

U.M.S.N.H.

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

“APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS CAD EN EL PROYECTO
GEOMÉTRICO DE LAS VIALIDADES PRINCIPALES DEL
DESARROLLO CASAS BLANCAS”

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

HUGO SÁNCHEZ ACOSTA

ASESOR:

DR. JORGE ALARCÓN IBARRA

MORELIA, MICHOACAN FEBRERO DE 2007

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES QUE ME OTORGARON INCONDICIONALMENTE SU APOYO EN EL TRANCURSO DE MI CARRERA, REFLEJANDO EN MOTIVACION Y AMOR HASTA EL FINAL.

A MIS AMIGOS Y MAESTROS QUE COMPARTIERON PARTE DE SU TIEMPO CONMIGO, APORTANDO ENSEÑANZAS Y COMPARTIENDO VIVENCIAS.

AL DR. JORGE ALARCÓN IBARRA POR SUS APORTACIONES, DURANTE LA ELABORACION DE MI TESIS.

A LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y A LA U.M.S.N.H. POR BRINDAR EL ESPACIO PARA MI FORMACION COMO PROFESIONISTA.

GRACIAS!

ÍNDICE

OBJETIVOS	1
INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO 1. EL PROYECTO GEOMÉTRICO DE LAS VIALIDADES	6
1.1 EL CAMINO.	7
1.1.1 Vialidad primaria.	
1.1.2 Vialidad secundaria.	
1.2 EL PROYECTO GEOMÉTRICO DE VIALIDADES.	10
1.3 ELEMENTOS BÁSICOS DEL PROYECTO.	11
1.3.1 El usuario.	
1.3.2 El vehículo.	
1.3.3 Volumen de tránsito.	
1.3.4 Velocidad.	
1.3.5 Distancia de visibilidad.	
1.4 RECONOCIMIENTO Y LOCALIZACIÓN.	16
1.5 TRAZO Y NIVELACIÓN PREELIMINAR.	18
1.6 ALINEAMIENTO HORIZONTAL.	19
1.7 PROYECTO DE LA SUBRASANTE.	22
1.8 ALINEAMIENTO VERTICAL.	23
1.9 SECCIONES TRANSVERSALES.	25
1.10 VOÚMENES Y MOVIMIENTOS DE TIERRAS.	30
1.10.1 Cálculo de las áreas de secciones transversales.	
1.10.2 Cálculo de los volúmenes de tierra entre estaciones.	
1.10.3 Diagrama de masas.	
1.10.4 Procedimientos para el cálculo de la curva masa.	

1.11	DRENAJE EN LOS CAMINOS.	42
1.11.1	Drenaje superficial.	
1.11.2	Drenaje subterráneo.	
 CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS CAD.		50
2.1	DESCRIPCIÓN	51
2.1.1	Antecedentes.	
2.1.2	Actualidad y evolución.	
2.2	AUTOCAD	55
2.2.1	Diseño conceptual	
2.2.2	Herramientas de visualización	
2.2.3	Documentación	
2.2.4	Aplicaciones.	
2.3	LAND DESKTOP	57
2.3.1	Productividad.	
2.3.2	Creación y gestión de datos COGO (Coordenadas Globales).	
2.3.3	Creación de geometría base.	
2.3.4	Definición y manipulación de alineaciones.	
2.3.5	Modelado y análisis de terrenos.	
2.3.6	Volúmenes.	
2.3.7	Curvas de nivel.	
2.3.8	Análisis de condiciones del terreno.	
2.4	CIVIL DESIGN.	60
 CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO “DESARROLLO CASAS BLANCAS”.		61
3.1	PROBLEMÁTICA URBANA ACTUAL DE LA CIUDAD DE MORELIA	62
3.2	EL DESARROLLO “CASAS BLANCAS” COMO UN PROYECTO INTEGRAL DE VIVIENDA.	62
3.3	UBICACIÓN DEL PREDIO	63
3.4	COMPARATIVA DE TAMAÑO.	64
3.5	DESGLOSE DE ÁREAS Y PORCENTAJES DE USOS DEL SUELO.	65
3.6	FOTOGRAFÍAS DEL PREDIO.	66

CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS CAD EN EL PROYECTO GEOMÉTRICO.	70
4.1 CONSIDERACIONES DEL PROYECTO	69
4.1.1 Proyecto geométrico de una vialidad urbana.	
4.1.2 Tipo de camino.	
4.1.3 Sección transversal de construcción	
4.2 APLICACIÓN DE LOS PROGRAMAS EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO	75
4.3 ALTERNATIVAS DE TRAZOS PRELIMINARES AL DEFINITIVO	95
4.3.1 Propuesta original	
4.3.2 Segunda propuesta	
4.3.3 Tercera propuesta	
CONCLUSIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	102

