimentadora de cada línea, se ubique en el punto medio de ella, logrando la condición más equilibrada, con los mínimos costos de instalación y operación del sistema eléctrico y los máximos índices de eficiencia.

Subestación de Tracción

Su función, así como la de los nichos de seccionamiento (o tracción), es recibir la alimentación eléctrica en 23 KV corriente alterna, rectificarla y convertirla a una alimentación de corriente directa de 750 V., para alimentación y movimiento de los trenes.

2.1.6. Talleres

Son el conjunto de naves y edificios localizados en los predios, previamente seleccionados y aprobados por el S.T.C., en donde se controlará técnica, operativa y administrativamente el servicio de mantenimiento que se les proporcionará a los trenes, vehículos auxiliares de vía y al equipo fijo que se utiliza dentro de las instalaciones.

Se consideran que los edificios indispensables para que un taller opere correctamente son:

- ❖ Nave de depósito
- ❖ Nave de pequeña revisión
- ❖ Fosa de revisión vía de pruebas
- ❖ Caseta de tracción
- ❖ Puesto de maniobras
- ❖ Nave de gran revisión
- ❖ Caseta de pilotaje automático
- ❖ Caseta de vigilancia
- ❖ Nave de vehículos auxiliares
- ❖ Subestación de rectificación
- ❖ Taller eléctrico
- ❖ Taller de zapatas y frenos
- ❖ Taller de maquinado de durmientes
- ❖ Oficina para el almacén
- ❖ Almacén general
- ❖ Almacén de productos inflamables

- ❖ Caseta para la acometida de la CFE
- ❖ Policlínica
- ❖ Edificio de servicios generales

Dentro de estas instalaciones, el mantenimiento al cual son sometidos los trenes, puede ser de tipo preventivo, de reparación mayor y/o programada, lo que da lugar a dos tipos de instalaciones; taller de mantenimiento menor y taller de gran revisión.

2.1.7. Puesto Central de Control (P.C.C.) y Puesto de Alta Tensión (P.H.T.)

El P.C.C., tiene la función de controlar y regular las líneas, a través de tableros de control óptico, el cual simula el movimiento del tren sobre la línea por medio de led's y las estaciones de ambas vías, procesando la información que recibe de la señalización, pilotaje automático, mando centralizado y telecomunicaciones.

El P.C.C., es el cerebro del sistema. En este edificio se aloja una compleja red de telecomunicaciones, mediante la cual se logra una permanente comunicación con todas las estaciones, los operadores de los trenes, supervisores, inspectores, personal de talleres, autoridades, etc., obteniendo con esto, una máxima centralización de informes y medios de control y mando. Permite además, una mayor y mejor eficiencia, logrando una gran seguridad, facilidad y flexibilidad en la operación.

El P.C.C. se encuentra ubicado en un terreno de 700 m². en la manzana limitada por Luis Moya. E. Pugibet, Buen Tono.

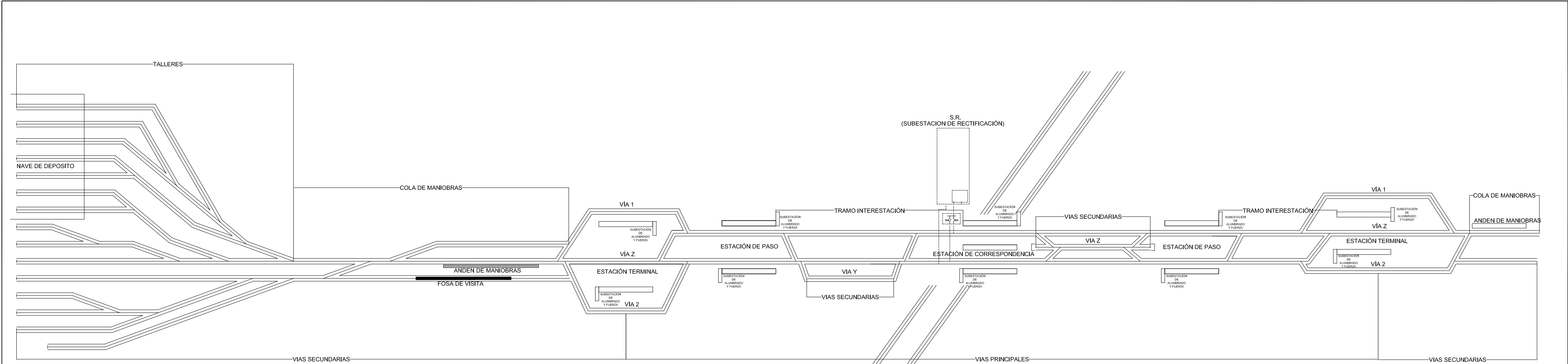
El edificio del P.C.C. del Metro de México, tiene además de los equipos, mecanismos y demás elementos electromecánicos del mando centralizado, un complejo eléctrico, el cual se encarga de transformar y distribuir la totalidad de la energía eléctrica requerida por el sistema; este complejo se le conoce como Puesto de Alta Tensión (P.H.T.).

2.1.8. Centro Administrativo

Aquí, se reguardan las oficinas de todas las direcciones, fungiendo para la atención de aspectos como la supervisión, control y pago de obra, capacitación de personal de operación, operación del sistema, estudios estadísticos y proyectos para futuras ampliaciones; garantizando la administración y operación del sistema.

Se tomó la decisión de agrupar en un solo edificio todas las secciones del complejo administrativo requerido por una empresa como el S.T.C.

El centro administrativo del S.T.C. se encuentra ubicado junto a P.C.C., agrupando todas las actividades inherentes a este sistema.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
F.E.S. ACATLÁN
 INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO PROFESIONAL
 DAVID E. RODRÍGUEZ LOMELI



PROYECTO DE REALINEACION DE VIAS LINEA 9
 INSTALACIONES NECESARIAS PARA LA OPERACION DE UNA LINEA

PLANO
 01

2.2. ASPECTOS GENERALES DE LÍNEA 9

El objetivo de la construcción de la línea 9, fue apoyar la distribución de usuarios de la línea 1, en el sentido oriente-poniente. Esta línea, se inicia en el oriente de la ciudad, utilizando el derecho de vía generado por el Eje 3 sur, a partir de la estación Pantitlán en dirección hacia el poniente a la estación Tacubaya.

Se integra por 12 estaciones, de las cuales, dos son terminales de correspondencia; Pantitlán con línea 1, 5 y línea A, y Tacubaya con línea 1 y 7; tres estaciones de correspondencia: Jamaica con línea 4, Chabacano, con línea 8 y 2, y Centro Médico con línea 3, y siete estaciones de paso.

La línea 9, tiene asignados 33 convoyes para dar servicio a alrededor de 108 millones de usuarios por año.

El recorrido de la línea (Fig. 2.19), inicia con el taller de pequeña revisión y las naves de depósito ubicadas entre el Eje 4 Ote. (Río Churubusco) y Av. Prosperidad a la altura de la calle 4 en la delegación Iztacalco, encontrando la cola de maniobras, hasta la estación Pantitlán ubicada sobre Río Churubusco a la altura de Talleres Gráficos,. Siguiendo esta vía, incorporándose a Viaducto Río de la Piedad, se encuentra la estación Puebla en la colonia Agrícola Oriental de la delegación Iztacalco, colindando con la delegación V. Carranza. La estación subsecuente es Ciudad Deportiva, a la altura del Autódromo Hermanos Rodríguez. Utilizando el derecho de vía que genera el Eje 3 sur, ubicamos la estación Velódromo, cerca del Velódromo Olímpico Agustín Melgar, siendo esta, la última estación en solución elevado. De este punto, la línea es subterránea, continuando la estación Mixiuhca sobre el Eje 3 Sur (Av. Morelos) y el Eje 3 Oriente (Fco. Del Paso y Troncoso). En el cruce con la Av. Congreso de la Unión se ubica la estación Jamaica, siguiente a esta, por el Eje 3 Sur (Calz. Chabacano), en el cruce con San Antonio Abad se encuentra la estación Chabacano en la delegación Cuauhtémoc, la cual tiene correspondencia con línea 2. La línea 9 continúa como vialidad coincidente con el Eje 3 Sur (José Peón Contreras), justo en el cruce con el eje Central Lázaro Cárdenas ubicando aquí la estación Lázaro Cárdenas en la colonia Buenos Aires, en este tramo encontramos ubicada la vía “y” que también tiene la función de vía de enlace con línea 3 La siguiente estación es Centro Médico con correspondencia a línea 3, ubicada en el cruce del Eje 1 Pte. (Cuauhtémoc) y el Eje 3 Sur (Baja California), continuando por Eje 3, en el cruce con Insurgentes Sur, está la estación Chilpancingo. Sobre Baja California, al cruce con el Eje 4 Sur (B. Franklin), se encuentra la estación Patriotismo. Siguiendo B. Franklin, doblando a la izquierda en Gral. Fco. Murguía, y a la derecha en José Martí, llegamos a la Estación Terminal Tacubaya, justo en el cruce con Av. Jalisco.



Figura 2.19. Recorrido de línea 9

2.2.1. Etapas de Construcción de Línea 9

La línea 9 fue construida en dos etapas; la primera de Pantitlán a Centro Médico, inaugurada el 26 de agosto de 1987 y la segunda etapa, de Centro Médico a Tacubaya un año después, el 29 de agosto de 1988. Tiene una longitud de 15.375 m, de los cuales 13.033 km son vías principales. En este mismo periodo se concluye la construcción de los depósitos y talleres de pequeña revisión en Pantitlán para la línea 9.

2.2.2. Estación Pantitlán

Pantitlán es la estación terminal con mayor afluencia de pasajeros por año de la línea 9, y la cuarta dentro de la red del S.T.C. superada por Cuatro Caminos de la línea 2, Indios Verdes de la línea 3 y Constitución de 1917 de la línea 8. En 2010 tuvo 8,109,528 usuarios, correspondientes únicamente a la línea 9. Representando el 31% del total de la línea. Es considerada una de las estaciones más importantes dentro del sistema.

Las salidas de la estación por la línea 9 son: al poniente por Río Churubusco, Colonia Ampliación Adolfo López Mateos, al oriente por Manuel Lebrija y 2ª Cerrada de Río Churubusco, Colonia Pantitlán,

2.3. ZONA DE TRABAJO

La estación Pantitlán, ubicada al oriente de la ciudad, se encuentra dentro de la zona del lago de Texcoco, denominada zona “C”, encontrando aquí depósitos lacustres compuestos principalmente por arcillas, producto de las cenizas volcánicas que fueron depositadas en el valle de México en la era de las erupciones volcánicas, cubiertas posteriormente por las aguas del lago de la cuenca del valle de México, dando como resultado depósitos arcillosos de gran espesor, alto contenido de agua, sumamente compresibles, de alta susceptibilidad a efectos sísmicos y con niveles freáticos muy superficiales.

La zona “C” limitada por la calzada Nonoalco al norte, Anillo Circunvalación al oriente, Viaducto Miguel Alemán al sur y la Av. Melchor Ocampo al poniente. Es la que ha sufrido mayores alteraciones en las estructuras construidas sobre ella, debido principalmente a los efectos de la sobreexplotación de mantos acuíferos, necesarios para el abastecimiento de agua potable a la población, y a la sobrecarga ejercida por las mismas estructuras sobre esta zona.

Debido a este entorno, se presentan algunas irregularidades en ciertas zonas en donde se realizó los trabajos correctivos de realineación y renivelación, como consecuencia hubo que adaptarse a estas condiciones, haciendo uso de las condiciones límites de las especificaciones, para elaborar el proyecto.

Los trabajos de mantenimiento de vías a la línea 9 del sistema de Transporte Colectivo de la Ciudad de México, se efectuaron desde el inicio de la nave de depósito Pantitlán línea 9 en el K.M. (Kilometro)0+055.000, ubicado paralelamente a la Av. Río Churubusco, a la altura de la calle 3, hasta la cabecera nororiental de la estación Pantitlán (Igualación de KM. AD. 1+210.636, y AT. 1+210.906) ubicado a la altura de la calle Guadalupe Victoria, de la colonia Pantitlán en la delegación Iztacalco.

Consisten principalmente en la realineación, renivelación y recompartado del balasto de las vías secundarias, consecuencia de los asentamientos irregulares del terreno, del balasto y del paso de los trenes. Estas alteraciones provocan fatiga y desgaste en el material rodante, falta de confort, así como un desgaste de los materiales que constituyen la vía.

Los trabajos deben ejecutarse sin interrumpir la operación de la línea, salvo casos particulares y/o indicaciones contrarias por parte de la Dirección General del Metro.

2.4. ESPECIFICACIONES Y NORMATIVIDAD

Para desarrollo de este trabajo, se tomaron como base normativa, las especificaciones indicadas en los libros “naranjas” del metro, “*Especificaciones para el proyecto y construcción de las líneas del metro de la Ciudad de México*”, editadas por C.O.V.I.T.U.R., creadas con el objeto de disponer de un documento que reglamente técnica, legal y administrativamente el proyecto de construcción de Metro. Fueron expedidas con fundamento en la Ley de Obras Públicas, que prevé la participación de las entidades del Gobierno del Distrito Federal (GDF) dentro del control de las obras y elaborados tomando como base las especificaciones existentes de calidad de materiales, productos y procesos constructivos con que fueron construidas las diferentes etapas de ampliación y construcción de líneas nuevas del Metro,

Estas especificaciones cumplen con las leyes y ordenamientos que el GDF ha puesto en vigor para la ejecución de las obras públicas, por lo que las Especificaciones se fundamentaron en:

- a) Ley de Obras Publicas, 30 de diciembre de 1980.
- b) Reforma y adición a la Ley de Obras Públicas, 28 de diciembre de 1983.
- c) Reformas y adiciones a la Ley de Obras Públicas, 31 de diciembre de 1984.
- d) Adición a la Ley de Obras Publicas, 13 de enero de 1986.
- e) Reglamento de la Ley de Obras Publicas, 13 de febrero de 1985
- f) Reglas Generales para la Contratación y Ejecución de Obras Públicas y de servicios, relacionadas con las mismas dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, 8 de enero de 1982.
- g) Oficio circular donde se publican los modelos de contratos de obras públicas con base en los precios unitarios, así como a precio alzado y de servicios, 21 de abril de 1986.
- h) Lineamiento para la integración de precios unitarios y del procedimiento para el ajuste de los mismos, 15 de octubre de 1982.
- i) Lineamiento para la integración de precios unitarios y del procedimiento para el ajuste de los mismos, 6 de julio de 1983.

Cabe destacar que cuando las leyes de obra pública sean modificadas, las cuales son parte del fundamento de estas Especificaciones, deberá cancelar y sustituir la parte de las Especificaciones que se contrapongan a las nuevas modificaciones de la ley, ya que en todo momento, estas deberán cumplir

con las leyes vigentes publicadas en el Diario Oficial de la Federación. En su parte técnica, las Especificaciones se basan en las Normas Generales de Construcción (NGC) y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

Para la realización de los trabajos de rehabilitación, se consideró como complemento a los libros naranja, la Especificación Técnica Funcional para la Realineación y Renivelación de las Vías de las Líneas del Sistema de Transporte Colectivo de la Ciudad de México (N° 2006-SGOI-PV-RMM-000-III-054-0054-E) para metro rodada neumática, la cual establece los procedimientos, condiciones y tolerancias que se emplearán en la alineación, nivelación y la corrección de las medidas geométricas de la vía, para que queden en condiciones normales de operación.

CAPÍTULO 3

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO GEOMÉTRICO

Las especificaciones para el proyecto y construcción de las líneas del metro de la ciudad de México fueron creadas basándose en la experiencia acumulada en la construcción y ampliación de las redes del metro, así también, con el objeto de disponer de un documento que reglamente técnica, legal y administrativamente el proyecto y construcción de este sistema.

Para la construcción de una línea, una vez que fue determinado el recorrido de una nueva línea del Metro, o la prolongación de alguna de estas, basadas en el P.M.M.T.L., se realiza el proyecto geométrico, el cual es el estudio base para la elaboración de los proyectos posteriores y complementarios. Consiste básicamente en el dimensionamiento de los espacios longitudinales y transversales para la libre circulación de los trenes en una línea, este proyecto se compone básicamente de:

- Proyecto de Trazo.
- Proyecto de Perfil.
- Proyecto de Gálibos.

Incluyéndose también el proyecto de dimensionamiento y localización de rejillas de ventilación natural. Relacionados entre sí, tienen el fin de solucionar conjuntamente la línea, y dependerán de la solución estructural a utilizar en cada tramo.

3.1. ESPECIFICACIONES DE TRAZO

3.1.1. Definición

El proyecto de trazo definitivo de una línea, es el resultado de los análisis y estudios de cada uno de los elementos implicados generados por una ruta a seguir; entre estos se encuentran principalmente instalaciones municipales y/o especiales como ductos de gas, alta tensión, asentamientos humanos, tránsito vehicular, afectaciones, topografía, etc. Así como los problemas derivados de las condiciones de operación del sistema.

3.1.2. Generalidades

Los elementos que componen el proyecto de trazo son:

- **Tangentes**

Deben de estar definidas por puntos obligados (PO), localizados sobre la misma tangente, con la función de controlar el trazo y facilitar la determinación de los cadenamientos. Cuando existen distancias mayores a 200 m, se colocan puntos de control llamados puntos sobre tangente (PST).

Cuando sea inaccesible la fijación de puntos de control, deben de sustituirse por una poligonal de apoyo, la cual cumplirá con la función de los puntos de control.

- **Curvas**

Son empleadas cuando se tiene un cambio de dirección sobre la tangente, su función es unir dos tangentes entre sí.

Existen dos tipos de curvas; la curva circular simple y la curva circular con curvas de transición clotoides. La Curva circular simple, debe ser utilizada cuando el cambio de dirección de la tangente forme pequeñas deflexiones, en donde se permita usar radios mínimos de curvatura de 2000 m.

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los elementos que forman una curva circular (Fig. 3.1) son las siguientes:

$$\text{Subtangente (ST)} = R \left(\tan \frac{\Delta}{2} \right) \quad (3.1)$$

$$\text{Longitud de curva (Lc)} = \frac{(\Delta c)R\pi}{180} \quad (3.2)$$

$$\text{Grado de curvatura (Gc)} = \frac{20}{Lc} = \frac{1145.92}{R} \quad (3.3)$$

$$\text{Cuerda larga (C)} = 2R(\text{Sen } \Delta/2) \quad (3.4)$$

$$\text{Flecha (f)} = \frac{C^2}{8R} \quad (3.5)$$

$$\text{Externa (e)} = R \frac{1}{\cos \Delta/2} - 1 \quad (3.6)$$

$$\text{Deflexión por metro (D/m)} = 1.5 Gc \quad (3.7)$$

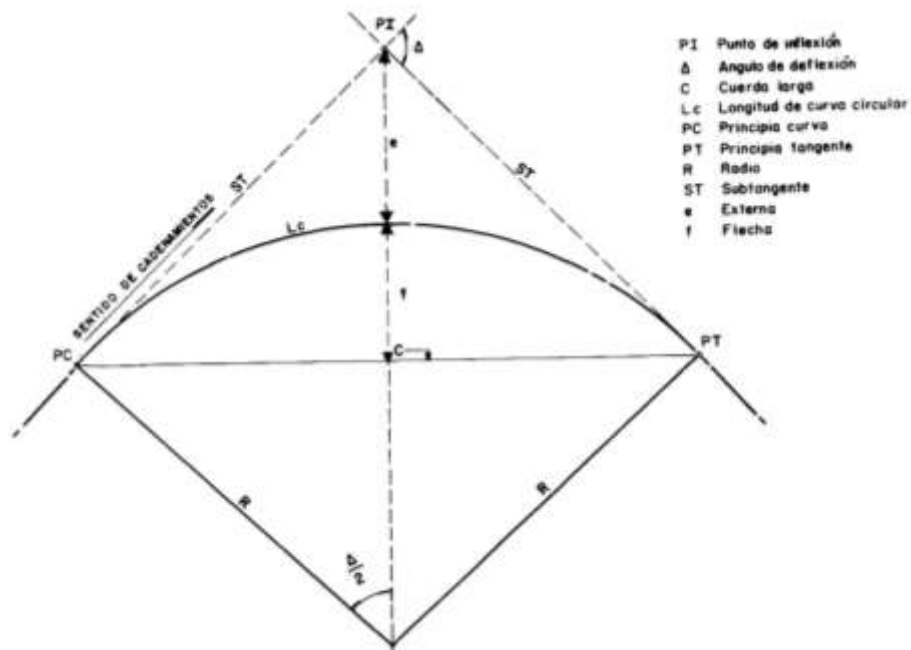


Figura 3.1 Elementos de una curva circular simple.

