



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

Tesis

“Diseño del proyecto geométrico del ferrocarril de la Línea 12 de la Ciudad de México con la aplicación del software Ispol Istram.”

Que Presenta

César Adrián Velarde Salas

Para Obtener el título de Ingeniero Civil

Año 2012

Director de Tesis: M.I. Hugo Haaz Mora



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.







“Diseño del proyecto geométrico del ferrocarril de la Línea 12 de la Ciudad de México con la aplicación del software Ispol Istram.”



*A la memoria de mi padre por enseñarme a luchar
y mostrarme las capacidades reales de un ser humano.*



Agradecimientos:

Gracias a Dios por darme la oportunidad de realizar esta meta.

Comparto mi dicha con mi alma máter que por su grandeza me he desarrollado en el campo laboral de manera sobresaliente.

Este trabajo no hubiera sido una realidad sin el apoyo de mi familia y las bases que en mi formaron de responsabilidad y empeño para lograr los objetivos buscados por uno mismo.

Gracias al apoyo de todos los seres humanos que estuvieron a mi lado, que me incentivaron y apoyaron en muchos sentidos.

Por último y no menos importante un agradecimiento a mi director de tesis y mis sinodales, Profesores que han sido mi ejemplo a seguir en mi desarrollo profesional, siempre conduciéndose con rectitud y sobresaliente retribución a la Máxima Casa de Estudios, la UNAM.



Índice

	Introducción.....	7
1.	Antecedentes.....	8
1.1.	Ciudad de México.....	8
1.2.	Problemática del transporte en la Ciudad de México.....	10
1.3.	Estado Actual.....	12
1.4.	Beneficios del STC a la Ciudad de México.....	15
2.	Descripción del proyecto.....	16
2.1.	Descripción.....	16
2.2.	Generalidades.....	22
2.3.	Proyecciones a futuro.....	26
3.	Descripción del software Istram Ispol.....	26
3.1.	Descripción de la plataforma.....	26
3.2.	Alcances y desarrollo.....	26
3.3.	Modulo ferrocarriles.....	28
4.	Desarrollo del proyecto geométrico.....	29
4.1.	Metodología.....	29
4.2.	Trazado en planta.....	31
4.2.1.	Criterios de diseño.....	39
4.2.2.	Cálculos geométricos.....	40
4.2.3.	Listados de replanteo.....	46



4.3.	Trazado en perfil longitudinal.....	47
4.3.1.	Criterios de diseño.....	53
4.3.2.	Cálculos geométricos.....	53
4.3.3.	Listados de replanteo.....	54
4.4.	Secciones transversales (Proyecto de Gálibos).....	55
4.4.1.	Criterios de diseño.....	61
4.4.2.	Cálculos geométricos.....	64
4.4.3.	Listados de replanteo.....	74
5.	Resumen.....	75
6.	Conclusiones.....	76
7.	Bibliografía.....	77
7.1.	Bibliografía.....	77
7.2.	Mesografía.....	77

Anexo I – Planos finales del proyecto de la Línea 12 del Metro



Introducción

La tesis que se desarrolla en este documento tiene como finalidad la introducción al software Istram Ispol aplicada al proyecto particular de la línea 12 del Metro de la Ciudad de México, siendo este software uno de los más utilizados para proyectos de “obra lineal” de gran envergadura en España.

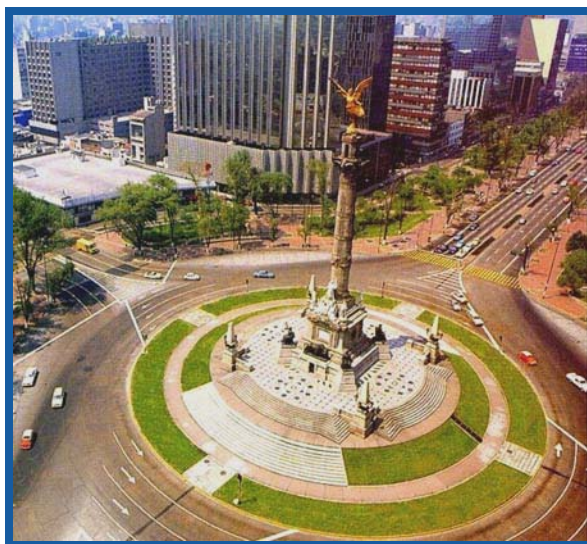
El proyecto geométrico de esta nueva línea del Metro se realizó al 100% con este software introduciendo una nueva herramienta que incorpora el trazado en planta y perfil simultáneamente de una manera más dinámica en comparación con las plataformas ya conocidas por muchos aquí en México.

1. Antecedentes.

1.1. Ciudad de México.

La Ciudad de México o Distrito Federal es la capital y sede de los poderes federales de los Estados Unidos Mexicanos, constituye una de sus 32 entidades federativas y forma con la Zona Metropolitana del Valle de México la aglomeración urbana más poblada de América y una de las más pobladas del mundo.

La superficie del Distrito Federal ocupa alrededor de 1964 kilómetros cuadrados, la décima parte de la cuenca de México. En 2010 se reportó una población de 8'851,080 de habitantes por lo que la capital es la segunda entidad federativa mexicana con mayor población, después del estado de México.



Fotografía del Ángel de la Independencia extraída del sitio <http://www.mexicomaxico.org/ParisMex/resumen.htm>



Según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el territorio del Distrito Federal se localiza en la provincia geológica de Lagos y Volcanes del Anáhuac. El límite norte del Distrito Federal está dado por la sierra de Guadalupe del que forma parte el cerro del Tepeyac. Hacia el centro oriente del Distrito Federal se localiza la sierra de Santa Catarina, una cadena de volcanes apagados cuyo punto más alto es el volcán de Guadalupe o El Borrego, que se eleva 2,780 metros sobre el nivel del mar. En algunas descripciones de la geografía capitalina se suele incluir al cerro de la Estrella como parte de la sierra de Santa Catarina.



Fotografía panorámica de la Ciudad de México extraída del sitio <http://usuarios.multimania.es/ericklongoria/hpbimg/cd%20mexico.jpg>

La planicie del valle de México, en el que se asienta la mayor parte de los habitantes del Distrito Federal sólo es interrumpida por pequeñas lomas y cerros, de los cuales destacan el peñón de los Baños, localizado cerca del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y al sureste, en la salida a Puebla, se levanta el peñón Viejo.



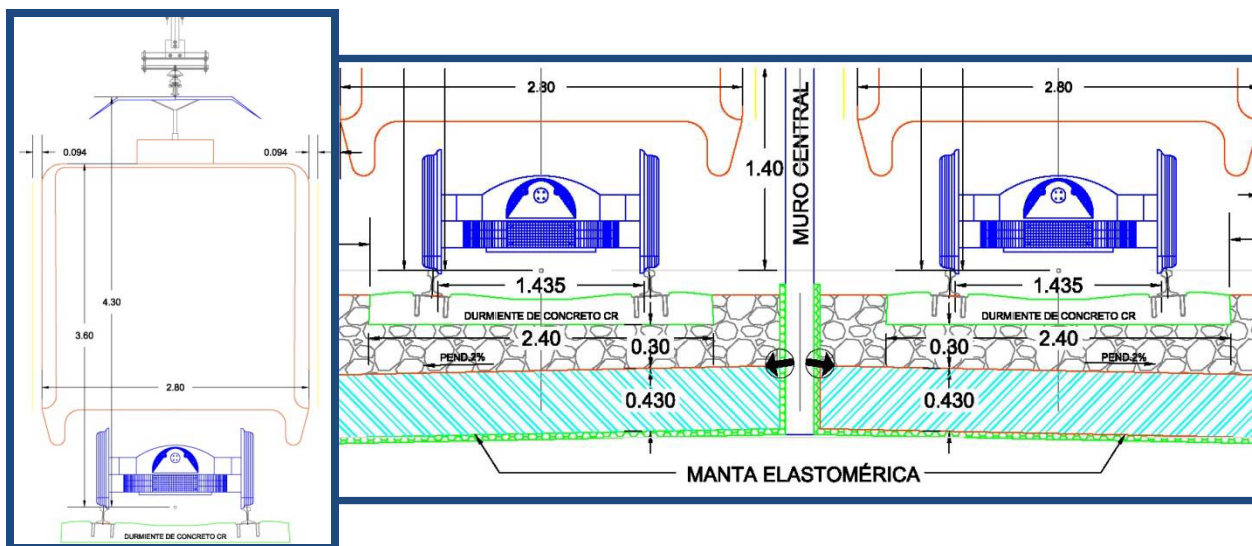
Fotografía panorámica de la Ciudad de México extraída del sitio <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2f/MexCityPolution.JPG>

1.2. Problemática del transporte en la Ciudad de México.

Un centro urbano se desarrolla como un sistema abierto en el cual entra y sale energía a través de sus fronteras. La forma de hacer salir y entrar dicha energía, es a través de los sistemas de transportes. Los diferentes tipos de transportes se pueden dividir según su modo como a continuación se enlistan:

- Transporte por carretera: peatones, bicicletas, automóviles y otros vehículos sin rieles.
- Transporte por ferrocarril, sobre vías férreas.
- Transporte por vías navegables: transporte marítimo y transporte fluvial.
- Transporte aéreo: aeronaves y aeropuertos.
- Transporte combinado: se utilizan varios modos de transporte y la mercancía se transborda de un vehículo a otro. Este modo de transporte se ha desarrollado dando lugar al transporte intermodal o transporte multimodal, en el que la mercancía se agrupa en «unidades superiores de carga», como el contenedor, que permiten el transporte por diferentes vías.
- Transporte vertical: ascensores y montacargas.
- Transporte por tuberías: oleoductos y gasoductos, en los que se impulsan fluidos a través de tuberías mediante estaciones de bombeo o de compresión.

El modo de transporte que se desarrolla en esta tesis es el transporte por ferrocarril. Ya que la línea 12 del Metro de la Ciudad de México, está compuesta por un material rodante el cual se desplaza sobre rieles y por tal motivo es considerada dentro de este tipo de transporte.



Material Rodante sobre rieles (Usado en la línea A y 12 del Metro)

La principal problemática de los sistemas de transporte en una ciudad como es el D.F. es la falta de espacios para su correcto desarrollo, debido a que se presenta una urbanización prácticamente del 100% en la zona centro de dicha metrópoli, por tal motivo la búsqueda de medios de transporte los cuales puedan convivir con una urbe de esta magnitud a llevado a los expertos a encontrar diversas alternativas que solucionen dichos problemas de espacios y convivencia de la infraestructura actual y de la nueva que se necesitare para aplicar estos nuevos sistemas de transporte.

El crecimiento desmedido e inadecuado de la ciudad de México debido a una mala planeación ha llevado consigo a una grave problemática de transporte en la ciudad, ya que normalmente en un recorrido de una persona promedio de su hogar a su centro de trabajo se invierte alrededor de 1,5 horas por viaje, esto repercute en la productividad de la Ciudad de México en todos los niveles. Por este motivo se han buscado soluciones de automatización como lo son el Sistema de Transporte Colectivo Metro, el cual por considerarse un sistema continuo favorece el traslado de una mayor cantidad de usuarios en un tiempo más corto y con un volumen mucho mayor de personas transportadas. Además de la gran ventaja que al ser un sistema confinado no existen agentes externos, como lo son el tráfico vehicular, que influyen en el desarrollo día a día de este servicio.

La alta demanda de transporte que se presenta en la ciudad de México ha despertado el interés de los grandes empresarios y se ha dado cuenta que es muy rentable, por lo cual han comenzado a crear concesiones en las rutas de los transportes colectivos, mejorando el nivel de servicio, disminuyendo el tiempo de recorrido pero trayendo consigo un aumento en los costos de las tarifas, sin embargo por encontrarse en un transito combinado con los vehículos particulares estas soluciones no han repercutido de una manera significativa. El único caso en el cual se ve una diferenciación entre el transito del sistema de transporte colectivo y el transporte vehicular privado es el caso del metrobús, que a ultimas fechas ha tomado un auge mayor, sin embargo aun faltan demasiadas rutas capaces de impactar en una disminución considerable en el transporte del diario de los usuarios que esta ciudad demanda.



Sistema de transporte confinado Metrobús



Sistema de transporte no confinado (Paseo de la Reforma)



Por estos motivos y por razones ecológicas actualmente en ciudades en desarrollo a nivel mundial se están buscando soluciones que disminuyan las emisiones de CO² esto con la finalidad de cumplir con el protocolo de Kioto. El sistema de transporte colectivo Metro que existe en la ciudad de México es en gran medida escaso pues en comparación con el de países mas desarrollados como lo es la ciudad de Paris en Francia que cuenta con una red de 30.7 Km. y su superficie es de 105 km² en la Ciudad de México tenemos 201 Km. y una superficie de 1485 km² por lo tanto en comparación es mucho menos de la mitad en proporción con dicha ciudad de primer mundo. Esta deficiencia han causado que las líneas actuales sobrepasen sus capacidades dando así la necesidad de crear más líneas las cuales den abasto a el alto volumen de personas que es necesario transportar en la Ciudad de México diariamente.

Para el tema en desarrollo y adentrándonos mas en la zona que se vera beneficiada por la nueva línea del metro, primordialmente el mercado al cual esta dirigido es la población de las delegaciones Tláhuac e Iztapalapa siendo esta segunda unas de las mas densamente pobladas y con un nivel económicamente bajo de sus moradores que en general son los usuarios que utilizan el sistema Metro en otras líneas ya existentes.

Estas zonas están densamente pobladas por estratos bajos de la sociedad, los cuales buscan la manera más económica y rápida de llegar a sus centros de trabajo.

La principal escasez de medios de transporte “no confinados” que sean eficientes es la primer causa de la generación de viajes de esta zona por las rutas del Metro ya existentes, por lo cual se destaca que el beneficio social que traería una nueva línea del Metro en esta zona traería consigo un ahorro de los CGV's (Costos Generalizados de Viaje) de la población antes citada, mejorando la economía del D.F. y aumentando el nivel de calidad de vida de dichos usuarios.

1.3. Estado Actual.

El estado actual del transporte colectivo Metro presenta deficiencias, generalmente por tener instalaciones de hace mas de 50 años, las cuales al parecer van llegando poco a poco al termino de su vida útil, además de que los materiales rodantes también han sufrido el embate de los años, a pesar de que este sistema de transporte cuenta con varios talleres especializados en los cuales se realizan reparaciones en todos los niveles a dichos convoyes, llega un momento en el cual por mas que quieran reparar las maquinarias llegan al final de su vida útil, este detalle en particular actualmente afecta la operación del sistema propiciando molestias en los usuarios y en particular un retraso en los tiempos de recorrido de los mismo. Es imperante una renovación en el sistema de transporte a través de inversión pública o la intervención de los privados atacando los principales puntos o focos rojos del sistema, como lo son, la adquisición de nuevos materiales rodantes, reenivelacion de vías, mantenimiento a los sistemas de comunicación y alimentación, implementación de nuevas técnicas de control, entre otros.



Estación en funcionamiento



Talleres Zaragoza D.F.

Sin embargo debido a estas deficiencias que actualmente presenta el Metro éste es la manera más económica y rápida para trasladarse en la Ciudad de México.

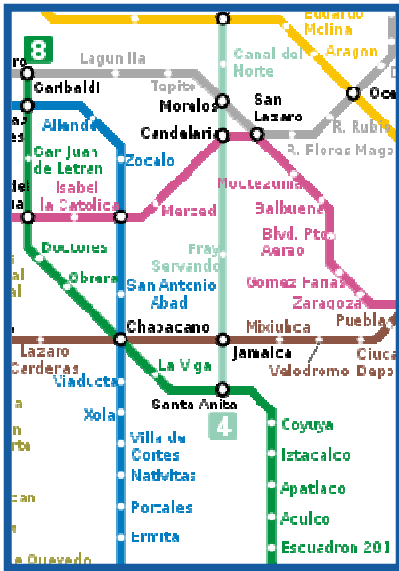
La STC reporta en su sitio web que actualmente se cuentan con un parque vehicular de 355 trenes, de los cuales 291 son de 9 carros y 31 de 6, en ambos casos de rodadura neumática, así como 33 de rodadura férrea de 6 carros, dicho parque vehicular está conformado por 13 modelos con diferentes tecnologías, de los cuales cabe destacar el modelo que ya cuenta con un sistema de tracción-frenado con el cual se permite recuperar la energía durante la etapa de frenado, llevando esto consigo a una mayor eficiencia y por consiguiente menores costos de operación de las líneas.

Actualmente la red del metro cuenta con una longitud de 201 km que se dividen en 11 líneas, 175 estaciones de las cuales 112 son de paso, 41 de transbordo y 22 terminales. Una estación de paso está definida por estar en puntos intermedios de la línea, las de correspondencia son las cuales cuentan con una interconexión con otras líneas de la red y las terminales son aquellas que se definen como la terminación de una línea.



Plano del metro del D.F. Fuente Wikipedia

Actualmente existe una línea de la STC en funcionamiento que va desde la estación Constitución de 1917, esto en la delegación Iztapalapa y hasta la estación Garibaldi en el centro histórico, siendo esta la forma más económica y veloz de trasladarse hacia al centro de la orbe desde la parte sur-oriente de la misma. Esto ha llevado a las autoridades y al gobierno de la ciudad de México a crear un proyecto el cual dé desalojo a dicha zona debido a que los medios de transporte que otorgan servicio a esas zonas son insuficientes e ineficientes.



Plano del metro del D.F. Fuente Wikipedia



Fotografía Avenida Tláhuac Delegación Iztapalapa

1.4. Beneficios del STC a la Ciudad de México.

Los beneficios que trae consigo el Sistema de transporte Metro son incommensurables, ya que los tiempos de recorrido se ven disminuidos hasta en un 50 %, además que el costo es cercano a un 37% comparado con otro tipo de transporte.

Ejemplo: Se realiza en análisis de un usuario que necesita transportarse desde Tlahuac y hasta el Centro Histórico

	Desde	Conexión	Hasta	
	Tlahuac	Tasqueña	Centro historico	Total
Transporte colectivo	\$	5.00	\$ 3.00	\$ 8.00
Transporte colectivo Metro	\$		3.00	\$ 3.00

Esto se ve reflejado en la economía de 1,410,121,151 usuarios que usan el metro al año trayendo consigo el ahorro de estos \$5 por usuario en promedio, dando un total de \$ 7,050,605,755

	Desde	Conexión	Hasta	
	Tlahuac	Tasqueña	Centro historico	Total
Transporte colectivo		1.5 horas	0.5 horas	2 horas
Transporte colectivo Metro			1 hora	1 hora



Además del beneficio de horas-hombre aprovechables en sus lugares de trabajo tenemos que al año 705,060,576 horas-hombre son aprovechadas en lugar de perderse en el transporte público y esto convertido al costo del tiempo perdido en promedio de \$17 estaríamos hablando de alrededor de \$11,986,029,784 tomando en consideración que estos resultados obtenidos van en aumento día con día.

Las distancias que recorrió el metro en todas sus líneas unidas dentro del año 2010 fue de 40,902,576.58 kilómetros lo que equivale a darle más de mil vueltas a la tierra en un solo año, además el servicio no se suspende ni un solo día del año.

2. Descripción del proyecto.

2.1. Descripción.

Este proyecto contara con la construcción de una vía de longitud total de 24 km (20.278 km para servicio de pasajeros) al sur-oriente de la Ciudad de México con dirección predominante oriente-poniente se caracteriza por el uso de trenes, lo anterior lo define como un ferrocarril ya que este se desplazara sobre rieles y tendrá una alimentación por medio de una catenaria.



Fotos extraídas de: <http://i2.esmas.com/2012/02/23/339965/linea-12-del-metro-610x430.jpg>
<http://www.diarioimagen.net/wp-content/uploads/2012/06/METRO-1870.jpg>

Dicho proyecto se ha dividido en dos fases; la primer fase correrá desde la terminal Tláhuac y hasta la correspondencia con la línea 8 en la estación Atlalilco, la segunda fase corresponde a la continuación desde Atlalilco y hasta la terminal Mixcoac.

La conexión con la línea 8 traerá consigo un aumento en la demanda de dicha línea, pero al terminar la segunda fase esta se verá afectada en una reducción considerable.



Primera fase



Segunda fase

Existen varias correspondencias en la línea 12, la primera como ya se menciono será con la línea 8 en Atlalilco, la segunda será en la estación Zapata con la línea 3, la tercera correspondencia será en la estación Ermita y se conectara con la línea 2 y por último se conectara en su terminal Mixcoac con la línea 7. En el siguiente mapa podemos ver las conexiones antes mencionadas con toda la red del Metro del D.F.

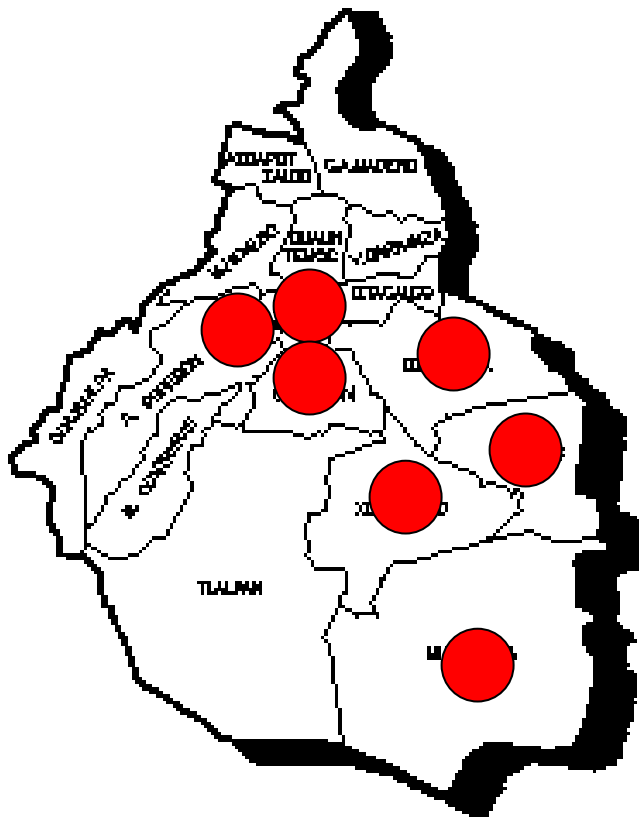


Fuente: <http://es.wikipedia.org>



El proyecto de la línea 12 del metro beneficiara a las delegaciones que se enlistan a continuación:

- Tláhuac
- Iztapalapa
- Coyoacán
- Benito Juárez
- Xochimilco
- Milpa Alta
- Álvaro Obregón



Estas delegaciones cuentan en total con un a población considerable en comparación con la de todo el Distrito Federal (8,851,080 hab), siendo la de estas 7 delegaciones mayor al 50 % de la población total de dicha entidad. A continuación se presenta un cuadro resumen de la población de las delegaciones beneficiadas con el proyecto de la línea 12 del metro.

DELEGACION	POBLACION
IZTAPALAPA	1,815,786
TLAHUAC	360,265
COYOACAN	620,416
BENITO JUAREZ	385,439
XOCHIMILCO	415,007
MILPA ALTA	130,582
ALVARO OBREGON	727,034
TOTAL	4,454,529

Fuente INEGI censo del año 2010



A continuación se presenta la metodología actual para la realización del proyecto geométrico de un ferrocarril sin el uso de software's especializados. Es evidente que los puntos se trataran de manera enunciativa ya que en el numeral 4 de este documento se han desglosado en su tratamiento matemático.

El objetivo primordial de la realización de un proyecto de ferrocarril es la obtención de la siguiente información:

- Planos de planta
- Planos de Perfil longitudinal
- Secciones transversales
- Memorias descriptivas y de cálculo

Los planos de planta y sus respectivas memorias serán útiles en campo para el replanteo de los ejes tanto del proyecto, como de los ejes de las vías de ferrocarril que se hayan proyectado en gabinete.

Los planos de perfil longitudinal y sus cálculos y memorias serán de usados para ir definiendo la rasante mínima del proyecto en el campo, de tal forma que se consigan en el campo los niveles proyectados en el proyecto de gabinete.

Las secciones transversales de un proyecto de ferrocarriles es mejor conocido como el proyecto de gálibos del mismo con el cual se definirán las secciones transversales del proyecto tramificadas por kilometraje y exponiendo la justificación técnica y económica de la implantación de dicha sección en cada tramo.

Para la realización de este tipo de proyectos es necesario a manera de generalidades los siguientes pasos.

1. Obtención de los datos de campo.-
 - a. Se debe realizar un levantamiento topográfico de la infraestructura existente, posibles interferencias con el proyecto y a partir de eso obtener las curvas de nivel de la zona por la cual pasara el proyecto.
 - b. Digitalización de datos de campo.- con base en los datos del levantamiento es necesario llevar a cabo la digitalización de dichos datos para poderlos llevar a una plataforma de CAD.
2. Propuesta del eje de trazo.- En función de la topografía y la infraestructura existente será necesario definir las limitantes que el trazo pueda tener, de tal forma que representando el eje de dicho proyecto sobre la topografía se puedan observar posibles interferencias con el proyecto.