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

La aplicación de las herramientas CAD en el desarrollo del proyecto geométrico de las vialidades principales de un complejo urbano para mostrar los alcances que este tipo de paquetes computacionales brindan a la ingeniería de caminos.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Ampliar el conocimiento del que suscribe en la rama de las vías terrestres, aplicando técnicas modernas para la proyección de caminos.
- Proyectar una vialidad urbana, respetando la normativa para caminos existente en México y tomando en cuenta las recomendaciones que se dan para este tipo de camino.
- La investigación de bibliografía especializada en proyectos geométricos de caminos, así como la información acerca de las características que determinan una vialidad urbana.
- La incursión en el uso de los programas computacionales destinados a la proyección de vías terrestres, en la rama de la ingeniería de caminos.
- La recavación de información necesaria acerca de un proyecto real, para la aplicación de los programas computacionales, especialmente datos de topografía.
- El análisis de diferentes alternativas en el trazo del proyecto para elegir la mejor opción, que satisfaga las recomendaciones los lineamientos que determinan una vialidad urbana.

INTRODUCCIÓN.

La Ingeniería Civil se ha transformado a lo largo de la historia, poniendo de manifiesto dichos cambios, a través de las obras ingenieriles que se han realizado, plasmando en ellas procedimientos de construcción y tendencias conceptuales, que según el tiempo en que fueron creadas, conservan esos rasgos que las distinguen.

Es un hecho que con el paso del tiempo las cosas evolucionan, buscando mejorar sus formas o aplicaciones, tal es el caso de la tecnología que a diario nos sorprende con sus múltiples avances en todas las ramas de la ciencia, y la Ingeniería Civil no es la excepción. Desde tiempo muy remoto, el hombre ha buscado facilitarse los trabajos por medio de las herramientas que con su habilidad e inteligencia, crea para satisfacer sus necesidades, como ejemplo tenemos desde los inventos primitivos como la rueda, la escalera, el plano inclinado, etc., hasta la maquinaria pesada que en la construcción permite realizar grandes trabajos, en corto tiempo y con un mínimo esfuerzo humano.

Uno de esos grandes adelantos tecnológicos es sin duda la computadora, que aún y cuando funge como herramienta de oficina, es desde ahí donde se le da forma a las ideas que hacen posible la manifestación actual de la ingeniería.

Esta tesis trata de los programas computacionales (software) Land Desktop y Civil Design, creados por la compañía Autodesk y que se reconocen por las siglas CAD (Computer Aided Design) que en el idioma español significa Diseño Asistido por Computadora. Con estos programas, se pueden llevar a cabo proyectos de vías terrestres, diseñando todas sus fases constructivas, proporcionando resultados muy precisos y en un tiempo muy breve, además claro, de otras aplicaciones útiles en la Ingeniería Civil, como proyectos topográficos y de hidráulica.

Propiamente el desarrollo de la tesis, se enfoca al diseño del proyecto geométrico de las vialidades principales de un conjunto habitacional, que aún se encuentra en anteproyecto al que se le ha designado el nombre “Desarrollo Casas Blancas”, y al igual que otros complejos urbanos que actualmente se ejecutan en los alrededores de Morelia, éste también pretende ser

un desarrollo integral que ofrezca las mejores instalaciones y servicios a los usuarios bajo el concepto de “una ciudad dentro de otra ciudad”.

El proyecto geométrico de las vialidades se hizo utilizando específicamente los programas, Land Desktop y el Civil Design, con ellos se abarca desde la configuración topográfica del terreno, hasta obtener los volúmenes de obra que se generan con el trazo y las secciones constructivas propuestas.

A lo largo del desarrollo de la tesis se hace una descripción detallada de cada una de las partes que integran el proyecto geométrico de un camino, la aplicación de los programas al proyecto de las vialidades y las consideraciones especiales que se toman para diseñar éstas, dado que, aun y cuando la vialidad es un camino, no es propiamente una carretera, sino un trazo urbano, lo cual obliga a que se tome en cuenta de manera diferente, la normativa existente para vías terrestres en nuestro país.

CAPÍTULO 1.