La curva circular con curvas de transición clotoides, se utilizan cuando existen cambios de dirección sobre las tangentes formando deflexiones que obligue a utilizar curvas con radios menores a 2000m. Las curvas de transición tienen la función de absorber la sobreelevación requerida para contrarrestar la fuerza centrífuga asegurando de esta forma el confort y una velocidad constante en los trenes.

En el proyecto de trazo, es necesario incluir, los datos de las coordenadas de la clotoide para su trazo en campo.

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la curva circular con curvas de transición clotoide (Fig. 3.2) son:

$$\Delta c = \Delta - 2\tau \quad (3.8)$$

$$E = \lambda \cdot Rn \quad (3.9)$$

$$Rc = Rn - E \quad (3.10)$$

$$Lc = \Delta c \cdot Rc \cdot \left(\frac{\pi}{180}\right) \quad (3.11)$$

$$St = Rc \cdot \text{Tan}(\Delta c/2) \quad (3.12)$$

$$Gc = \left(\frac{20}{R}\right) \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (3.13)$$

$$D/m = 1.5 Gc \quad (3.14)$$

$$Tc = Rn \cdot \text{Tan} \Delta/2 + Xm \quad (3.15)$$

$$A = Rc/r \quad (3.16)$$

$$Xc = x \cdot A \quad (3.17)$$

$$Yc = y \cdot A \quad (3.18)$$

$$Lcl = \rho \cdot A \quad (3.19)$$

$$H = Yc / \text{Sen } \tau \quad (3.20)$$

$$U = Yc / \text{Tan } \tau \quad (3.21)$$

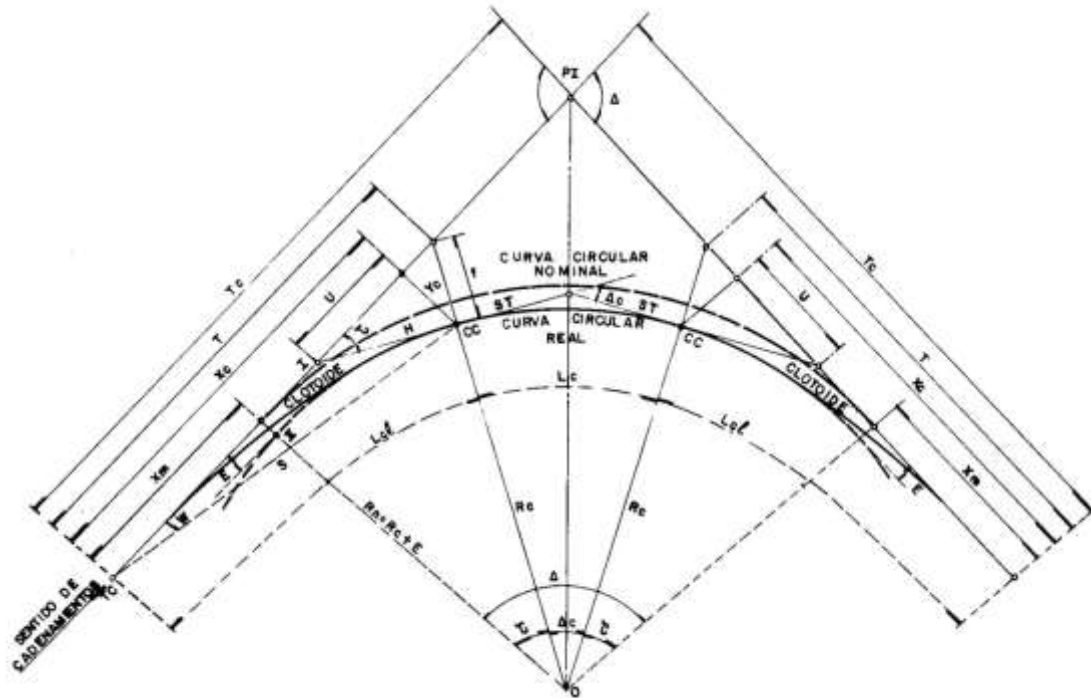


Figura 3.2 Curva circular con curvas de transición clotoide.

En donde:

PI=	Punto de inflexión	Xm=	Abscisa del punto II
TC=	Punto de Transición de Tangente a Clotoide	E=	Ordenada del punto II
CC=	Punto de Transición de Clotoide a Circular	τ =	Angulo de clotoide
CC=	Punto de Transición de Circular a Clotoide	U=	Distancia del punto I al CC1 o CC2
CT=	Punto de Transición de Clotoide a Tangente	H=	Distancia del punto I al CC1 o CC2
Δ =	Deflexión total	Rc=	Radio de la circular
Rn=	Radio nominal	Δ_c =	Deflexión de la circular
V=	Velocidad en Km/h	Lc=	Longitud de la circular
Tc=	Subtangente total	St=	Subtangente de la circular
Xc=	Abscisa del CC1 o CC2	C=	Cuerda de la clotoide
Yc=	Ordenada del CC1 o CC2	ω =	Deflexión de la cuerda de la clotoide
Lcl=	Longitud de clotoide		

Para los diferentes tipos de solución del Metro, existen diferentes restricciones a los radios de curvatura, dependiendo del tipo de solución que se tenga.

En cajón subterráneo y túnel convencional el radio mínimo es de 150 m; en el caso de túnel con escudo, el radio será determinado en función de las características propias del escudo a utilizar, para solución en viaducto elevado, el radio mínimo será de 300 m y de 150 m para solución superficial

- **Restricciones de alineamiento**

Para el proyecto de trazo de una línea de Metro, se deben de tener considerar las siguientes restricciones:

1. En toda curva horizontal de radio menor a 2000m, deberá existir una sobreelevación.

2. Entre dos curvas consecutivas, deberá existir una tangente mínima de 16 m, esta longitud puede variar dependiendo del radio y de la deflexión de cada curva, por lo cual será necesario realizar un análisis detallado para cada caso.
3. En todo tipo de curva horizontal, deberá existir una longitud de curva circular mínima de 16m y pueden existir variaciones considerando para este caso las mismas condiciones que en el punto número 2.
4. En el trazo de una línea se buscara que esta tenga el menor número de curvas posibles.
5. Los aparatos de cambio de vía deberán ubicarse siempre en tramo tangente.
6. Se buscara que las estaciones siempre queden en tramo en tangente.
7. El trazo de una línea deberá de estar apoyado en poligonales cerradas con el fin de fijar su posición.
8. La precisión mínima aceptable para el análisis del trazo, y sus poligonales deberá ser de 1:10000.
9. La tolerancia angular (t_a) de una poligonal para la verificación del trazo, no deberá ser mayor de $06''\sqrt{N}$, siendo N el número de vértices.
10. La distancia mínima existente entre la estructura de las instalaciones del Metro y los parámetros de las edificaciones cercanas, será determinada por los estudios de mecánica de suelos.

- **Cadenamientos**

Al proyecto de trazo es necesario asignarle cadenamientos, estos tienen la función de ubicar cada punto relevante como instalaciones, interferencias, curvas etc., referidos al eje de trazo proyectado y para futuras referencias de estos.

Los cadenamientos deberán determinarse teniendo todas las curvas calculadas con sus deflexiones reales, así como las distancias entre los PI's, con los cuales se darán kilometrajes a todos los puntos principales de trazo.

El origen de cadenamientos es el punto en el cuál se parte para asignar el kilometraje a cada PI, este deberá de ubicarse sobre un punto de una tangente de fácil acceso. Deben de evitarse cadenamientos negativos, y estos deben de ser calculados al milímetro.

- **Referenciación de trazo**

Otro punto importante para el proyecto de trazo es la referenciación, teniendo por objeto, determinar la posición de los puntos principales del trazo, para una posterior reubicación del mismo y para estudios posteriores del comportamiento del proyecto (Fig. 3.3). Debe de realizarse por medio de triangulaciones; uno de sus vértices será el punto a referenciar sobre el eje de trazo, y los restantes serán ubicados sobre paramentos que no sean afectados por la obra.

La precisión mínima aceptable deberá ser 1:5000 en el sentido lineal y de 18'' angularmente.

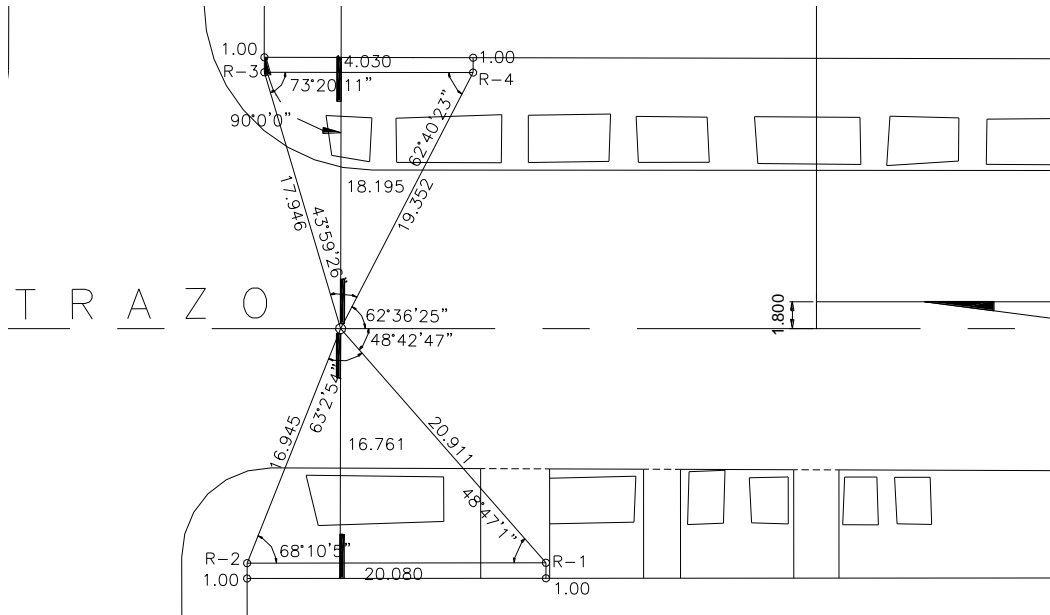


Figura 3.3 Referenciación de trazo.

El trazo en depósitos y talleres, deberá de proyectarse mediante un eje que facilite la derivación de todas las vías que conforman los peines de acceso a las naves de depósito. El eje de trazo podrá ser utilizado como eje de vía en cuyo caso se le denominará vía madre y deberá proyectarse de tal manera que se tenga un acceso directo y funcional de la línea hacia las diferentes instalaciones como naves de pequeña y gran revisión, vías de prueba, andenes de descarga, naves de depósito, etc.

En la zona de peines para acceso a depósitos y talleres se utilizarán aparatos tangente 0.20, es decir con deflexiones de $11^{\circ}17'35''$

La unión de dos tangentes en cualquier zona de talleres o depósitos, debe ser por medio de curvas circulares simples de radio mínimo igual a 60 m.

3.1.3. Implantación de vía Trazo

Una vez definida la estructura que sustentará la vía, elevado, superficial o subterráneo, contando además con la información topográfica. Debe de hacerse la evaluación de la información de forma que permita la ratificación o modificación en su caso del proyecto original, definiendo un nuevo eje al centro de la sección construida, reflejando esta información en los planos de “Proyecto de Implantación de Vía-Trazo”

Las tolerancias para el levantamiento de tangentes, deflexiones y secciones transversales son 0.20 m por cada 100 m para distancias longitudinales y $20''$ para valores angulares.

Una vez revisado el levantamiento, y encontrándose dentro de las tolerancias requeridas, se elabora el cálculo de las curvas, exteriores e interiores de cada una de las vías, asignando cadenamientos referidos a eje de trazo, en caso contrario se deberá de recalculer las curvas en función de los valores obtenidos. Así como también se hará la revisión de los gálibos horizontales, comprobando que se encuentren

dentro de tolerancia, siendo así, se asignarán cadenamientos definitivos, los cuales se marcarán dentro de la estructura de sustentación de la vía a cada 20 m, así como los puntos principales de cada curva.

Debe de revisarse la posición, ubicación y dimensión de cada nicho como lo son de seguridad, aparato de vía, puesto de rectificación, subestaciones, etc., los cuales se consideran dentro del proyecto original.

Cumpliendo con todos los cálculos de curvas, eje de trazo, ejes de vías y la separación entre ejes de vía, se elaborarán los planos correspondientes a un tramo, con todos estos elementos, incluyendo todos los cadenamientos de los puntos principales de las curvas, las dos estaciones, la localización de aparatos de cambio de vía, etc., así como los puntos que corresponden a los gálibos del levantamiento topográfico, indicando los casos en donde se presentan gálibos críticos por ser reducidos, a fin de obligar a tener un mayor cuidado al hacer la implantación de vía. Se dibuja también los ejes de ambas vías, anotando su separación con respecto al eje de trazo, a fin de verificar la entrevía correspondiente al proyecto geométrico y los cadenamientos de los puntos principales de las curvas de sus ejes.

Deben de incluirse puntos de control para el trazo de las vías, referidos al eje de trazo y muros estructurales.

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

3.2. ESPECIFICACIONES DE PERFIL

3.2.1. Definición

El proyecto de perfil, es el que define la posición que deberá tener la vía de forma vertical para librar las diferentes interferencias existentes, este plantea y prevé las necesidades de las obras futuras, tomando en cuenta que el proyecto debe proporcionar confort al usuario, conservar las condiciones el material rodante y la facilidad de construcción en las diferentes etapas.

3.2.2. Generalidades

Para estudiar, definir y elaborar el tipo de solución óptima para el proyecto de perfil, es necesario contar con la información de trazo, perfil estratigráfico sobre el eje de trazo, instalaciones municipales como colectores, tuberías de agua potable, líneas eléctricas de alto voltaje de la Comisión Federal de Electricidad, ductos de Petróleos Mexicanos, cruces con futuras y actuales líneas de metro, vías de ferrocarril, soluciones viales, etc.

- **Tipos de Solución**

En cuanto al tipo de solución que se proyectara para una línea de metro, se requiere que intervengan las diferentes especialidades (Mecánica de suelos, estructuras, obras hidráulicas, vialidades, proyecto geométrico, electromecánica, etc.) que participan en la proyección de este, para que conjuntamente se determine la más conveniente para cada tramo.

Existen 4 tipos de solución:

- ✓ Túnel.
- ✓ Cajón Subterráneo.
- ✓ Viaducto Elevado.
- ✓ Superficial.

- **Pendientes o desniveles**

Para el proyecto de perfil, deberán de tomarse en cuenta las pendientes mínimas y máximas existentes en las diferentes zonas de la línea como son tramo interestación, estación, aparatos de vía y enlace entre dos vías del Metro, considerando el tipo de solución en la cual se proyecta existiendo los siguientes casos:

- Solución en Cajón Subterráneo y en Túnel

Para el *tramo entre estaciones*, la pendiente mínima permisible es de 0.20%, esto es con el fin de dar drenaje longitudinal, en algunos casos se permite 0.15%. La pendiente máxima deseable será del 3.00%, en casos excepcionales se permite una pendiente máxima del 4.00% y en casos especiales, los cuales deberán de justificarse con estudios detallados para cada caso en particular, pueden utilizarse pendientes del 7.00%.

Para las *estaciones*, la pendiente longitudinal deberá ser nula (0%), con la finalidad de evitar que el convoy estacionado tenga necesidad de aplicar los frenos.

En *zonas de aparatos de vía*, la pendiente máxima permisible será del 0.20%.

Para vías de *enlace entre dos líneas o acceso a talleres*, la pendiente mínima al igual que en los casos anteriores será del 0.20%, la máxima deseable del 3.00%, 4.00% en casos especiales, 7.00% como máximo para vías cubiertas y 6.50% para vías a la intemperie.

- Solución Elevada y Superficial

Para *tramo entre estaciones*, la pendiente mínima será de 0.30% para tipo elevado y 0.20% para tipo superficial, garantizando así el drenaje longitudinal. La pendiente máxima será del 3.00% y en casos especiales se permitirá el 6.50%.

Las pendientes mínimas y máximas consideradas en las zonas de *estación, aparatos de vía y enlace* entre dos líneas del Metro, deberán ser iguales a las consideradas en las soluciones en cajón subterráneo y en túnel.

- **Enlace entre pendientes (curvas verticales)**

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

$$Y = X^2 / 2R \tag{3.22}$$

En donde

Y= Elevación

X= Distancia

R= Radio

Los radios de curvatura “R” en el vértice de la parábola será de 2500 m para una velocidad de proyecto de 80 km/h para vías principales; solo en casos especiales pueden utilizarse radios mínimos de 1250 m. En vías secundarias el radio mínimo será de 1000 m, considerando una velocidad máxima de 30 km/h.

La longitud mínima de la tangente existente entre dos curvas, deberá ser de 16 m, sin embargo se deberá de proyectar con la mayor longitud posible que sea permitida por el proyecto

- **Espesores de subrasante a rasante**

Los espesores de balasto de subrasante a rasante varían de acuerdo a la solución estructural y tipo de relleno recomendado para cada caso, como se indica

Tabla 3.1 Espesores de Balasto

Tipo de solución	Espesor de subrasante a rasante en m.		
	Fijación/balasto		
	Durmiente de madera	Durmiente de concreto	Fijación/ concreto
Viaducto elevado	0.52	0.65	
Superficial	0.57	.065	
Cajón subterráneo	0.71	0.75	0.38
Túnel	0.57	0.65	0.38

3.2.3. Implantación de vía Perfil

Este proyecto fijará la posición definitiva de la parte superior del hongo de riel en cuanto a niveles. Para hacer una correcta proyección de los niveles definitivos, deben considerarse las siguientes restricciones:

El espesor conveniente de balasto es de 0.4 m; sin embargo debido a las dificultades propias de cada proyecto, es posible aceptar espesores mínimos de balasto de 0.2 m en zonas puntuales y como máximo el que permitan los siguientes gálibos verticales entre rasantes y el intradós:

- El gálibo vertical en zona tangente o de curva horizontal con radio mayor de 500 m, no deberá ser menor de 4.9 m, En zona de curva horizontal con radio menor a 500 m, no deberá de ser menor a 5.15 m, de subrasante a intradós.
- La pendiente máxima permisible debida a la capacidad ascendente del material rodante es de 7 % y la pendiente mínima por drenaje deberá ser de 0.15 % y se tratará de hacer el mínimo de cambios en los signos de las pendientes para evitar la construcción de cárcamos de bombeo.
- Las curvas verticales de transición serán calculadas con la ecuación 3.22.

- Deberán de tomarse en cuenta la posición en donde se colocarán los aparatos de vía, ya que éstos deben de quedar en zona tangente tanto horizontal como vertical, es decir con pendiente nula y una tolerancia de 0.2%.
- Las estaciones deben de proyectarse de preferencia en un tramo tangente y con pendiente nula, a fin de evitar apliquen los frenos cuando un convoy este estacionado para el ascenso y descenso de pasajeros.
- Al proyectar el nivel de la rasante en zona de andenes, debe de darse una altura a este de 1.1 m con tolerancia de +0.0 y -0.03 m, del nivel de la pista de rodamiento al nivel del piso terminado del andén, con el fin de evitar grandes desniveles entre el piso del carro y el andén, logrando así mayor confort y seguridad para el pasajero.

Por otra parte, el plano de implantación de vía-perfil debe contener:

- Localización del trazo esquemático, ubicación de estaciones, aparatos de vías, etcétera.
- Gráfica de la rasante de proyecto, acotando pendientes.
- Localización de curvas verticales, radios de curvatura, cadenamientos y elevaciones.
- Gráfica de intradós del proyecto.
- Gráfica de intradós real.
- Gráfica de subrasante del proyecto.
- Gráfica de subrasante real.
- Origen de cadenamientos y elevaciones.
- Fecha de nivelación
- Tabla con el cálculo de elevaciones.