Usando como valores mínimos los presentados en la siguiente tabla resumen:

TRAZO			Norma (1)	Bases de diseño	Valores aplicados (2)	
	Radio de curvatura horizontal	R_{\min} Vías principales [m]		150	200	200
		R_{\min} Vías secundarias [m]		60	70	70
	Longitud mín.	L_{\min} Tangente [m]		16	No existe	$V_p/2$
		L_{\min} Clotoide [m]		No existe	No existe	20
	Sobreelevación	h_{\max} Peralte [mm]		160	No existe	160
		Insuficiencia [mm]		150	No existe	150
		Pend. Peralte máx [mm/m]		3	No existe	3
		Variación del peralte (mm/s)		No existe	No existe	50
		a_q Aceleración sin compensar [m/s ²]		No existe	No existe	1.00
Aparatos y estaciones			En tangente	No existe	En tangente	



- Propuesta de la rasante mínima.- Basado en el perfil del terreno natural se plantea una rasante óptima siguiendo con los lineamientos de pendientes máximas y mínimas para determinar una rasante viable tanto técnica como económicamente.

Usando como valores mínimos los presentados en la siguiente tabla resumen:

PERFIL			Norma	Bases de diseño	Valores aplicados
	Radio de curvatura vertical	R_{\min} deseables [m]	2500 (v=80)	No existe	3125
		R_{\min} casos especiales [m]	1250 (v=80)	1200	2500
		a_v Aceleración vertical [m/s ²]	No existe	No existe	0.2
	Longitud mínima	L_{\min} Rampa con pendiente uniforme [m]	16	No existe	$V_p/2$
		L_{\min} Acuerdo vertical [m]	No existe	No existe	$V_p/2$
	Pendientes	S_{\max} [%]	4	4	2
		S_{\min} Tramo interestación en túnel y cajón subterráneo o superficial [%]	0.2	No existe	0.2
		S_{\min} Tramo interestación elevado [%]	0.3	No existe	0.3
		Estaciones [%]	0	No existe	0
Vías de estacionamiento [%]		0	No existe	0	
Aparatos [%]		2	No existe	0	

- Implantación de las secciones tipo.- Basado en el estudio previo de definición de las secciones tipo en función del cadenamamiento se procede a implantar en el trazo para poder observar cuales serán las interferencias reales sobre la infraestructura existe y poder determinar si es viable el trazado en planta y perfil. En el caso de que no lo sea se deberá de regresar al paso 2 y comenzar de nuevo.

Cabe resaltar que anteriores a estos pasos del proyecto geométrico se deben realizar los siguientes estudios:



- Estudios de evaluación social.-se realizan los estudios pertinentes para determinar los CGV de los posibles usuarios, los impactos que el proyecto pueda tener en la economía y otros factores económicos para la determinar la viabilidad del proyecto.
- Estudios de origen y destino.- con estos estudios se determinaran las estaciones a designar, además de el dimensionamiento de las mismas, la ubicación de accesos, terminales y CETRAM's, etc.
- Estudios de impacto vial.-con estos estudios se definirá el impacto tanto positivo como negativo que tendrá la ejecución y puesta en marcha de la obra.
- Estudios de impacto ambiental.-con base en los estudios de impacto ambiental se establecerán limites dentro del derecho de vía de tal forma que no se llegue a causar algún daño irreparable al ecosistema y en el caso de que se afectase al mismo se propondrá un mitigación a dichos daños.
- Estudios de ruido y vibraciones.-se realizan los estudios de generación de ruido y vibraciones por el paso de los trenos, esto con la finalidad de poder determinar los sistemas atenuadores de dichas afectaciones a la población que este cercana al proyecto.
- Geotecnia y geología del sitio.- basado en estudios de campo y laboratorio se analiza la viabilidad de alguna solución estructural del proyecto.

Estos son algunos de los muchos estudios que se deben de realizar para la realización de un proyecto de Metro en una ciudad, sin embargo los mostrados son los de mayor importancia para la definición del mismo.

2.2. Generalidades.

El inicio del tramo se encuentra en el cadenamamiento 3+936.063 y el final referido a la cabecera poniente de los andenes de la Estación Mixcoac en el 28+432.429 con una longitud total de 24.496,366 m.

En su concepto general el trazo está dividido en cinco tramos, diferenciándose entre ellos por su sección tipo: superficial, elevada, cajón subterráneo, túnel con tuneladora y túnel convencional.

El primer tramo con la sección superficial se desarrolla paralelo al canal desde la salida de los talleres hasta la intersección con la Av. Tláhuac.



Fotografía del tramo superficial

En este tramo están ubicadas la Terminal Tláhuac y la estación de Tlaltenco.



Fotografía del tramo elevado

Una vez entrado a la Av. Tláhuac el trazo del metro queda centrado sobre dicha avenida siendo de sección elevada y hasta la estación Pueblo Culhuacan donde a continuación de dicha estación el trazo comienza a bajar para poder pasar del tramo elevado hasta el tramo en sección de cajón.

La estación Atlalilco, ubicada entre las calles Sur 121 y la calle de Trojes en el margen sur de la Calzada Ermita Iztapalapa es de correspondencia, facilitando la comunicación entre la línea 12 y la línea 8 con una pasarela de aproximadamente 780 m.

La sección en cajón subterráneo se mantiene hasta la altura de la calle Centeno, pasada la cual se ubica la lumbrera de la tuneladora. Desde este pozo el trazo se desarrolla en sección túnel hasta poco antes de la estación de Mixcoac, excluyendo las estaciones y sus



abocinamientos ejecutados a cielo abierto. El último tramo se ejecutara realizando un túnel con el método Austriaco y hasta el final de la línea continua con las mismas características.



Fotografía de la llegada de la tuneladora EPB a la estación Mexicaltzingo



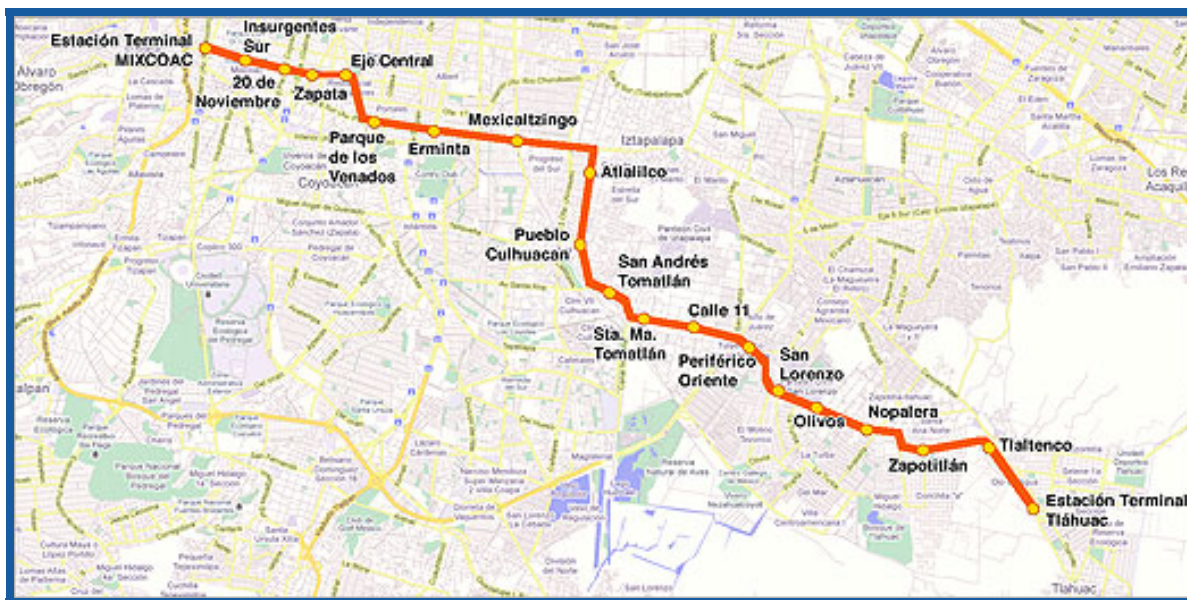
Fotografía de la estación Atlalilco



Las características generales del proyecto de la línea 12 del Metro se resumen en la siguiente tabla:

	Estaciones de paso	Estaciones de correspondencia	Estaciones Terminales	Longitud de tramo superficial	Longitud de tramo elevado	Longitud de tramo en cajon	Longitud de tramo con tuneladora	Longitud de tramo en tunel convencional	Longitud total del proyecto
Tlahuac			XXXX	2057 m	11609 m	2783 m	7404 m	1588 m	25449 m
Tlaltenco	XXXX								
Zapotitlán	XXXX								
Nopalera	XXXX								
Olivos	XXXX								
Tezonco	XXXX								
Periférico Oriente	XXXX								
Calle 11	XXXX								
Sta. Maria Tomatlan	XXXX								
San Andrés Tomatlán	XXXX								
Culhuacán	XXXX								
Atlalilco		XXXX							
Mexicaltzingo	XXXX								
Ermita		XXXX							
Eje Central	XXXX								
Parque de los Venados	XXXX								
Zapata		XXXX							
20 de Noviembre	XXXX								
Insurgentes Sur	XXXX								
Mixcoac			XXXX						
Total	15	3	2						

A continuación se muestra un croquis de ubicación del proyecto de la línea 12



Planta general del proyecto de la línea 12 del Metro



2.3. **Proyecciones a futuro.**

Después del inicio de la construcción de la línea 12 y al conocerse en detalle el plano general de dicha obra, existieron varias expectativas al respecto de una posible ampliación del proyecto en 1,5 kilómetros hacia el poniente. Esta expansión llegaría hasta la Av. Alta Tensión, este tema aun no ha sido aclarado pero existe la posibilidad de que se lleve a cabo

Entre otras obras el Sistema de Transporte Colectivo Metro ha propuesto una nueva línea, la cual han denominado Línea C, que correría de la terminal en Álvaro Obregón de la Línea 12 o de Observatorio a Santa Fe.

Evidentemente esta obra estará en función de los recursos que se dispongan para ese rubro en el sexenio que viene.

3. **Descripción del software Istram Ispol.**

3.1. **Descripción de la plataforma.**

El software que se describe en la presente tesis es el **Istram Ispol**, el cual es un sistema de modelado tridimensional con el que obtendremos modelos digitales del terreno y la definición geométrica de cualquier tipo de proyecto de obra civil, bien sea una carretera, una vía ferroviaria una red canalizaciones, una plataforma o la combinación de varios de los antes mencionados.

Istram Ispol es una aplicación AEC (Architecture Engineering Construction) específicamente desarrollada para apoyar al diseñador de proyecto de obra civil en todas y cada una de las fases del trabajo, desde el tratamiento a cartografías y hasta la generación de planos e informes finales.

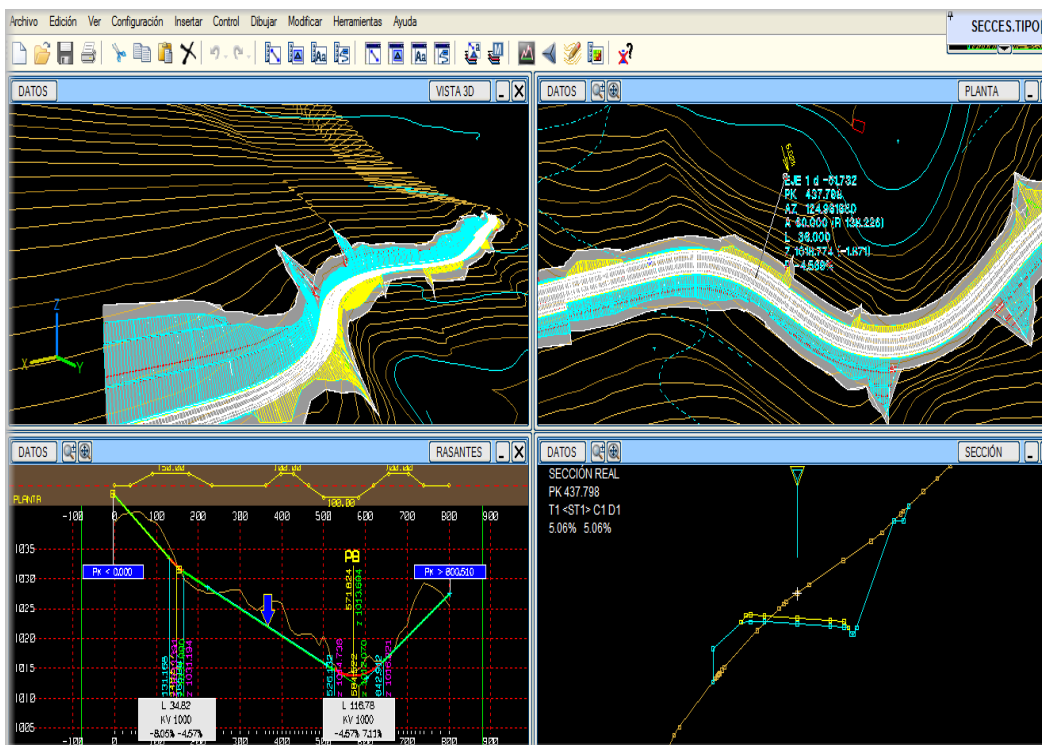
3.2. **Alcances y desarrollo.**

En este programa se utilizan modelos digitales de superficies compuestas de líneas, en los cuales cada línea está compuesta por una cadena de puntos interrelacionados de manera que dan una definición continua o discontinua del elemento de la superficie que representan, permitiendo la interpolación de cualquier punto.

Aparte de los modelos de líneas de elementos lineales se pueden generar definiciones de las superficies en base a triangulaciones, secciones transversales o mallas de secciones. Todas las superficies (terreno, carreteras, etc.) están referidas al mismo sistema de coordenadas. Esto permite de forma general, sin restricciones, la copia y combinación de modelos o parte



de ellos, para crear modelos compuestos que vuelvan a tener la misma validez que los originales y sobre los que se puede realizar cualquier nuevo proyecto o modificación dentro de un proceso de diseño por etapas o similar. De esta manera se obtiene un modelo final en el que queda definido el terreno con la infraestructura creada incorporada a él.



Impresión de pantalla: se muestra la posible interacción entre planta, perfil y secciones transversales

Con el uso de este software en la aplicación al proyecto de la línea 12 del metro de la ciudad de México hemos conseguido tener un control preciso en los parámetros de trazado en planta y perfil, además de la incorporación de los gálibos con los anchos efectivos de las secciones constructivas de dicho proyecto, dándonos así una imagen integral de la ocupación de un trazado en planta y de las posibles afectaciones y repercusiones que podrían generar posibles cambios en la definición en planta de dicho proyecto.

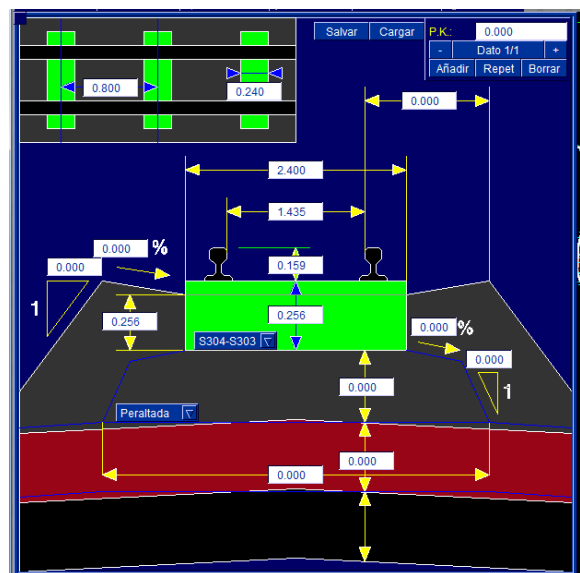
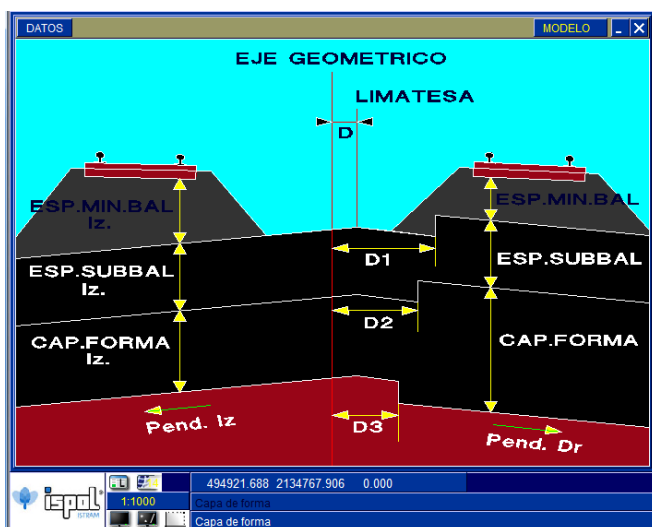


Impresión de pantalla: Muestra el galibo vertical libre en la zona de cambio de tramo elevado a cajón

3.3. Modulo ferrocarriles.

La definición de un proyecto de ferrocarriles es similar en cuanto a metodología a otro de carreteras, que se describirá en el capítulo 4, sin embargo, se pueden definir las geometrías típicas de un ferrocarril en cuanto a balasto, sub-balasto, pasillos de servicio, separación de entrevía, separación entre durmientes y todo ello para vía única o doble.

En las siguientes se muestran todos los parámetros que se pueden mecanizar para la definición correcta de un proyecto de ferrocarril y como se puede observar estas variables van desde la entrevía, el espesor del balasto y hasta la separación entre durmientes, estos valores serán definidos para el proyecto en el capítulo 4.4 propiamente ya los establecidos en el proyecto de la línea 12 del Metro.

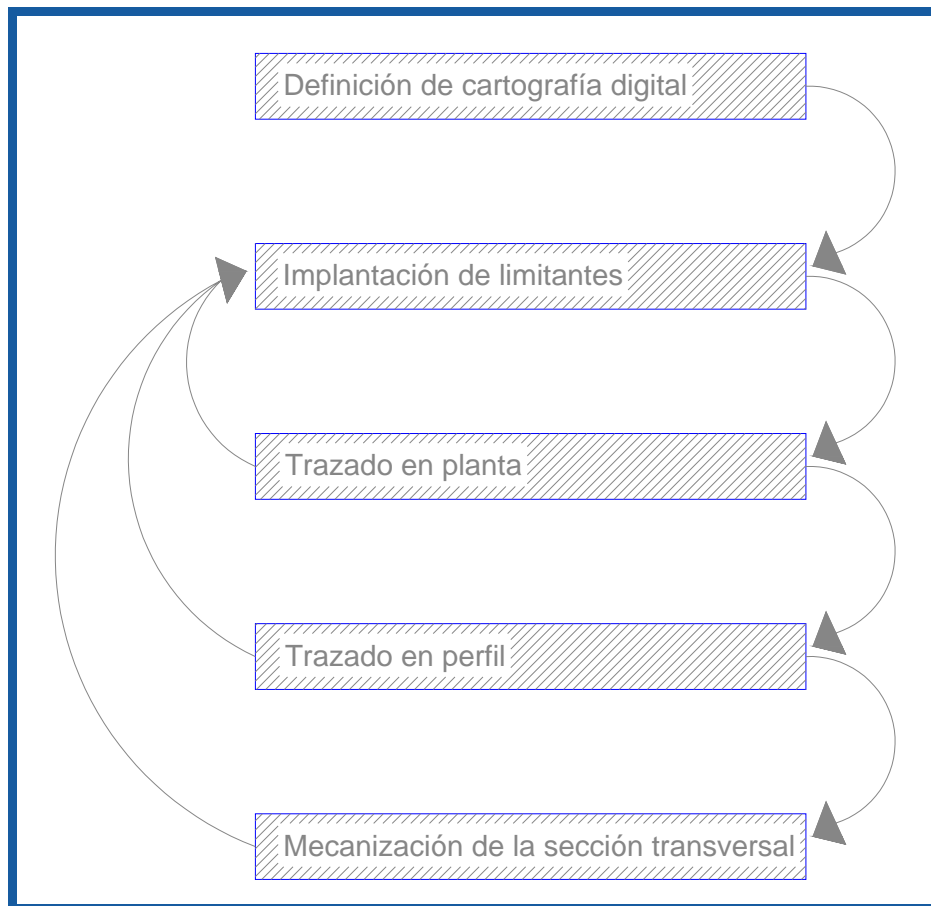


Impresión de pantalla: Características a mecanizar en un proyecto de ferrocarril

4. Desarrollo del proyecto geométrico.

4.1. Metodología.

La metodología general de la forma mecanizar el proyecto se describe en el siguiente diagrama de flujo de información:



Para los dos primeros pasos (*Definición de cartografía digital e Implantación de limitantes*) fue necesario que en campo se realizaran levantamientos de niveles, infraestructura existente, posibles afectaciones, además de la ubicación de posibles interferencias en las obras inducidas que se encuentran dentro de la zona de influencia.

La definición de la cartografía digital o modelo EDM consiste en la utilización de elementos levantados en campo como son lluvias de puntos o curvas de nivel a equidistancias establecidas que emularan al terreno natural incluyendo la infraestructura actual de la zona por la cual el proyecto se ubicara.

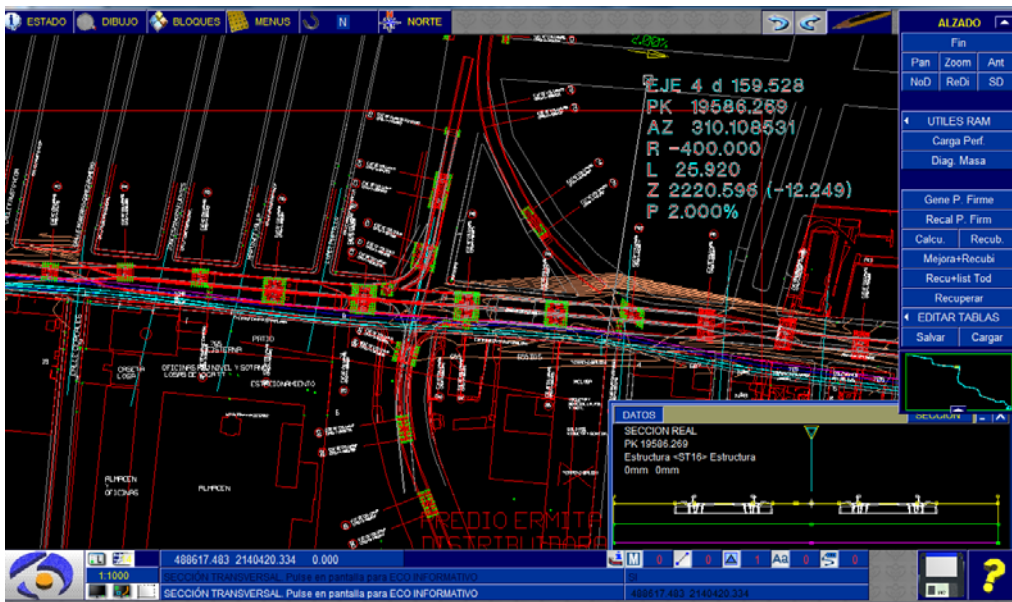
La implantación de limitantes es un proceso muy similar al de la cartografía digital, pues también se utilizan modelos EDM para ubicar con coordenadas las posibles limitantes en el proyecto referentes a infraestructura actual como pueden ser: distancias mínimas a muros, cimentaciones de pilas o interferencias con redes de agua potable, ductos de Pemex, drenaje, etc.



El paso anterior es indispensable para poder delimitar la zona en la cual nuestro proyecto podrá ejecutarse, en el caso particular para el proyecto de la Línea 12 del Metro se usaron varias limitantes, como lo fueron distancias mínimas a casas cercanas, líneas de conducción de gastos considerables, canales, torres de alta tensión, zonas arqueológicas, entre otros.

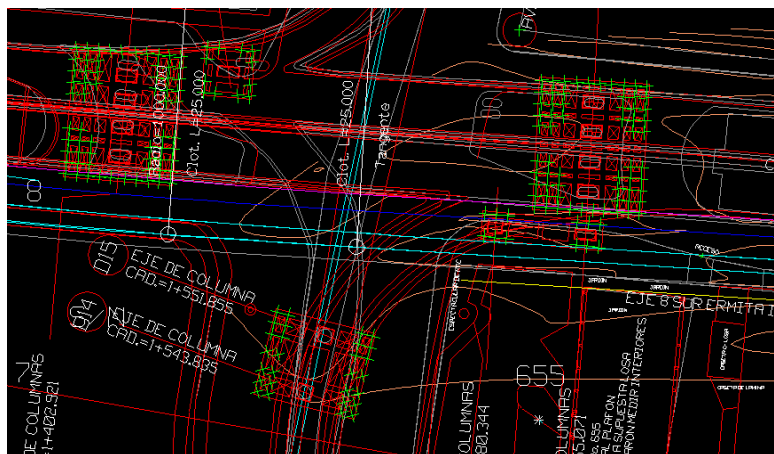
En la siguiente imagen se muestran las curvas de nivel de las vialidades existentes en la zona de cruce del Eje 3 y la Av. Ermita Iztapalapa, lo destacable de esta imagen son los detalles de las cimentaciones del viaducto que por dicha zona cruza, este levantamiento topográfico se realizó por la necesidad de no afectar dicha estructura, considerando que el tramo del proyecto en esta zona es un cajón subterráneo.