EL PROYECTO GEOMÉTRICO DE LAS VIALIDADES

1.1 EL CAMINO.

Se tiene por costumbre denominar *caminos* a las vías rurales, mientras que el nombre *carreteras* se aplica a los caminos de características modernas destinadas al movimiento de un gran número de vehículos, y por *vialidades* se entienden los senderos peatonales y vehiculares, calles y avenidas de tránsito vehicular de libre acceso. Para fines prácticos, en el desarrollo de esta tesina utilizaré, indistintamente, estos tres términos para hacer referencia a lo mismo.

Sin embargo, es oportuno definir como *carretera* a la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que satisfaga las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada. Así mismo, una vialidad urbana es la adaptación del terreno para que se pueda transitar principalmente por vehículos y por peatones, guardando características específicas de imagen y estructura, respetando la jerarquización que constituye a la mancha urbana.

1.1.1 Vialidad primaria.

El diseño apropiado de la vialidad es el principio básico del correcto desarrollo de la estructura urbana; por tanto, se debe conocer los conceptos de jerarquía, capacidad y velocidad, que a continuación se describen:

- *Jerarquía.* Es la clasificación de las diferentes vías dentro de la trama vial de la ciudad, según su importancia.
- *Capacidad.* Es la cantidad de vehículos que pueden circular por hora en una vía sin provocar congestionamientos.
- *Velocidad.* Es la velocidad promedio a la que puede circular un vehículo en una calle determinada.

Dentro de lo que es la jerarquía de las vialidades, la vialidad primaria guarda su lugar después de las vías de acceso controlado y está constituida fundamentalmente por las calzadas y avenidas principales. Éstas sirven para proporcionar fluidez al tránsito de paso y vinculan a las calles colectoras y locales, tienen acceso directo a los predios por calles laterales y algunas veces

directamente, por lo general, tienen una faja separadora central física o pintada y no se cruzan con la vialidad secundaria, sino con arterias de la misma jerarquía. En caso de existir vialidad de acceso controlado, la vialidad primaria se encarga de conectar a ella el tránsito pesado o de distribuirlo en la ciudad; cuando no existen viaductos, la vialidad primaria los suplen y comunica a la ciudad con las carreteras rurales; asimismo se utiliza para viajes a distancias medias y sobre ellas se canalizan las principales líneas de transporte colectivo, las cuales pueden ser dobles o de un solo sentido.

Tabla 1.1 Especificaciones geométricas y operacionales de vialidad primaria. (Jan Bazant, *Manual de Diseño Urbano*).

CARACTERÍSTICAS	CALZADAS	AVENIDAS
Volúmenes de servicio	De 500 a 800 vehículos/hora/carril	De 500 a 600 vehículos/hora/carril
Velocidad de circulación	De 50 a 70 km/hora	De 20 a 40 km/hora
Sección de derecho de vía	De 40 a 60 m.	De 28 a 32 m.
Sección de carril	3.60 m.	3.60 m.
Anchura de banquetas	3.50 mínimo	3.50 mínimo
Sección de camellón	De 4.5 a 10 m.	De 4.5 a 10 m.
Restricción de paramentos	De 4 a 8 m.	De 4 a 8 m.
Pendiente máxima	De 5 a 7 %	12 %

En el proyecto de una zona habitacional o de un fraccionamiento, se debe tener en cuenta la conexión o colindancia con los usos del suelo adyacentes, ya sea existentes o en proyecto, con objeto de prever la continuidad de la estructura vial y evitar taponamientos que, en muchos casos, son irreversibles.

1.1.2 Vialidad secundaria.

La vialidad secundaria sirve al tránsito interno de una zona o distrito, la cual conecta con la vialidad primaria. Se usa normalmente para viajes de paso dentro de un distrito y para dar acceso a los predios. Cuando la trama vial es rectilínea o en parrilla, varios tramos de la vialidad primaria pueden funcionar como vialidad secundaria. La diferencia específica para distinguir la vialidad primaria de la secundaria estriba en la longitud de los recorridos que se pueden realizar. El papel más importante de la vialidad secundaria es permitir la circulación de los transportes públicos y de carga que dan servicio directo al distrito. Sobre estas arterias deben preverse espacios específicos

para alojar los movimientos de vueltas, estacionamientos, ascenso y descenso de pasaje, y para carga y descarga de mercancías.