3.3. ESPECIFICACIONES DE GÁLIBOS

3.3.1. Definición

Gálibo es el espacio libre que se requiere para la circulación del material rodante, sistema de vías e instalaciones electromecánicas, debe ser resultado del estudio y análisis de cada uno de los espacios requeridos por el tren para su operación, tales como:

- a) Especificaciones de trazo-perfil y operación
- b) Dimensionamiento estático y dinámico debido al tren
- c) Sistema de vía
- d) Elementos de instalaciones electromecánicas, hidráulicas y ventilación
- e) Tipo de solución constructiva del tramo

Su objetivo es definir la geometría de la estructura que permitirá el paso del tren, de personal de mantenimiento y de operación, así como de las instalaciones necesarias para el buen funcionamiento del sistema.

3.3.2. Gálibos Horizontales

Espacio requerido visto en planta para la circulación del tren y todas las instalaciones que este involucra, es diseñado en función del tramo en función que se estudie.

Gálibos en Solución Cajón Subterráneo

- Tramo Tangente

Debe de tener una distancia mínima entre el paño interior del muro estructural y el eje de vía de 2.15 m, considerando la entrevía a utilizar, y cuando la solución constructiva requiera de un muro de acompañamiento, la distancia mínima será de 2.00 m. El gálibo mínimo se calculara:

$$G_{\min} = 2(\text{paño de muro estructural } 2.15) + Ent. \quad (3.23)$$

$$G_{\min} = 2(\text{paño de muro de acompañamiento } 2.00) + Ent \quad (3.24)$$

En donde
Ent= Entrevía en m
G_{min}= Gálibo libre
 mínimo

Se considera la entrevía mínima con un valor de 2.90 m en el cual se incluye el sistema de fijación, la distancia necesaria para efectos de gálibo dinámico, y además una lámina de aire para la libre circulación de los trenes (Fig. 3.4).

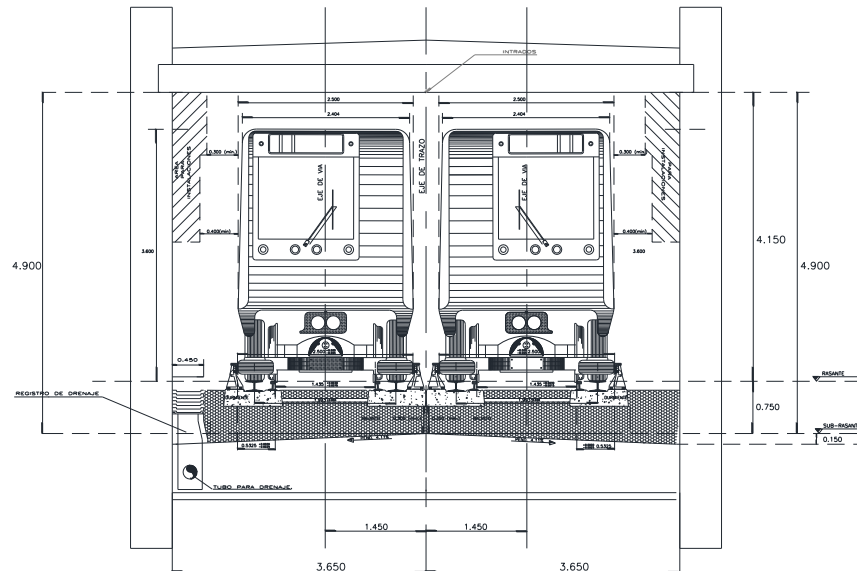


Figura 3.4 Sección cajón subterráneo.

- En Zona de Curvas

Se deben de considerar las mismas condiciones de solución constructiva que para el tramo tangente, considerando el radio de curvatura de esta.

Para radios mayores a 500 m, no habrá variación respecto a la sección tangente. En radios menores o iguales a 500 m, será necesario incrementar el gálibo; este valor dependerá del análisis dinámico y estático de los gálivos, realizado para cada caso. Este valor registrará solamente en la parte interior de la curva y deberá conservarse a todo lo largo de la misma.

- Gálivos en Estaciones

Existen dos tipos de estaciones, de paso, por lo general tienen dos vías, andenes laterales y una entrevía mínima de 2.90 m y terminal o de correspondencia, estas últimas suelen ser tener tres vías con dos andenes centrales.

Para las estaciones de *paso*, se debe de tener una distancia libre entre paño de nariz de andén y el eje de vía más próximo, de 1.32 m y esta distancia deberá de conservarse a lo largo de todo el andén. Para complementar con gálibo longitudinal.

En las estaciones *terminales* o de *correspondencia*, se debe de considerar el gálibo necesario para dos andenes centrales de 8.00 m de ancho por 150 m de largo cada uno; una distancia de 1.32 m de nariz de andén al eje de vías más próximo; y una distancia de 2.20 m del eje de la vía al paño del muro.

En la zona de cuartos técnicos, localizados generalmente en las cabeceras de estación, deberá respetarse una distancia mínima entre el eje de vía y el paño del muro del cuarto técnico, misma que será la que resulte del estudio de los gálivos dinámico y estático.

Otro caso particular que debe de considerarse son las *vías de enlace*. Independientemente del tipo de solución estructural aplicable, deberá de respetarse una distancia de 2.40 m entre el paño interior del muro y el eje de vía de la espuela. Este criterio regirá ya sea en tramo tangente o curva.

Gálbos en Solución Túnel

- Tramo Interestación

El gálibo interestación será corregido en función de los requerimientos de cualquiera de las soluciones constructivas del túnel (Fig. 3.5) (convencional o con escudo).

Se debe de limitar el espacio generado por el material rodante (trenes), el sistema de vía, instalaciones de mantenimiento, instalaciones electrónicas e hidráulicas, así como la estabilidad de la sección durante su construcción y el comportamiento de la estructura ante las cargas que le transmite el terreno.

El criterio para la determinación del espacio necesario para el equipo rodante, debe de contemplar una sobreelevación máxima de 0.160 m, un radio nominal horizontal mínimo de 150 m y además las características propias del movimiento del tren (gálibo dinámico y estático)

Los sistemas de vía de acuerdo a su tipo, repercutirán en el gálibo en función de sus dimensiones y características de soporte. Los espacios necesarios para las instalaciones de mantenimiento comprenden un andador de 0.70 m y un espesor mínimo de balasto de 0.30 m o de 0.40 m en casos especiales.(Tabla 3.1) Se deberá contemplar la ubicación de charolas para soporte de cables en conjunto con los semáforos de señalización localizados a 2.80 m del nivel de rasante, hasta el eje de su primera señal y a 0.30 m como mínimo distante en sentido transversal de la posición más crítica del tren.

Las instalaciones de drenaje se deben de contemplar sin afectar ninguna de las instalaciones antes descritas.

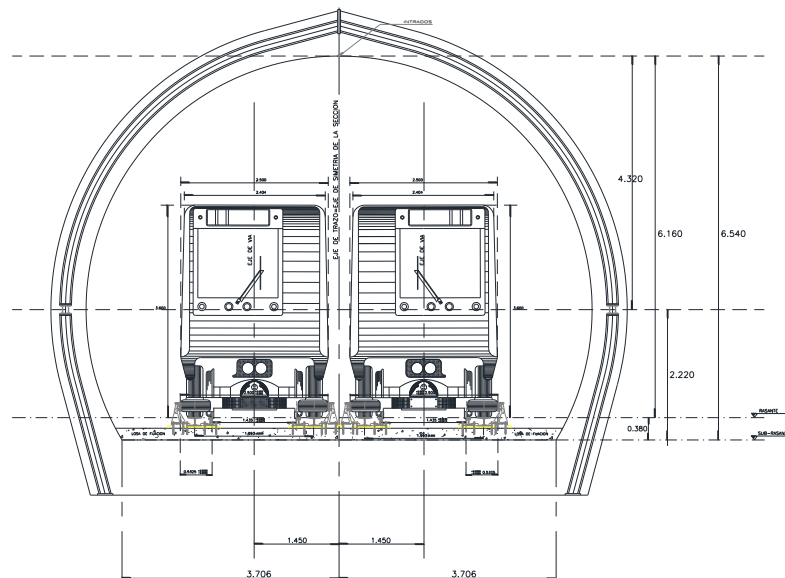


Figura 3.5 Sección Túnel.

- En Estación

El gálibo de las estaciones en sección túnel será determinado además de los aspectos mencionados, por el espacio de la plataforma del andén. Este dependerá de la solución que se le dé a la estación, se pueden tener tres formas, las más comúnmente utilizadas.

1. Estación sección túnel separada con un muro intermedio
2. Estación con dos andenes en túneles independientes
3. Estación con ambos andenes en el mismo túnel

- Gálibos en vía de Enlace

Será regido por el espacio necesario para alojar las instalaciones hidráulicas y electromecánicas; previendo espacio de andadores laterales para la libre circulación de personal de mantenimiento y operación, así como el gálibo dinámico y estático.

Gálibos en Solución Superficial y Elevada.

- En Tramo

Debe de considerarse la libre circulación de los trenes, así como cada una de las instalaciones necesarias (hidráulicas, electromecánicas, etc.), además de las dimensiones y características de soporte del sistema de vía, la sobreelevación necesaria en zona de curvas y los espacios necesarios para la circulación de personal, considerándose para este fin andadores de 0.60 m de ancho mínimo e instalaciones necesarias para la operación del sistema como señalización y tipo de entrevía que se utilizara (Fig. 3.6).

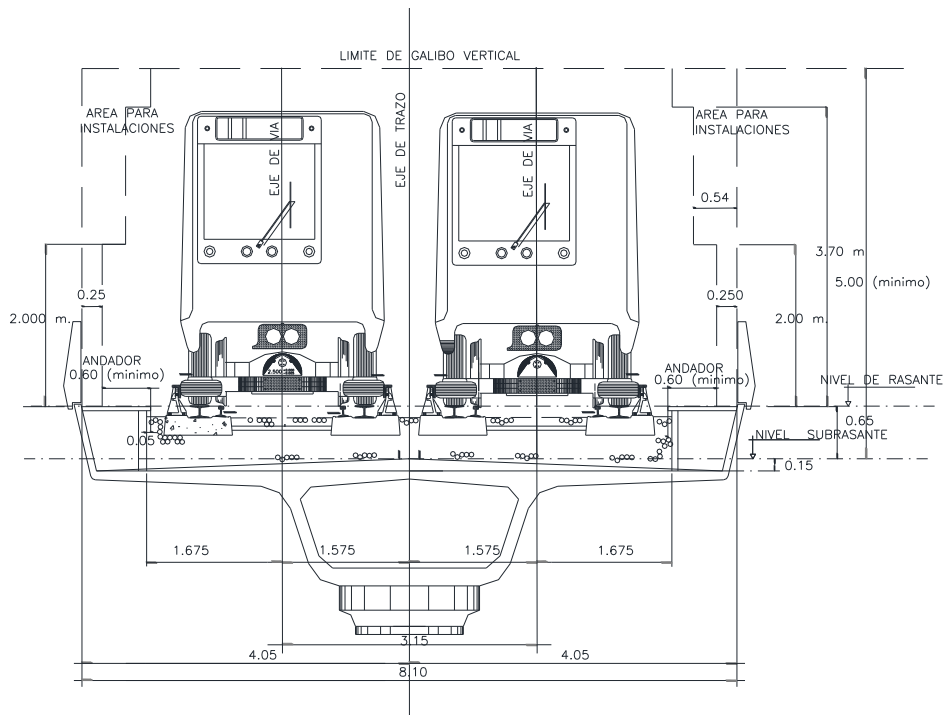


Figura 3.6 Sección Elevado.

- En Estaciones.

Se debe de considerar las instalaciones necesarias mencionadas con anterioridad y el tipo de solución que tendrá, es decir la función que tendrá la estación, de paso, de correspondencia, terminal o una combinación de las mismas, ya que de esto dependerá tanto el número, como el ancho de los andenes y como consecuencia de esto el gálibo total de la estación.

- Vías de Enlace

Se hará considerando: andadores la circulación de personal de mantenimiento; instalaciones hidráulicas y electromecánicas; y el análisis del gálibo dinámico y estático, así como las características del sistema de vía.

Gálibos en Colas

Estos están subdivididos en:

- Gálibos en colas provisionales
- Gálibos en colas definitivas

Debido a que presentan las mismas características respecto a su operación en cualquiera de las soluciones constructivas, generalizando con esto sus dimensiones.

- En Colas Provisionales.

Debe de considerarse una fosa de visita si el análisis operativo lo requiere, respetando las siguientes dimensiones mínimas.

Entre el eje de la fosa y el paño interior del muro (en la solución subterránea) o murete (superficial y elevado), deberá ser de 2.50 m.

Entre el eje de la fosa y la o las vías contiguas, 4.20 m. Esta distancia regirá cualquiera que sea la solución de la cola.

Para el caso de la sección túnel, la distancia mínima será aquella que resulte del análisis de cada uno de los elementos necesarios para conservar los espacios de operación para la fosa de visita.

En el caso de que no se requiera la fosa de visita, el tramo conservará las mismas características que el gálibo de un tramo normal

- En Colas Definitivas

El análisis operativo para este caso, determinará si son necesarias dos o más vías y la presencia de la fosa de visita. En caso de su existencia, se tomarán las consideraciones mencionadas para el mismo caso anterior.

Gálibos en Naves de Depósito y Talleres

Estos gálibos serán rígidos principalmente por el número de vías requeridas para cada caso. Las entrevías deberán tener una distancia en la que se contemplen andadores para el personal de operación

y mantenimiento, así como espacio para todas las instalaciones inherentes a los talleres y nave de depósito

En todas las vías que forman parte de los depósitos o talleres, pero que no se encuentren totalmente en espacios cerrados, como podría ser la vía de pruebas, la vía de lavado, etc., su gálibo será establecido por el equipamiento y la propia operación de la vía.

3.3.3. Gálibos Verticales

El gálibo comprende la libre circulación del equipo rodante dentro de un espacio físico sin obstáculos dentro de la estructura circunscrita para las diferentes soluciones de Metro. Para la solución en túnel se deberá de considerar el espacio para la libre circulación del tren, más el equipamiento para las diferentes instalaciones, tales como señales, charolas para cableado, etc. Debe de considerarse también que la distancia entre el techo del tren y el paño interior del techo de la estructura, estará regida por el radio que delimita la sección estructural.

En las soluciones superficial y elevada, el gálibo necesario en cruces con puentes peatonales y/ó vehiculares, debido a que estas dos soluciones adolecen de losa superior, sólo se deberán considerar 4.90 m libres. En el caso de la solución en cajón subterráneo debe de considerarse:

Tramo Tangente

Debe de conservarse un gálibo vertical igual a 4.90 m como mínimo, medido del nivel de subrasante al intradós.

Tramo en Curva

Para radios mayores de 500 m regirán las mismas condiciones que para tramo tangente. Para radios menores o iguales a 500 m, deberá incrementarse 0.250 m a todo el largo de la curva, quedando su valor igual a 5.150 m.

Tramo con Zona de Rejillas

Existen dos casos:

Rejillas cenitales. Con las dimensiones del gálibo vertical dadas para el tramo tangente y curva como base, se incrementará a todo lo largo de la rejilla la distancia equivalente para igualar el área de ventilación de la rejilla.

Rejillas laterales. Se deberá considerar el mismo gálibo vertical del tramo en el cual se ubique la rejilla, variando éste si se encuentra en tramo tangente o con curvas de radio menor de 500 m y proyectándose la geometría del cajón que alojará la rejilla, adyacente a la estructura principal, con las dimensiones necesarias para dejar paso al aire en la longitud total de la rejilla.

CAPÍTULO 4

PROYECTO GEOMÉTRICO PARA LA REALINEACIÓN Y RENIVELACIÓN DE VÍAS EN OPERACIÓN

4.1. TRABAJOS PRELIMINARES

Para efectuar el proyecto geométrico, es necesario contar con cierta información topográfica, denominando como trabajos preliminares a los levantamientos topográficos, el cual se divide en planimétrico y altimétrico.

El levantamiento planimétrico, nos proporciona información de la ubicación de los elementos de vía, cuartos técnicos, andenes, nariz de andén, aparatos de vía, nichos para motor de aparato de vía, nichos especiales de aparatos, e instalaciones en general.

El levantamiento altimétrico, nos permite ubicar los bancos de nivel (B.N) a utilizar, estos se deben ser fijos y profundos. Para este trabajo se consideró como referencia el B.N. Atzacolco, corriendo el nivel de este hasta una estructura fija, en este caso la estación Pantitlán, fijando también bancos de nivel superficiales al interior de la estructura de la línea, considerando dejar una referencia al principio y al final de cada tramo y/o interestación si es el caso, cerrando dicha nivelación con el banco de nivel superficial, es conveniente considerar cada tramo como independiente.

4.1.1. Generalidades

Ajuste de la vía

Previo a los trabajos de renivelación y realineación debe de hacerse el ajuste de vía, es decir, la revisión para la alineación de los durmientes los cuales han sufrido desplazamientos, y consiste en el acomodo de forma perpendicular a los rieles de la vía; corrección de medidas geométricas y aparatos de cambio de vía, ajuste de la barra guía, reposición de los elementos de fijación de riel, pista y barra guía que se encuentren dañados, verificación y corrección de las juntas mecánicas, juntas aislantes, zonas neutras, verificación de los niveles de balasto y apriete de la tornillería en general para la posterior corrección de los asentamientos de la vía, su alineación y nivelación para que las vías queden en condiciones normales de operación.

Tolerancias y Ajustes

1. Trazo

La tolerancia para las marcas de referencia con respecto a la ubicación del riel directriz será de $\pm 3\text{mm}$

- *Alineación*

En cualquier punto en recta y en curva de radio mayor o igual a 350 m ($R \geq 350$ m): medidas con cordel de 10.000 m de largo y desplazado por intervalos de 5.00 m; ± 5 mm.

En cualquier punto en recta y en curva de radio menor a 350 m ($R < 350$ m) medidas con cordel de 10.000 m de largo y desplazado por intervalos de 2.000 m; ± 2 mm.

- **En Trocha de vía**

Medida a 15 mm. bajo del plano de rodamiento: +3, -1.5 mm.

Variación de la trocha: 1mm/m.

Espaciamiento entre durmientes: ± 30 mm.

Encuadramiento de los durmientes a la altura del riel ± 10 mm.

Abajo del valor de la entrevía ± 5 mm.

2. Perfil

La altura del riel directriz frente a las marcas de referencia: +5; -0 mm.

La nivelación longitudinal de cualquier punto entre dos marcas de referencia espaciadas a cada 25 m ± 3 mm.

Variación de la nivelación longitudinal entre dos puntos cualesquiera: 0.5 mm/m.

Nivelación transversal el nivel se levantará, a cada 3.000 m o cada 5 durmientes tanto en curva como en recta

En curva con sobreelevación, la tolerancia se aplica en valor del peralte práctico: ± 3 mm.

Variación de la nivelación transversal medida en base de 3.000 m: 0.5 mm/m.

- **Verificación y Corrección de las Medidas Geométricas**

Deberá de corregirse las medidas geométricas, de los rieles, la pista metálica y de la barra guía, en relación a los rieles y con ellas mismas (de riel a riel, de riel a pista vertical y horizontal, de riel a barra guía y de barra guía a barra guía), así como debe de verificarse también el paralelismo correcto de una misma vía, la separación de los rieles de una misma vía, en tangente y curvas de radio mayor o igual a 350 m, deberá ser de 1.435 m, y para curvas de radio menor a 350 m la separación será de 1.439 m (Fig. 4.1).

- **Ajuste de la Barra Guía.**

Para obtener el ajuste correcto, deberá de considerarse la distancia entre la parte interior del hongo de riel de una vía y la barra guía del aislador más cercano, esta distancia será de 532.5 +0, -2.5 mm; en tangente (considerando el desgaste del riel).

La distancia entre barras guías no será mayor a 2500 mm. Respetando las siguientes tolerancias:

Separación de las dos barras guías: +0, -5 mm.

Distancia entre la barra guía y el borde de rodamiento interior del riel vecino: +0, 2.5 mm.

Variación de dicha distancia: 1 mm/m

Altura de la barra guía con respecto a la rasante será de ± 5 mm.

Defecto de perpendicularidad, medida en la cara vertical de la barra guía será de ± 3 mm.