En particular esta fue una de las zonas de mayor conflicto en cuanto al trazado en planta por toda la infraestructura existente y que no era posible afectarla de ningún modo.



Impresión de pantalla: Trazo del proyecto (Eje 3 y Ermita) con la infraestructura existente.

En un acercamiento a la zona antes mencionada es posible observar como el trazo del proyecto fue necesario encajarlo justo en medio de las cimentaciones del viaducto.



Impresión de pantalla: Cimentación de las pilas del viaducto de la zona en conflicto.

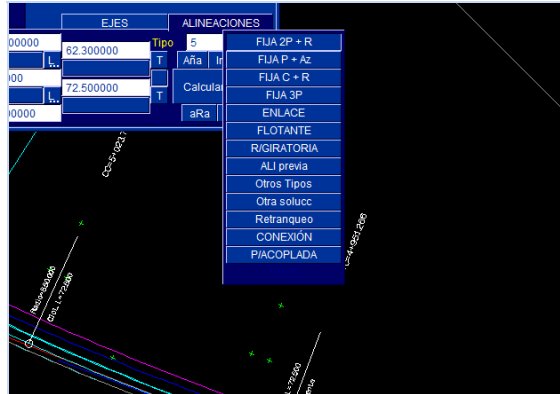


4.2. Trazado en planta.

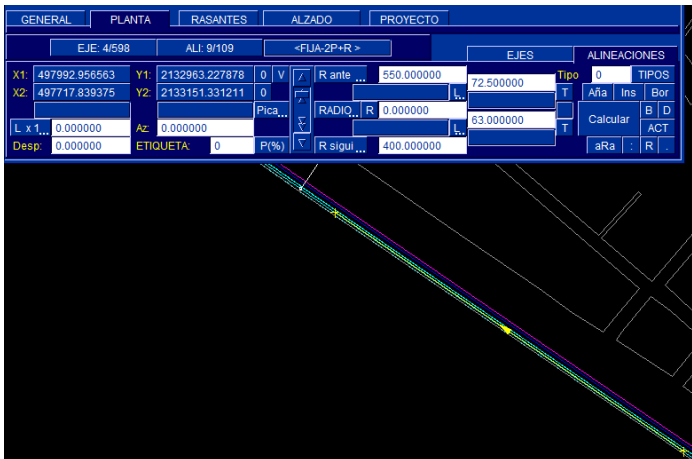
La definición del eje en planta se realiza de forma interactiva, pudiendo visualizarse siempre la zona de terreno que nos interese.

El eje en planta se define por sus alineaciones. Existen numerosos tipos de alineaciones según ISPOL, siendo las más utilizadas las siguientes:

Recta fija, curva fija, recta flotante, curva flotante, recta libre, curva libre y aparatos de vía.



Las alineaciones definidas por ISPOL como **fijas** son aquellas en las que el usuario define de manera inequívoca los datos de las mismas. No dependen de ninguna alineación adyacente ya definida.

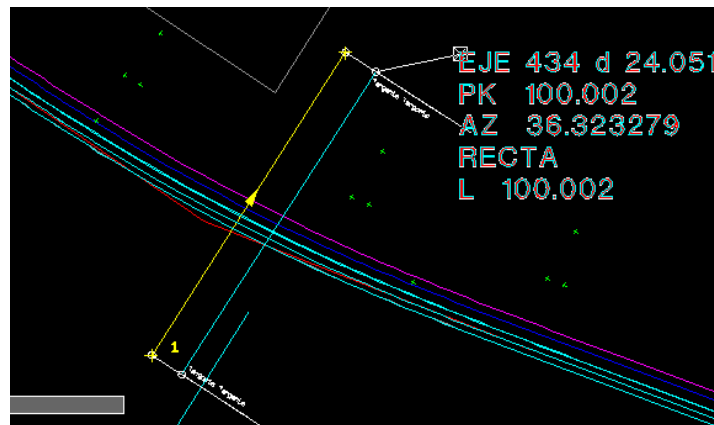
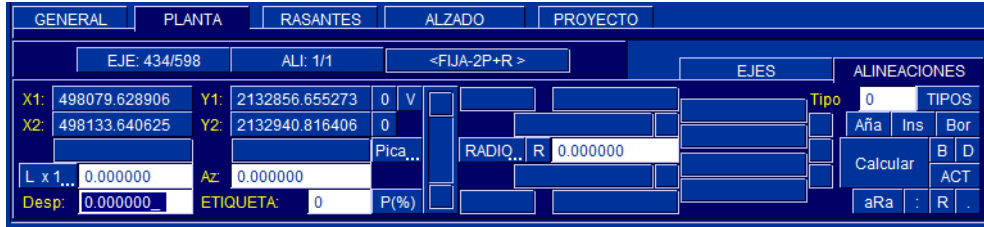


GENERAL		PLANTA		RASANTES	
EJE: 4/598		ALI: 9/109			
X1:	497992.956563	Y1:	2132963.227878		
X2:	497717.839375	Y2:	2133151.331211		

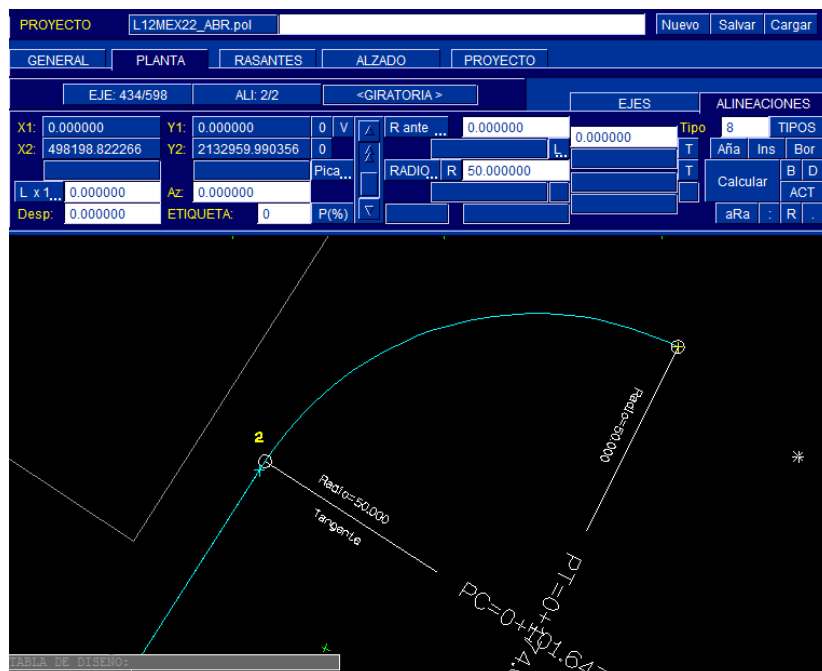
La definición de estas alineaciones esta dada por sus coordenadas en X,Y.



Además se pueden introducir parámetros de gran ayuda para el trazado como lo es un desplazamiento lateral de una línea determinada, esta utilidad es usada cuando se tiene una línea de infraestructura definida y es necesario que el eje pase a una distancia preestablecida.

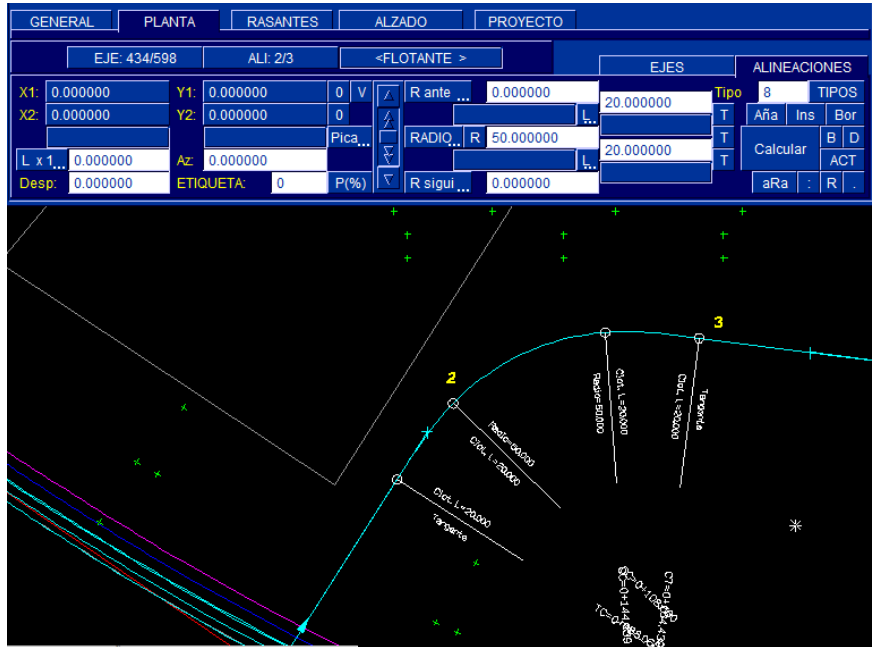


Las alineaciones definidas por **ISPOL** como **flotantes** son aquellas en las que el usuario define parte de las mismas de forma inequívoca, los datos restantes para su definición son objeto / resultado de cálculo del programa informático: En ejemplo se ha colocado una recta (alineación **fija**) y la siguiente una **flotante** en la cual se ha marcado el punto final al que se quiere llegar y el radio de dicha curva.

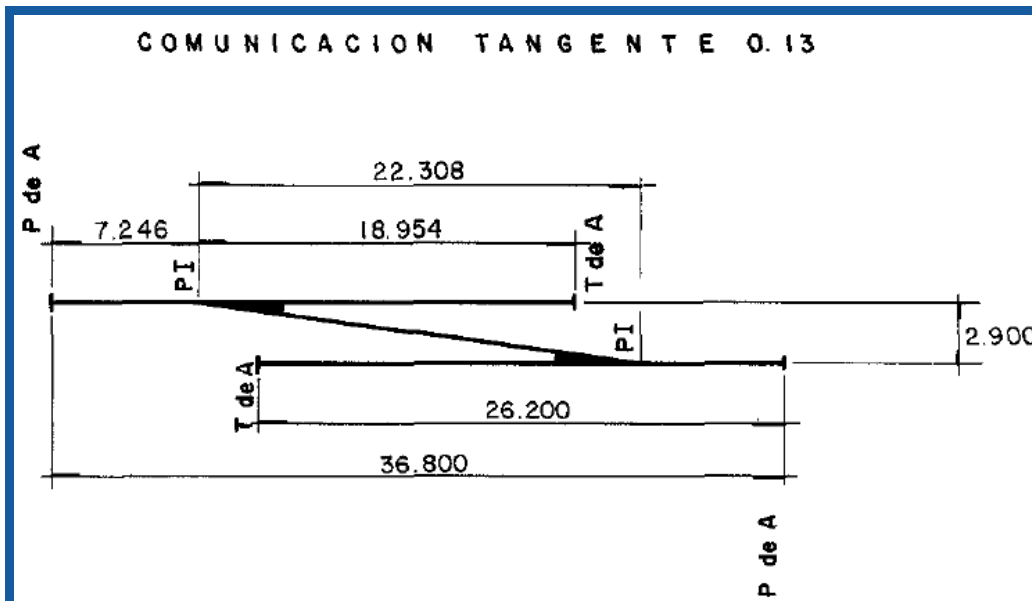




En cuanto a las alineaciones libres, están son las que necesitan de datos de dos alineaciones contiguas para la correcta definición, en estas solo bastara definir el radio de la curva circular y la longitud de las clotoides. Para el caso del proyecto las curvas que necesitan clotoides de entrada y salida serán aquellas en las que el radio sea menor o 2000 m.



Para el caso en particular de los aparatos de vía, mejor conocidos como “comunicaciones entre vías”, estos se definen de igual forma por una alineación dando así un enganche con respecto al eje de la vía a la cual tendrán que conectar.



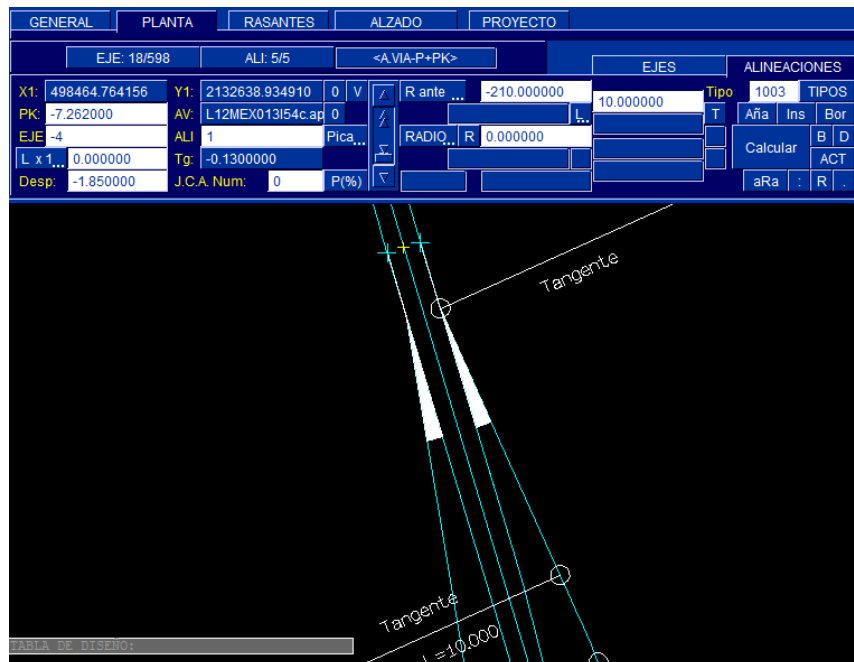
Esquema de aparato de vía (entrevía de 2.9 m) extraído del libro 2.02.02 Vías principales del la bibliografía “Especificaciones Para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México”



Para el efecto de los aparatos de vía a utilizar en este proyecto se pueden tomar aparatos de vía definidos como Tangente 13 y Tangente 20, para el caso que se mostrara a continuación y con base en la normativa para vías principales se uso un aparato de Tangente 13 y una entrevía de 3.65 m, para este caso se tomaron en consideración las siguientes características geométricas del mismo.

- Tangente 0.13 (Angulo en Radianes)
- Longitud 20.847 (longitud centro-talón)

Dichos valores se pueden modificar en función de los parámetros que sean necesarios o que el proyecto requiera.



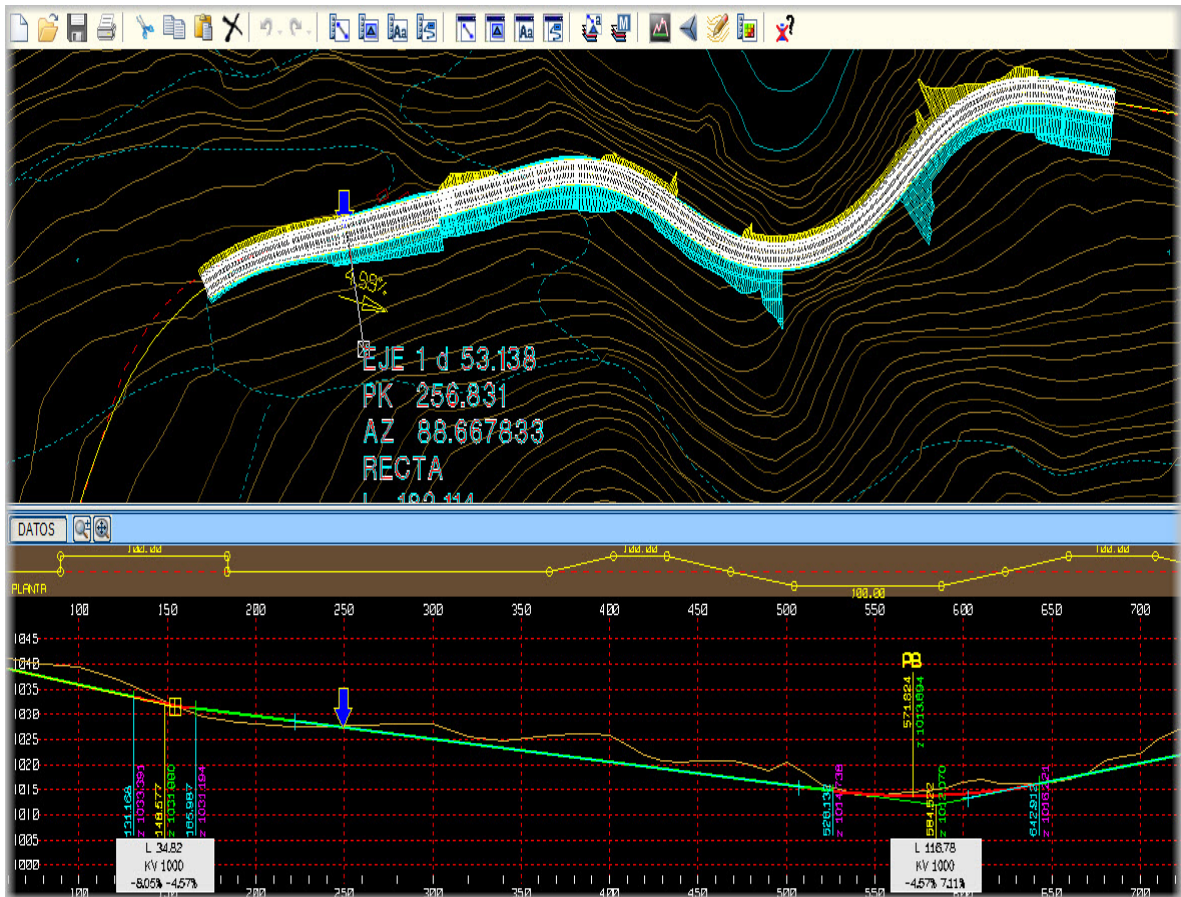
Impresión de pantalla: Aparato de vía definido por una alineación del tipo 1003

Para cada tipo de alineación, el programa presenta un nuevo menú con las diferentes opciones de definición (por puntos, azimut, radios, etc). Las transiciones de curvatura en planta, se realizan mediante clotoides, si el proyecto así lo requiere están definidas por el parámetro o su longitud, calculando automáticamente los puntos principales del eje. Para el caso del proyecto las curvas horizontales que se necesitan auxiliar de una clotoide serán aquellas en las cuales su radio sea mayor a 2000 metros.

También existe la posibilidad de insertar alineaciones entre otras dos, acortar, alargar, modificar los datos de partida (puntos, radios, parámetros), estas modificaciones se pueden observar en tiempo real para poder definir si la acción realizada fue acertada.

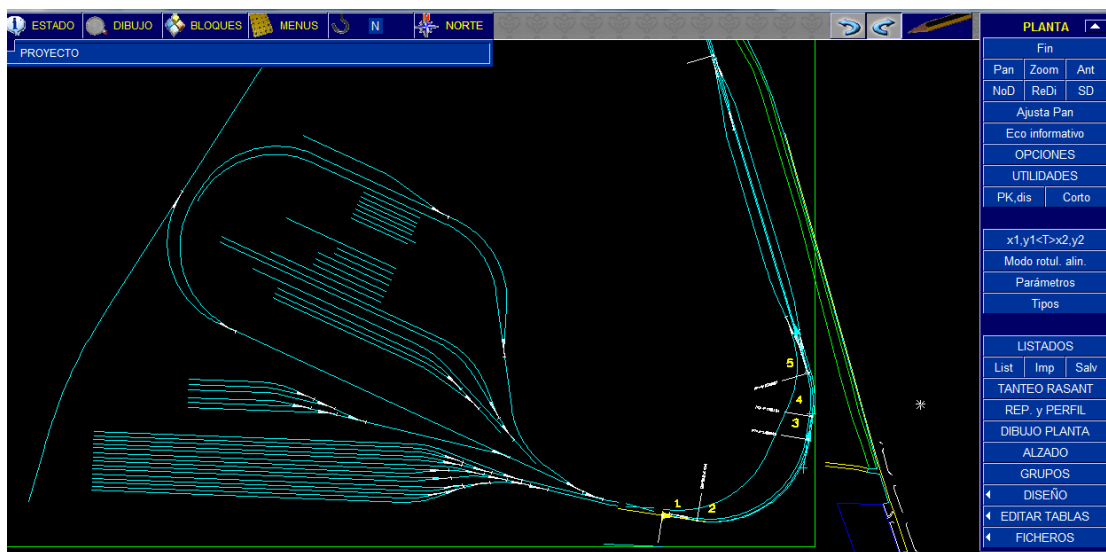
Otra opción es la posibilidad de calcular la intersección de dos ejes, calcular ejes paralelos a cualquier distancia o girado un ángulo determinado, calcular distancias, diferencias de cota, pendientes, etc.

El eje en planta se puede superponer en la pantalla al modelo de terreno, lo que permite ir observando el trazado a medida que se va definiendo, tanto en planta como en alzado.



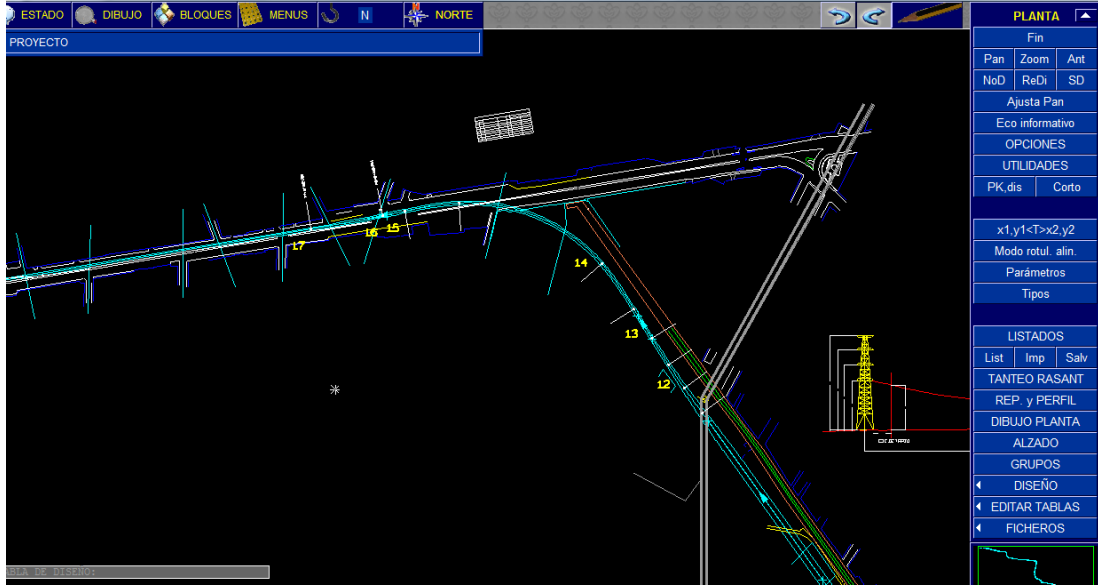
Para el proceso del mecanizado de la planta de la línea 12 se tomaron en consideración los puntos críticos que a continuación se mencionaran.

La conexión con el peine de vías de los talleres Tlahuac y la limitación del predio adquirido para dichos talleres, mostrando su límite por la línea verde claro de la imagen.

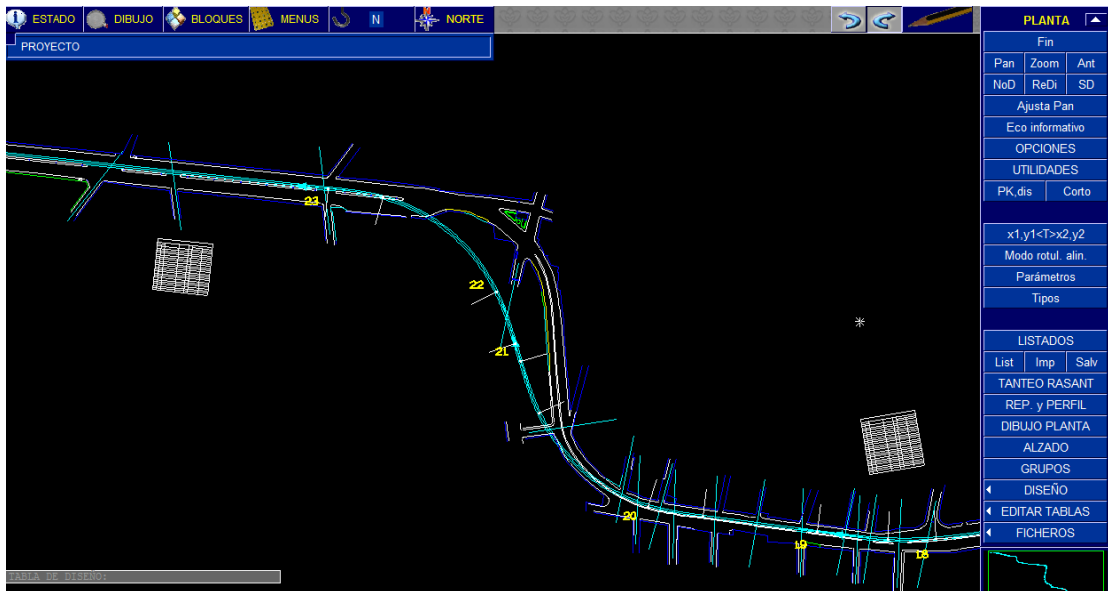




La incorporación con la Av. Tlahuác del trazo fue necesaria para poder mantener la alineación con dicha vialidad sin afectar a las viviendas aledañas al proyecto. A continuación se muestra la imagen del trazado y de dicha integración del proyecto con la vialidad.