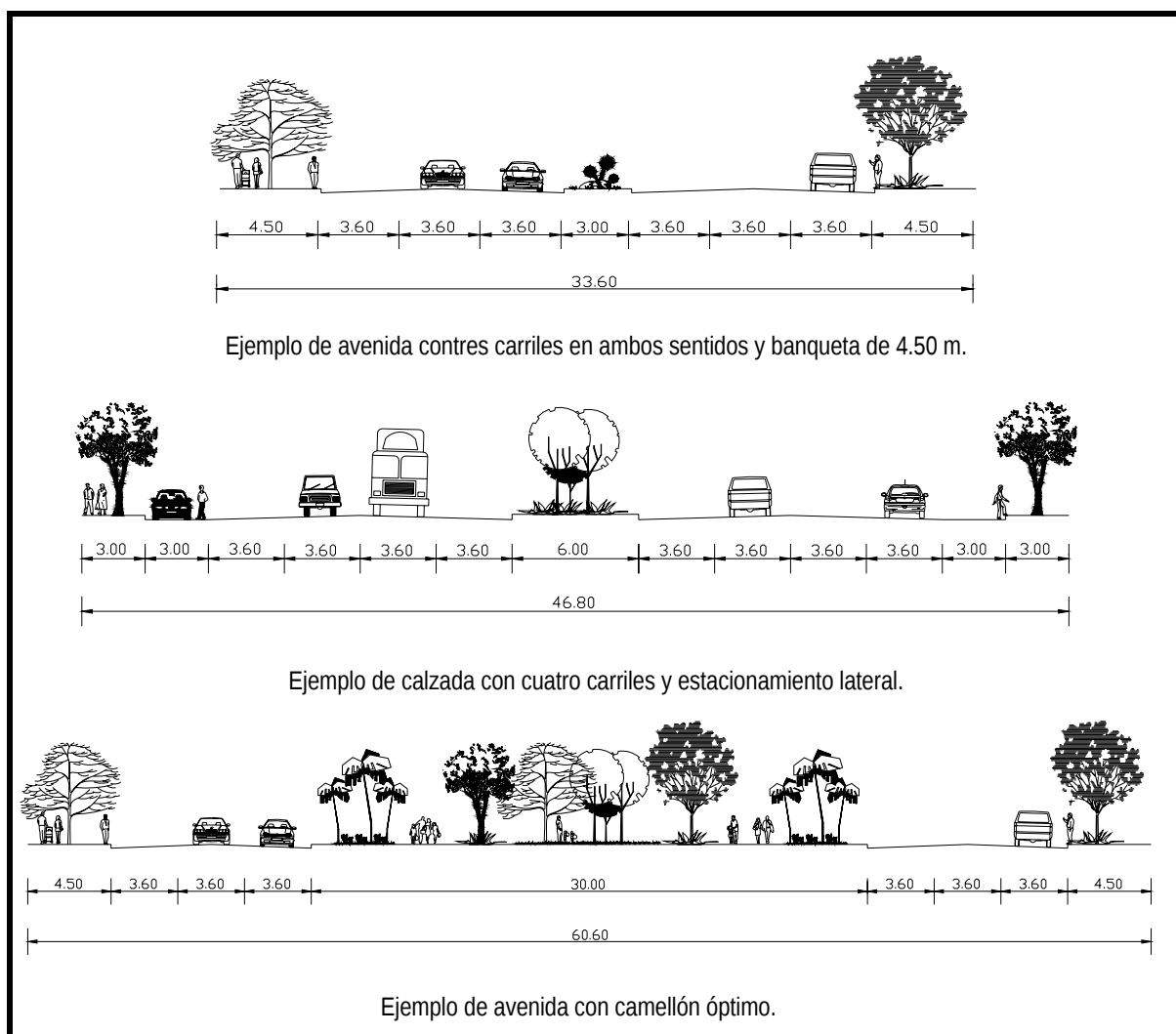


Fig. 1.1 Tipos de vialidades primarias.

Es conveniente hacer notar que, sin semáforos, esta vialidad (de 30 a 50 km/hora) permite la mayor cantidad de vehículos, pues la distancia de protección entre automóviles es menor que la requerida por otras vialidades de alta velocidad.

Tabla 1.2 Especificaciones geométricas y operacionales de vialidad secundaria.

CARACTERÍSTICAS	CALZADAS
Volúmenes de servicio	De 400 a 500/vehículos/hora/carril (o más sin semáforo)
Velocidad de circulación	De 30 a 50 km/hora
Sección de derecho de vía	De 40 a 15 m.
Sección de carril	3.00 m.
Anchura de banquetas	2.00 m mínimo.
Pendiente máxima	De 8 a 12 % (en terrenos que no sean planos)
Anchura de carriles para estacionamiento en cordón	2.50 m.
Número de carriles de circulación.	Un sentido, de dos a cuatro; dos sentidos, de dos a cuatro
Espaciamientos entre calles	De 400 a 750 m.