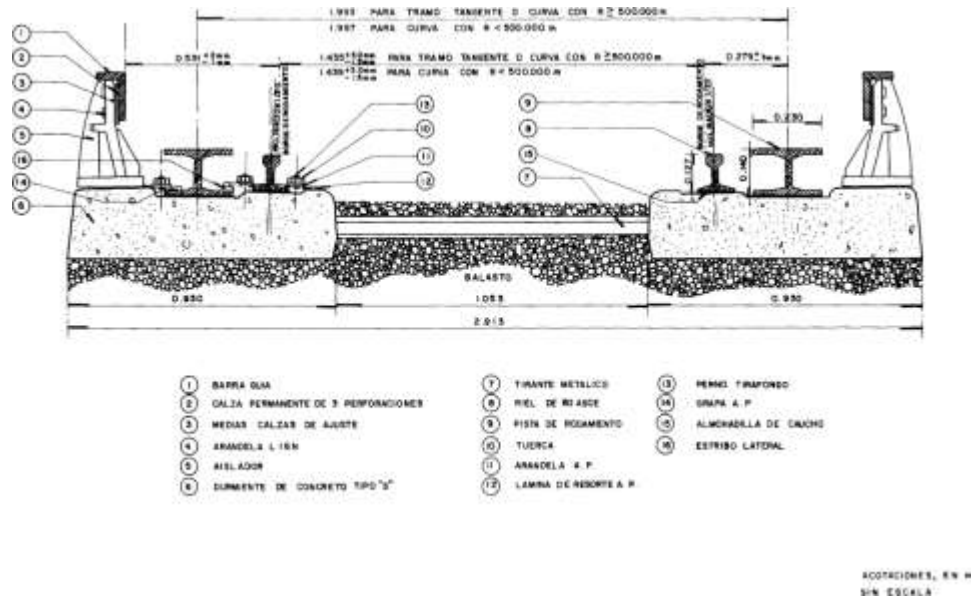


Figura 4.1 Colocación de vía sobre durmiente blikoque

- **Aparato de vía.**

El recompactado, la realineación y la renivelación de vía en los aparatos de vía se efectúa con calzadoras manuales; en este caso, la vía se considera estabilizada cuando, con respecto a su capacidad de soporte de las capas de balasto, estas han soportado una compactación por el paso de 100,000 toneladas de carga, formando un molde.

4.1.2. Topografía

Una vez que fueron desempeñados los trabajos preliminares de vía, se lleva a cabo el levantamiento topográfico, el cual es indispensable para determinar el nuevo trazo y perfil para el proyecto de la realineación y renivelación del tramo en cuestión.

Estos levantamientos se hacen sobre cada vía, considerando una referencia única (eje de trazo), este se ubica a lo largo de toda la línea, y es indispensable restituirlo para referenciar los kilometrajes de curvas, nichos, proyecto de perfil, etc.

Bancos de Nivel Fijo

Para llevar a cabo los trabajos de renivelación, se consideró como referencia el banco de nivel profundo de Atzacocalco. Corriendo la nivelación a partir del banco de nivel profundo hasta una estructura fija, ubicándose en la estación Pantitlán, ubicando además bancos de nivel superficial, localizados a no más de 100 m entre cada uno de ellos partiendo del banco de nivel profundo.

Bancos de Nivel Auxiliares

Se corre la nivelación a partir de los bancos de nivel superficial al interior de la estructura de la línea, dejando una referencia al principio y al final de cada tramo, cerrando la nivelación con el banco de nivel fijo superficial; cada tramo debe ser independiente. Los bancos internos o de trabajo serán los que regirán la obra.

Referencias

Las referencias en cada vía serán mediante clavos o escuadras, partiendo de estos puntos de referencia se implantarán posteriormente las marcas definitivas a las dos vías; las referencias serán fijadas a lo largo de los muros, a una altura constante, por arriba de los niveles, deberán obtenerse; en aquellas zonas en las que por condiciones locales no se puedan establecer los puntos de referencia a la altura constante, se colocarán a una altura diferente indicándose el valor a un lado de la referencia o marca. En tangente y curvas con $R \geq 350$ m, se colocan a cada 5 m.

Levantamiento Topográfico de Trazo

1. Verificación del Trazo

- a) Se verificará a partir de las referencias implantadas en el cajón de la obra civil siendo solución túnel o superficial, las cuales fueron el origen de la implantación de la vía. En caso de que el eje de trazo de la vía haya sufrido algún desplazamiento, debe ser corregido, de acuerdo con el nuevo proyecto, en zona de curvas es necesario respetar los datos de las curvas del proyecto original para evitar interferencias, por lo que es transferido invariablemente a los planos actualizados del proyecto.
- b) El levantamiento de la posición de los hongos de riel en tangente, se refieren al eje de trazo y en curva, a cada uno de los ejes de vía, registrando las lecturas obtenidas.
- c) En tangente, se implantará el eje de trazo. Las secciones transversales se medirán a cada 20 m entre las caras interiores del hongo de riel, a una altura de 15mm por debajo del nivel de rodamiento, considerando el desgaste del riel.
- d) En zona de curvas, se trazaran los ejes de cada una de las vías y con base en estos, se verifica del hongo de riel a una altura de 15 mm por debajo del nivel de rodamiento, considerando el desgaste del riel.
 - En curvas de $R \geq 350$ m, a cada 5 m.
 - En curvas de $R < 350$ m, a cada 2 m.

Levantamiento Topográfico de Perfil

Para el levantamiento topográfico del perfil (rasante), es conveniente que:

- a) La información de campo en cuanto a niveles se grafique en papel milimétrico, a escala conveniente para una fácil apreciación utilizándose en este caso 1:500 en sentido horizontal y 1:5 verticalmente.
- b) Se diseñan las nuevas rasantes rectificadas tratando, dentro de lo posible, que la nueva rasante quede lo más cercana a la existente y sobre de ella, debiendo respetar los siguientes gálibos verticales:
- c) En estación la distancia entre los hongos de los rieles y el piso terminado de los andenes debe ser de 1.100 m, con tolerancia de +0, - 20 mm.
- d) La diferencia entre los valores de la rasante rectificada y los valores reales determinará la zona por renivelar, de acuerdo con las tolerancias indicadas en el punto VII de esta especificación.

Equipo de Topografía

El equipo a usarse para el levantamiento topográfico deberá ser totalmente confiable, y estar calibrado con las características necesarias para obtener lecturas reales del levantamiento realizando y el proyecto que se elaborará. La recepción los trabajos serán conforme al proyecto de realineación y renivelación de las vías así como de la presente especificación técnica. Los levantamientos planimétricos deberán apoyarse en polígonos cerrados, la precisión de los aparatos deberán de ser de 1/20000, con una desviación estándar de ± 5 mm, 5 ppm para longitudes y una precisión de 5", con tolerancias máximas de 1.5 veces la aproximación del aparato (7.5) para mediciones angulares.

Tolerancias en las Medidas Geométricas de la vía

1. Tolerancias en el Trazo

- a) La posición del riel directriz en la ubicación de los puntos de referencia ± 3 mm.
- b) La alineación en todos los puntos, en curvas de $R \geq 350$ m, medida con cordel de desplazado en tramos de 5 m ± 2 mm considerándose no acumulativo con el inciso (a).

2. Tolerancias en la Nivelación Longitudinal

- a) Variación de elevación del riel directriz, con respecto a la rasante rectificadora es de ± 3 mm.
- b) Variación de elevación del riel directriz en dos marcas diferentes a 25 m, ± 3 mm.

3. Tolerancias en la Nivelación Transversal

- a) En la zona de clotoide, la nivelación entre los rieles se mide a cada 5 m, en este último caso la tolerancia deberá tomarse con respecto al valor teórico de la sobreelevación será de 3 mm/m.
- b) La variación de la elevación medida sobre una base de 5 m, ± 0.5 mm/m

Hundimientos de los Durmientes al Paso de los Trenes (estabilidad)

Una vía se considera estabilizada cuando, con respecto a su capacidad de soporte de las capas de balasto ésta ha sufrido una compactación prácticamente del 100% formando un molde.

1. Detección de los Defectos

- a) Depende de la localización de los defectos y la buena calidad de los trabajos.
- b) Para la ubicación de los defectos de vía, se sugieren dos métodos complementarios:
 - Recorrido de trenes en operación
 - Medición del hundimiento de los durmientes con equipo topográfico.

2. Tolerancias en la implantación de las vías

En la estabilidad se admitirá un hundimiento de los durmientes al paso de los trenes de hasta 2 mm para considerarlos dentro de lo aceptable.

3. Relación de durmientes con problemas de estabilidad

En función de la información recabada, se elaborarán los listados en los cuales se relacionan los durmientes con problemas de estabilidad, indicando: cadenamiento, vía y tipo de durmiente ("O", "S", "A", "GA", etc.) y cualquier otra información que se considere útil para su precisa ubicación.

4.2. TRAZO

4.2.1. Proyecto Preliminar

Los preliminares del proyecto de realineación de vías (trazo), se realizaron partiendo de la información recabada en campo, por medio de los levantamientos topográficos (método directo), esta información fue dibujada en planos escala 1:100 para su estudio y propuesta de proyecto.

Con base en las especificaciones y recomendaciones, fue propuesto un eje de trazo, partiendo del eje existente (restitución del eje de trazo), así como un nuevo eje de vía para cada una de ellas (tres en la zona de estación y fosa de visita, dos en cola de maniobras, quince en zona de peines acceso a la nave de depósito y una más para la vía de lavado), definiendo en cada caso el nuevo proyecto, tratando de apegarse en lo posible a las tangentes y curvas existentes y definiendo dichas tangentes con P.O. (Puntos Obligados) los cuales ayudarán a mantener el control del trazo y facilitar la ubicación de kilometrajes. Determinando de esta forma los radios de las curvas para su proyección y cálculo. Es importante considerar que se debe de respetar la geometría de las curvas del proyecto original, reimplantando estas en campo.

Con la información recopilada, se fijan las deflexiones y la geometría de las nuevas curvas y de las existentes.

En tramo tangente y curvas de radio mayor o igual a 350m, se debe indicar los valores de corrección en la renivelación a cada 20m y a cada 5m en curvas con radio menor a 350 m.

La información de los valores de la sección (gálibos) deben indicarse a cada 20m en tramo tangente y a cada 10m en zona de curvas horizontales, así como en los puntos representativos del trazo como son P. de A. (Punta de Aparato), PC (Principia Circular), PT (Principia Tangente), PST (Punto Sobre Tangente), etc.

Una vez realizado el proyecto de trazo, se elaboran los planos del proyecto correspondiente, los cuales indican los valores de la corrección de las vías, referenciado a los cadenamientos del eje de trazo en las tangentes y al eje de vía en las curvas, estos se utilizarán para la ejecución y verificación de los trabajos de realineación.

4.2.2. Proyecto Definitivo

Una vez que fueron efectuadas todas las mediciones en campo, se concluye el levantamiento topográfico, se identifica y definen cada una de las nuevas deflexiones formadas por las nuevas tangentes propuestas, se efectúa el cálculo definitivo de las curvas horizontales, tanto del eje trazo como de cada una de las vías, haciendo el ajuste de cadenamientos pertinente, asignando estos nuevos cadenamientos al tramo en cuestión.

El tramo en el cual se implantara el proyecto de realineación de vías está comprendido entre la estación Pantitlán y la nave de depósito de la línea 9, este tipo de vías se le denomina vías secundarias, puesto que circula sin usuarios y a baja velocidad, es por esto que en este tramo se encuentran solo curvas circulares sin sobreelevación, y por lo tanto sin enlaces de tipo clotoide. A continuación se describe el procedimiento de cálculo de una curva circular.

4.2.3. Cálculo de una Curva Circular

Para el cálculo de una curva circular simple, se parte de los datos de la deflexión (Δ) indicados en grados sexagesimales y la dirección de la misma (Izquierda o derecha), el PK (Punto Kilométrico) asignado al PI (Punto de Inflexión) siendo determinado con un origen de cadenamientos, considerado para tal efecto la cabecera norte de la estación Pantitlán KM 1+210.636. Para el diseño de las curvas, es considerada una velocidad de 30 Km/h, por ser vías secundarias. Para observar la metodología de cálculo tomaremos como ejemplo la curva N° 1 sobre el eje de trazo:

Datos:

$$\begin{aligned} \text{PI} &= 0+206.850 \\ \Delta &= 4^{\circ}15'55'' \text{ Izq.} \\ R_c &= 400 \text{ m} \\ V &= 30 \text{ km/h} \end{aligned}$$

Procedimiento:

a) ST (Subtangente):

$$ST = \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot R \quad (4.1)$$

$$ST = \tan\left(\frac{4^{\circ}15'55''}{2}\right) \cdot 400$$

$$ST = 14.896 \text{ m}$$

b) Lc (Longitud de la circular)

$$L_c = \Delta \cdot R \left(\frac{\pi}{180}\right) \quad (4.2)$$

$$L_c = 4^{\circ}15'55'' \cdot 400 \left(\frac{\pi}{180}\right)$$

$$L_c = 29.777 \text{ m}$$

c) Gc (Grado de curvatura):

$$G_c = \frac{20}{R} \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (4.3)$$

$$G_c = \frac{20}{400} \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right)$$

$$G_c = 2.86478897^{\circ}$$

d) D/m (Deflexión por metro):

$$D/m = G_c \cdot 1.5 \quad (4.4)$$

$$D/m = 2.86478897^{\circ} \cdot 1.5$$

$$D/m = 4.29718346'$$

e) C (Cuerda)

$$C = 2 \cdot R \cdot \text{sen} \left(\frac{\Delta}{2} \right) \quad (4.5)$$

$$C = 2 \cdot 400 \cdot \text{sen} \left(\frac{4^{\circ}15'55''}{2} \right)$$

$$C = 29.770 \text{ m}$$

f) F (Flecha)

$$F = R \cdot \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right) \quad (4.6)$$

$$F = 400 \cdot \left(1 - \cos \frac{4^{\circ}15'55''}{2} \right)$$

$$F = 0.277 \text{ m}$$

g) E (Externa)

$$E = R \left(\frac{1}{\cos \Delta/2} - 1 \right) \quad (4.6)$$

$$E = 400 \left(\frac{1}{\cos 4^{\circ}15'55''/2} - 1 \right)$$

$$E = 0.277 \text{ m}$$

Cálculo de cadenamientos:

Ya que fue determinada la geometría de la curva, se puede asignar los cadenamientos a cada uno de los puntos principales de la curva como lo es el PC, PT y PI. Estos deberán de tener una aproximación de 0.001 m.,

Inicialmente, se asigna el cadenamiento al PI ubicado sobre la tangente y en el sentido de los cadenamientos, partiendo del origen determinado, a este valor se le resta la ST, para obtener el valor del cadenamiento del PC, a este se le suma el valor de la circular Lc., para obtener el valor del PT.

Considerando los datos de la curva de ejemplo tenemos:

a) Cálculo de cadenamiento de PC:

$$PC = PI - ST \quad (4.7)$$

$$PC = 0 + 206.850 - 14.896$$

$$PC = 0 + 191.731$$

b) Cálculo de cadenamiento de PT

$$PT = PC + Lc \quad (4.8)$$

$$PT = 0 + 191.731 + 29.777$$

$$PT = 0 + 221.731$$

Los datos para el trazo de las curvas circulares se presentan de la siguiente manera:

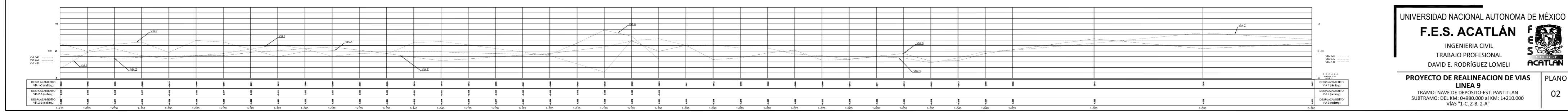
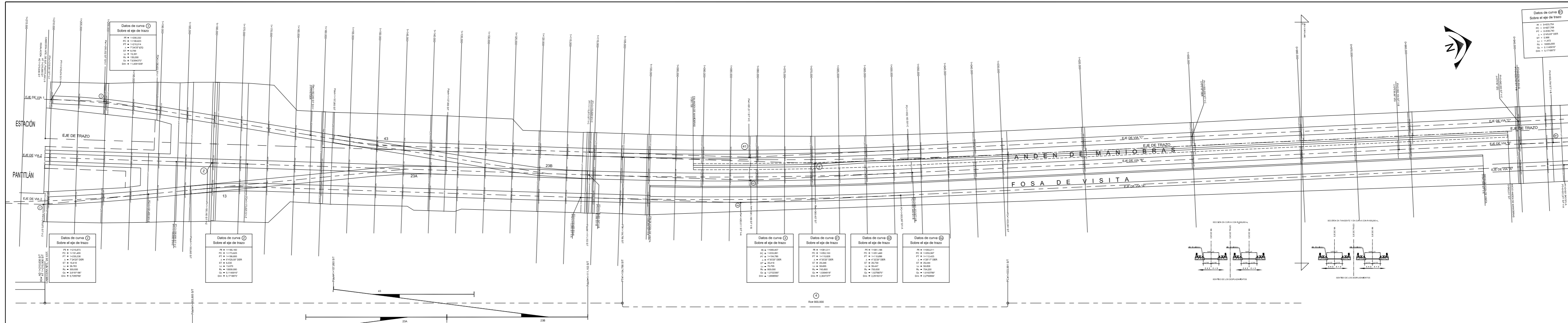
Datos de curva ① Sobre el eje de trazo
PI = 0+206.850
PC = 0+191.954
PT = 0+221.731
$\Delta = 4^{\circ}15'55''$ IZQ
ST = 14.896
Lc = 29.777
Rc = 400.000
Gc = 2.8647890°
D/m = 4.2971835'

Ubicación de Aparatos de vía

Dentro del tramo que compete a este proyecto encontramos 20 aparatos para cambio de vía, entre ellos se encuentra 14 aparatos de comunicación con ángulo de desviación tg 0.20, 2 de enlace con junta desviada, 3 de enlace y 1 de comunicación con ángulo de desviación tg 0.13.