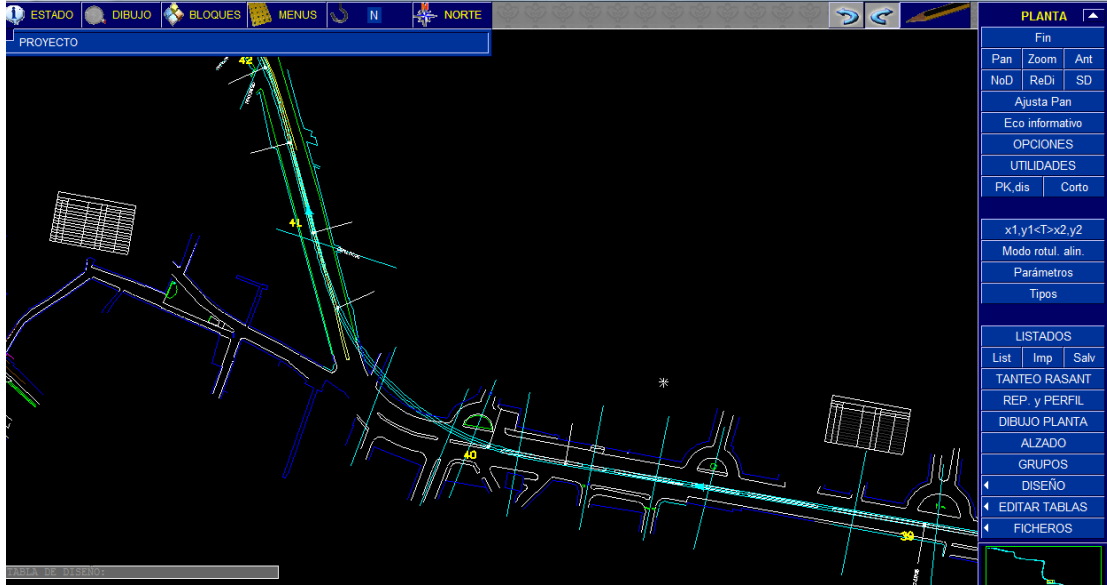


Dicha conexión del trazo con la continuación de la avenida Tlahuác fue necesario el pasar lateralmente a dicha avenida debido a que los radios mínimos del trazo del proyecto eran imposibles de encajar sobre la misma vía.

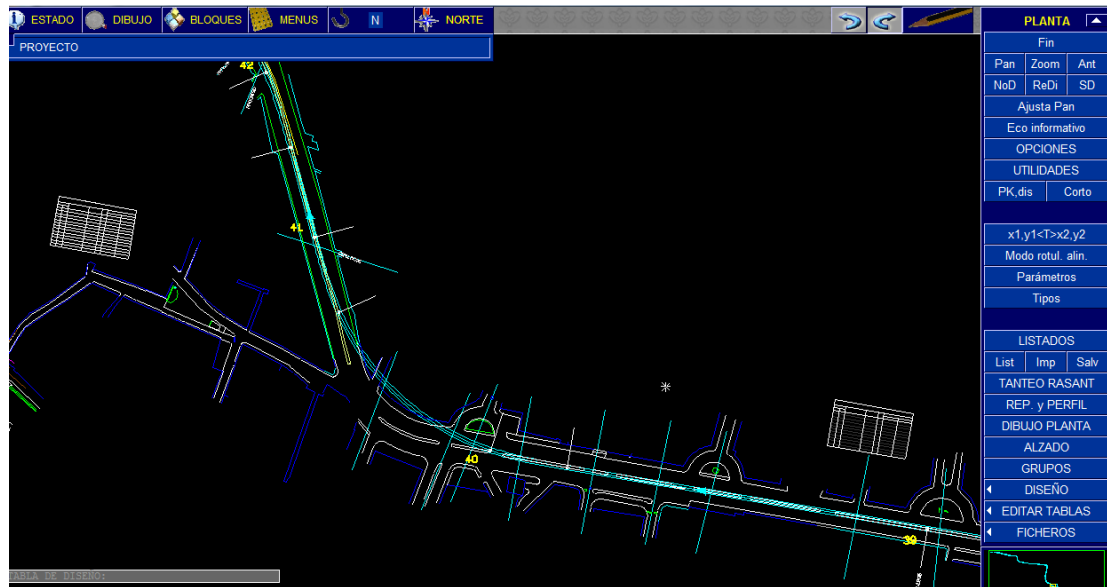




En el caso del km 14+800 se presenta dentro de la vialidad un radio menor al posible aceptable en el proyecto de la línea 12 por lo tanto es necesario que el desarrollo de la curva marque la trayectoria del mismo, siendo necesaria la afectación de algunos predios

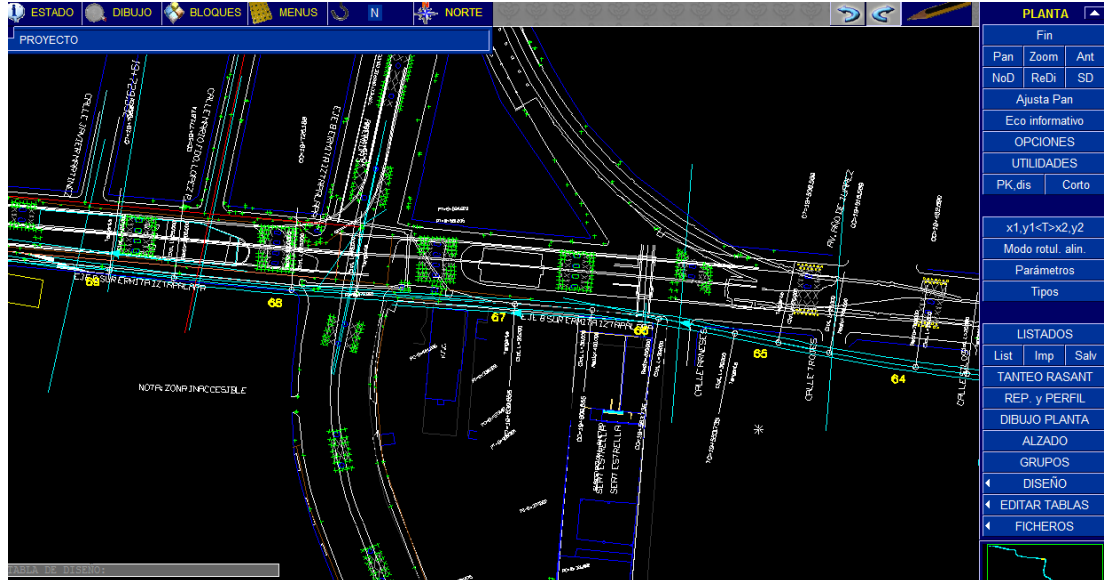


El mismo caso se presenta en el km 16+100 en cual como se puede observar en la imagen el radio de la vialidad es mucho menor al mínimo aceptado en un proyecto de este tipo.



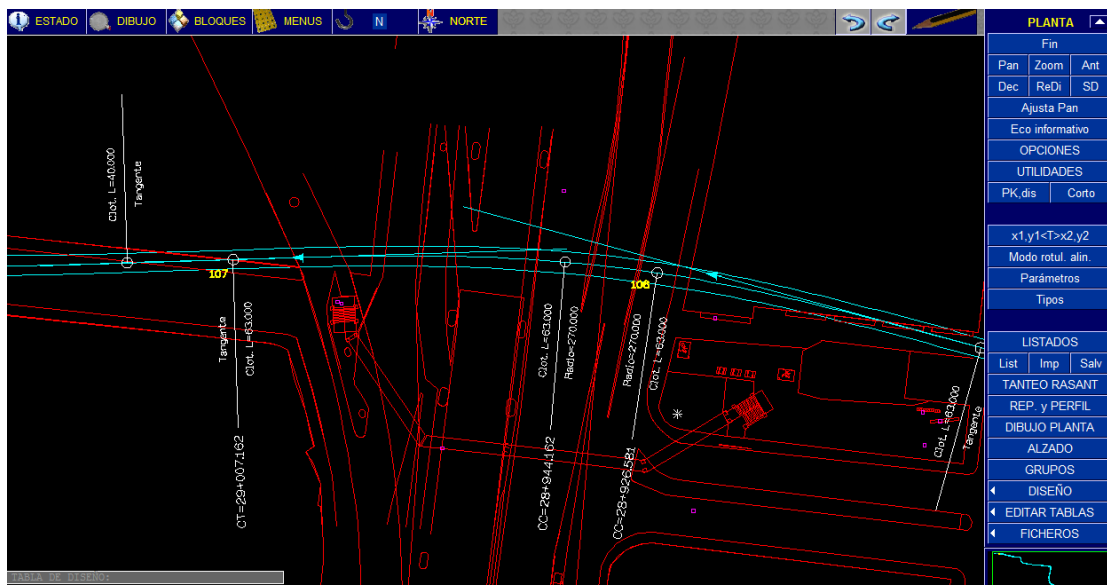


El siguiente punto y más desfavorable para el proyecto, fue el ubicado justo después de la incorporación del trazo con la Av. Ermita Iztapalapa que como podemos observar en la imagen las limitantes de espacio eran bastantes, aunado a un nivel alto de urbanización y a un viaducto y la cimentación propias de dicha estructura.



A partir de este punto al ser un tramo que no se encuentra sobre la superficie del terreno natural al parecer no se tenían ninguna limitante en cuanto al trazado en planta del proyecto, sin embargo y por cuestiones administrativas y sociales se trato de llevar el trazo siempre por la parte central de la avenida Ermita Iztapalapa y su continuación en Eje 8 Popocatepetl sin pasar por debajo de ninguna vivienda.

Al llegar a la intersección con el Periférico en las cercanías con la estación Mixcoac nos encontramos con una nueva limitante la cual se atribuye a las cimentaciones del segundo piso de dicha vialidad que en esta zona se atraviesa para llegar a la cola de maniobras de dicha terminal.





Estas fueron las limitantes más importantes para el diseño del trazado del proyecto de la línea 12 del Metro sin embargo una obra de esta magnitud requirió de una coordinación entre diversas especialidades para poder definir correctamente un trazado optimo en cuestiones monetarias y viabilidad técnica además de su posible ejecución en campo.

4.2.1. Criterios de diseño.

Los criterios de diseño se han establecido en función del libro “Especificaciones Para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México” y son descritos en el tema siguiente.

Estos criterios se han establecido en nuestro país debido a la amplia experiencia que se ha adquirido por los especialistas en el tema, en un principio la tecnología y el conocimiento del tema de los franceses fue la que marco la pauta en México pero ya hace muchos años hemos hecho e implementado nuestros propios criterios de diseño en base a pruebas realizadas por la STC y con lo cual se ha logrado que con estos valores mínimos se logren estándares de diseño de un nivel mundial.

A manera de resumen se tiene una tabla en la cual se definen los parámetros mínimos y recomendados para el trazo de la Línea 12 del Metro.

TRAZO			Norma (1)	Bases de diseño	Valores aplicados (2)	
	Radio de curvatura horizontal	R _{min} Vías principales [m]		150	200	200
		R _{min} Vías secundarias [m]		60	70	70
	Longitud mín.	L _{min} Tangente [m]		16	No existe	V _p /2
		L _{min} Clotoide [m]		No existe	No existe	20
	Sobreelevación	h _{máx} Peralte [mm]		160	No existe	160
		Insuficiencia [mm]		150	No existe	150
		Pend. Peralte máx [mm/m]		3	No existe	3
		Variación del peralte (mm/s)		No existe	No existe	50
		a _q Aceleración sin compensar [m/s ²]		No existe	No existe	1.00
	Aparatos y estaciones			En tangente	No existe	En tangente



4.2.2. Cálculos geométricos.

Proceso de cálculo de las curvas

Para absorber la fuerza centrífuga consecuencia del tren pasando por una curva, se proporciona una sobreelevación como pendiente transversal al riel exterior de la vía. El valor de la sobreelevación depende tanto del radio recorrido como de la velocidad y se aplica un valor constante sobre toda la curva.

Debido a restricciones prácticas, de la construcción, del mantenimiento etc., se limita la sobreelevación máxima aplicable, en función del radio.

El elemento de la curva de transición tiene dos funciones: la primera es un cambio gradual de la curvatura entre la tangente y la curva circular. La segunda es la transición de la sobreelevación.

Para estimar la longitud de las clotoides se utiliza el proyecto de sobreelevaciones, reduciendo su complejidad al eje central del trazo. Para absorber la fuerza centrífuga, que crece a medida que disminuye el radio a lo largo de la clotoide, hasta llegar al radio real de la curva circular, se proporciona una sobreelevación como pendiente transversal al riel exterior de la vía. Esta sobreelevación se aplica gradualmente a lo largo de las clotoides, creciendo o disminuyendo dependiendo si se trata de clotoides de entrada o de salida.

Una vez definida la longitud de las curvas de transición se estima la velocidad de cada curva de forma iterativa con las siguientes limitaciones y ecuaciones en vigor:

Sobreelevación teórica

La sobreelevación se define como la pendiente transversal que se le proporcionara al riel exterior en la zona de curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga sobre el tren, esto debido a que al momento de que el vehículo viaja por una curva horizontal a cierta velocidad se experimentara una fuerza centrífuga inversamente proporcional al radio de la curva y directamente proporcional al cuadrado de la velocidad tangencial, esto se establece a través de la siguiente fórmula:

$$F_c = \frac{MV^2}{R} = \frac{WR^2}{gR} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Fc es la fuerza centrífuga en kg

W es el peso del tren en kg

M es la masa del tren en kg

V es la velocidad del tren en m/s

G es la aceleración de la gravedad en m/s²

R es el radio de la curva horizontal

Por tal motivo es necesario elevar una altura “h” el riel exterior proporcionalmente a la presión que ejerce la fuerza centrífuga sobre el riel.

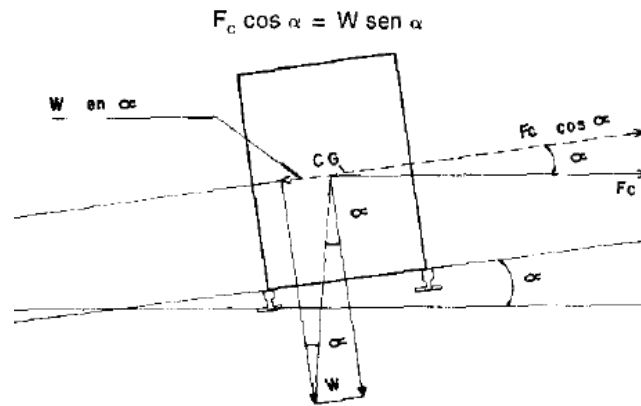


Figura 002-9 componentes de la fuerza centrífuga y peso del tren "Referencia 1"

Sustituyendo el valor de la fuerza centrífuga teórica en la ecuación 1 se tiene:

$$\frac{WV^2}{gR} \cos \alpha = W \sin \alpha$$

$$\frac{V^2}{gR} \cos \alpha = \sin \alpha \quad \text{Ecuación 2}$$

Considerando el valor de entreeva de 1.435 y un ancho del hongo del riel de 0.0635 la longitud "d" será de 1.5 m

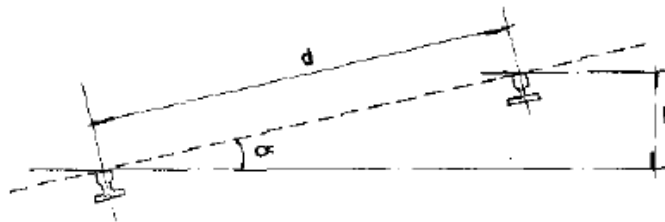


Figura 002-10 Valor teórico del peralte h "Referencia 1"

$$\frac{h}{1.5} = \sin \alpha \quad \text{Ecuación 3}$$

Sustituyendo 3 en 2

$$\frac{V^2}{gR} \cos \alpha = \frac{h}{1.5}$$

$$h = \frac{1.5 V^2}{gR} \cos \alpha$$

Como el valor de α es muy pequeño el valor obtenido es muy cercano a la unidad

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

Donde:

h es el peralte teórico en mm



V la velocidad del tren en km/h
R el radio de la curva horizontal en m

Este peralte teórico se dará gradualmente a lo largo de la clotoide hasta llegar a su valor máximo a lo largo de toda la curva circular.

Velocidad teórica

$$V = \sqrt{(h_{m\acute{a}x} + I_{m\acute{a}x}) \cdot \frac{R}{11.8}}$$

Con V: Velocidad en [km/h]
 $h_{m\acute{a}x}$: sobreelevación máxima [mm]
 $I_{m\acute{a}x}$: Insuficiencia máxima
R: radio de la curva en [m]

Velocidad de diseño

$$V_{dise\tilde{n}o} \leq 90 \text{ km / h}$$

En el caso de que la velocidad teórica supera la velocidad de proyecto se toma como valor de diseño la velocidad de proyecto. Cuando las condiciones geométricas de la curva no permitan obtener los valores máximos de diseño deseables, se disminuye la velocidad a los valores obtenidos.

Aceleración radial sin compensación

- La aceleración sin compensación se limita al valor: $a_q = 1 \text{ m/s}^2$

$$a_q = \frac{V^2}{12.96 * R} - \frac{h}{153.62}$$

Con V: Velocidad en [km/h]
h: sobreelevación aplicado en [mm]
R: radio de la curva en [m]

Una vez definida la velocidad de diseño, se calcula la longitud mínima de las clotoides adyacentes para las curvas de radio menor a 2,000 m. Como datos de entrada se utiliza la sobreelevación máxima y la insuficiencia máxima.



Sobreelevación máxima: $h_{\max}=160$ mm
Insuficiencia máxima: $I_{\max.}= 150$ mm

Empíricamente se ha determinado que para dar un mayor confort a los pasajeros, debe tenerse un peralte práctico máximo admisible no mayor a 160 mm.

Por lo tanto para la máxima sobreelevación se tendría de la ecuación 3 y de la figura 002-9 que la fuerza centrípeta F está dada por:

$$F = W \operatorname{sen} \alpha \quad \text{por lo tanto} \quad \operatorname{sen} \alpha = \frac{F}{w} \quad \text{Ecuación 4}$$

Igualando Ecuación 3 y 4

$$\frac{F}{W} = \frac{h}{1.50}$$

Se ha calculado que el sistema de sujeción de las vías, rieles y barra guía, soportaran una parte de la fuerza centrífuga, equivalente a 1/10 del peso del vehículo, por lo tanto:

$$\frac{0.1 W}{W} = \frac{h}{1.50}$$

$$\frac{h}{1.50} = 0.1$$

Por lo tanto $h=150$ mm

En consecuencia para la máxima sobreelevación se admitirá una insuficiencia de la misma de 150 mm es decir, si el peralte real es de 160 mm, el peralte teórico máximo podrá ser de $160+150 = 310$ mm, o sea que la velocidad máxima de operación estará en función de este ultimo valor.

Para el cálculo de las sobreelevaciones se utilizara la siguiente fórmula:

$$S = \frac{h}{Lc}$$

Donde:

S es la pendiente adimensional

h el peralte en m

Lc la longitud de la clotoide

Existen tres formulas para calcular los valores de la longitud de la clotoide, la referencia 1 hace alusión a ellas y establece que el mayor de esos cuatro valores será el mínimo a utilizar para la curva en estudio.



Las formulas para el cálculo de la longitud de la clotoide se enuncian a continuación:

$$\boxed{L_1 \geq D \cdot \left(\frac{\Delta p}{\Delta L} \right)} \quad \boxed{L_2 \geq \frac{D \cdot V}{3.6} \cdot \left(\frac{\Delta p}{\Delta t} \right)^{-1}} \quad \boxed{L_3 \geq \frac{I \cdot V}{3.6} \cdot \left(\frac{\Delta I}{\Delta t} \right)^{-1}} \quad \boxed{L_4 \geq \frac{a_q \cdot V}{3.6} \cdot \left(\frac{\Delta a_q}{\Delta t} \right)^{-1}}$$

De las anteriores formulas es necesario definir los parámetros hasta ahora nuevos en esta tesis.

- **Máxima variación de aceleración no compensada**

$$\frac{da_q}{dt} \leq \frac{a_q \cdot V}{3.6 \cdot L_{Clotoide}} \leq 1mm / s^3 \quad L_{da_q / dt} \geq \frac{a_q \cdot V}{3.6} \cdot \left(\frac{da_q}{dt} \right)^{-1}$$

- **Máxima variación del peralte con el tiempo**

$$\frac{dh}{dt} \leq \frac{h \cdot V}{3.6 \cdot L_{Clotoide}} \leq 50mm / s \quad L_{dh / dt} \geq \frac{h \cdot V}{3.6} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^{-1}$$

- **Máxima variación de la insuficiencia con el tiempo**

$$\frac{dI}{dt} \leq \frac{I \cdot V}{3.6 \cdot L_{Clotoide}} \leq 75mm / s \quad L_{dI / dt} \geq \frac{I \cdot V}{3.6} \cdot \left(\frac{dI}{dt} \right)^{-1}$$

- **Máxima variación de peralte respecto a la longitud**

$$L_{cl} \geq h \cdot \left(\frac{dh}{dL} \right)$$

- **Pendiente máxima para alcanzar la sobreelevación**

$$s_{per} = \frac{dh}{dL} = \frac{h}{L_{cl}} \leq 3mm / m$$

(L₁ en la tabla de comparación de longitud de clotoide en función del radio utilizado R_n y R_c)

Con h: sobreelevación aplicado en [mm]
L_{cl}: Longitud de la clotoide aplicada en [m]



Para garantizar tanto un máximo de confort del pasajero como un mínimo de desgaste de la vía, se limitan las fuerzas provocadas por el cambio de peralte y la curvatura, dichas fuerzas son las enunciadas con antelación a este párrafo, a manera de resumen se presenta la tabla siguiente la cual incluye dichos valores.

L _{clot. min}	20	m
[dp/dt] _{max}	50	mm/s
[dp/dl] _{max}	3	mm/m
[dl/dt] _{max}	75	mm/s
[da _q /dt] _{max}	1	m/s ³

Para el cálculo del proyecto se realizó una hoja de cálculo capaz de revisar en función de la insuficiencia del peralte teórico y basado en la longitud de la clotoide mínima el cálculo de las curvas horizontales del proyecto. A continuación se presenta un ejemplo del cálculo de una curva en particular del proyecto.

Radio [m]	LClotoide [m]	V _{Teórica}	V _{diseño}	h _{Teórico}	Peralte diseño	Insuf.	aq	L1 clot	L2 clot	L3 clot	L4 clot	Lcl max (L1, L2, L3, L4)	Comparación
300	62.3	88.777	70.000	192.733	160.000	32.733	0.219	53.333	62.222	8.486	4.254	62.222	cumple



4.2.3. Listados de replanteo.

Los listado de replanteo actualmente y con la utilización de los GPS han cambiado en su forma de entrega, a continuación se presenta un ejemplo de los listados que se entregaron para su posterior carga en un GPS y su replanteo en campo ulterior a la ejecución de la obra civil.