Tabla 4.1. Ubicación de aparatos de cambio de vía

Tipo de aparato	Nº de aparato	KM de P de A
Comunicación tg 0.13	25A	0+881.432 S/T V-B
Comunicación tg 0.20	49C	0+186.248 S/T
	49D	0+165.856 S/T
	49E	0+146.182
	49F	0+138.905
	49G	0+118.710 S/T
	49H	0+166.012 S/T
	49I	0+118.577 S/T
	49J	0+146.767 S/T
	49K	0+127.920 S/T
	29C	0+184.981 S/T
	29D	0+138.304 S/T
	29E	0+164.967 S/T
	29F	0+145.648 S/T
	29G	0+102.767 S/T
Enlace	25B-45	0+881.432 S/T V-B
		0+834.593 S/T
	49A-29A	0+321.500 S/T
		0+282.777 S/T V-B
	29B-49B	0+282.777 S/T V-B
Enlace junta desviada	13-23A	0+244.054 S/T
		1+183.805 S/T
	43-23B	1+137.065 S/T
		1+157.893 S/T
		1+111.153 S/T



Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI	= 1+100.000
PC	= 1+100.000
PT	= 1+200.000
LS	= 100.000
ST	= 9.750
RI	= 100.000
Q1	= 7.928877
Q2	= 11.4891559

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI	= 1+190.160
PC	= 1+175.000
PT	= 1+200.000
LS	= 100.000
ST	= 8.250
RI	= 100.000
Q1	= 11.4891559
Q2	= 8.1718877

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI	= 1+086.467
PC	= 1+080.000
PT	= 1+104.798
LS	= 100.000
ST	= 26.148
RI	= 100.000
Q1	= 11.4891559
Q2	= 10.995987

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI	= 1+081.511
PC	= 1+080.000
PT	= 1+103.028
LS	= 100.000
ST	= 26.348
RI	= 100.000
Q1	= 10.995987
Q2	= 2.3473777

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI	= 1+081.388
PC	= 1+080.000
PT	= 1+103.028
LS	= 100.000
ST	= 26.348
RI	= 100.000
Q1	= 10.995987
Q2	= 2.3473777

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI	= 1+080.011
PC	= 1+080.000
PT	= 1+103.028
LS	= 100.000
ST	= 26.444
RI	= 100.000
Q1	= 11.4891559
Q2	= 2.3473777

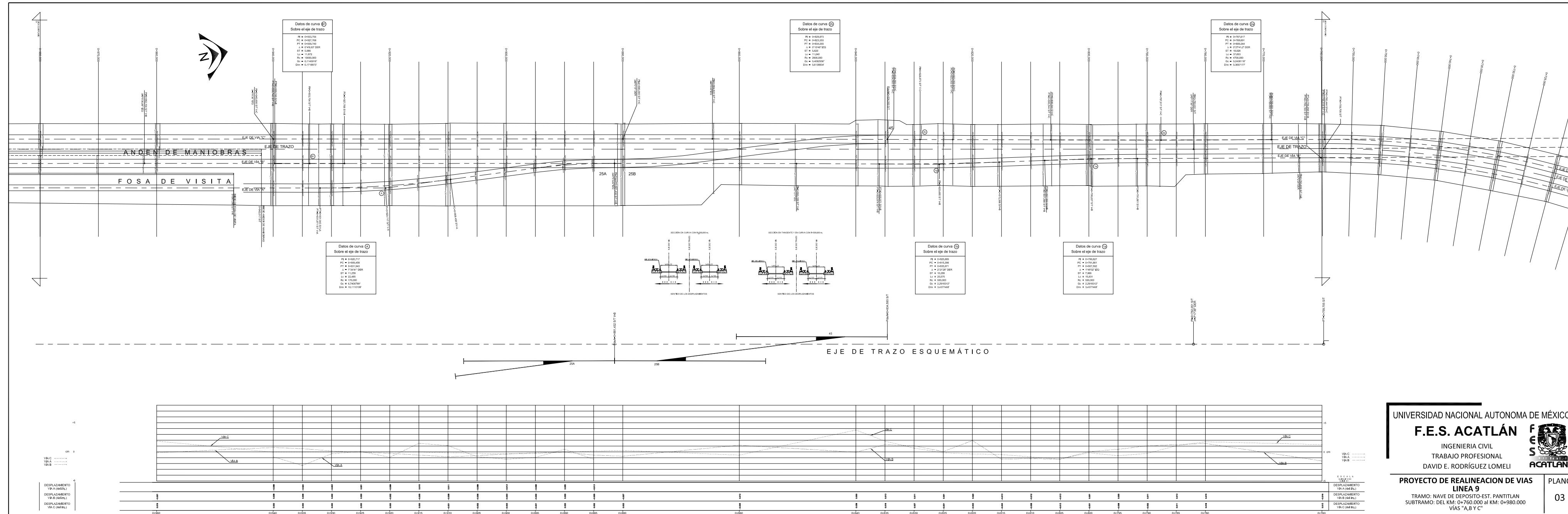
Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI	= 1+080.011
PC	= 1+080.000
PT	= 1+103.028
LS	= 100.000
ST	= 26.444
RI	= 100.000
Q1	= 11.4891559
Q2	= 2.3473777

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
F.E.S. ACATLÁN
 INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO PROFESIONAL
 DAVID E. RODRÍGUEZ LOMELI

PROYECTO DE REALINEACION DE VIAS
LÍNEA 9
 TRAMO: NAVE DE DEPOSITO-EST. PANTILAN
 SUBTRAMO: DEL KM: 0+980.000 al KM: 1+210.000
 VIAS "1-C, Z-B, 2-A"

PLANO
02



Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI	= 0+852.717
PC	= 0+852.738
PT	= 0+915.142
A	= 0° 48' 32" DER
ST	= 6.286
LC	= 11.832
RL	= 3000.000
GM	= 0.145919°
DM	= 0.1718817°

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI	= 0+823.872
PC	= 0+823.883
PT	= 0+824.093
A	= 0° 13' 48" EST
ST	= 0.420
LC	= 1.240
RL	= 3000.000
GM	= 0.400548°
DM	= 0.4138834°

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI	= 0+787.817
PC	= 0+787.831
PT	= 0+800.244
A	= 0° 27' 41" LP DER
ST	= 12.426
LC	= 27.853
RL	= 3000.000
GM	= 0.2438118°
DM	= 0.3007117°

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI	= 0+802.717
PC	= 0+802.738
PT	= 0+865.142
A	= 0° 34' 41" DER
ST	= 6.286
LC	= 23.485
RL	= 3000.000
GM	= 0.145919°
DM	= 0.1711019°

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI	= 0+823.872
PC	= 0+823.886
PT	= 0+824.091
A	= 0° 13' 48" DER
ST	= 0.420
LC	= 1.240
RL	= 3000.000
GM	= 0.2438118°
DM	= 0.2437748°

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

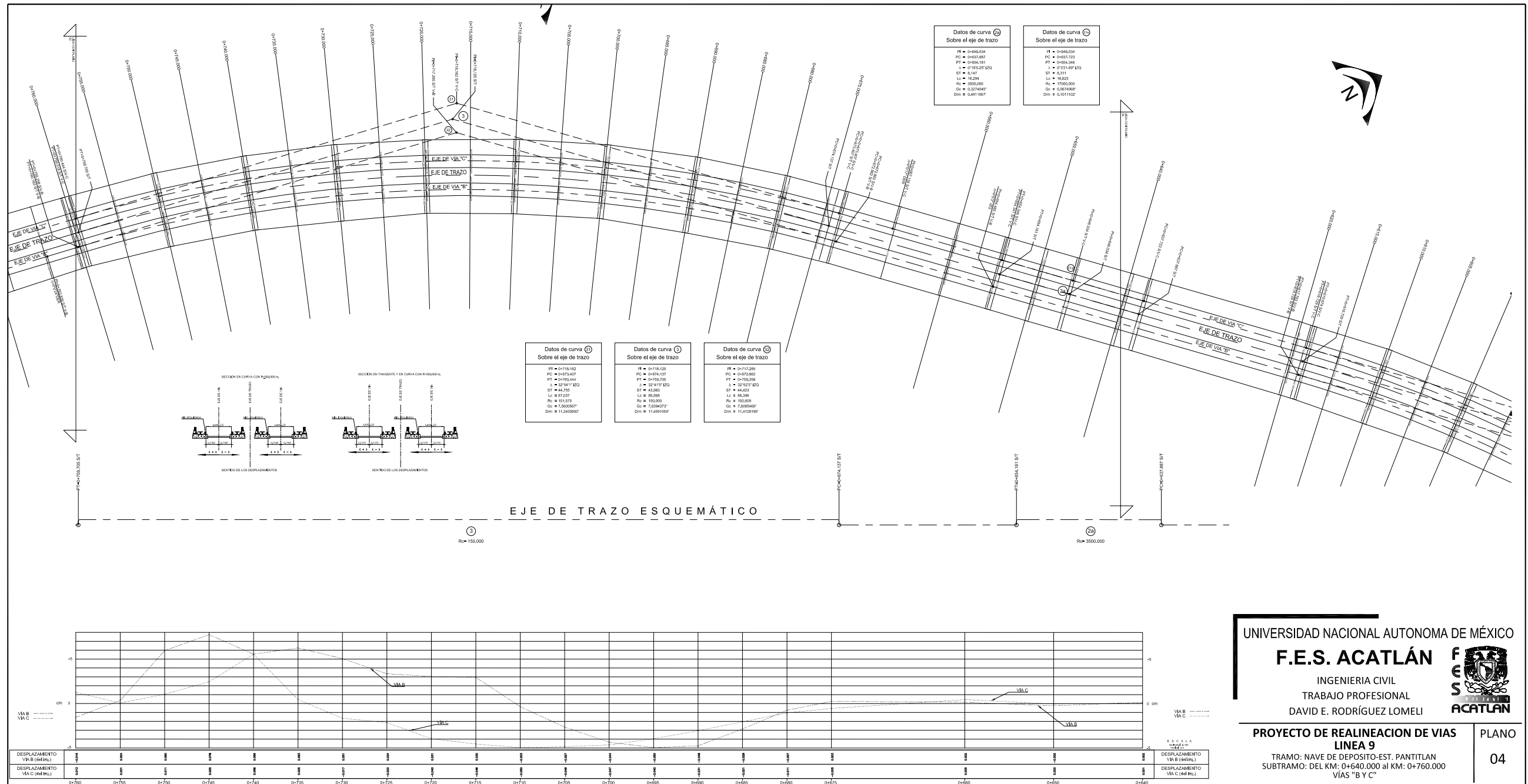
PI	= 0+787.817
PC	= 0+787.831
PT	= 0+800.250
A	= 0° 27' 42" EST
ST	= 12.426
LC	= 25.275
RL	= 3000.000
GM	= 0.2438118°
DM	= 0.3437748°

ESTACION	DESPLAZAMIENTO VIA A (Mts.)	DESPLAZAMIENTO VIA B (Mts.)	DESPLAZAMIENTO VIA C (Mts.)
0+750	0.000	0.000	0.000
0+755	0.000	0.000	0.000
0+760	0.000	0.000	0.000
0+765	0.000	0.000	0.000
0+770	0.000	0.000	0.000
0+775	0.000	0.000	0.000
0+780	0.000	0.000	0.000
0+785	0.000	0.000	0.000
0+790	0.000	0.000	0.000
0+795	0.000	0.000	0.000
0+800	0.000	0.000	0.000
0+805	0.000	0.000	0.000
0+810	0.000	0.000	0.000
0+815	0.000	0.000	0.000
0+820	0.000	0.000	0.000
0+825	0.000	0.000	0.000
0+830	0.000	0.000	0.000
0+835	0.000	0.000	0.000
0+840	0.000	0.000	0.000
0+845	0.000	0.000	0.000
0+850	0.000	0.000	0.000
0+855	0.000	0.000	0.000
0+860	0.000	0.000	0.000
0+865	0.000	0.000	0.000
0+870	0.000	0.000	0.000
0+875	0.000	0.000	0.000
0+880	0.000	0.000	0.000
0+885	0.000	0.000	0.000
0+890	0.000	0.000	0.000
0+895	0.000	0.000	0.000
0+900	0.000	0.000	0.000
0+905	0.000	0.000	0.000
0+910	0.000	0.000	0.000
0+915	0.000	0.000	0.000
0+920	0.000	0.000	0.000
0+925	0.000	0.000	0.000
0+930	0.000	0.000	0.000
0+935	0.000	0.000	0.000
0+940	0.000	0.000	0.000
0+945	0.000	0.000	0.000
0+950	0.000	0.000	0.000
0+955	0.000	0.000	0.000
0+960	0.000	0.000	0.000
0+965	0.000	0.000	0.000
0+970	0.000	0.000	0.000
0+975	0.000	0.000	0.000
0+980	0.000	0.000	0.000
0+985	0.000	0.000	0.000
0+990	0.000	0.000	0.000
0+995	0.000	0.000	0.000
1+000	0.000	0.000	0.000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
F.E.S. ACATLÁN
 INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO PROFESIONAL
 DAVID E. RODRIGUEZ LOMELI

PROYECTO DE REALINEACION DE VIAS LINEA 9
 TRAMO: NAVE DE DEPOSITO-EST. PANTILIAN
 SUBTRAMO: DEL KM: 0+760.000 al KM: 0+980.000
 VIAS "A, B Y C"

PLANO 03



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

F.E.S. ACATLÁN

INGENIERIA CIVIL

TRABAJO PROFESIONAL

DAVID E. RODRÍGUEZ LOMELI

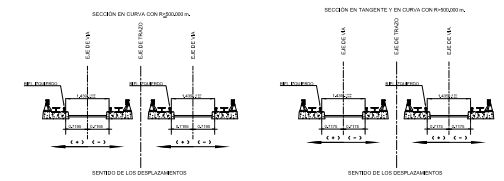
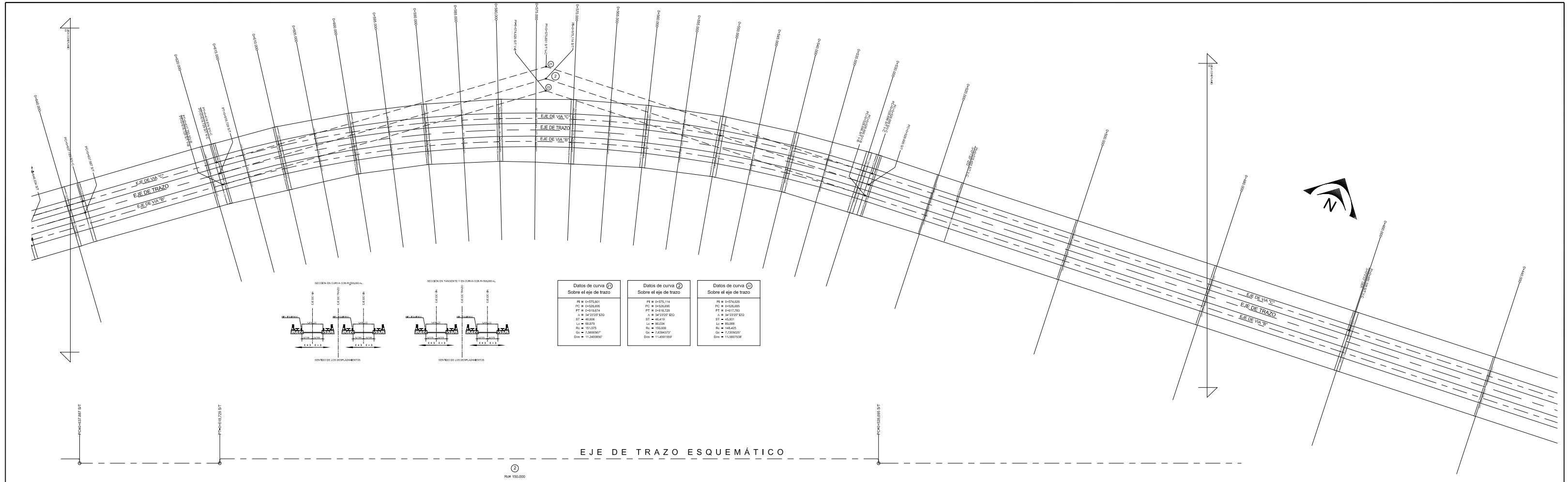
PROYECTO DE REALINEACION DE VIAS LINEA 9

TRAMO: NAVE DE DEPOSITO-EST. PANTITLAN

SUBTRAMO: DEL KM: 0+640.000 al KM: 0+760.000

VIAS "B Y C"

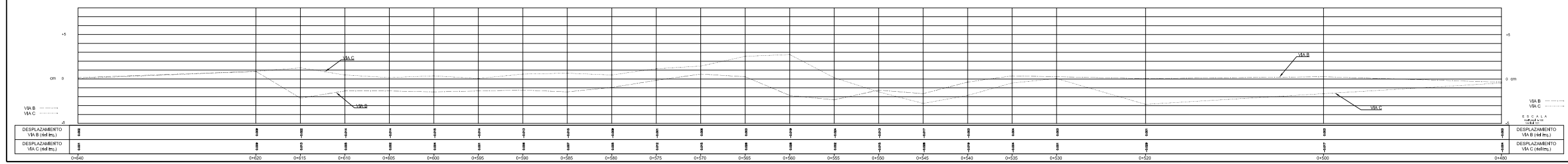
PLANO 04



Datos de curva ① Sobre el eje de trazo		Datos de curva ② Sobre el eje de trazo		Datos de curva ③ Sobre el eje de trazo	
PI = 0+570.801	PI = 0+570.114	PI = 0+570.208	PC = 0+528.695	PI = 0+570.208	PC = 0+528.695
PT = 0+618.974	PT = 0+618.229	PT = 0+617.213	PT = 0+617.213	PT = 0+617.213	PT = 0+617.213
A = 34°22'52" E20	A = 34°22'52" E20	A = 34°22'52" E20	A = 34°22'52" E20	A = 34°22'52" E20	A = 34°22'52" E20
ST = 48.206	ST = 48.419	ST = 48.391	ST = 48.391	ST = 48.391	ST = 48.391
Lc = 46.004	Lc = 46.004	Lc = 46.004	Lc = 46.004	Lc = 46.004	Lc = 46.004
Rc = 131.575	Rc = 131.000	Rc = 148.425	Rc = 148.425	Rc = 148.425	Rc = 148.425
Qc = 75605.887	Qc = 74984.970	Qc = 77205.655	Qc = 77205.655	Qc = 77205.655	Qc = 77205.655
Dm = 11.3400897	Dm = 11.4951597	Dm = 11.5007337	Dm = 11.5007337	Dm = 11.5007337	Dm = 11.5007337

EJE DE TRAZO ESQUEMÁTICO

②
ROR 150.000



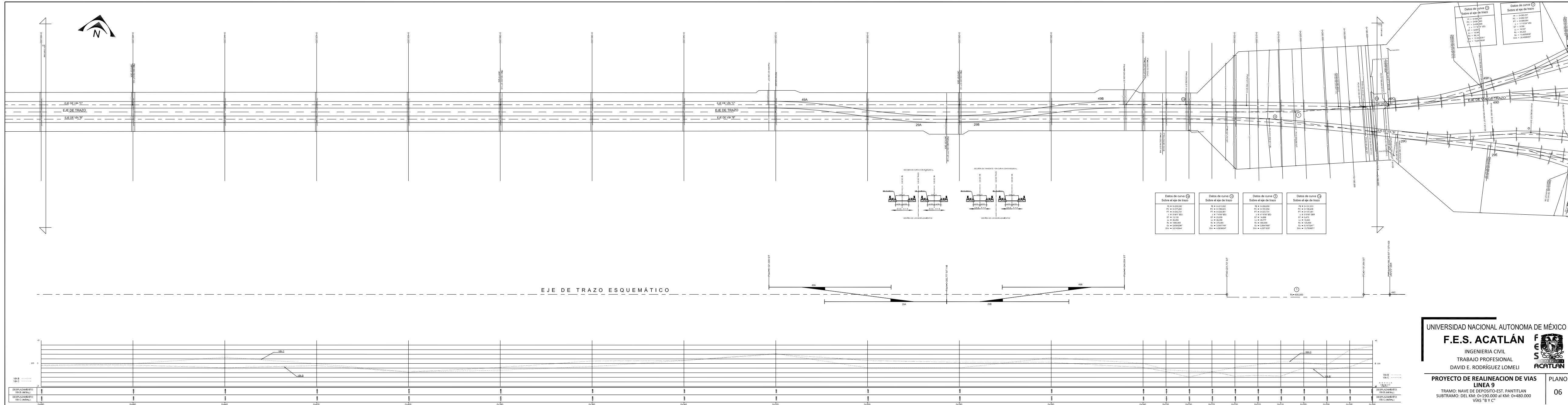
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

F.E.S. ACATLÁN

INGENIERIA CIVIL
TRABAJO PROFESIONAL
DAVID E. RODRÍGUEZ LOMELI

PROYECTO DE REALINEACION DE VIAS
LÍNEA 9
TRAMO: NAVE DE DEPOSITO-EST. PANTITLÁN
SUBTRAMO: DEL KM: 0+480.000 al KM: 0+640.000
VIAS "B Y C"

PLANO
05



Datos de curva	Datos de curva	Datos de curva	Datos de curva
Sobre el eje de trazo	Sobre el eje de trazo	Sobre el eje de trazo	Sobre el eje de trazo
PI = 0+000.000	PI = 0+100.000	PI = 0+200.000	PI = 0+300.000
PC = 0+050.000	PC = 0+150.000	PC = 0+250.000	PC = 0+350.000
PT = 0+100.000	PT = 0+200.000	PT = 0+300.000	PT = 0+400.000
L = 100.000	L = 100.000	L = 100.000	L = 100.000
ET = 0.000	ET = 0.000	ET = 0.000	ET = 0.000
RA = 1000.000	RA = 1000.000	RA = 1000.000	RA = 1000.000
CA = 0.000000°	CA = 0.000000°	CA = 0.000000°	CA = 0.000000°
DA = 0.000000°	DA = 0.000000°	DA = 0.000000°	DA = 0.000000°

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

F.E.S. ACATLÁN

INGENIERIA CIVIL

TRABAJO PROFESIONAL

DAVID E. RODRÍGUEZ LOMELI

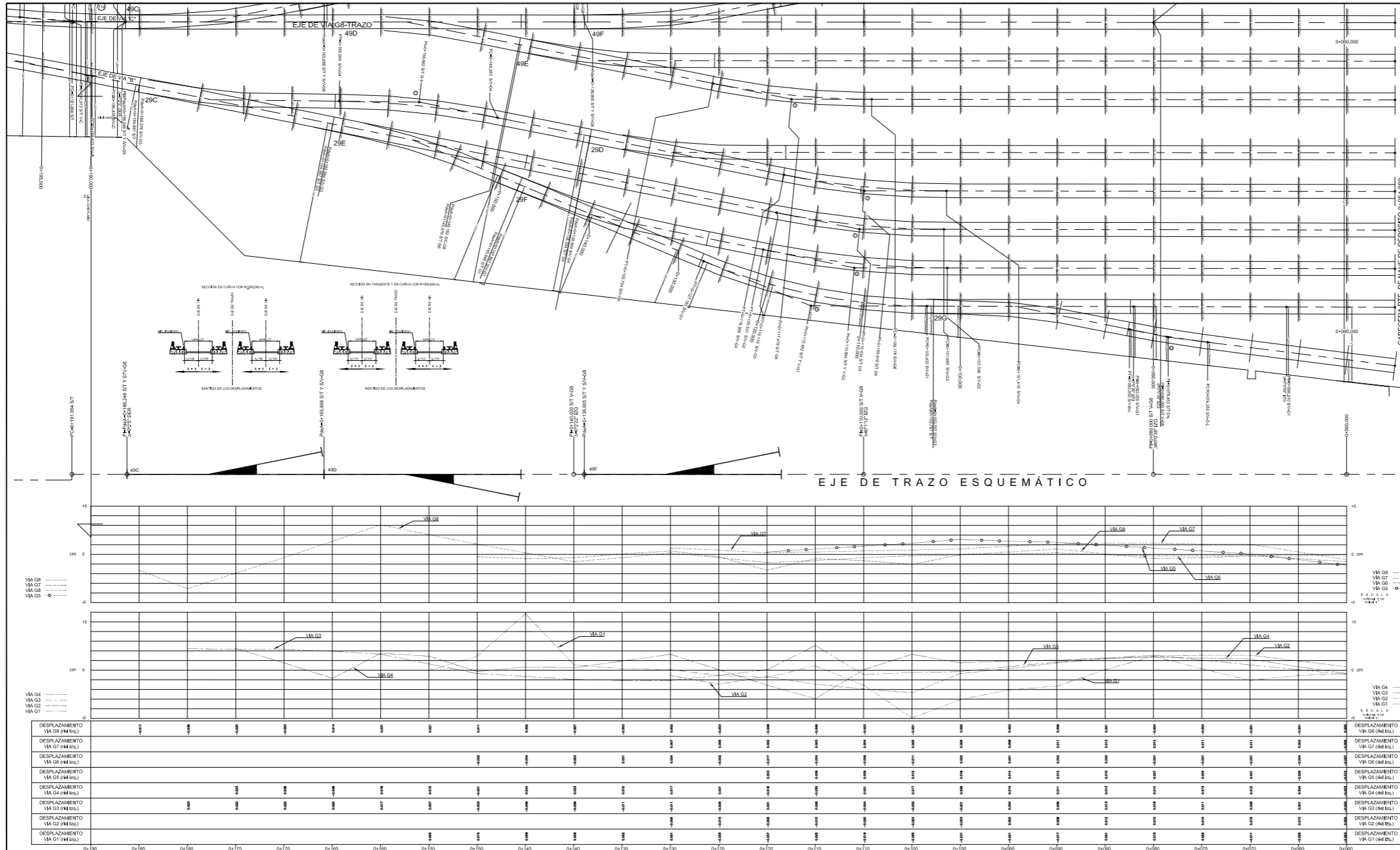
PROYECTO DE REALINEACION DE VIAS LINEA 9

TRAMO: NAVE DE DEPOSITO-EST. PANTILAN

SUBTRAMO: DEL KM: 0+190.000 al KM: 0+480.000

VIAS "B" Y "C"

PLANO 06



G-8 EJE DE TRAZO

Datos de curva Sobre el eje de trazo		Datos de curva Sobre el eje de trazo	
PI = 0+076453	PC = 0+076452	PI = 0+154823	PT = 0+154823
PT = 0+082500	L = 4.311	PC = 0+150422	PT = 0+1527183
LC = 4.311	RC = 115.000	L = 227.947 DER	ST = 12.039
GC = 154.174140°	DM = 15.0001217	LC = 15.195	LC = 15.195
		RC = 80.500	RC = 80.500
		GC = 154.174140°	GC = 153.979000°
		DM = 15.0001217	DM = 15.0009967

Datos de curva Sobre el eje de trazo		Datos de curva Sobre el eje de trazo	
PI = 0+110384	PC = 0+110385	PI = 0+110324	PT = 0+110323
PT = 0+120221	L = 111.9141 DER	PC = 0+101583	PT = 0+119119
LC = 18.195	LC = 18.195	L = 117.927 DER	ST = 2.741
RC = 97.519	RC = 97.519	LC = 17.428	LC = 17.428
GC = 113.511222°	DM = 17.2697588	RC = 89.004	RC = 89.004
		GC = 132.9878774°	GC = 132.9878774°
		DM = 16.3121917	DM = 16.3121917

Datos de curva Sobre el eje de trazo		Datos de curva Sobre el eje de trazo	
PI = 0+185919	PC = 0+185920	PI = 0+156282	PT = 0+156282
PT = 0+185920	L = 111.227 DER	PC = 0+148583	PT = 0+158124
LC = 18.195	LC = 18.195	L = 107.977 DER	ST = 2.279
RC = 80.500	RC = 80.500	LC = 16.549	LC = 16.549
GC = 132.979000°	DM = 15.0015489	GC = 132.9878774°	GC = 132.9878774°
		DM = 15.0015489	DM = 15.0015489

Datos de curva Sobre el eje de trazo	
PI = 0+117478	PC = 0+117478
PT = 0+119119	PT = 0+119119
L = 117.927 DER	L = 117.927 DER
LC = 15.195	LC = 15.195
RC = 80.500	RC = 80.500
GC = 132.9878774°	GC = 132.9878774°
DM = 15.0015489	DM = 15.0015489

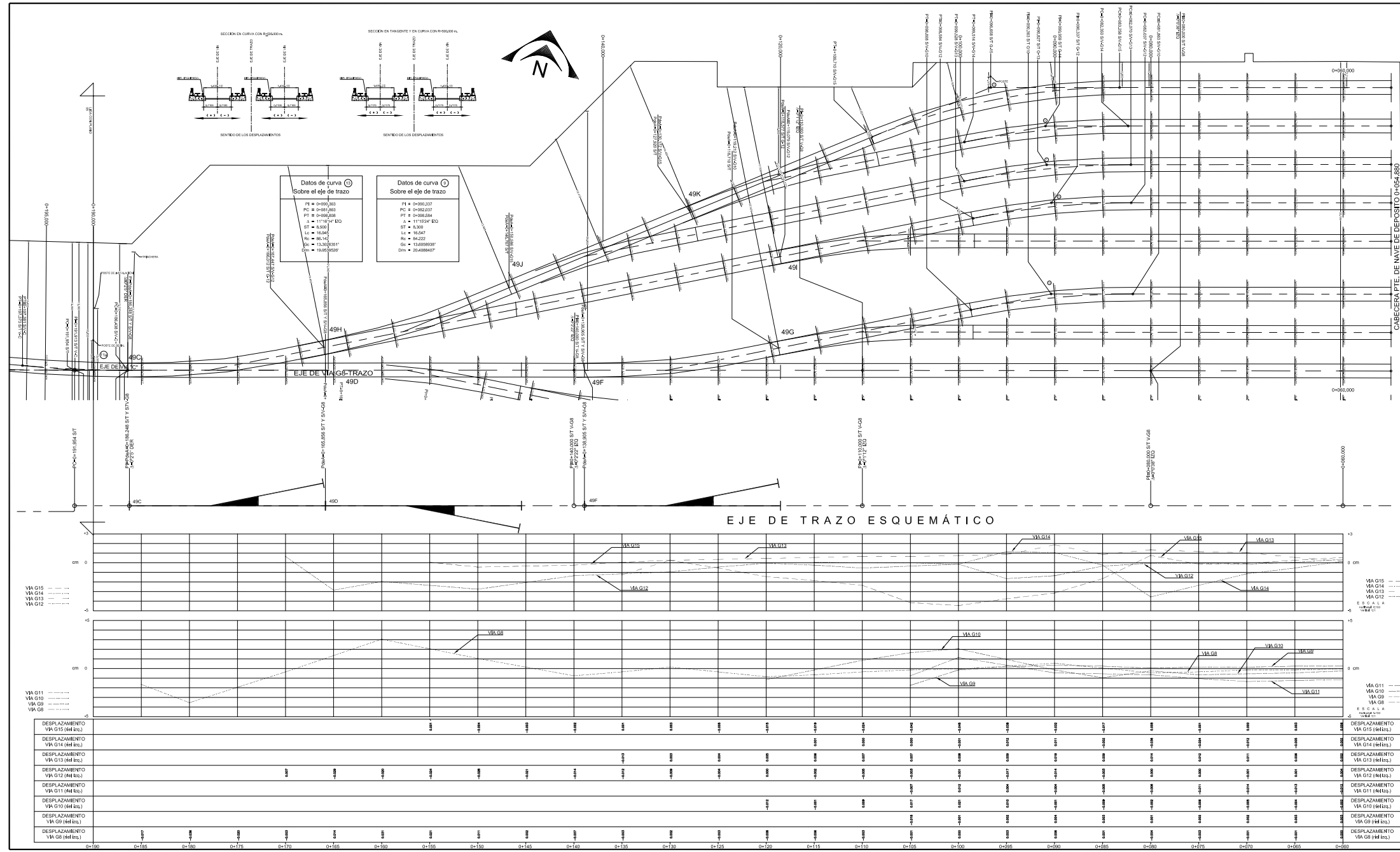


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
F.E.S. ACATLÁN
 INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO PROFESIONAL
 DAVID E. RODRÍGUEZ LOMELI



PROYECTO DE REALINEACION DE VIAS LINEA 9
 TRAMO: NAVE DE DEPOSITO-EST. PANTILAN
 SUBTRAMO: DEL KM: 0+060.000 al KM: 0+190.000
 VIAS "G1 A G8"

PLANO
 07



Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI = 0+094,263
PC = 0+094,263
PT = 0+094,263
Lc = 117,041' 80"
Rc = 86,142
Gc = 13,020811°
Dm = 18,667207°

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI = 0+080,237
PC = 0+080,237
PT = 0+080,234
Lc = 117,041' 80"
Rc = 86,142
Gc = 13,020811°
Dm = 18,667207°

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI = 0+090,627
PC = 0+090,627
PT = 0+090,628
Lc = 117,041' 80"
Rc = 86,142
Gc = 12,788971°
Dm = 18,153758°

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI = 0+090,259
PC = 0+090,259
PT = 0+090,254
Lc = 117,041' 80"
Rc = 86,142
Gc = 12,777820°
Dm = 18,667207°

Datos de curva
Sobre el eje de trazo

PI = 0+090,628
PC = 0+090,628
PT = 0+090,710
Lc = 22,000' 00"
Rc = 13,400
Gc = 24,642
Dm = 67,106
Dm = 12,076281°
Dm = 18,153758°

G-15
G-14
G-13
G-12
G-11
G-10
G-9
G-8 EJE DE TRAZO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
F.E.S. ACATLÁN
 INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO PROFESIONAL
 DAVID E. RODRÍGUEZ LOMELI

PROYECTO DE REALINEACION DE VIAS LINEA 9
 TRAMO: NAVE DE DEPOSITO-EST. PANTITLAN
 SUBTRAMO: DEL KM: 0+060.000 al KM: 0+190.000
 VIAS "G8 A G15

PLANO
08

4.3. PERFIL

4.3.1. Proyecto Preliminar

El proyecto preliminar de renivelación de vías (perfil), se elaboró a partir de la información obtenida en campo, paralelamente al proyecto de realineación (trazo), refiriendo los cadenamientos para la ubicación de cada nivel a este proyecto.

Se levanta el perfil actual de cada riel de cada vía existente, refiriéndolos al banco de nivel fijo o auxiliar que le corresponda verticalmente, generando con esta información un gráfico de la rasante actual de cada riel (2 por cada vía), así como horizontalmente a los cadenamientos del eje de trazo definitivo, el cual debe estar a una escala adecuada que permita su correcto análisis y revisión. Partiendo de esta información y respetando las especificaciones indicadas en el capítulo 3, se hace una propuesta de los nuevos niveles de rasante, proyectando tangentes propuestas y tratando de la misma forma que en el proyecto de trazo, conservar en lo posible la geometría de las condiciones en que se encuentran las vías, considerando que los niveles de la nueva rasante, se encuentren sobre los niveles previos a los trabajos de renivelación, y solo en casos excepcionales podrá estar debajo de esta condición

Una vez definidas las nuevas tangentes, se procede a ubicar los cadenamientos y elevaciones de los nuevos PIV`s (Puntos de inflexión vertical), y con estos el cálculo de las curvas verticales.

La transición de entre dos tangentes verticales de distintas pendientes debe efectuarse por medio de curvas verticales parabólicas, calculadas por la ecuación 4.9:

$$Y = \frac{x^2}{2 \cdot R} \quad (4.9)$$

Considerando que el radio de curvatura mínimo será de 1000m.

En tramo tangente y en curva con radio menor o igual a 350m, deberá de efectuarse el levantamiento y el proyecto a cada 20m, en curva con radio menor a 350m, deberá de ser a cada 5m y en curvas verticales a cada 10m.

La tangente mínima considerada entre dos curvas verticales se consideró de 12m, existiendo casos excepcionales, dada la condición de las vías en ciertos puntos.

El tramo en cuestión que se proyectó se encontraba en una solución estructural tipo elevada, por lo cual no existe información de intradós.

4.3.2. Proyecto definitivo

Una vez que se tengan definidos los nuevos niveles de las tangentes de rasante propuestas, se hace el cálculo de las curvas verticales (Fig. 4.2),elaborando y plasmando estas en el plano del proyecto de renivelación de vías, indicando también los niveles del perfil de cada riel previo a los trabajos de mantenimiento, la rasante de proyecto, con los puntos de cada curva como el PCV (principia curva vertical), PTV (principia tangente vertical), etc. (Fig. 4.3).Este plano también debe de contener información como los tabulares de cadenamientos, los niveles de la rasante real de cada riel (izquierdo y derecho en sentido de los cadenamientos), rasante rectificadas y la diferencia entre la rasante

rectificada y la rasante real de cada riel, generando con esta información un gráfico del comportamiento de las diferencias de la rasante real y la nueva rasante para cada riel. Para el cálculo de una curva vertical, se requiere ubicar el PIV, definir las pendientes sucesivas entre las que se ubicará (pendiente de entrada y pendiente de salida), en función de los valores de esta pendiente, se definirá si es una curva en columpio o en cresta, así como cada uno de sus elementos.

CURVAS VERTICALES

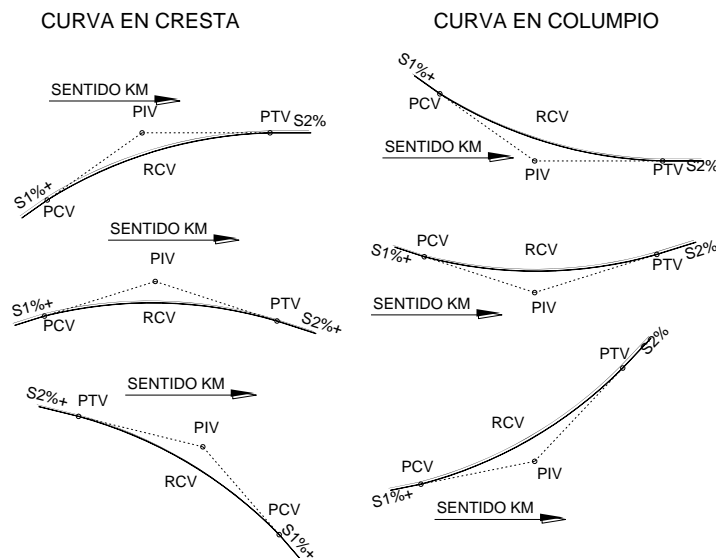
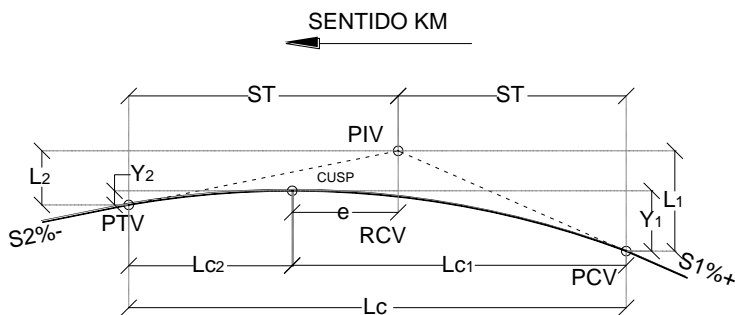


Figura4.2 Curvas verticales

ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL



SIMBOLOGÍA

- PCV= Principia Curva Vertical
- PIV= Punto de Inflexión (intersección) Vertical
- PTV= Pincipia Tangente Vertical
- CUSP= Cuspide
- ST= Subtangente
- Lc= Longitud de la curva
- e= Excentricidad
- Lc1= Distancia del PCV al PIV
- Lc2= Distancia del PTV al PIV
- L1= Distancia vertical del PCV al PIV
- L2= Distancia vertical del PTV al PIV
- Y1= Distancia vertical del PCV a la cuspide
- Y2= Distancia vertical del PTV a la cuspide
- S= Pendiente

Figura 4.3 Elementos de la curva vertical

4.3.3. Cálculo de una Curva Vertical

Se tomara como ejemplo la curva ubicada entre los PK's 0+105.000 y 0+125.000 sobre la vía G3:

Datos:

$$\begin{aligned} \text{PIV} &= 0+116.830 \\ \text{Elevación} & \\ \text{PIV} &= 2233.789 \\ S_1 &= +0.353\% \\ S_2 &= -0.218\% \\ R &= 2500\text{m} \end{aligned}$$