DATO	TIPO	LONGITUD	PK	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	PARAMETRO	AZIMUT	Cos/Xc/Xinf	Sen/Yc/Yinf
1	RECTA	39.585	3930.898	498405.835	2132125.684			109.6719	0.9884815	-0.151342
2	CIRC.	172.159	3970.483	498444.964	2132119.693	-110		109.6719	498461.612	2132228.426
3	RECTA	26.461	4142.643	498570.248	2132211.158			10.0355	0.1569859	0.9876008
4	CIRC.	49.553	4169.104	498574.402	2132237.291	-110		10.0355	498465.766	2132254.559
5	RECTA	373.024	4218.657	498571.083	2132286.313			381.357	-0.2886759	0.9574269
	CLOT.	62.3	4591.681	498463.4	2132643.457		111.624	381.357	498463.4	2132643.457
6	CIRC.	121.976	4653.981	498442.368	2132702.028	-200		371.4416	498262.156	2132615.288
	CLOT.	62.3	4775.957	498360.196	2132789.61		111.624	332.6154	498303.084	2132814.33
7	RECTA	113.008	4838.257	498303.084	2132814.33			322.7	-0.9370993	0.3490628
	CLOT.	72.5	4951.266	498197.183	2132853.777		199.687	322.7	498197.183	2132853.777
8	CIRC.	61.23	5023.766	498129.829	2132880.565	550		326.8959	498355.342	2133382.206
	CLOT.	72.5	5084.996	498075.494	2132908.724		199.687	333.9832	498014.773	2132948.312
9	RECTA	392.686	5157.496	498014.773	2132948.312			338.1791	-0.8254956	0.5644085
	CLOT.	63	5550.182	497690.612	2133169.947		158.745	338.1791	497690.612	2133169.947
10	CIRC.	74.812	5613.182	497639.571	2133206.847	400		343.1925	497890.611	2133518.262
	CLOT.	63	5687.993	497586.045	2133258.956		158.745	355.0992	497547.788	2133308.989
11	RECTA	278.063	5750.993	497547.788	2133308.989			360.1125	-0.5863542	0.8100548
	CLOT.	35	6029.057	497384.744	2133534.236		187.083	360.1125	497384.744	2133534.236
12	CIRC.	31.494	6064.057	497364.388	2133562.706	1000		361.2266	498184.58	2134134.796
	CLOT.	35	6095.551	497346.781	2133588.817		187.083	363.2316	497328.015	2133618.36
13	RECTA	38.546	6130.551	497328.015	2133618.36			364.3457	-0.5312346	0.8472248
	CLOT.	62.3	6169.097	497307.538	2133651.018		111.624	364.3457	497307.538	2133651.018
14	CIRC.	180.689	6231.397	497271.787	2133701.957	-200		354.4303	497120.874	2133570.711
	CLOT.	62.3	6412.086	497111.187	2133770.477		111.624	296.9154	497049.674	2133761.035
15	RECTA	24.898	6474.386	497049.674	2133761.035			287	-0.9792228	-0.2027873
16	CIRC.	82.467	6499.284	497025.293	2133755.986	2100		287	496599.44	2135812.354
17	RECTA	794.022	6581.751	496944.232	2133740.853			289.5	-0.9864293	-0.1641868
	CLOT.	80	7375.773	496160.986	2133610.485		189.737	289.5	496160.986	2133610.485
18	CIRC.	54.303	7455.773	496081.745	2133599.697	450		295.1588	496047.558	2134048.396
	CLOT.	80	7510.076	496027.481	2133598.845		189.737	302.8412	495947.941	2133607.138
19	RECTA	130.321	7590.076	495947.941	2133607.138			308.5	-0.9910997	0.1331213
	CLOT.	62.3	7720.397	495818.78	2133624.486		111.624	308.5	495818.78	2133624.486
20	CIRC.	166.094	7782.697	495757.614	2133635.96	200		318.4154	495814.664	2133827.65
	CLOT.	62.3	7948.791	495634.666	2133740.467		111.624	371.2846	495613.49	2133798.986
21	RECTA	20.485	8011.091	495613.49	2133798.986			381.2	-0.2910362	0.9567121
	CLOT.	62.3	8031.576	495607.528	2133818.584		111.624	381.2	495607.528	2133818.584
22	CIRC.	171.749	8093.876	495586.351	2133877.103	-200		371.2846	495406.354	2133789.919
	CLOT.	62.3	8265.624	495457.962	2133983.146		111.624	316.6154	495396.496	2133992.886
23	RECTA	426.237	8327.924	495396.496	2133992.886			306.7	-0.994467	0.1050492

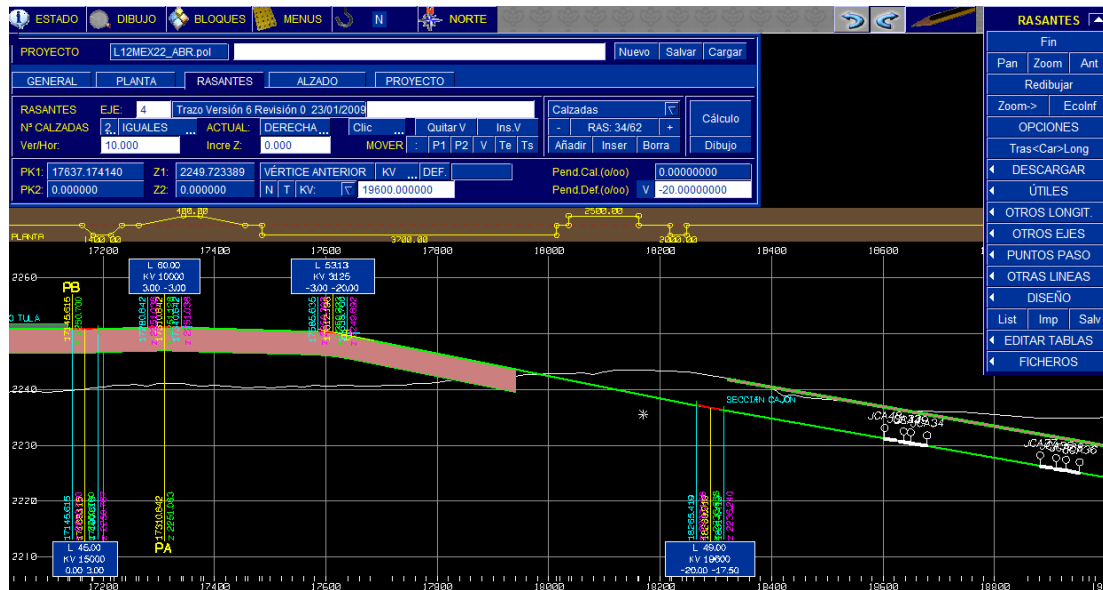
Como se puede observar en la tabla los datos necesarios para el replanteo de dicho eje son las coordenadas en X,Y además que dicho listado nos da muchísima más información para dicho replanteo.



4.3. Trazado en perfil longitudinal.

Con respecto al perfil longitudinal, este se define mediante rasantes uniformes, trazadas por punto (X, Z) y pendiente o por dos puntos (X, Z), para el caso de las curvas verticales, estas son representadas por curvas parabólicas definidos por un parámetro “k” o longitud. En el proyecto en particular y debido a que este proyecto se realizo en México esta definición de las curvas verticales se considero en longitud pues dicho parámetro “k” es más usado en países Europeos.

A continuación se muestra una imagen en la que se pueden observar los valores necesarios para definir una rasante en el Istram Ispol.

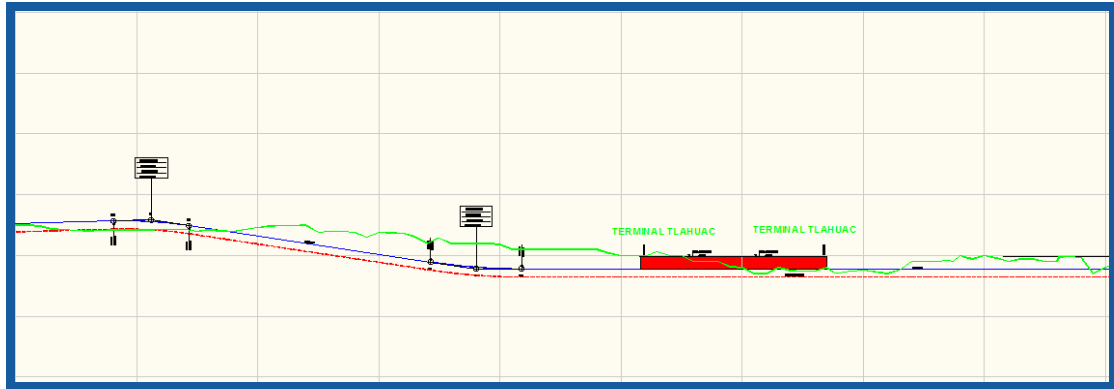


A su vez, el programa permite subir y bajar cualquier rasante, además de todas las posibilidades de corrección e inserción descritas para el eje en planta.

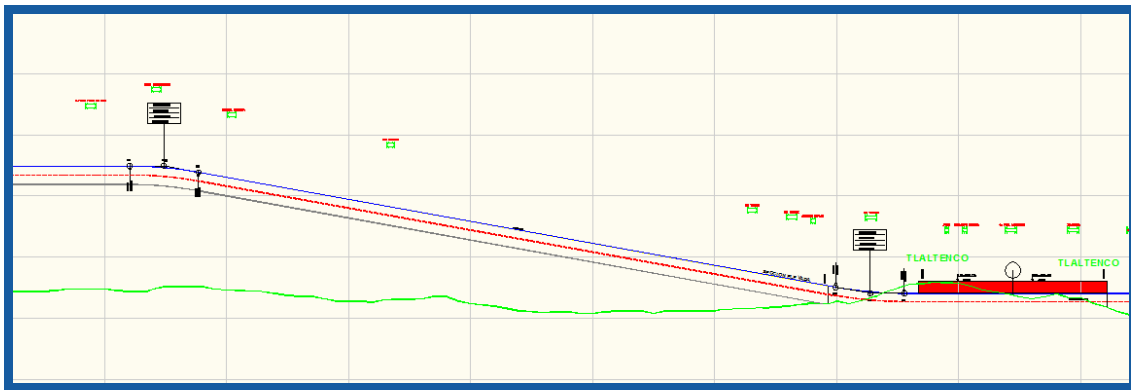
En la definición de la rasante es posible introducir obras de drenaje transversales las cuales puedan tener alguna repercusión en el diseño, de tal forma que es posible interactuar entre el diseño de la rasante del proyecto y los proyectos de drenaje sanitario, pluvial y otras instalaciones que pudiesen encontrarse en una zona urbana.

Para el proceso del mecanizado del perfil de la línea 12 se tomaron en consideración los puntos críticos que a continuación se mencionaran.

La conexión con talleres Tláhuac se considero una pendiente del 0%, esto por la limitante de tener la estación y terminal Tláhuac en su final de vía y con la finalidad operacional de los talleres de dicha zona.



A partir de la estación Tlaltenco se comienza a elevar el trazo para poder cambiar de tramo superficial a un tramo de viaducto consiguiéndose la altura necesaria, a los 576 m aproximadamente, para tener un galibo vertical de 5.5 m en la Av. Tláhuac misma que corre paralela al trazo del metro y en la cual existen diversas calles que cruzan perpendicular a esta.



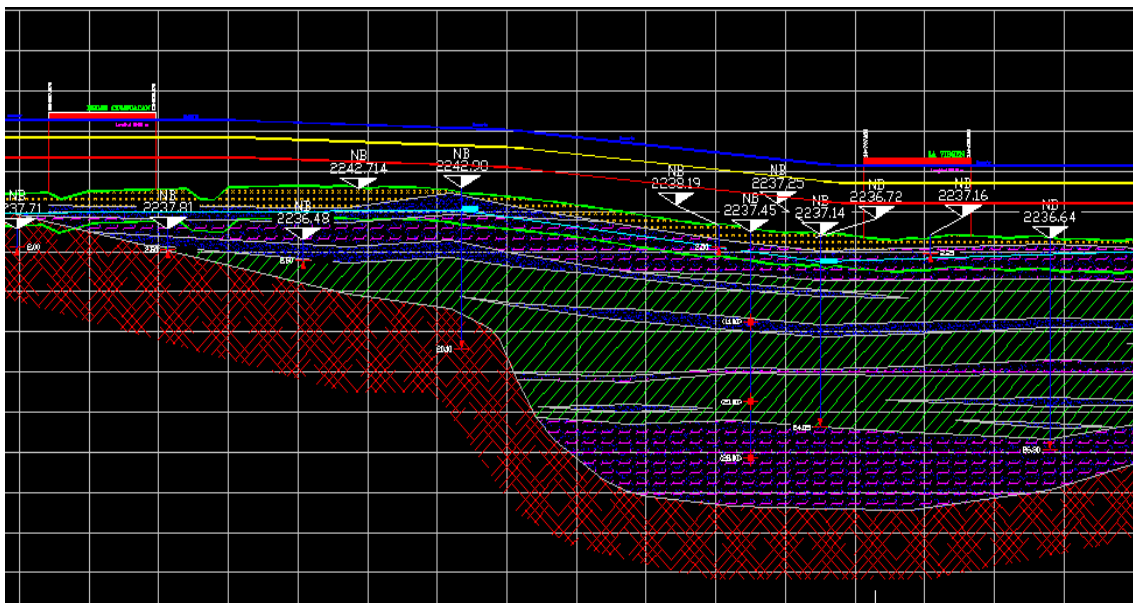
Con el fin de garantizar el galibo vertical en cada uno de los cruces y a la vez con la misma Av. Tláhuac se mecanizaron e introdujeron todas y cada una de las calles que cruzarían el trazo del Metro perpendicularmente, dando así un imagen real de la distancia de la rasante del proyecto y de las vialidades actuales a las que pudiera interferir, facilitando así la visualización y cálculo de los gálibos verticales.

Justo antes de la estación Periférico se encuentran unas torres de alta tensión las cuales no se consideraron dentro de los servicios afectados por lo tanto nuestro proyecto debía poder convivir con dichas líneas de energía sin crear un riesgo para las obras y mucho menos para los usuarios de la línea cuando esta estuviera en funcionamiento. El siguiente punto crítico se ubico justo después de la estación Periférico en la cual se debía de considerar una altura necesaria entre rasante de proyecto y T.N. de aproximadamente 17 metros, esto cubriendo la necesidad de poder librar el Periférico oriente en su cruce con la Av. Tláhuac. Por estas dos restricciones se tuvo que considerar una estructura elevada de a esa altura y con una longitud aproximada de 500 m. aunado a que la limitante de la pendiente en la zona de estación debía de ser 0%.



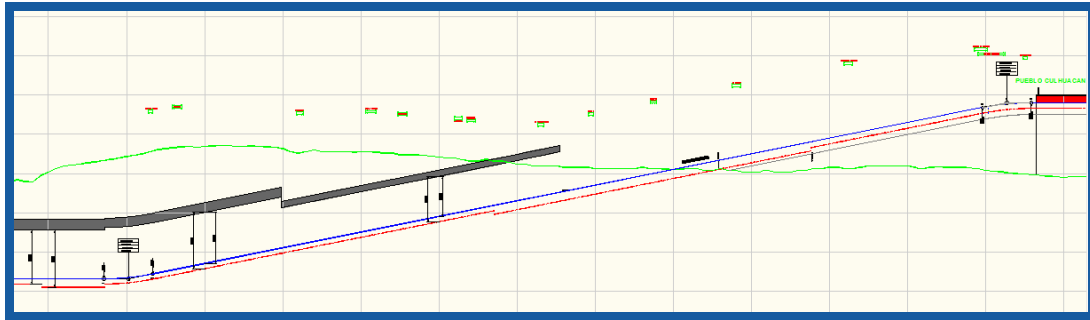
Fuente.- <http://www.eluniversaldf.mx/fotos/periferico2.jpg>

El siguiente punto crítico en la parte del desarrollo del perfil longitudinal está ubicado en el cadenamiento 16+060 aproximadamente, en este sitio en particular se encuentra un estrato de arcilla el cual presentara un asentamiento diferencial y mucho mayor que los tramos que le consiguen y que le preceden, por lo tanto al realizar el análisis de asentamientos de la estructura se obtuvo una altura necesaria en el viaducto tal que al momento de dicho asentamiento la operación de los trenes no se viera afectada



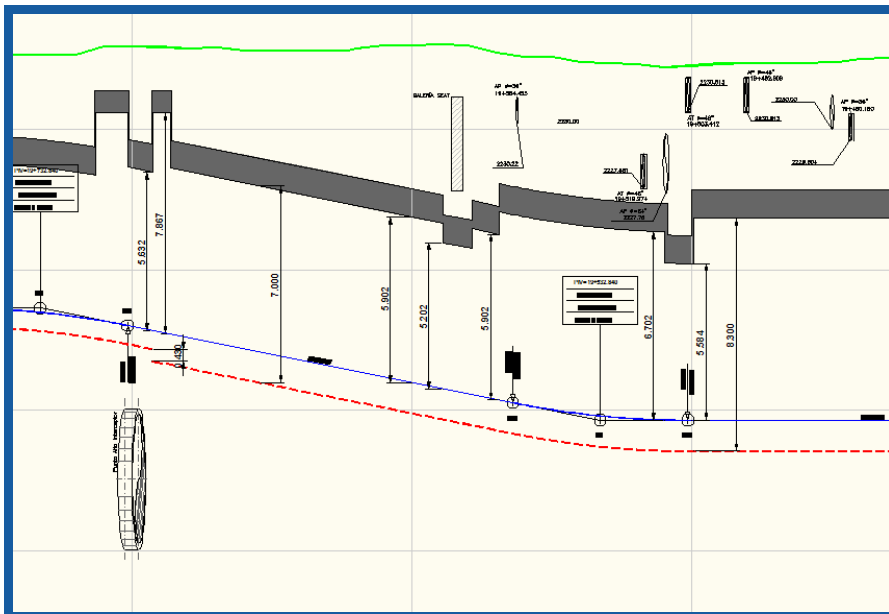
Perfil Estratigráfico de la zona de transición de capas km 16+060

El siguiente punto a analizar es la zona denominada AirPlane, que es la zona en la que se cambia de tramo elevado a subterráneo, es una rampa en la cual a través de la pendiente máxima del 2% se logra llegar a nivel de terreno natural y posteriormente a cota de tal forma que el galibo vertical se el adecuado para poder establecer la zona de tramo subterráneo en cajón. En esta zona la problemática del proyecto fue el lograr conseguir reducir la altura de la rasante hasta el punto solicitado justo antes de la estación Atlalilco, ya que dentro de las estaciones la pendiente deberá de ser del 0%



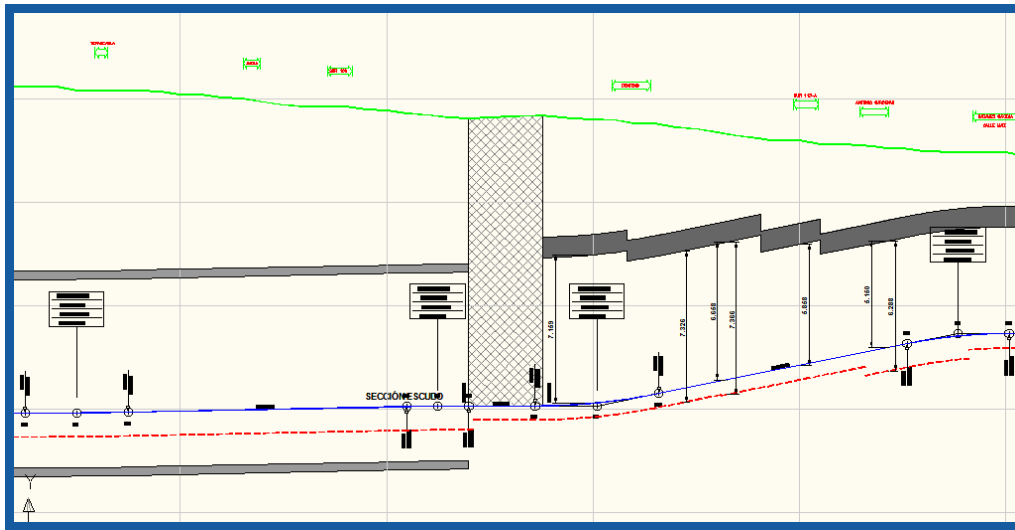
Perfil longitudinal línea 12 del Metro en la zona de la rampa de descenso

El siguiente punto determinante de la rasante del proyecto se ubico en función de varias obras inducidas ubicadas en los kilometrajes 19+400 y 19+700 las cuales por su gran tamaño e importancia de funcionamiento se debieron de respetar, como lo son la SEAT (Subestación Eléctrica de Alta Tensión) y el interceptor oriente de drenaje.



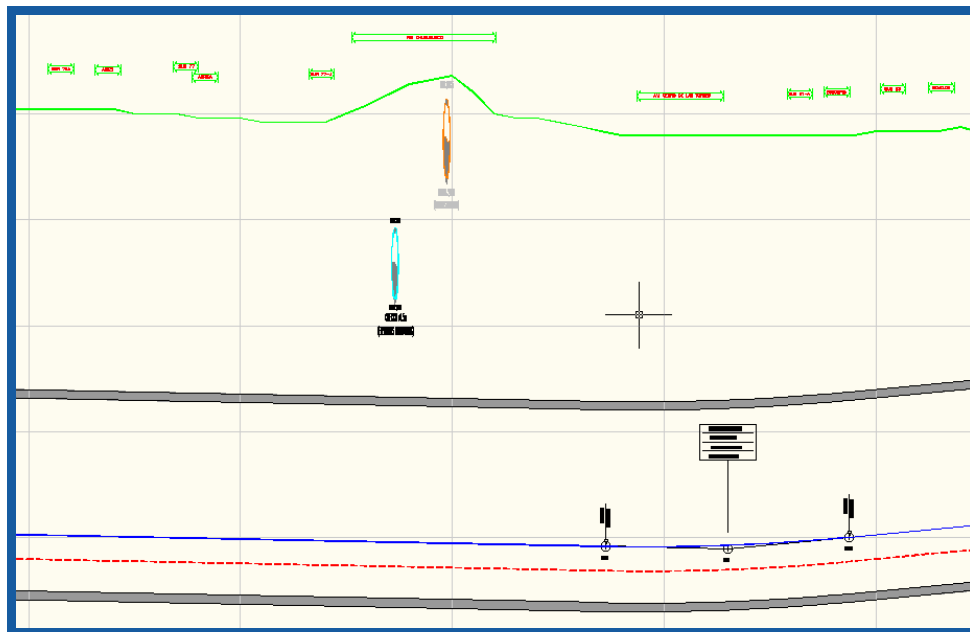
Perfil longitudinal en el que se muestran las diversas obras inducidas que afectan el trazo del proyecto

En el km 20+330 se introduce la maquina EPB para a partir de ahí comenzar con la sección en túnel, y en la imagen se muestra la lumbrera de entrada de dicha maquina.



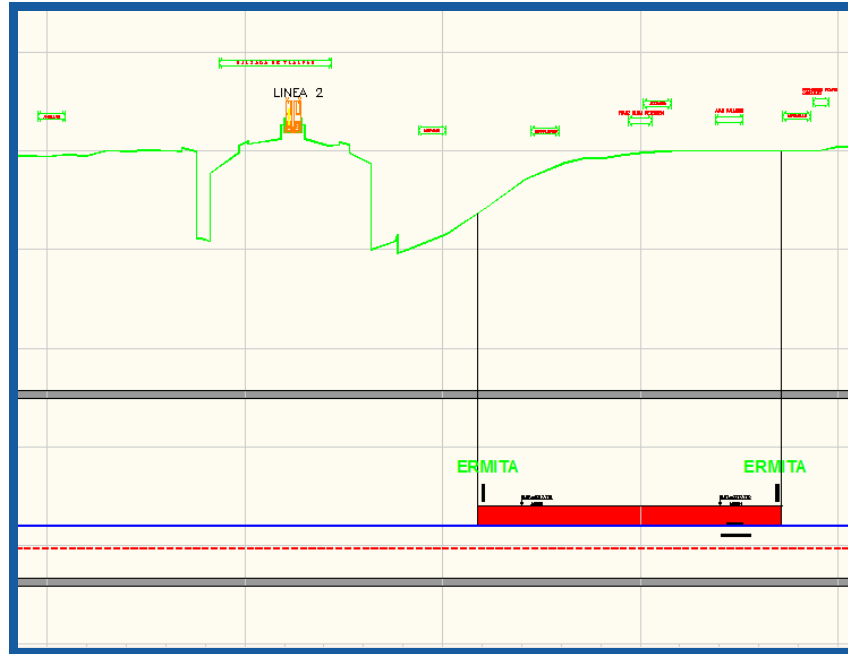
Perfil longitudinal del proyecto donde se muestra la lumbrera de entrada de la EPB

En el km 21+800 existen dos colectores de gran caudal lo cual obliga al trazo en perfil a bajar su rasante de tal forma que no se afecten dichas obras



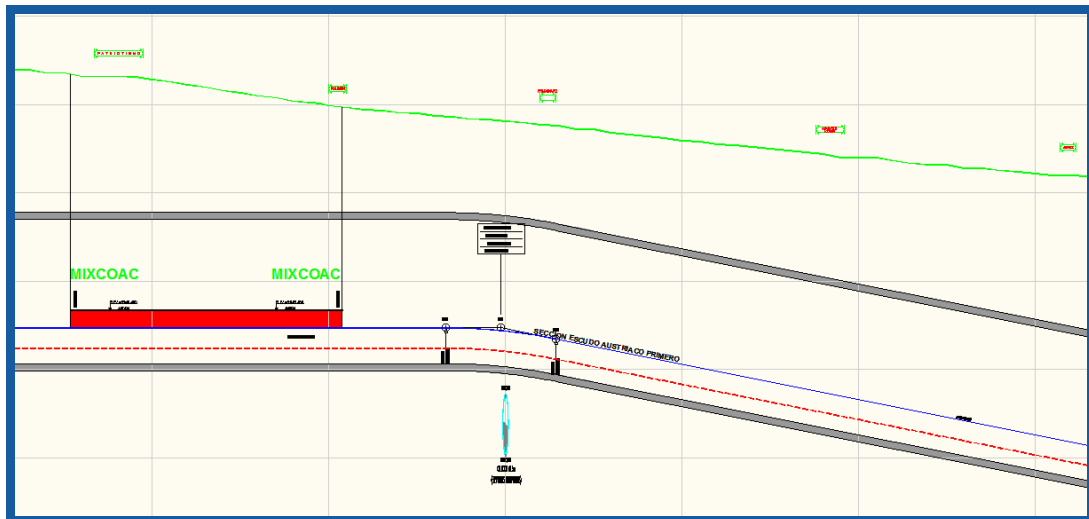
Perfil longitudinal del proyecto donde se muestran dos obras de drenaje de caudal considerable

El siguiente punto crítico esta ubicado en la zona de la Calzada de Tlalpan en donde la Línea 12 tendrá comunicación con la Línea 2 del metro, en esta zona en particular lo que se realizo fue el bajar la rasante para poder librar dicha avenida y las instalaciones propias de la Línea 2, además de la limitante de tener una pendiente 0% en la estación Ermita.