Procedimiento:

a) Lc_1 :

$$Lc_1 = S_1 \cdot R \quad (4.9)$$

$$Lc_1 = 0.00353 \cdot 2500$$

$$Lc_1 = 8.825 \text{ m}$$

b) Lc_2 :

$$Lc_2 = S_2 \cdot R \quad (4.10)$$

$$Lc_2 = -0.00218 \cdot 2500$$

$$Lc_2 = 5.45 \text{ m}$$

c) Lc :

$$Lc = Lc_1 + Lc_2 \quad (4.11)$$

$$Lc = 8.825 + 5.45$$

$$Lc = 14.275$$

d) ST :

$$ST = Lc/2 \quad (4.12)$$

$$ST = 14.275/2$$

$$ST = 7.137 \text{ m}$$

e) e

$$e = Lc_1 - ST \quad (4.13)$$

$$e = 8.825 - 7.137$$

$$e = 1.688 \text{ m}$$

L₁:

$$L_1 = ST \cdot S_1 \quad (4.14)$$

$$L_1 = 7.137 \cdot 0.00353$$

$$L_1 = 0.025 \text{ m}$$

f) L₂:

$$L_2 = ST \cdot S_2 \quad (4.15)$$

$$L_2 = 7.137 \cdot 0.00218$$

$$L_2 = 0.016 \text{ m}$$

g) Y₁:

$$Y = x^2 / 2R \quad (4.16)$$

$$Y_1 = x_1^2 / 2R \quad (4.17)$$

Si $x_1 = Lc_1 \quad (4.18)$

Sustituyendo 4.17 en 4.16 tenemos: $Y_1 = Lc_1^2 / 2R \quad (4.19)$

$$\therefore Y_1 = 8.825^2 / 2 \cdot 2500$$

$$Y_1 = 0.016 \text{ m}$$

h) Y₂:

$$Y_2 = x_2^2 / 2R \quad (4.20)$$

Si $x_2 = Lc_2 \quad (4.21)$

Sustituyendo 4.21 en 4.20 tenemos: $Y_2 = Lc_2^2 / 2R \quad (4.22)$

$$\therefore Y_2 = 5.45^2 / 2 \cdot 2500$$

$$Y_2 = 0.006 \text{ m}$$

Cálculo de cadenamientos y elevaciones

Ya que se tienen los puntos de la curva, se calculan los cadenamientos y elevaciones de PCV, PTV y la cúspide, utilizando la misma aproximación que el proyecto de trazo. El cálculo se hace de la siguiente manera:

a) Cadenamiento del PCV:

$$PCV = PIV - ST \quad (4.23)$$

$$PCV = (0 + 116.830) - 7.137$$

$$PCV = 0 + 109.693$$

b) Elevación del PCV:

$$Elev\ PCV = Elev\ PIV - L_1 \quad (4.24)$$

$$Elev\ PCV = 2233.789 - 0.025$$

$$Elev\ PCV = 2233.764$$

c) Cadenamiento del PTV:

$$PTV = PIV + ST \quad (4.25)$$

$$PTV = (0 + 116.830) + 7.137$$

$$PTV = 0 + 123.967$$

d) Elevación del PTV:

$$Elev\ PTV = Elev\ PIV - L_2 \quad (4.26)$$

$$Elev\ PTV = 2233.789 - 0.016$$

$$Elev\ PTV = 2233.773$$

e) Cadenamiento de la Cúspide

$$KM\ cusp = PIV + e \quad (4.27)$$

$$KM\ cusp = (0 + 116.830) + 1.688$$

$$KM\ cusp = 0 + 118.518$$

f) Elevación de la cúspide

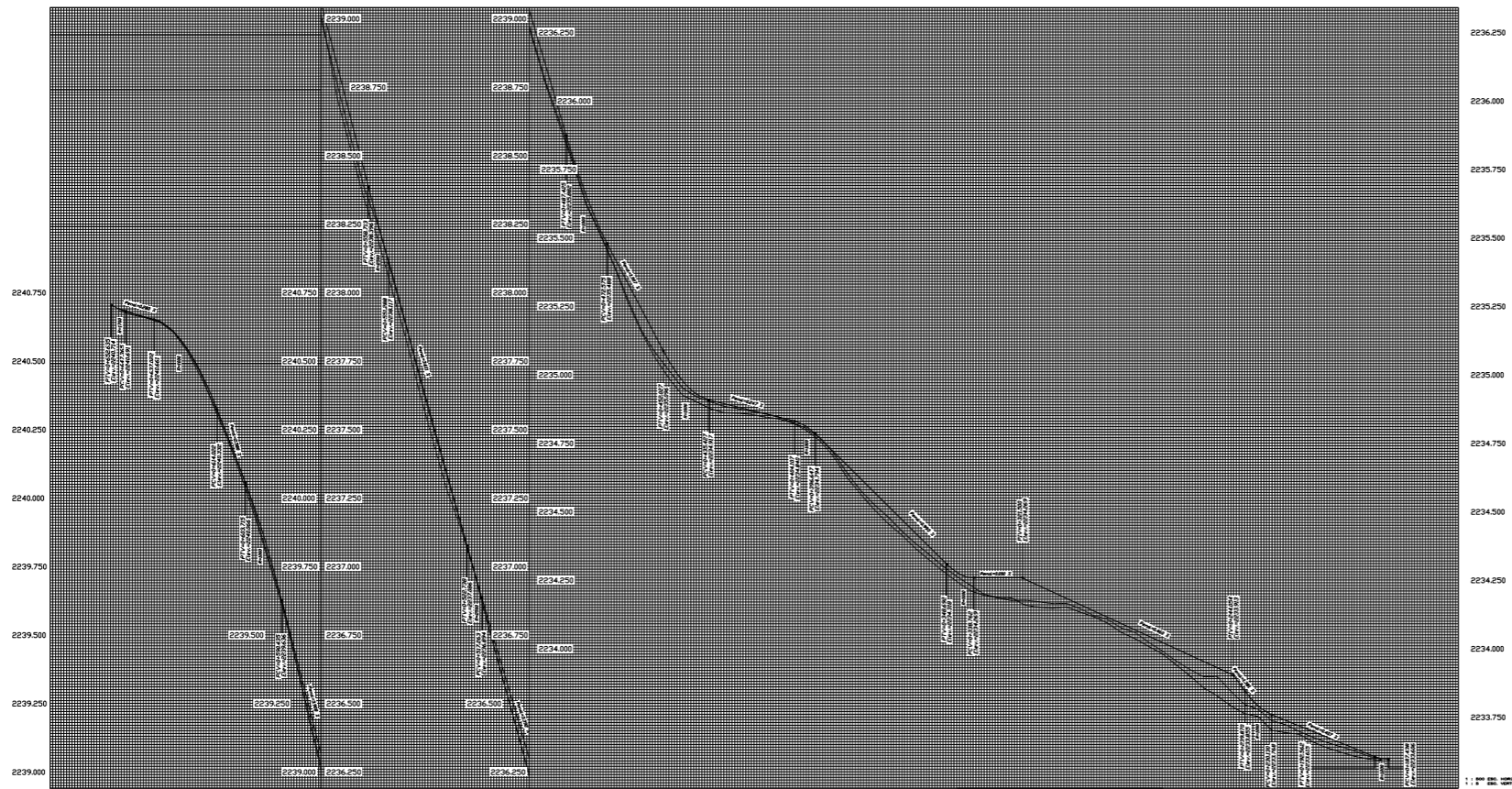
$$Elev\ Cusp = Elev\ PCV + Y_1 \quad (4.28)$$

$$Elev\ Cusp = 2233.764 + 0.016$$

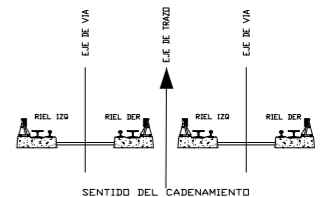
$$Elev\ Cusp = 2233.780$$

Es necesario que además de los niveles de los puntos principales de la curva vertical, se asignen los valores de los niveles a cada 5 metros sobre cadenamientos cerrados sobre la subrasante, utilizando la fórmula general $y = \frac{x^2}{2R}$ elaborando una tabla como la siguiente:

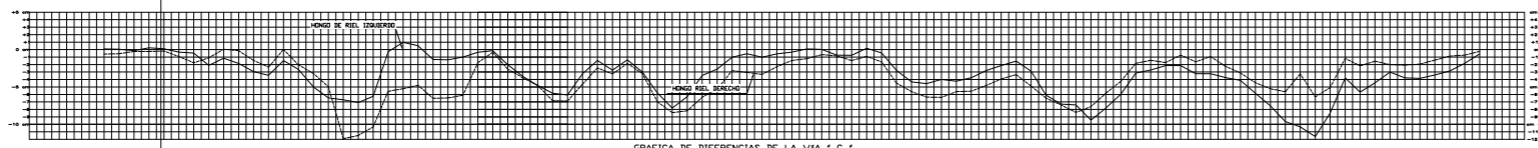
CALCULO DE CURVA VERTICAL		
TRAMO : Linea 9 Pantitlan-Nave de Deposito		
CURVA EN CRESTA		
	KM	ELEVACION
PIV=	0+116.830	2233.789
PCV=	0+109.693	2233.764
PTV=	0+123.968	2233.773
CUSPIDE=	0+118.518	2233.779
	0+118.518	2233.779
S₁= 0.353%		
S₂= -0.218%		
RCV= 2500		
LCV= 14.275		
ST= 7.1375		
CALCULO DE ELV. A CADA 5.00 mts		
	KM	ELEVACION
PCV=	0+109.693	2233.764
	0+110.000	2233.765
	0+115.000	2233.777
	0+120.000	2233.779
PTV=	0+123.968	2233.773



SIMBOLOGIA:
 RASANTE RECTIFICADA
 FONDO DE RIEL
 FONDO DE RIEL DERECHO



DIFERENCIAS (FONDO DE RIEL DERECHO) DIFERENCIAS (FONDO DE RIEL IZQUIERDO)	DIFERENCIAS (FONDO DE RIEL DERECHO) DIFERENCIAS (FONDO DE RIEL IZQUIERDO)
--	--



SIMBOLOGIA:
 LINDA DE COMPARACION
 FONDO DE RIEL
 FONDO DE RIEL DERECHO

TABULAR DE NIVELES DE LA VIA "C"

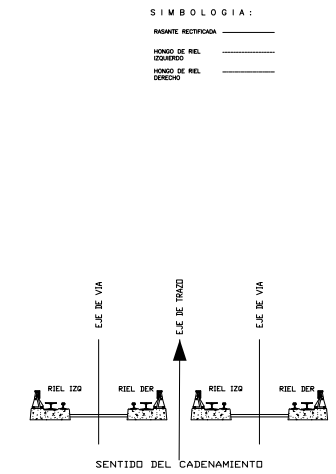
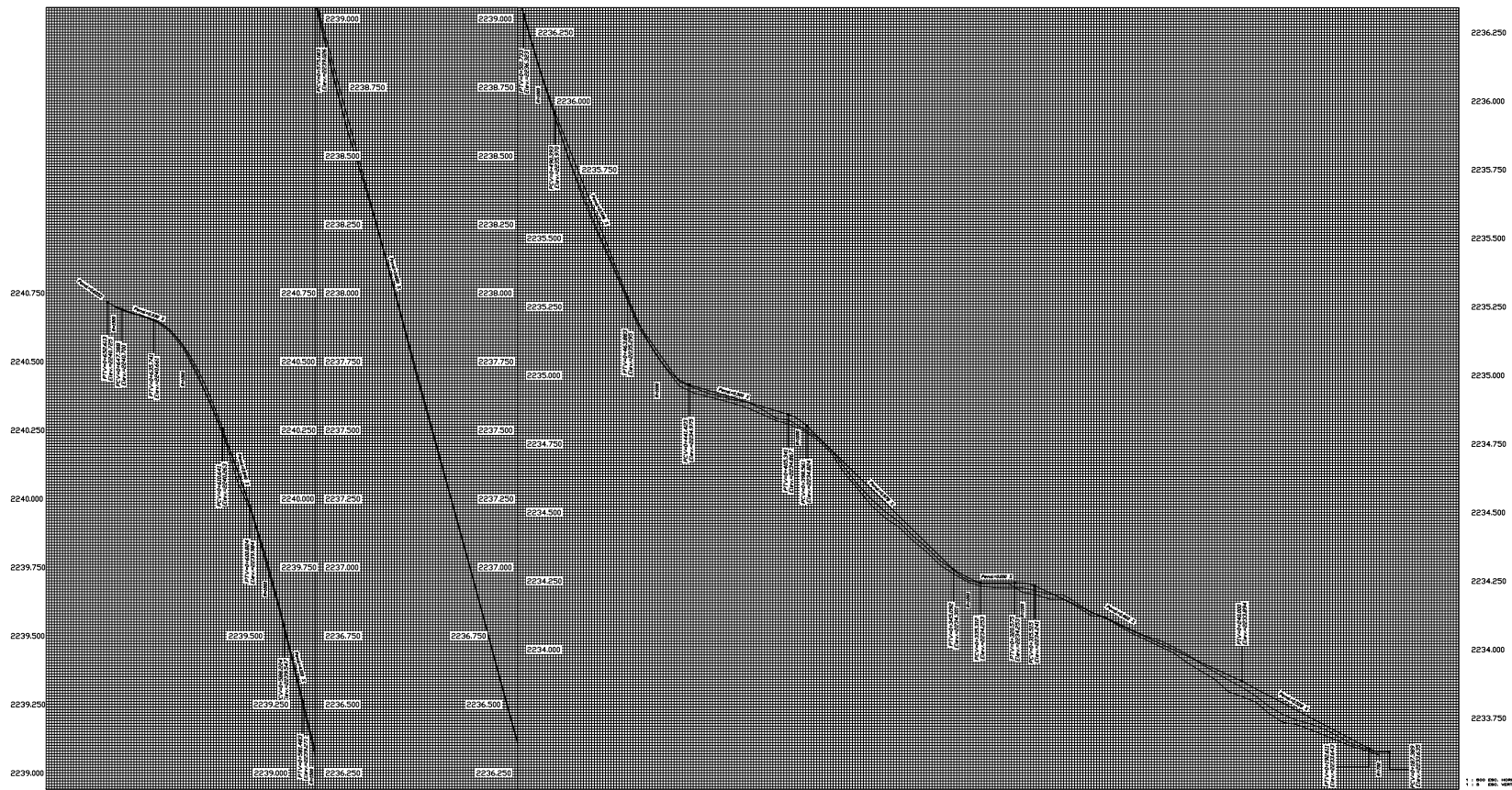
TRAZO ESQUEMATICO ESTACION PANTITLAN		A NAVE DE DEPOSITO	TRAZO ESQUEMATICO
ELEVACIONES RASANTE REAL (FONDO DE RIEL DERECHO) RASANTE REAL (FONDO DE RIEL IZQUIERDO) RASANTE RECTIFICADA CADENAMIENTOS	RASANTE REAL (FONDO DE RIEL DERECHO) RASANTE REAL (FONDO DE RIEL IZQUIERDO) RASANTE RECTIFICADA CADENAMIENTOS	ELEVACIONES RASANTE REAL (FONDO DE RIEL DERECHO) RASANTE REAL (FONDO DE RIEL IZQUIERDO) RASANTE RECTIFICADA CADENAMIENTOS	ELEVACIONES RASANTE REAL (FONDO DE RIEL DERECHO) RASANTE REAL (FONDO DE RIEL IZQUIERDO) RASANTE RECTIFICADA CADENAMIENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
F.E.S. ACATLÁN
 INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO PROFESIONAL
 DAVID E. RODRIGUEZ LOMELI

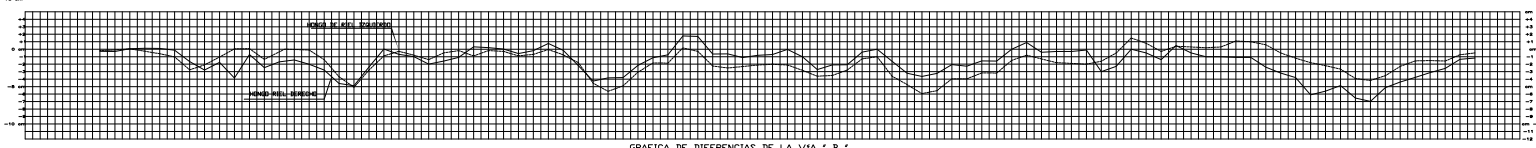


PROYECTO DE RENIVELACIÓN DE VIAS
LÍNEA 9
 TRAMO: NAVE DE DEPOSITO-EST. PANTITLAN
 SUBTRAMO: DEL KM 0+190.000 AL KM 0+650.000
 (VÍA "C")

PLANO
 14



DIFERENCIAS (+ FONDO DE RIEL QUERIDO)	DIFERENCIAS (+ FONDO DE RIEL DERECHO)	DIFERENCIAS (+ FONDO DE RIEL QUERIDO)	DIFERENCIAS (+ FONDO DE RIEL DERECHO)
---	---	---	---



SIMBOLOGIA:
 LINEA DE COMPROMISO
 HONGO DE RIEL QUERIDO
 HONGO DE RIEL DERECHO
 DEL CADENAMIENTO 1:100

TABULAR DE NIVELES DE LA VIA "B"

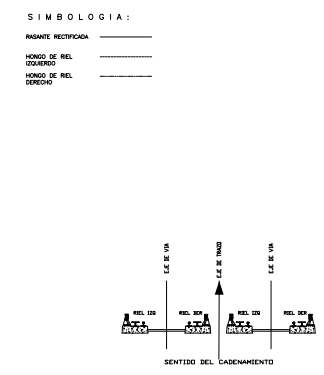
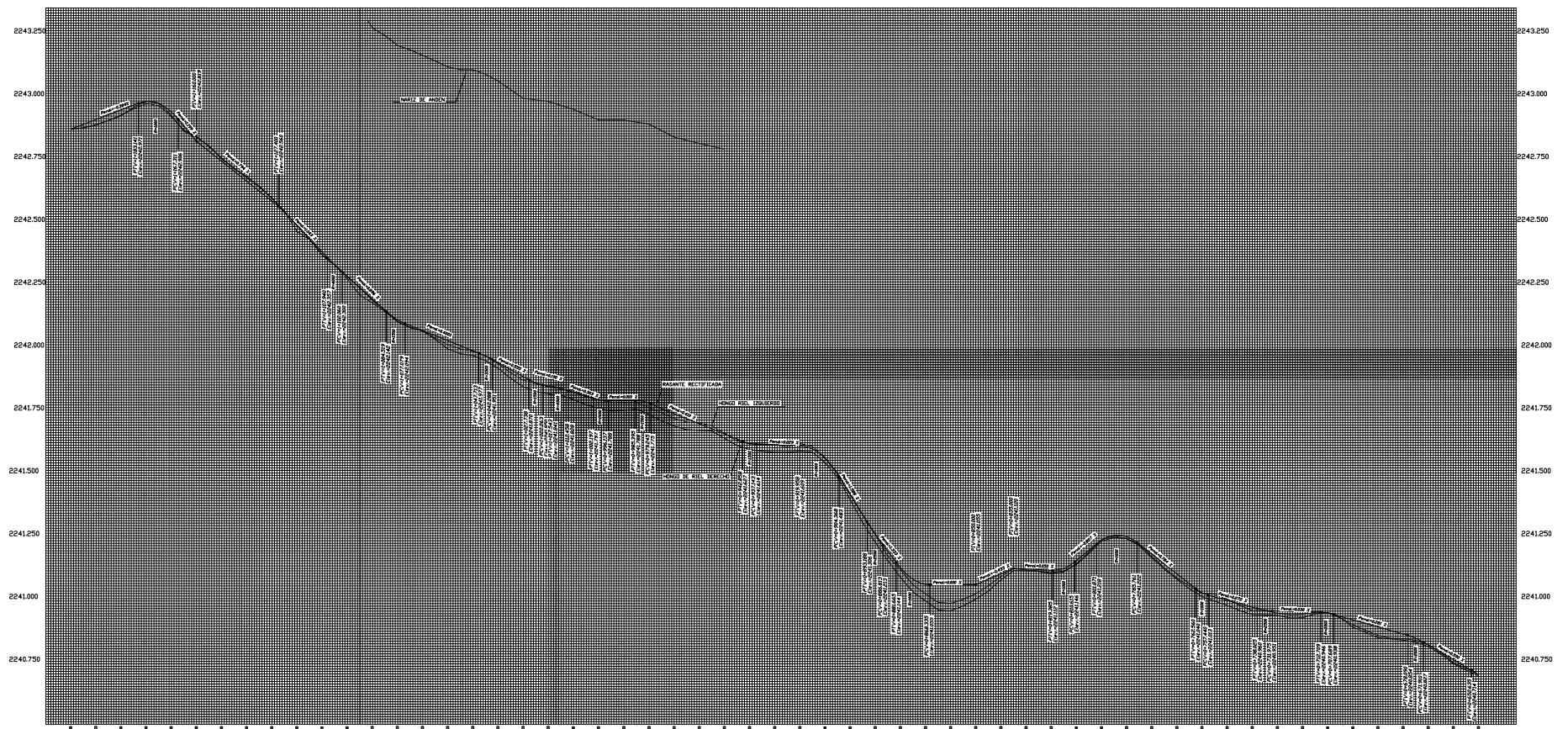
TRAZO ESQUEMATICO	A ESTACION PANTITLÁN	A NAVE DE DEPOSITO	TRAZO ESQUEMATICO
RASANTE REAL (+ FONDO DE RIEL QUERIDO)			RASANTE REAL (+ FONDO DE RIEL QUERIDO)
RASANTE REAL (+ FONDO DE RIEL DERECHO)			RASANTE REAL (+ FONDO DE RIEL DERECHO)
RASANTE RECTIFICADA			RASANTE RECTIFICADA
CADENAMIENTOS			CADENAMIENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
F.E.S. ACATLÁN
 INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO PROFESIONAL
 DAVID E. RODRIGUEZ LOMELI

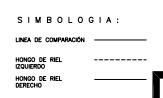
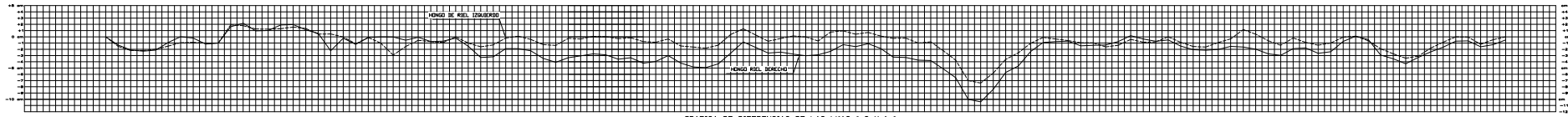


PROYECTO DE RENIVELACIÓN DE VIAS
LÍNEA 9
 TRAMO: NAVE DE DEPOSITO-EST. PANTITLÁN
 SUBTRAMO: DEL KM 0+190.000 AL KM 0+650.000
 (VÍA "B")