Perfil longitudinal del proyecto donde se muestra la conexión con la línea 2 del Metro

Una condicionante también fue la conectividad con la línea 7 en la terminal Mixcoac y una obra inducida importante de transporte de agua residual la cual era imposible afectar.



Perfil longitudinal donde se muestra una obra de drenaje de gran caudal

Existen dentro del trazado en perfil otra limitante muy importante la cual establece que la pendiente en las estaciones sea igual al 0% por lo tanto se tuvo que ajustar el perfil a este punto y cuidando siempre mantener un nivel factible debajo del terreno natural tanto en la parte económica como en la parte técnica.



4.3.1. Criterios de diseño.

Los criterios de diseño se han establecido en función del libro “Especificaciones Para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México” y son descritos en el tema siguiente.

A manera de resumen se tiene una tabla en la cual se definen los parámetros mínimos, los determinados en las bases del diseño en función del material rodante y los valores aplicados para el trazo del perfil longitudinal de la Línea 12 del Metro.

PERFIL			Norma	Bases de diseño	Valores aplicados
	Radio de curvatura vertical	R _{min} deseables [m]	2500 (v=80)	No existe	3125
		R _{min} casos especiales [m]	1250 (v=80)	1200	2500
		a _v Aceleración vertical [m/s ²]	No existe	No existe	0.2
	Longitud mínima	L _{min} Rampa con pendiente uniforme [m]	16	No existe	V _p /2
		L _{min} Acuerdo vertical [m]	No existe	No existe	V _p /2
	Pendientes	S _{máx} [%]	4	4	2
		S _{min} Tramo interestación en túnel y cajón subterráneo o superficial [%]	0.2	No existe	0.2
		S _{min} Tramo interestación elevado [%]	0.3	No existe	0.3
		Estaciones [%]	0	No existe	0
Vías de estacionamiento [%]		0	No existe	0	
Aparatos [%]		2	No existe	0	

4.3.2. Cálculos geométricos.

Enlaces entre pendiente

Dicho enlace se deberá realizar a través de una curva parabólica de transición definida por la siguiente ecuación

$$Y=x^2/2R$$



La distancia entre dos curvas verticales deberá de ser de por lo menos la longitud total de separación de boogies, esto con la finalidad de no permitir que el vehículo quede apoyado solo en un punto y tal efecto cause un daño en a los trenes.

4.3.3. Listados de replanteo.

Los listado de replanteo actualmente y con la utilización de los GPS han cambiado en su forma de entrega, a continuación se presenta un ejemplo de los listados que se entregaron para su posterior carga en un GPS y su replanteo en campo ulterior a la ejecución de la obra civil, en el caso particular de los datos de replanteo del perfil longitudinal los datos de gran importancia son las coordenadas (km,Elevación) de los vértices del perfil, con dichos datos es posible su replanteo en campo con correcta ejecución.

PENDIENTE	LONGITUD	PARAMETRO	VERTICE		ENTRADA AL ACUERDO		SALIDA DEL ACUERDO		BISECT.	DIF.PEN
			p.k.	cota	p.k.	cota	p.k.	cota		
(%)	(m)	(kv)							(m)	(%)
					3929.598	2236.15				
0	50	10000	4620	2236.15	4595	2236.15	4645	2236.275	0.031	0.5
0.5	70	10000	5157.143	2238.836	5122.143	2238.661	5192.143	2238.766	0.061	-0.7
-0.2	30	15000	5750	2237.65	5735	2237.68	5765	2237.65	0.007	0.2
0	56.25	3125	6010	2237.65	5981.875	2237.65	6038.125	2238.156	0.127	1.8
1.8	56.25	3125	6622.778	2248.68	6594.653	2248.174	6650.903	2248.68	0.127	-1.8
0	52.5	7500	7184.737	2248.68	7158.487	2248.68	7210.987	2248.496	0.046	-0.7
-0.7	67.5	5000	7508.737	2246.412	7474.987	2246.648	7542.487	2246.631	0.114	1.35
0.65	48.75	7500	8399.198	2252.2	8374.823	2252.042	8423.573	2252.2	0.04	-0.65
0	45	15000	8726.8	2252.2	8704.3	2252.2	8749.3	2252.132	0.017	-0.3
-0.3	92	4000	9164.8	2250.886	9118.8	2251.024	9210.8	2251.806	0.265	2.3
2	125	3125	9496	2257.51	9433.5	2256.26	9558.5	2256.26	0.625	-4
-2	62.5	3125	9795	2251.53	9763.75	2252.155	9826.25	2251.53	0.156	2
0	48	12000	10136.497	2251.53	10112.497	2251.53	10160.497	2251.626	0.024	0.4
0.4	48	12000	10603.997	2253.4	10579.997	2253.304	10627.997	2253.4	0.024	-0.4
0	62.5	3125	10992.874	2253.4	10961.624	2253.4	11024.124	2252.775	0.156	-2
-2	71.875	3125	11204.639	2249.165	11168.702	2249.883	11240.577	2249.273	0.207	2.3
0.3	45.5	7000	11661.657	2250.536	11638.907	2250.467	11684.407	2250.752	0.037	0.65
0.95	57	6000	11900	2252.8	11871.5	2252.529	11928.5	2252.8	0.068	-0.95
0	45.5	3500	12764.962	2252.8	12742.212	2252.8	12787.712	2252.504	0.074	-1.3
-1.3	50	5000	12899.067	2251.057	12874.067	2251.382	12924.067	2250.982	0.063	1
-0.3	45	15000	13451.28	2249.4	13428.78	2249.468	13473.78	2249.4	0.017	0.3
0	45	15000	13776.666	2249.4	13754.166	2249.4	13799.166	2249.333	0.017	-0.3
-0.3	45	15000	14543.333	2247.1	14520.833	2247.168	14565.833	2247.1	0.017	0.3
0	62.5	3125	14823.824	2247.1	14792.574	2247.1	14855.074	2247.725	0.156	2
2	80.5	3500	15177.488	2254.173	15137.238	2253.368	15217.738	2254.053	0.231	-2.3
-0.3	45	15000	15568.585	2253	15546.085	2253.068	15591.085	2253	0.017	0.3
0	46.875	3125	16074.666	2253	16051.229	2253	16098.104	2253.352	0.088	1.5
1.5	78.125	3125	16172.817	2254.472	16133.754	2253.886	16211.879	2254.082	0.244	-2.5
-1	56	8000	16384.402	2252.356	16356.402	2252.636	16412.402	2252.272	0.049	0.7
-0.3	45	15000	16936.536	2250.7	16914.036	2250.767	16959.036	2250.7	0.017	0.3
0	45	15000	17168.115	2250.7	17145.615	2250.7	17190.615	2250.767	0.017	0.3
0.3	60	10000	17310.642	2251.128	17280.642	2251.038	17340.642	2251.038	0.045	-0.6
-0.3	53.125	3125	17612.198	2250.223	17585.635	2250.303	17638.76	2249.692	0.113	-1.7
-2	49	19600	18289.919	2236.668	18265.419	2237.158	18314.419	2236.24	0.015	0.25
-1.75	54.688	3125	19262.404	2219.65	19235.06	2220.129	19289.748	2219.65	0.12	1.75
0	62.5	3125	19538.972	2219.65	19507.722	2219.65	19570.222	2220.275	0.156	2



4.4. Secciones transversales (Proyecto de Gálibos).

El proyecto de gálibos de una obra de este tipo es la parte medular del mismo, pues intervienen tanto los argumentos introducidos en el diseño en planta como los de perfil además de incluirse la sección transversal correspondiente en cada tramo de la línea.

Como se menciona con anterioridad la línea 12 del Metro cuenta con cinco tramos establecidos

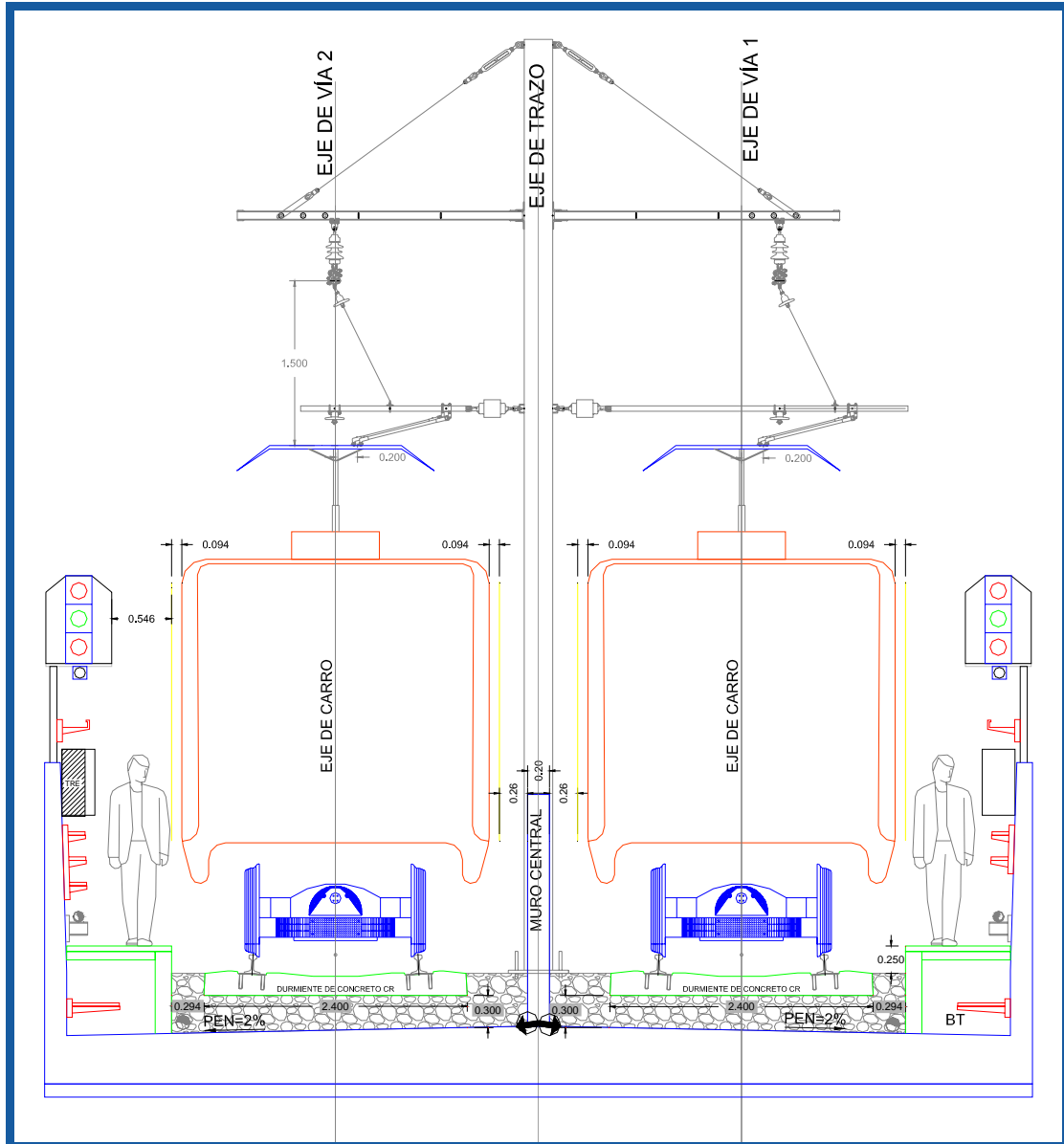
- Superficial
- Elevado
- Cajón subterráneo
- Túnel (tuneladora)
- Túnel convencional (método Austriaco)

Con base en esta división de los tramos es posible en el software Istram Ispol mecanizar cada una de ellas definiendo para cada una los parámetros que sean necesarios según el caso a tratar.

A continuación se detallaran las secciones transversales del proyecto para poder observar la potencialidad del software y su aplicación en este tipo de obras civiles.

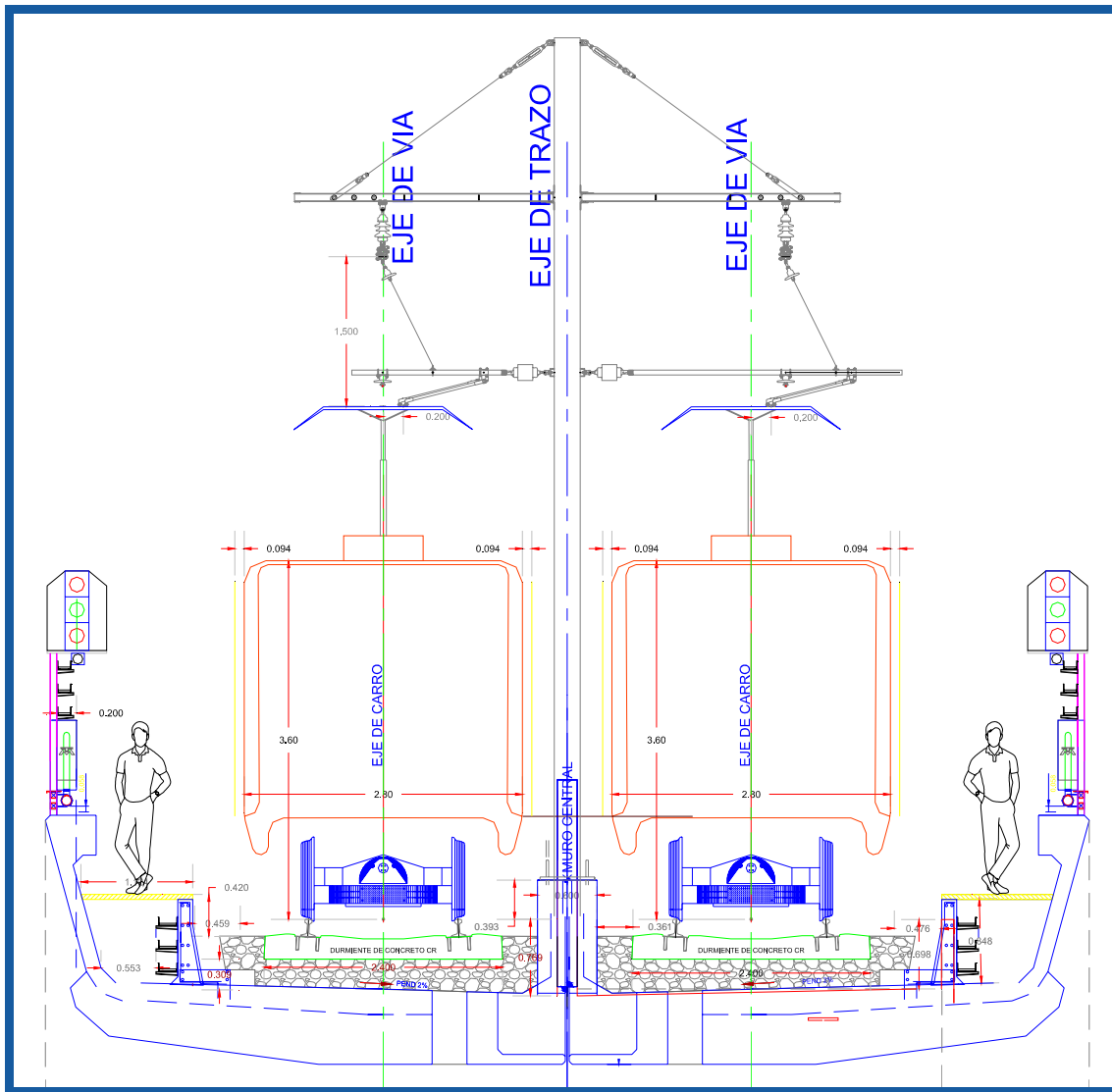
Sección superficial

La sección superficial, como su nombre lo dice es aquella que se encuentra apoyada sobre el terreno natural. Se presenta la sección tipo para un tramo en tangente.



Sección elevada

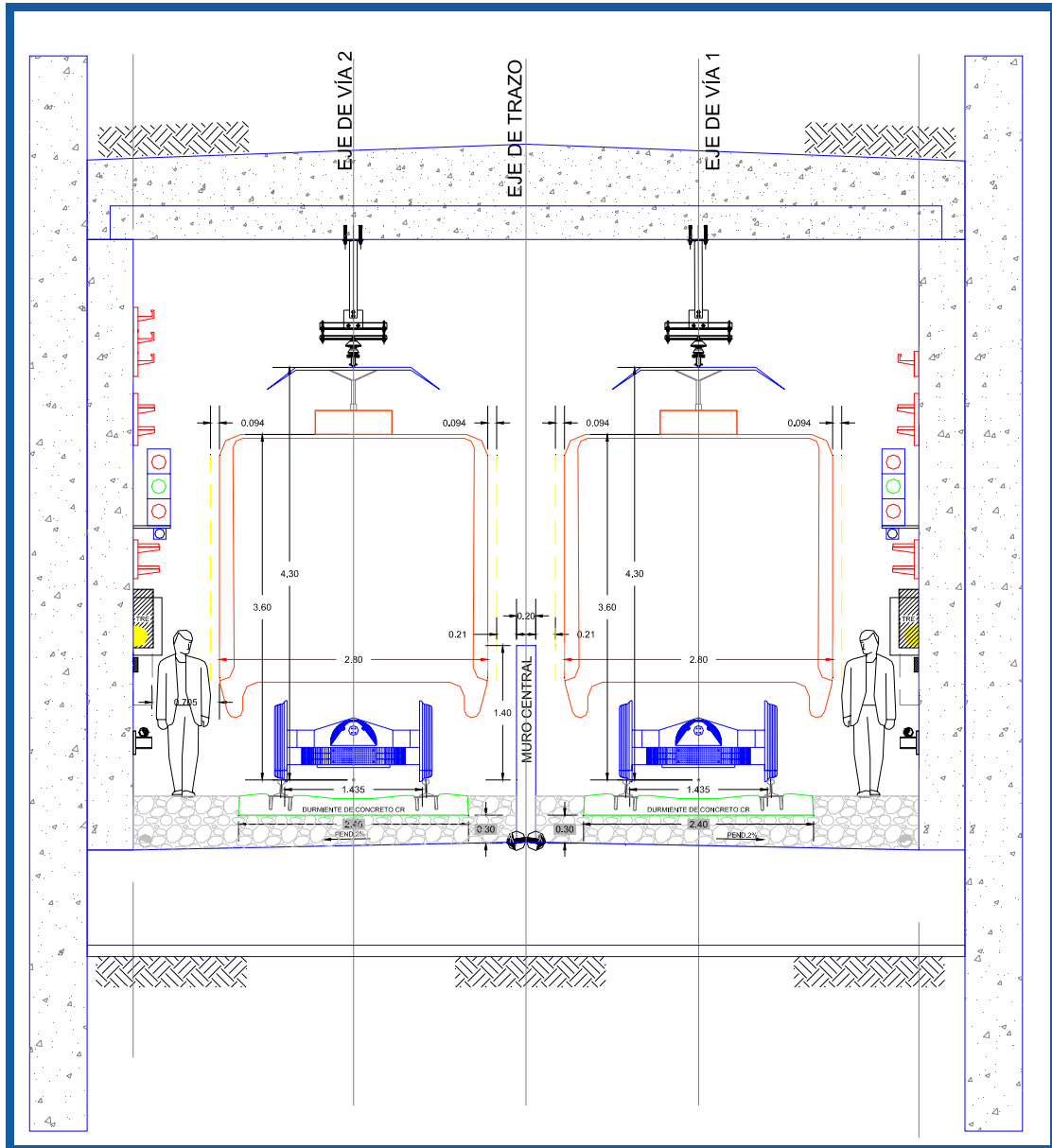
La sección elevada está apoyada sobre una estructura la cual crea un viaducto de tal forma que no se interrumpa el tránsito de las vialidades aledañas por la operación del sistema. Se presenta la sección tipo para el caso de un tramo en tangente.





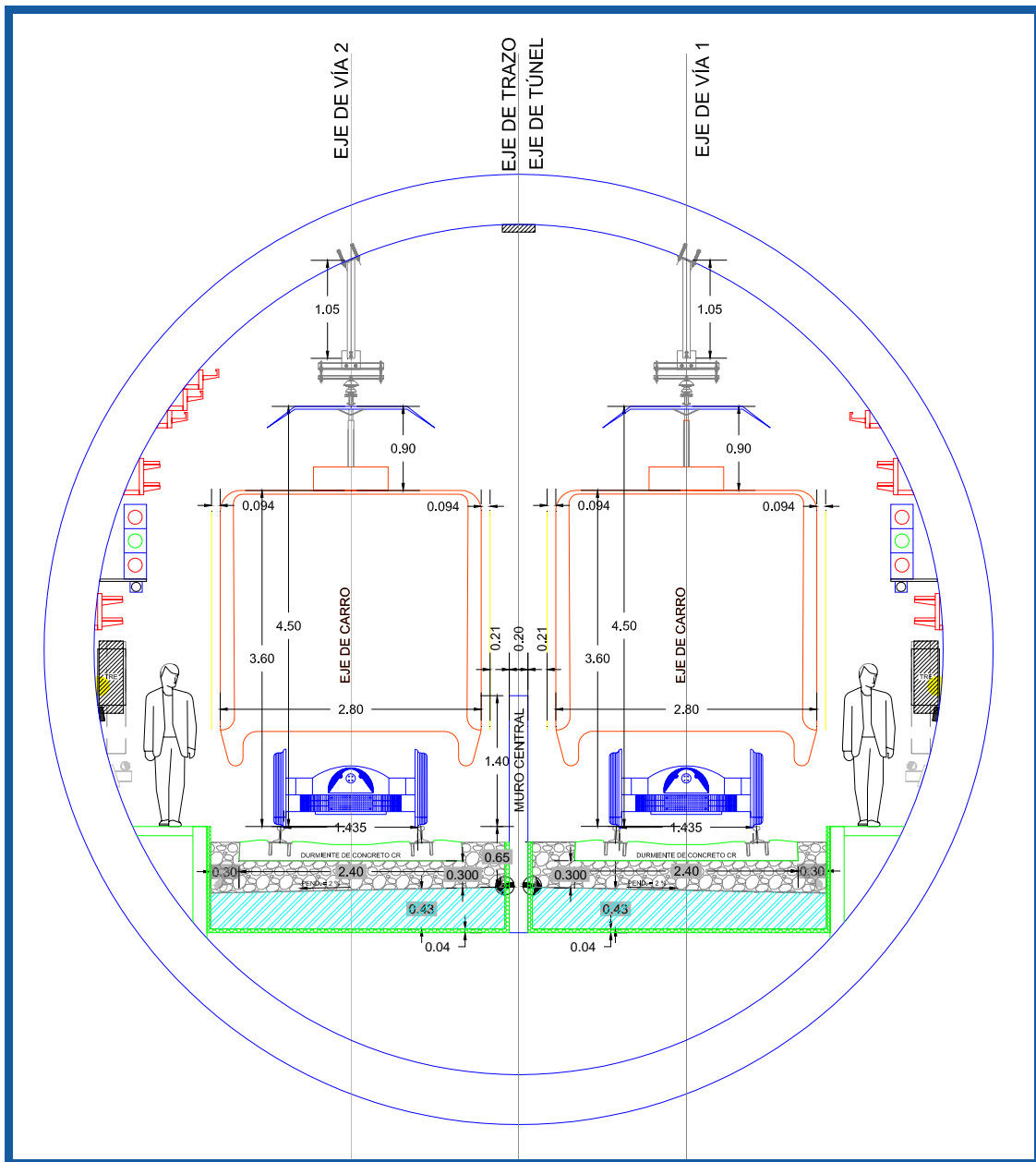
Sección cajón subterráneo

La sección en cajón subterráneo está por debajo del nivel del terreno natural, a una profundidad viable tanto económica como técnicamente, su sección en general es rectangular. Se presenta la sección tipo para un tramo en tangente.