PLANO
 15



DIFERENCIAS (HONDO DE REL. IZQUIERDA)	2243.250	2243.200	2243.150	2243.100	2243.050	2243.000	2242.950	2242.900	2242.850	2242.800	2242.750	2242.700	2242.650	2242.600	2242.550	2242.500	2242.450	2242.400	2242.350	2242.300	2242.250	2242.200	2242.150	2242.100	2242.050	2242.000	2241.950	2241.900	2241.850	2241.800	2241.750	2241.700	2241.650	2241.600	2241.550	2241.500	2241.450	2241.400	2241.350	2241.300	2241.250	2241.200	2241.150	2241.100	2241.050	2241.000	2240.950	2240.900	2240.850	2240.800	2240.750	DIFERENCIAS (HONDO DE REL. IZQUIERDA)
DIFERENCIAS (HONDO DE REL. DERECHA)	2243.250	2243.200	2243.150	2243.100	2243.050	2243.000	2242.950	2242.900	2242.850	2242.800	2242.750	2242.700	2242.650	2242.600	2242.550	2242.500	2242.450	2242.400	2242.350	2242.300	2242.250	2242.200	2242.150	2242.100	2242.050	2242.000	2241.950	2241.900	2241.850	2241.800	2241.750	2241.700	2241.650	2241.600	2241.550	2241.500	2241.450	2241.400	2241.350	2241.300	2241.250	2241.200	2241.150	2241.100	2241.050	2241.000	2240.950	2240.900	2240.850	2240.800	2240.750	DIFERENCIAS (HONDO DE REL. DERECHA)



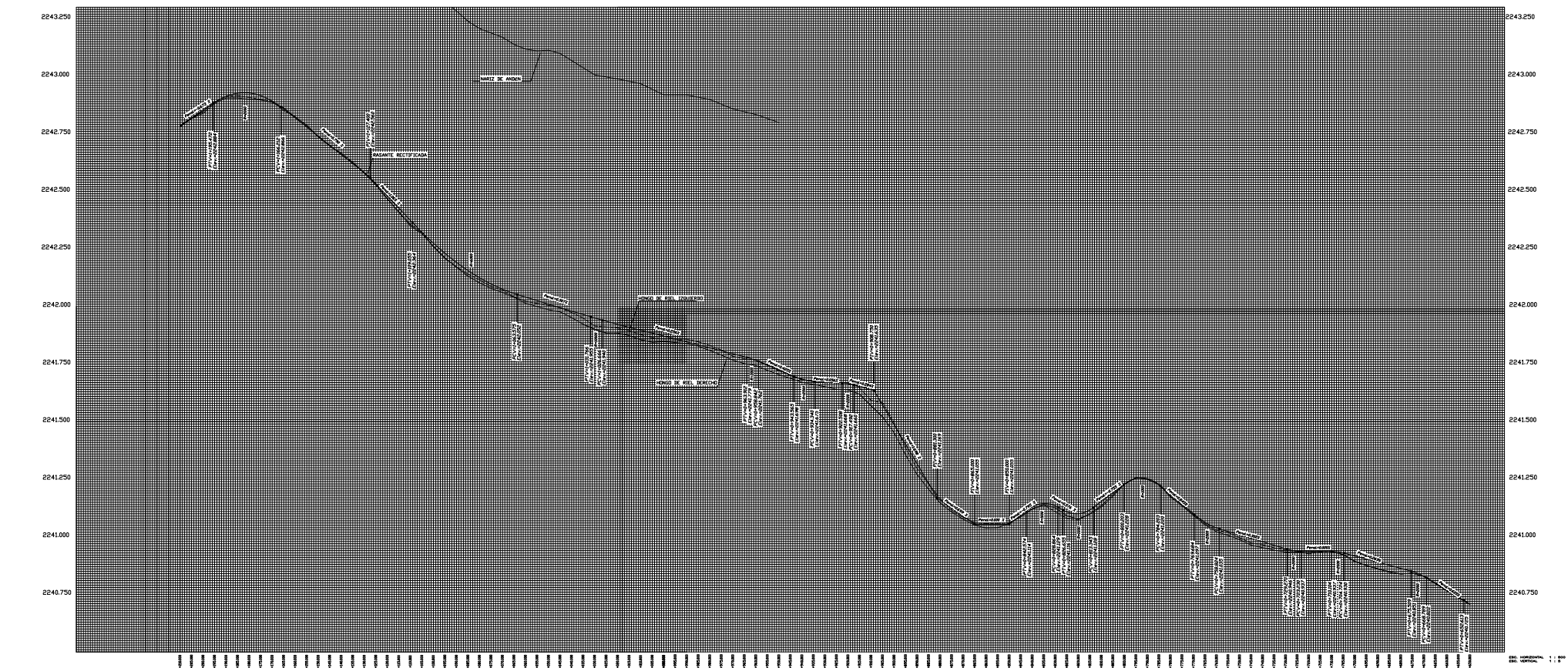
GRAFICA DE DIFERENCIAS DE LAS VIAS "C Y 1"
TABULAR DE NIVELES DE LAS VIAS "C Y 1"

TRAZO ESQUEMATICO	ESTACION		ANDEN DE MANIOBRAS		A NAVE DE DEPOSITO		TRAZO ESQUEMATICO
NARIZ DE ANDEN	0+000	0+000	0+000	0+000	0+000	0+000	NARIZ DE ANDEN
RASANTE REAL (HONDO DE REL. IZQUIERDA)							RASANTE REAL (HONDO DE REL. IZQUIERDA)
RASANTE REAL (HONDO DE REL. DERECHA)							RASANTE REAL (HONDO DE REL. DERECHA)
PASANTE RECTIFICADA							PASANTE RECTIFICADA
CADENAMIENTOS							CADENAMIENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
F.E.S. ACATLÁN
 INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO PROFESIONAL
 DAVID E. RODRÍGUEZ LOMELI

**PROYECTO DE RENIVELACIÓN DE VIAS
 LINEA 9**
 TRAMO: NAVE DE DEPOSITO-EST. PANTITLÁN
 SUBTRAMO: DEL KM 0+650.000 AL KM 1+210.636
 (VIAS "C" Y "1")

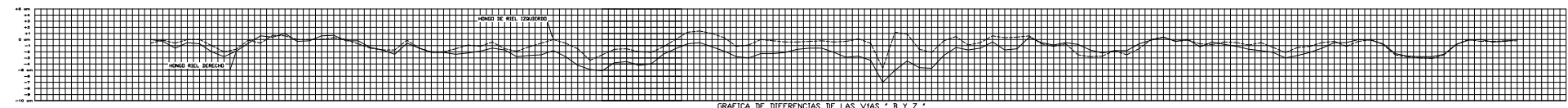
PLANO
 16



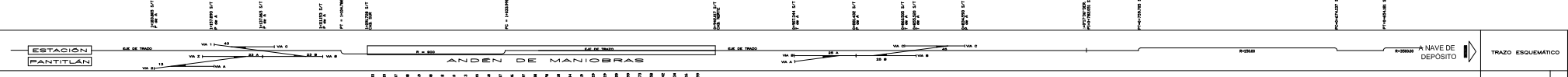
- SIMBOLOGIA:
- RASANTE RECTIFICADA
 - HONDO DE REL. GOBIERNO
 - HONDO DE REL. DERECHO



DIFERENCIAS (HONDO DE REL. GOBIERNO)		DIFERENCIAS (HONDO DE REL. DERECHO)
DIFERENCIAS (HONDO DE REL. GOBIERNO)		DIFERENCIAS (HONDO DE REL. DERECHO)
DIFERENCIAS (HONDO DE REL. DERECHO)		DIFERENCIAS (HONDO DE REL. GOBIERNO)



- SIMBOLOGIA:
- LINEA DE COMPARACION
 - HONDO DE REL. GOBIERNO
 - HONDO DE REL. DERECHO



ELEVACIONES	TRAZO ESQUEMATICO	TRAZO ESQUEMATICO
NARIZ DE ANDEN	ESTACION [PANTITLAN] ...	NAVE DE DEPOSITO
RASANTE REAL (HONDO DE REL. GOBIERNO)	...	RASANTE REAL (HONDO DE REL. GOBIERNO)
RASANTE REAL (HONDO DE REL. DERECHO)	...	RASANTE REAL (HONDO DE REL. DERECHO)
RASANTE RECTIFICADA	...	RASANTE RECTIFICADA
CADERNAMIENTOS	...	CADERNAMIENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
F.E.S. ACATLÁN
 INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO PROFESIONAL
 DAVID E. RODRÍGUEZ LOMELI



PROYECTO DE RENOVACIÓN DE VIAS
LINEA 9
 TRAMO: NAVE DE DEPOSITO-EST. PANTITLAN
 SUBTRAMO: DEL KM 0+650.000 AL KM 1+210.636
 (VIAS "B" Y "Z")

PLANO
 18

4.4. IMPLANTACIÓN DE PROYECTO DE TRAZO

Una vez que el proyecto de trazo es concluido y aprobado, se hace la implantación del mismo en campo, considerando todos los elementos y puntos obligados del mismo, tal y como se describe.

4.4.1. Referencias

Se hace una restitución del eje de trazo, en el cuál se incluyen las curvas horizontales, así como la ubicación de cada eje de vía, partiendo de las referencias que existentes, las cuales fueron el origen de la implantación de la vía, en zona de curvas se respetaron los elementos de las curvas originales, realizando ajustes pequeños para tratar de no alterar su geometría actual, colocando los puntos principales de una curva sobre pantallas en fondo azul marino y números amarillo tránsito (Fig. 4.4).



Figura 4.4 Pantallas Indicativas.

En tramo tangente, se debe de implantar el eje de trazo, y en zonas de curvas, deberán de trazarse los ejes de cada vía.

El proyecto de trazo se implanta una vez que se encuentra aprobado y es necesario para que la obra sea ejecutada, con la ayuda de equipo topográfico, gatos, escaleras y barretas, así como equipo hidráulico para alcanzar las correcciones indicadas por el proyecto.

Para la corrección geométrica de la vía se considera un riel como directriz, utilizando este como referencia para hacer los ajustes necesarios.

4.4.2. Tolerancias

Para la implantación del proyecto de trazo en campo deben de considerarse las siguientes tolerancias:

- La posición del riel directriz en la ubicación de los puntos de referencia: ± 3 mm.
- La alineación en todos los puntos, en curvas de radio mayor de 150 m, medidas con cuerda de 10 m, desplazadas en tramos de 5 m: ± 2 mm, considerándose no acumulativa con el punto anterior.

- Alineación en todos los puntos, en curvas de radio menor o igual que 150 m, medida con cuerda de 10 m desplazada en tramos de 2 m: ± 2 mm, considerándose no acumulativa con el primer punto.

4.4.3. Verificación de la Implantación del Proyecto de Trazo

Se debe hacer una verificación de alineamiento de los durmientes, los cuales deben encontrarse ubicados perpendicularmente a los rieles de las vías. Debido a que estos se encuentran expuestos a esfuerzos mecánicos producidos por el paso de los trenes y a desplazamientos por los cambios de temperatura experimentados en los rieles y pistas de rodamiento, debe realizarse el alineamiento de los mismos cuando es requerido.

Es necesario verificar que los rieles estén correctamente fijados, por medio del apriete correcto de los tirafondos, así como los demás elementos que componen a la vía.

La barra guía, debido al paso del material rodante, tiende a sufrir deformaciones y desajustes, debe ser rectificadas y se debe verificar que la distancia existente entre el borde interno de rodamiento del hongo de riel y el paño interior del perfil angular por el cual se forma la barra guía será de 0.553 m en zona de curva, de la misma manera para tramos tangente en donde exista una sola barra guía como es el caso de la zona de peines y aparatos, naves de depósitos, cola de maniobras con dos barras guías, etc. La distancia entre el riel y la barra guía será de 0.533 m.

Se hace una verificación de los gálidos horizontales existentes, estos son a cada 20 m en tramo tangente, en curvas con r mayor o igual a 500 m, es a cada 5 m y en curvas con radio menor a 200 m, debe ser a cada 2 m, esta información se encuentra registrada en campo mediante pantallas en fondo color azul marino y letras amarillo tránsito según especificaciones.

4.5. IMPLANTACIÓN DE PROYECTO DE PERFIL

Del mismo modo que el proyecto de trazo, se implanta en campo una vez que fue concluido correctamente y aprobado, es referido al eje de trazo real proyectado y se refleja sobre los rieles de cada vía fijando la posición definitiva de la parte superior del hongo de riel en cuanto a niveles.

Para la correcta ejecución de los trabajos de renivelación, se debe de contar con los planos del proyecto de perfil, el cual indica la rasante corregida, con las alturas que deben de modificarse, la posición del hongo de riel de cada vía, en el cadenamiento que le corresponda.

4.5.1. Referencias

Usando como base los bancos de nivel utilizados para propagar las nivelaciones de los hongos de riel, se colocarán en los muros, puntos fijos a una altura constante, denominados R+070, estos se ubican 0.70 m arriba del nivel del hongo de riel, siendo referencia para alcanzar los niveles solicitados. Estas marcas se colocan a cada 20 m en tramo tangente y curvas con radio mayor a 500 m, en curvas con radio menor a 500 m, deben de colocarse a cada 5.00 m y en curvas verticales a cada 10.00 m.

El proyecto de realineación de vía se implanta una vez que se hayan definido los kilometrajes del nuevo proyecto de trazo, para que los puntos a corregir se refieran a este.

4.5.2. Tolerancias

Para el proyecto de perfil se consideran las siguientes tolerancias:

- La variación máxima de la elevación del riel directriz, con respecto a la rasante rectificadora será de ± 3 mm.
- La variación existente entre dos puntos del riel directriz entre dos marcas distantes 25 m entre sí será de ± 3 mm.
- La variación de la elevación transversal medida sobre una base de 5.0 m, será de 0.5 mm/m.

4.5.3. Verificación de la Implantación del Proyecto de Perfil

Una vez que fue implantado el proyecto de perfil en campo, se debe verificar por medio de las marcas utilizadas como referencias, que el nivel fijado, corresponda con las elevaciones de la rasante rectificadora del proyecto de Perfil, esto deberá ser por ambas vías, repitiéndose la verificación de este después del asentamiento provocado por el paso de los trenes, corrigiendo los puntos que hayan sido alterados

CONCLUSIONES.

El Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro es la columna vertebral del transporte público en la Ciudad de México, su principal función es transportar a los mil 414 millones 907 mil 798 usuarios por año, a través de sus 20 km de vías, en sus 11 líneas y 175 estaciones que lo forman hasta ahora.

En la actualidad el desarrollo y construcción de las líneas contempladas para el horizonte 2020 del P.M.M.T.L. (Plan Maestro del Metro y Trenes Ligeros) se ha rezagado con el paso del tiempo, considerando que se tienen contempladas 26 líneas para este horizonte, de las cuales actualmente solo existen 11 y una decimosegunda en construcción.

Considerando el incremento desmesurado de la población del Distrito Federal y la zona conurbada, y el rezago en la ampliación y construcción de nuevas líneas, genera una gran demanda de medios de transporte colectivo público y ante la decadencia e ineficiencia de los transportes de superficie existentes, ocasiona una sobre explotación al STC, reflejado esto en un deterioro prematuro y acelerado de las instalaciones, así como del material rodante, y menor tiempo destinado al mantenimiento preventivo y correctivo.

Muchas veces, por cuestiones de tiempo, no es programado de forma adecuada el mantenimiento preventivo, pasándose por alto, o no efectuándolo cuando es debido, ocasionando problemas que conducen a fallas mayores que requieren de un mantenimiento mayor, el cual muchas veces suele ser más complicado, tardado y costoso, derivando en retrasos, fallas, deterioro prematuro de las instalaciones así como del material rodante, mayores costos de operación y en general, una mala calidad de servicio.

Las vías, un componente de las instalaciones que está en uso frecuente, deben de mantenerse en óptimas condiciones siendo éstas uno de los elementos que se encuentran sometidos a mayor desgaste, ya que una falla obligaría la suspensión del servicio en la línea donde se suscitara, obligando a hacer uso de los servicios provisionales, con una operación más lenta por las maniobras requeridas para la operación del mismo.

Las maniobras para el cambio de vía en los puntos terminales de cada línea, son necesarias y de suma importancia, parte integral de la operación de una línea, su función es ubicar el tren en la posición indicada para cada itinerario

Un mal estado de las condiciones generales de las vías además de los inconvenientes generados, en vías secundarias, como en el caso de las colas de maniobras, repercute directamente en la calidad de marcha del tren, deteriorándolo prematura e innecesariamente.

Para contrarrestar estas condiciones en la línea 9 del STC, se efectúa el mantenimiento preventivo recabando la información topográfica necesaria y con base en las especificaciones indicadas por el STC, se elabora el proyecto geométrico, respetando velocidades, radios de curvatura, pendientes, niveles y tolerancias de cada uno de ellos, así como la verificación y supervisión de la correcta ejecución de los trabajos en función a lo indicado por el proyecto, garantizando así una adecuada rehabilitación de las vías, tratando de conservar dentro de lo posible las condiciones originales con que fue proyectada la línea 9, y con el mantenimiento preventivo, conservar y optimizar la vida útil de las instalaciones de la línea.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre

Biol. Ma. Delia Lomeli Bolaños, que gracias a ella soy la persona formada hoy, y representa para mí uno de mis dos pilares en mi formación académica, pero aún más importante, humanamente

A mi padre

M. en C. David Rodríguez Bravo, que gracias a su ejemplo y apoyo durante toda mi vida he logrado concretar mis metas, y representa para mí el otro pilar que me ayudó a concretar esta etapa académica.

A mis hermanos

Pablo Emilio y Julio Omar que siempre participaron en mi vida, y son parte muy importante de la familia que me da la fuerza para concluir mis metas.

A mi Universidad

La cuál es una parte fundamental en mi formación académica, y a la que debo de alguna manera gran parte de mis triunfos y logros profesionales.

A mis profesores.

Que desde una etapa incipiente contribuyeron a mi formación como persona y profesionista, la cual se refleja en la persona que soy.

A mis amigos y compañeros.

Por sus conocimientos y experiencias, que contribuyeron de forma directa o indirectamente con este trabajo

Con agradecimiento especial.

A COMINSA, empresa la cual contribuyó de manera significativa a mi formación como profesionista, a mis compañeros de trabajo y amigos que gracias a sus conocimientos y experiencias compartidas me permitieron concretar este trabajo.

Al Ing. Rubén A. Ochoa Torres por el apoyo brindado durante la elaboración de este trabajo. Y al M en I. Pablo Miguel Pavía Ortiz por la orientación brindada a lo largo de mis estudios dentro de la Universidad.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Alcántara G.D.A., (2001), “Topografía”, Fundación ICA, A.C., México D.F.

Borja N.A., ICA., (1997)., “Treinta años de hacer el Metro: Ciudad de México”, Grupo ICA., México D.F.

C.O.V.I.T.U.R., (1986), “Especificaciones para el proyecto y construcción de las líneas del metro de la ciudad de México”, Comisión de Vialidad y transporte urbano (C.O.V.I.T.U.R.), Vol. 1, México D.F., septiembre.

Ochoa T.R.A., “Proyecto geométrico del metropolitano de la ciudad de México, línea 6 poniente. Tramo: vallejo-instituto mexicano del petróleo”, UNAM. ENEP Acatlán., Estado de México 1985.

Togno F.M. (1982 2da Ed.), “Ferrocarriles”, Representaciones y servicios de ingeniería, S.A., México D.F., Septiembre.

Villazana L.J.C., (2003), “Vía de enlace del metropolitano línea B con línea 5 de la red del sistema de transporte colectivo metro de la ciudad de México: Correspondencia Oceanía”, U.N.A.M. E.N.E.P. Acatlán., México., Marzo.

<http://www.metro.df.gob.mx/>

<http://www.publispain.com/viajes/mexico/estadisticas.htm>

<http://www.abcpedia.com/construccion/maquinas/vapor.html>

Figura 1. Foto del autor. Mural de Luís Covarrubias,
La isla de México en el S. XVI. Sala Mexica del M.N.A.

Figura 2. Archivo de M. Carballal y M. Flores. Ilustración digital Raíces (editado).
Revista Arqueología Mexicana No. 68, Pág. 33