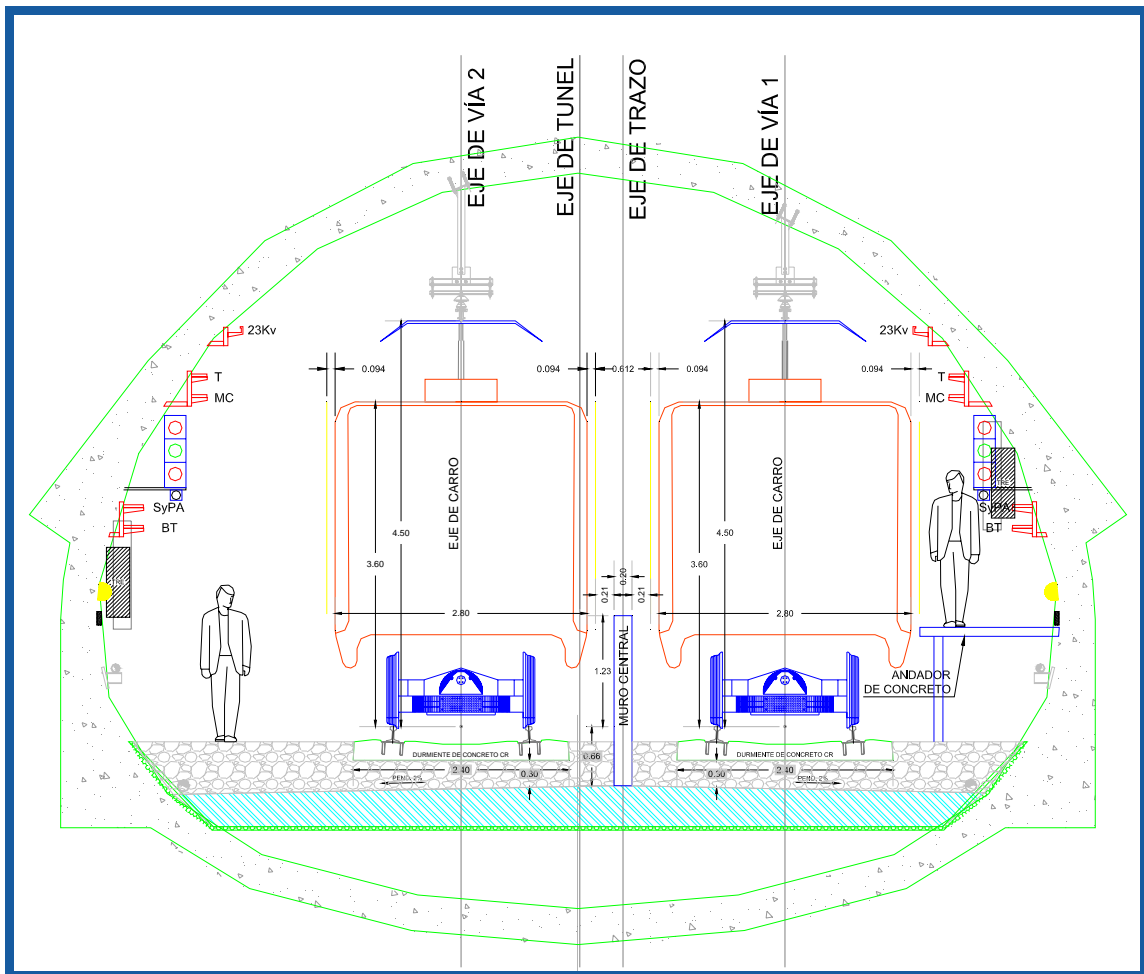
Sección en túnel con tuneladora

Debido a que la construcción de un cajón subterráneo trae consigo bastantes molestias a las vialidades aledañas al proyecto se toma la decisión de realizar un túnel capaz de albergar el proyecto a base de una tuneladora la sección es circular de radio interior de 9.11 m reforzado con dovelas de un espesor de 40 cm. Como se puede observar en el caso de la sección en tangente el eje de la tuneladora coincide con el eje de trazo del proyecto, siendo este caso solo aplicable para los tramos en recta.



Sección en túnel convencional

Esta sección es de forma herradura capaz de soportar los esfuerzos de compresión de las capas superiores a la estructura, esta reforzado por un armazón de concreto con espesores variables en función de los requerimientos estructurales del mismo. Se presenta la sección para un tramo en tangente, el defase mostrado entre el eje de trazo y el eje de túnel es debido a las diferentes instalaciones que son necesarias en dicha zona (anden de maniobras, nichos de seguridad, plataforma de camino de accesos a cola, etc.).





4.4.1. Criterios de diseño.

Para el diseño del proyecto de gálibos intervienen varios aspectos que se enlistan a continuación:

- Cálculo de las sobreelevaciones
- Cálculo de las ampliaciones en curvas
- Cálculo de las distancias mínimas a obstáculos

Cálculo de las sobreelevaciones

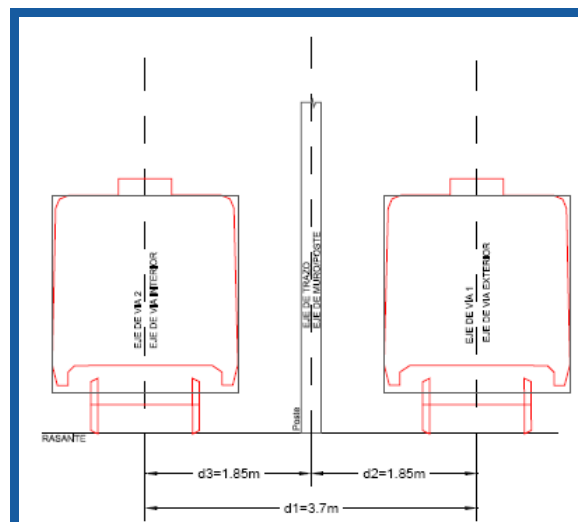
Ver capítulo 4.2.2 “Cálculos Geométricos”

Cálculo de las ampliaciones en curvas

El cálculo de las ampliaciones en curva estará en función de las distancias mínimas a obstáculos desglosados en el punto siguiente.

Cálculo de las distancias mínimas a obstáculos

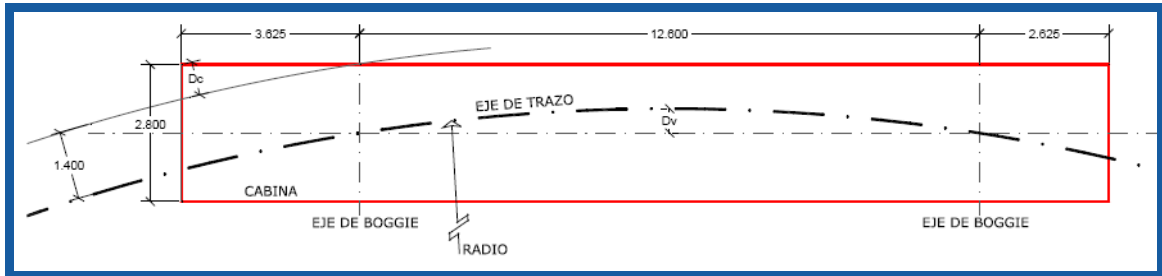
Para determinar las secciones mínimas se tiene que mantener una distancia de 30 cm libres entre el carro estático y cualquier obstáculo. Para la definición de las vías en sección superficial y elevada el obstáculo es el poste. Para la definición de las vías en sección cajón subterráneo y túnel el obstáculo es el muro central.



Debido al hecho, de que el carro es un elemento rígido, es necesario respetar los desplazamientos del carro en los puntos más desfavorables, la cabecera y el punto



medio entre ejes de boggies. Como todavía no está definido el modelo del tren que se va a utilizar, se define el carro de forma rectangular con las dimensiones de 18.85m x 2.8m.



Según la Ficha Técnica se definen las siguientes características geométricas para el material rodante que dará servicio en la Línea 12:

- Ancho carro: 2.8 m
- Longitud carro con cabina: 18.85m
- Distancia entre ejes de boggie: 12.6m
- Distancia eje de boggie – cabecera con cabina: 3.625m
- Distancia eje de boggie – cabecera sin cabina: 2.625m

Se determina los valores DV y DC aplicando las siguientes ecuaciones:

$$Dv = \frac{C^2}{8R}$$

Donde:

- C: Cuerda larga, definido por la distancia entre los ejes de boggie (12.6m)
- R: Radio del eje central

$$Dc = R_1 - R$$

$$R_1 = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$a = R + \frac{B}{2} - Dv = R + 1.4 - Dv$$

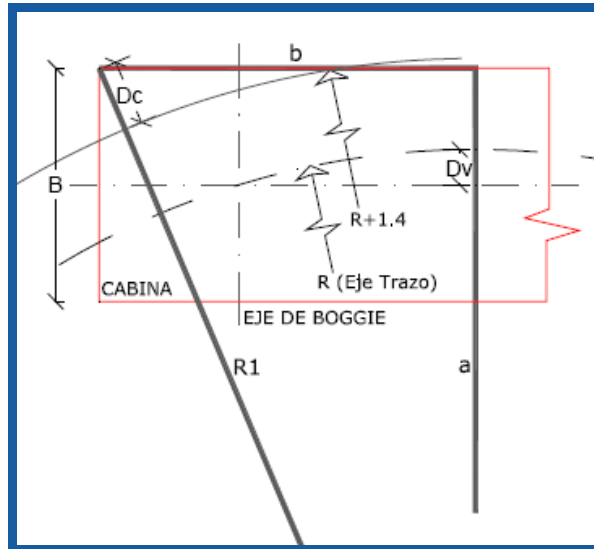
$$b = L_{cabina} + \frac{C}{2} = 3.625 + \frac{12.6}{2} = 9.925 \text{ m}$$

Donde:

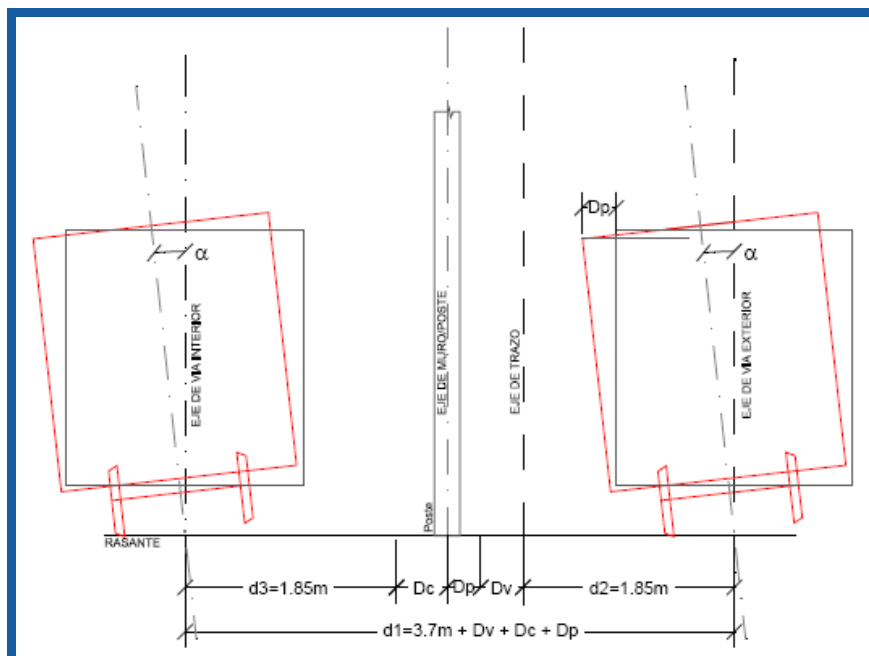
- R: Radio del eje central



- R1: Distancia desde el centro correspondiente a la curva del eje central y la cabecera del carro
- Lcabina: Medida entre el eje del boggie y la cabecera para un carro con cabina (3.625m)
- C: Cuerda larga, definido por la distancia entre los ejes de boggie (12.6m)
- B: Ancho carro (2.8m)



A continuación se presenta la sección transversal al momento de transitar por una curva, en la cual se pueden observar los desplazamientos de los vehículos por la inclinación del peralte.



La aplicación de una pendiente transversal a la vía en la curva provoca una inclinación del carro. En caso de la vía exterior el carro se acerca al muro central o a los postes. En caso de la vía interior se acerca a las señales e instalaciones a lo largo del trazo.



Para determinar el desplazamiento debido al peralte se aplica la siguiente fórmula:

$$Dp = h_1^2 + \text{sen}\alpha - \frac{B}{2}(1 - \text{cos}\alpha)$$

Donde:

h_1 : Distancia desde la rasante hasta la cota de referencia: en caso del muro central

$h_1=1.4\text{m}$ en el caso del murete central

$h_1=3.6\text{m}$ en el caso del poste central de la catenaria

α :Inclinación debido al peralte

$$\alpha = \arcsen\left(\frac{\text{peralte [mm]}}{1500}\right)$$

Suponiendo que la trocha de la vía es de 1,435mm y el hongo del riel de 63.5mm, su suma con 1,498.5 \approx 1,500mm.

B: Ancho carro (2.8m)

4.4.2. Cálculos geométricos.

Para el cálculo de las secciones mínimas capaces de albergar, tanto las instalaciones como a los vehículos que transitaran por cada una de las secciones, es necesario establecer las distancias mínimas a los obstáculos que se pueda encontrar el vehículo al transitar por la sección, por tal motivo se ha realizado una tabla en la cual se establecen dichas magnitudes.

Al desarrollar las formulas del apartado anterior en una hoja de cálculo que se presenta a continuación se obtienen las distancias de la sección efectiva total y de la separación de entrevía para los diferentes radios del trazo:



ANÁLISIS DE SECCION MINIMA EN TÚNEL

DATOS DE INGRESO								TAN
Rc =	250	300	400	500	750	1000	1500	2000
se mm =	180	180	180	180	100	65	35	0
ancho 1/2 coche	1.4000	1.4000	1.4000	1.4000	1.4000	1.4000	1.4000	1.4000
long. / bogies	12.6000	12.6000	12.6000	12.6000	12.6000	12.6000	12.6000	12.6000
dist. eje carro a cabina	9.9250	9.9250	9.9250	9.9250	9.9250	9.9250	9.9250	9.9250
galibo dinámico PIB	0.0940	0.0940	0.0940	0.0940	0.0940	0.0940	0.0940	0.0940
dist. Libre a obstáculo	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000
Andador	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000
Dist. De charolas	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500
Ancho muro central	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000

CÁLCULOS DE PROYECCIONES

flecha (DV)=	0.079	0.086	0.050	0.040	0.028	0.020	0.013	0.010
des. De la cabeza DC	0.118	0.098	0.074	0.059	0.039	0.029	0.020	0.015
proy. 1/2 carro	1.398	1.398	1.398	1.398	1.399	1.400	1.400	1.400
proy. Gd	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094
proy. DV	0.173	0.160	0.143	0.133	0.120	0.114	0.107	0.104
proy. DC	0.211	0.192	0.167	0.153	0.133	0.123	0.114	0.109
se a 2 m =	0.213	0.213	0.213	0.213	0.133	0.087	0.047	0.000
se a 1.4 m =	0.149	0.149	0.149	0.149	0.093	0.061	0.033	0.000
se a 3.6 m =	0.384	0.384	0.384	0.384	0.240	0.156	0.084	0.000
se a 1.2 m =	0.128	0.128	0.128	0.128	0.080	0.052	0.028	0.000

CALCULO SECCION

a	2.331	2.311	2.287	2.272	2.302	2.321	2.335	2.359
b	4.001	3.988	3.927	3.903	3.865	3.845	3.825	3.813
c	2.634	2.621	2.604	2.595	2.503	2.450	2.404	2.354
A (galibo exterior)	2.360	2.360	2.360	2.360	2.360	2.500	2.550	2.755
B (intereije)	4.050	4.000	4.000	4.000	3.900	3.900	3.850	3.600
C (galibo interior)	2.700	2.750	2.750	2.750	2.850	2.710	2.710	2.755
F = ANCHO DE SECCIÓN	9.110	9.110	9.110	9.110	9.110	9.110	9.110	9.110
eje exte. A eje de trazo	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
eje de trazo a eje de muro	0.320	0.307	0.290	0.281	0.213	0.174	0.140	0.104
eje de trazo a eje de muro	0.350	0.300	0.300	0.290	0.220	0.180	0.150	0.000
eje de trazo a eje Int.	2.250	2.200	2.200	2.200	2.100	2.100	2.050	1.800
eje de muro central a vía int.	1.900	1.900	1.900	1.910	1.880	1.920	1.900	1.800
entre eje vías	4.050	4.000	4.000	4.000	3.900	3.900	3.850	3.600
EJE TRAZO A EJE TUNEL	0.395	0.395	0.395	0.395	0.395	0.255	0.205	0.000

Para cada sección se realizó este cálculo para determinar las distancias mínimas necesarias, de tal suerte que la sección proyectada sea la óptima económicamente y presente una viabilidad técnica.

A partir de estas tablas se comenzó a mecanizar dichas distancias en el software Istram Ispol en particular en el módulo de alzado en donde se pueden mecanizar las secciones transversales.

Comenzaremos con la descripción de los pasos a seguir para la mecanización de un proyecto de este tipo en el software Istram Ispol.

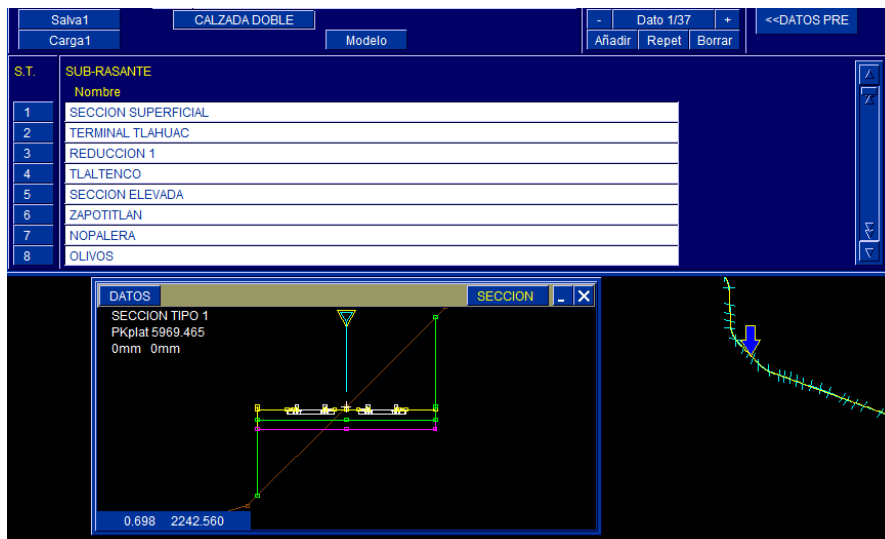


Menú alzado

Paso 1: En este menú el primer paso a definir será el tipo de proyecto que se esté realizando (carretera, tubería o ferrocarril)

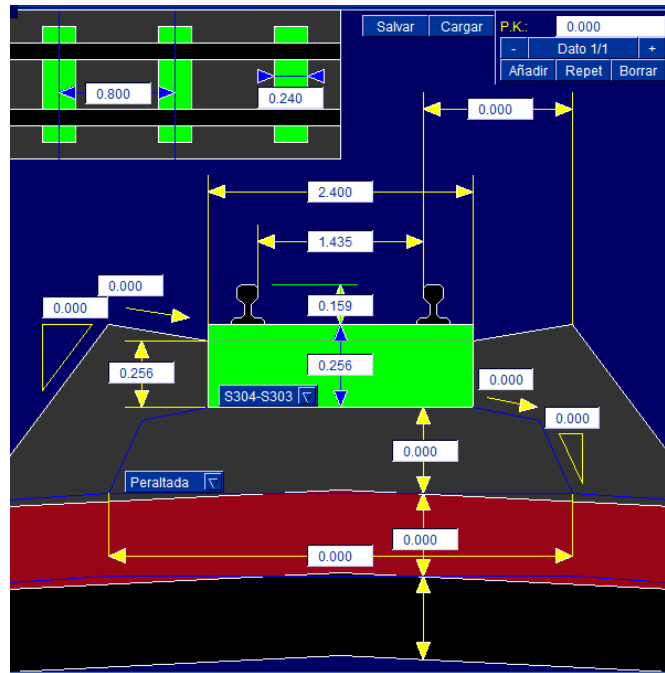


Paso 2: A continuación será definir las secciones tipo, en este menú se podrán definir tantas secciones tipo, como secciones transversales diferentes se tengan.





Paso 3: Ahora se definirá la vía y la traviesa (durmiente), como se puede observar los recuadros en blanco serán las variables que se deberán de introducir en el programa para ajustar al proyecto según las necesidades de éste.



Paso 4: Como siguiente paso será la definición de las zonas de cálculo, en dicha parte del proceso se establecerán las secciones previamente definidas en el paso 1 pero ahora asignándoles un kilometraje de aplicación. Como se puede observar en el submenú del programa en la parte derecha se podrá colocar la sección tipo que corresponda y al lado derecho del todo, será posible introducir los kilometrajes de aplicación de dicha sección.

ZONAS DE CALCULO		EJE: 4	Modelo	Selección PK		SONDEOS INDEPENDIENTES						
Salvar	CALZADA DOBLE			Numérica	-	Dato 1/60	+					
Cargar	Reordena	Automático	Perfil exacto	Añadir	Repet	Borrar						
TRAMO		DATOS DE SONDEOS		Simétricos		Derecha		Der.->Izq.		Independientes		
ST_i	ST_j	ESTRUCTURA	V	V+I	R	R2	R3	R4	R5	R6	P.K. INICIAL	P.K. FINAL
1	1	NO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3929.598	4235.622
2	36	SI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4235.627	4332.911
3	2	SI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4332.916	4486.915
4	3	SI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4486.920	4586.939
5	1	SI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4586.944	5815.454
6	4	SI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5815.459	5969.460
7	1	SI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5969.465	6008.389
8	5	SI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6008.394	6950.857



Paso 5: En este paso se definirá el ancho de entrevía, como en el proyecto tenemos dos vías independientes se deberán de introducir los valores correspondientes a cada uno de ellos.

IZQUIERDA	PK	ANCHO 1	ANCHO 2	eje
1	0.0000	1.4350	0.0000	0

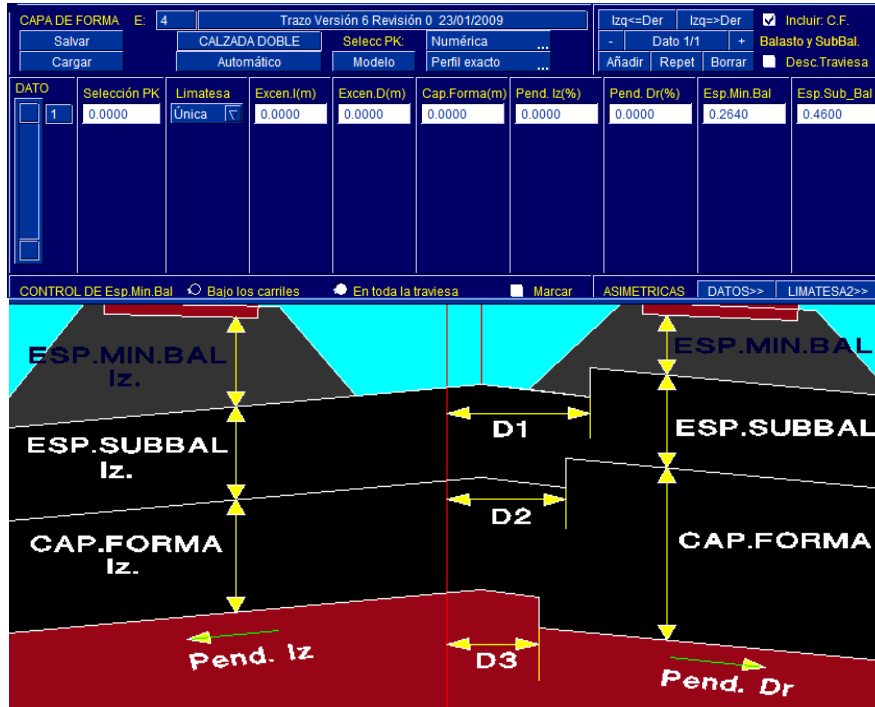
DERECHA	PK	ANCHO 1	ANCHO 2	eje
1	0.0000	1.4350	0.0000	0

Paso 6: A continuación se deberán de introducir los peraltes de la vía que previamente se calcularon, los cuales se definirán por su altura en mm y por el kilometraje de aplicación, el programa hará el cambio gradual durante la clotoide para garantizar que dentro de la curva circular se tenga el peralte máximo.

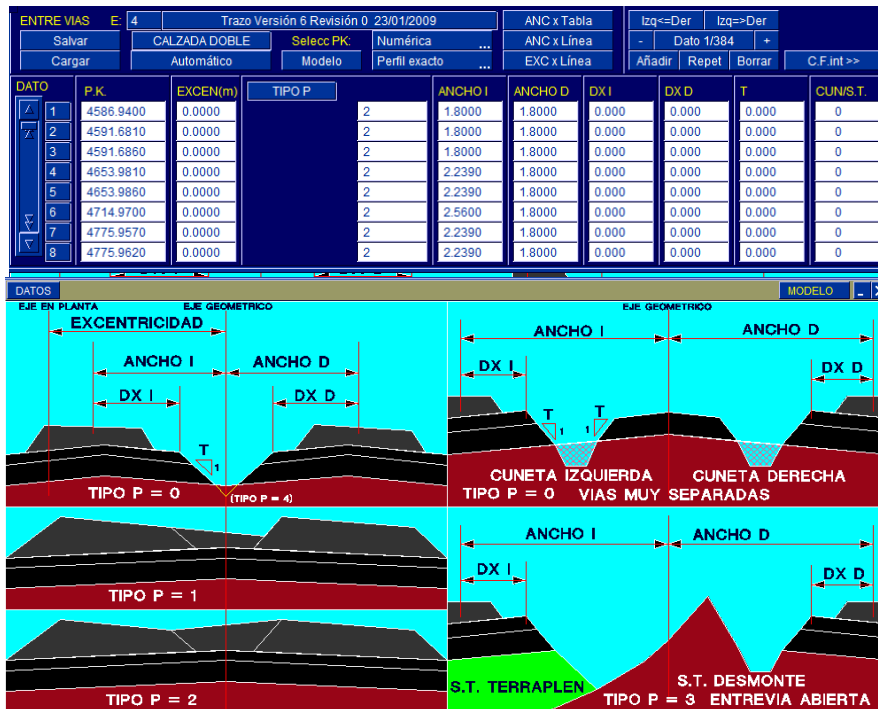
DATO	P.K. IZQUIERDA	PERALTE (mm)	P.K. DERECHA	PERALTE (mm)
9	4248.6570	0.0000	4248.6570	0.0000
10	4591.6810	0.0000	4591.6810	0.0000
11	4653.9810	-160.0000	4653.9810	-160.0000
12	4775.9570	-160.0000	4775.9570	-160.0000
13	4838.2570	0.0000	4838.2570	0.0000
14	4951.2660	0.0000	4951.2660	0.0000
15	5023.7660	145.0000	5023.7660	145.0000
16	5084.9960	145.0000	5084.9960	145.0000



Paso 7: Se procede a la definición de los espesores de las capa de balasto y del subbalasto

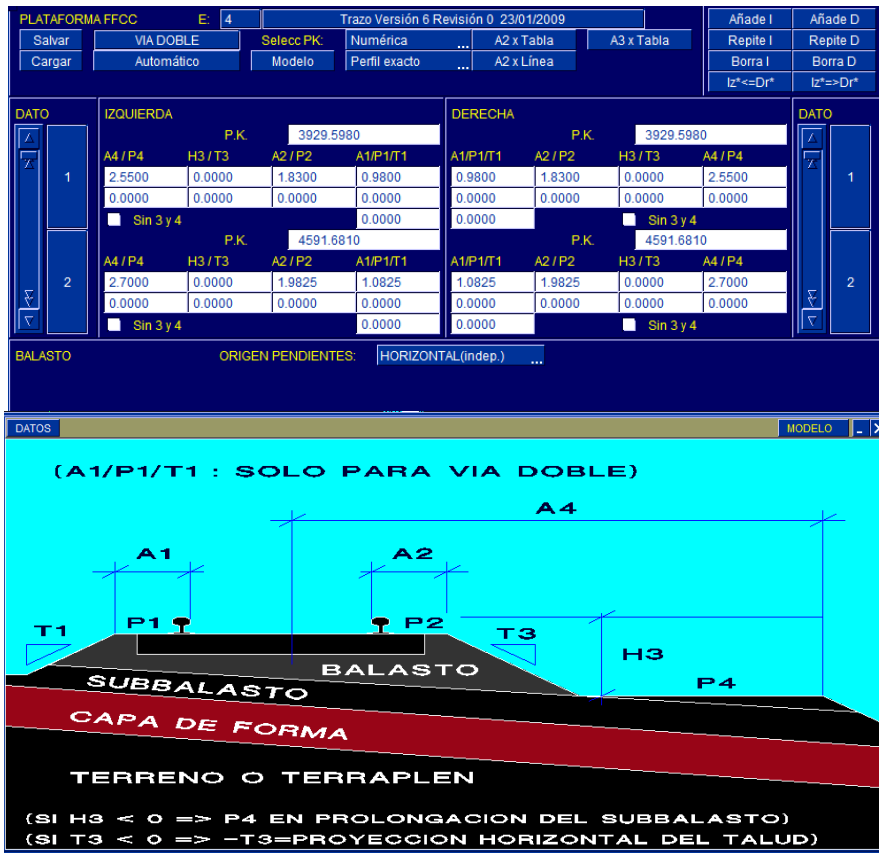


Paso 8: La introducción de la separación de entrevía es una de las partes medulares del proyecto, pues a partir de estos valores se definirá la zona de ocupación del proyecto. El cálculo de estas separaciones de entrevía se analizo en puntos anteriores y la aplicación de dichos sobreanchos se define por kilometrajes.

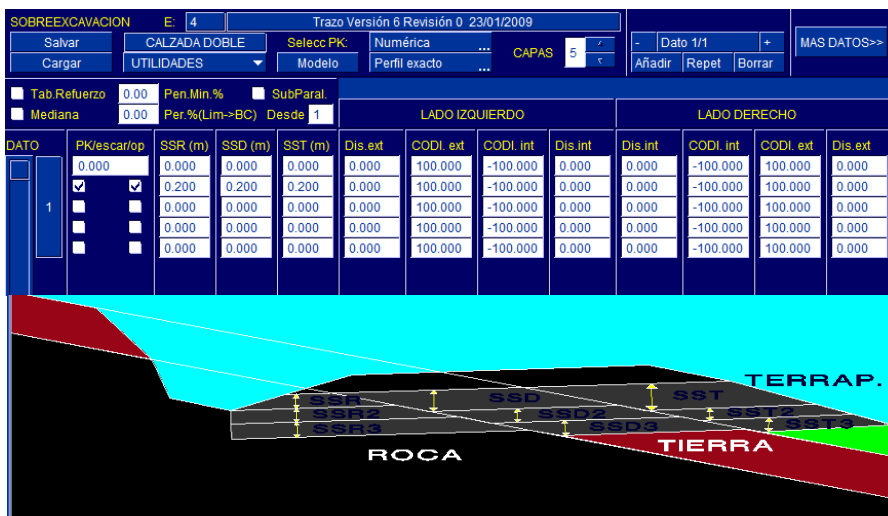




Paso 9: Se tuvieron que definir las características de la plataforma donde se apoyan las vías, las variables que se pueden manipular se muestran en el grafico.



Paso 10: en el menú “suelo seleccionado” después de la realización de estudios geotécnicos, de laboratorio y conociendo los espesores de las terracerías a utilizar, en el programa se podrán introducir los valores de los espesores de dichas capas especificadas en el diagrama anexo a la tabla de datos de entrada.

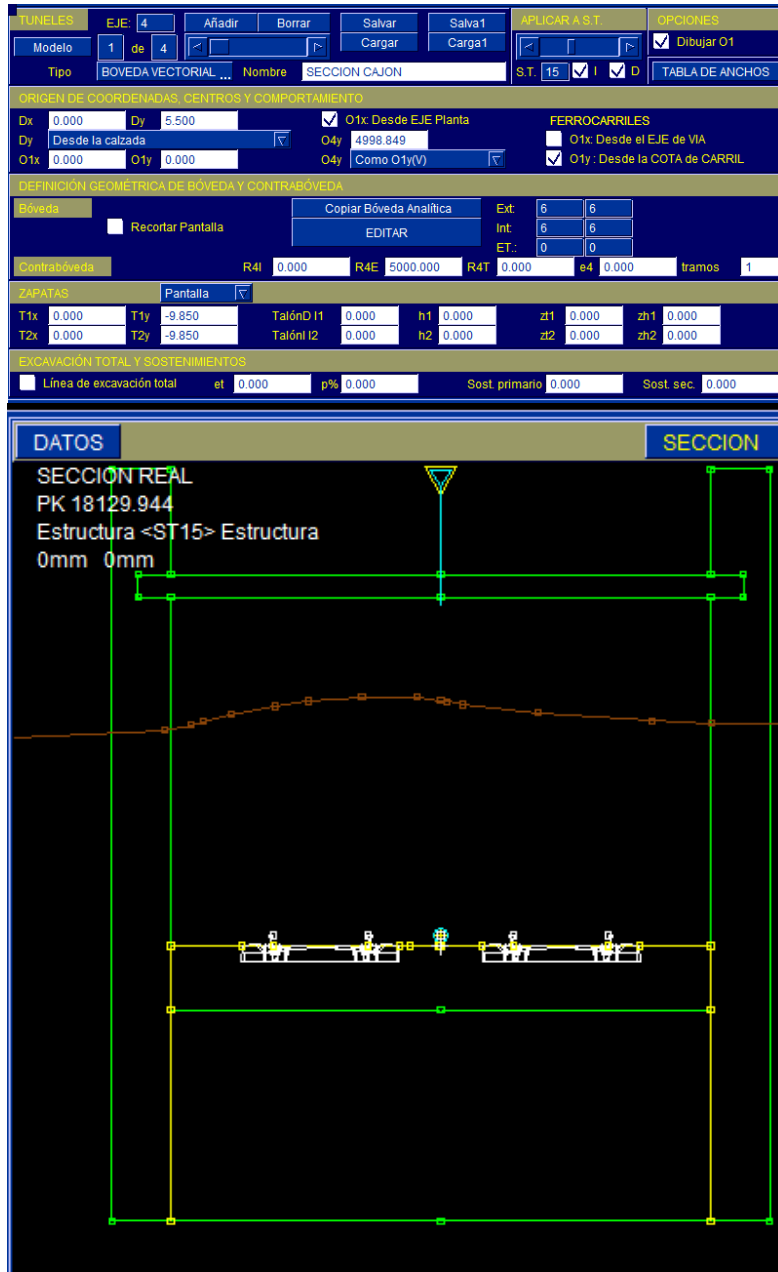




Paso 11: Por último se deberán de mecanizar las secciones transversales correspondientes a las definidas en el **Paso 2** las secciones mecanizadas son las siguientes:

- Sección en cajón subterráneo

Esta sección se mecanizo vectorialmente para poder definir los muros laterales y la losa superior.





➤ Sección en túnel

Esta sección al ser la típica de un túnel fue mecanizada vectorialmente, solo definiendo los valores paramétricos necesarios en las casillas establecidas

The screenshot displays the Ispol Istram software interface for defining a tunnel section. The interface is divided into several panels:

- TUNELES:** Includes fields for EJE (4), Modelo (2 de 4), Tipo (BOVEDA VECTORIAL), and Nombre (SECCION ESCUDO). Buttons for Añadir, Borrar, Salvar, Salva1, Cargar, and Carga1 are present.
- ORIGEN DE COORDENADAS, CENTROS Y COMPORTAMIENTO:** Contains fields for Dx, Dy, O1x, O1y, O4y, and O4y. It also has checkboxes for O1x and O1y, and a section for FERROCARRILES.
- DEFINICION GEOMETRICA DE BOVEDA Y CONTRABOVEDA:** Includes a Bóveda section with a Recortar Pantalla checkbox and an EDITAR button. It also has a Contrabóveda section with R4I, R4E, R4T, and e4 fields.
- ZAPATAS:** Includes fields for T1x, T1y, T2x, T2y, TalónD I1, TalónI I2, h1, h2, z1, z2, zh1, and zh2.
- EXCAVACION TOTAL Y SOSTENIMIENTOS:** Includes checkboxes for LÍnea de excavación total and fields for et, p%, Sost. primario, and Sost. sec.

The bottom panel, titled **DATOS** and **SECCION**, shows a graphical representation of the tunnel section. It displays a circular cross-section with a central structure labeled "Estructura <ST22> Estructura -89mm -89mm". The section is defined by a series of green points forming a circular boundary.



➤ Sección en túnel convencional

Esta sección debido a su complejidad se tuvo que mecanizar vectorialmente para poder definir su forma particular de “herradura”.

The screenshot displays the software interface for tunnel design. The top section contains controls for 'TUNELES', including 'EJE: 4', 'Añadir', 'Borrar', 'Salvar', 'Salva1', 'Cargar', and 'Carga1'. It also shows 'Modelo 3 de 4', 'Tipo BOVEDA VECTORIAL', and 'Nombre TUNEL AUSTRIACO'. The 'APLICAR A S.T.' section includes 'S.T. 37' and checkboxes for 'I' and 'D'. The 'OPCIONES' section has a checked 'Dibujar O1' and a 'TABLA DE ANCHOS' button.

The 'ORIGEN DE COORDENADAS, CENTROS Y COMPORTAMIENTO' section includes input fields for 'Dx 0.000', 'Dy 3.191', 'O1x Desde EJE Planta', 'O4y 0.000', 'O1x Desde la calzada', 'O4y Desde EJE Giro(V)', and 'O1y Desde la COTA de CARRIL'. The 'DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE BÓVEDA Y CONTRABÓVEDA' section includes 'Bóveda' and 'Contrabóveda' options, a 'Recortar Pantalla' checkbox, and a table for 'Copiar Bóveda Analítica' with 'Ext: 3 50', 'Int: 23 23', and 'ET: 0 0'. The 'ZAPATAS' section includes a 'Vectorial' checkbox and a table with columns for 'T1x', 'T1y', 'T2x', 'T2y', 'TalónD I1', 'TalónI I2', 'h1', 'h2', 'z1', 'z2', 'zh1', and 'zh2'. The 'EXCAVACIÓN TOTAL Y SOSTENIMIENTOS' section includes a 'Línea de excavación total' checkbox and input fields for 'et 0.000', 'p% 0.000', 'Sost. primario 0.000', and 'Sost. sec. 0.000'.

The bottom section, titled 'DATOS', shows a 'SECCION REAL' at 'PK 28194.090' for 'Estructura <ST37> Estructura' with '0mm 0mm'. It displays a cross-section diagram of a tunnel with a semi-circular top and a flat bottom, showing the internal structure and the surrounding excavation.

La definición de estas secciones es posible a través de los valores modificables en las casillas (paramétrico) o dibujando la sección por vectores, esta última opción es la más utilizada debido a la utilidad y flexibilidad que presenta en cuanto a las secciones a representar.



4.4.3. Listados de replanteo.

A continuación se presenta un ejemplo del listado que se obtiene del software referente a las volumetrías de balasto.

PERFIL	MATERIAL	AREA PERFIL	VOL. PARCIAL	VOL. ACUMUL.	MATERIAL	PERFIL	VOL. PARCIAL	VOL. ACUMUL.
6520	FIRME	8.833	176.66	1305.1	SUBBALASTO	4.148	82.96	594.4
	BALASTO	4.685	93.7	710.6				
6540	FIRME	8.833	176.66	1481.7	SUBBALASTO	4.148	82.96	677.4
	BALASTO	4.685	93.7	804.3				
6560	FIRME	8.835	176.68	1658.4	SUBBALASTO	4.148	82.96	760.3
	BALASTO	4.687	93.72	898.1				
6580	FIRME	8.833	176.68	1835.1	SUBBALASTO	4.148	82.96	843.3
	BALASTO	4.685	93.72	991.8				
6581.751	FIRME	8.833	15.47	1850.5	SUBBALASTO	4.148	7.26	850.6
	BALASTO	4.685	8.2	1000				
6600	FIRME	8.833	161.19	2011.7	SUBBALASTO	4.148	75.7	926.2
	BALASTO	4.685	85.49	1085.5				
6620	FIRME	8.833	176.66	2188.4	SUBBALASTO	4.148	82.96	1009.2
	BALASTO	4.685	93.7	1179.2				
6640	FIRME	8.833	176.66	2365	SUBBALASTO	4.148	82.96	1092.2
	BALASTO	4.685	93.7	1272.9				
6660	FIRME	8.833	176.66	2541.7	SUBBALASTO	4.148	82.96	1175.1
	BALASTO	4.685	93.7	1366.6				
6680	FIRME	8.833	176.66	2718.3	SUBBALASTO	4.148	82.96	1258.1
	BALASTO	4.685	93.7	1460.3				
6700	FIRME	8.833	176.66	2895	SUBBALASTO	4.148	82.96	1341
	BALASTO	4.685	93.7	1553.9				
6720	FIRME	8.833	176.66	3071.7	SUBBALASTO	4.148	82.96	1424
	BALASTO	4.685	93.7	1647.6				
6740	FIRME	8.833	176.66	3248.3	SUBBALASTO	4.148	82.96	1507
	BALASTO	4.685	93.7	1741.3				
6760	FIRME	8.833	176.66	3425	SUBBALASTO	4.148	82.96	1589.9
	BALASTO	4.685	93.7	1835				
6780	FIRME	8.833	176.66	3601.6	SUBBALASTO	4.148	82.96	1672.9
	BALASTO	4.685	93.7	1928.7				
6800	FIRME	8.833	176.66	3778.3	SUBBALASTO	4.148	82.96	1755.8
	BALASTO	4.685	93.7	2022.4				
6820	FIRME	8.833	176.66	3954.9	SUBBALASTO	4.148	82.96	1838.8
	BALASTO	4.685	93.7	2116.1				
6840	FIRME	8.833	176.66	4131.6	SUBBALASTO	4.148	82.96	1921.8
	BALASTO	4.685	93.7	2209.8				
6860	FIRME	8.833	176.66	4308.2	SUBBALASTO	4.148	82.96	2004.7
	BALASTO	4.685	93.7	2303.5				

Además de este listado de volumetrías se pueden obtener los listados que a continuación se enuncian:

- Listado de replanteo de eje de tuneladora
- Listados de replanteo de eje de murete central
- Listado de volumetrías de excavaciones
- Listado de zona de ocupación total del proyecto



5. Resumen.

El proyecto de la línea 12 del Metro de la Ciudad de México es la obra de mayor presupuesto dentro de este sexenio por este motivo y las necesidades de tener un diseño óptimo en términos económicos y técnicos, llevo a las empresas constructoras a buscar soluciones ya probadas en otros lugares del mundo, sin dejar de lado el aspecto local, de tal forma que se decido realizar dicho proyecto basado en el software expuesto. Cabe resaltar que la potencialidad del programa ha ayudado al replanteo en obra y llevar a cabo la correcta ejecución del los trabajos con la ayuda no solo de este programa sino de varias tecnologías que son capaces de integrarse con dicho software, como lo son los controles de la tuneladora, las estaciones totales, entre otros.



6. Conclusiones.

En términos generales y a manera de conclusión se ha analizado que en México existen programas de cómputo capaces de realizar proyectos de obra civil, pero actualmente no se han introducido nuevas herramientas más potentes y capaces de dar mayores alcances de integración de los mismos esto basado en que con el programa ISTRAM ISPOL es posible obtener una integración tanto de planta-perfil y secciones transversales dándonos así los planos necesarios para la ejecución del proyecto geométrico de un ferrocarril en México.

Por consiguiente se concluye la viabilidad de la realización de proyectos de gran envergadura haciendo uso de las mejores herramientas computacionales que nos ofrece el mercado mundial a través de la especialización de los mismos y que mejor que usar un programa capaz de realizar dicha integración y control de los proyectos que uno que se encuentre en primer lugar en nuestro mismo idioma aunado al apoyo que la empresa generadora del software aporta a cualquier mejora o necesidad regional de los proyectos.

Como última parte de esta tesis y para reforzar las conclusiones anteriores se ha agregado un **Anexo I** en el cual se presentan los planos del proyecto de la Línea 12 del Metro, mismo que fueron usados para la ejecución de dicho proyecto. Propiamente se presenta un plano de planta, uno de perfil, uno del proyecto de gálibos y uno de las secciones tipo, que básicamente es la información grafica obtenida con el software y es la necesaria para su ejecución en campo.



7. Bibliografía.

7.1. Bibliografía.

- Comisión de Vialidad y Transporte Urbano “Especificaciones Para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México” Volumen I 1986
- Comisión de Vialidad y Transporte Urbano “Especificaciones Para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México” Volumen II 1986
- Manual Proyecto de Obra Lineal Istram Ispol Buodra
- J. Garber Nicholas “Ingeniería de Transito y Carreteras” Tercera Edición 2006 Ed. Thomson México D.F.
- Reporte fotográfico Visita a Talleres Zaragoza 2009
- Proyecto Geométrico de la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México 2010

7.2. Mesografía.

- <http://www.metro.df.gob.mx>
- <http://es.wikipedia.org>
- <http://maps.google.es>

DIRECTOR DEL TEMA
Santiago Barragán Avarte

DIRECTOR DE TEMA
Hugo Haaz Mora

DESARROLLADOR DEL TEMA
César Adrián Velarde Salas

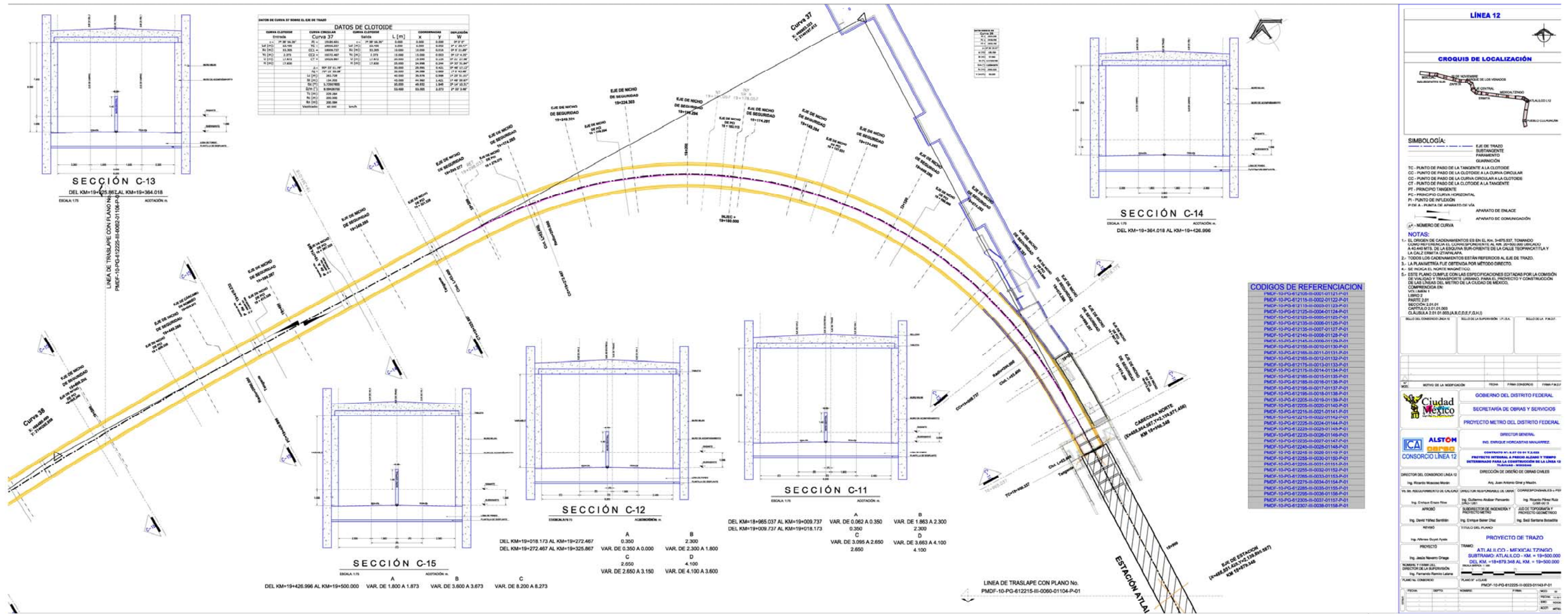


Anexo I

Planos finales del proyecto de la Línea 12 del Metro



Plano de Gálibos





Plano de Sección Tipo (Cajón subterráneo)

SECCION TIPO EN TANGENTE

SECCION TIPO EN CURVA EN CAJON

SECCION TIPO EN CURVA EN CAJON (DE 19+600 A 20+360.217)

SECCION TIPO EN TANGENTE (DE 19+600 A 20+360.217)

CALCULO DE SECCION

SECCION	A	B	C	D	E	F
SECCION 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SECCION 2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SECCION 3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SECCION 4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SECCION 5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SECCION 6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

CALCULO DE CURVAS

RADIO	DESPLAZAMIENTO HOR. CONSTANTE (CALIBRO DINAMICO) [M]	DESVIACION EN EL EXTREMO INTERIOR (GRADOS) [M]	DESVIACION EN EL EXTREMO EXTERIOR (GRADOS) [M]	DESVIACION AL CENTRO (GRADOS) [M]	DESVIACION EXTERIOR AL PERALTE A 1.800 DE LA RAJANTE [M]
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
600	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
700	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
800	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
900	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

EL VALOR DC Y DV INCLUYEN EL GALIBO DINAMICO.

CALCULO DE SECCION

SECCION	A	B	C	D	E	F
SECCION 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SECCION 2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SECCION 3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SECCION 4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SECCION 5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SECCION 6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

CALCULO DE CURVAS

RADIO	DESPLAZAMIENTO HOR. CONSTANTE (CALIBRO DINAMICO) [M]	DESVIACION EN EL EXTREMO INTERIOR (GRADOS) [M]	DESVIACION EN EL EXTREMO EXTERIOR (GRADOS) [M]	DESVIACION AL CENTRO (GRADOS) [M]	DESVIACION EXTERIOR AL PERALTE A 1.800 DE LA RAJANTE [M]
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
600	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
700	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
800	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
900	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

EL VALOR DC Y DV INCLUYEN EL GALIBO DINAMICO.

X.D.C. - EN MANERA EN ESTE PUNTO.

LÍNEA 12

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS

PROYECTO METRO DEL DISTRITO FEDERAL

DIRECTOR GENERAL

PROYECTO INTERNO A PRIMA ALZADA Y PRIMA DETERMINADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA 12 TLUERNA, MÉXICO

DIRECCIÓN DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES

IN EL ASIGNAMIENTO DE CALIDAD DIRECTOR RESPONSABLE DE OBRAS CORRESPONSABLES A PRIMA

APROBADO: DIRECTOR DE ASISTENCIA Y PROYECTO METRO

REVISADO: JEFE DE TERCERA Y PROYECTO GEOMÉTRICO

PROYECTO: TÍTULO DEL PLANO: PROYECTO DE SECCIÓN TIPO DE CAJÓN EN TANGENTE Y CURVA CON SISTEMA DE AISLAMIENTO DE VIBRACIONES A BASE DE MANTA ELASTOMÉRICA Y LOSA DE FLOTACIÓN

PLANO TIPO

NOMBRE Y FIRMA DEL INGENIERO EN LA SUPERVISIÓN

PROYECTO: LÍNEA 12

PMEF 08-PG-612000-03-0015-0015-R-02