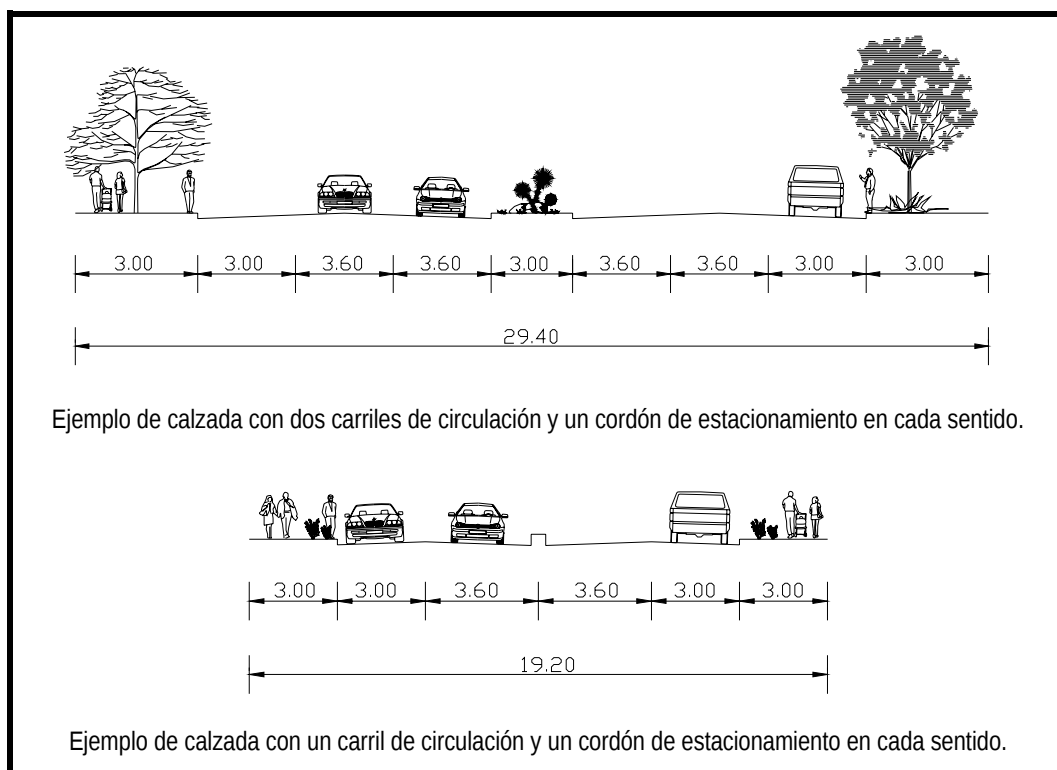


Fig. 1.2 Tipos de vialidades secundarias.

1.2 EL PROYECTO GEOMÉTRICO DE VIALIDADES.

Con anterioridad se ha dicho que el camino o carretera es la adaptación de una faja en el terreno natural para que puedan circular los vehículos en condiciones adecuadas de transitabilidad y

seguridad. Dicha adaptación basa su desarrollo en las proyecciones y cálculos que integran el proyecto geométrico.

El *proyecto geométrico de una vialidad* es la combinación adecuada del alineamiento horizontal con el alineamiento vertical, de la cual, se desprenden las dimensiones físicas del camino y que se utilizan para llevar a cabo su construcción, respetando las especificaciones de ejecución y operación que rigen al tipo de camino en proyecto, según las normas de la secretaría encargada de estas vías, en nuestro caso la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Del proyecto geométrico también se derivan los volúmenes de obra que habrán de ejecutarse y con los que se puede estimar el costo de construcción que tendrá el camino, de ahí la importancia de contemplar desde la realización del proyecto una buena compensación de volúmenes de tierra para lograr una obra técnica y económicamente factible.

1.3 ELEMENTOS BÁSICOS DEL PROYECTO GEOMÉTRICO.

El proyecto geométrico de un camino está basado en ciertas características físicas del individuo como usuario del camino, de los vehículos y del camino mismo y a continuación se describen cada una de ellas.

1.3.1 El usuario.

El ser humano, bien sea como peatón o como conductor, considerado individual o colectivamente, es el elemento crítico en la determinación de muchas de las características del tránsito. Las siguientes condiciones tanto del medio ambiente como las inherentes al organismo humano, pueden afectar el comportamiento del usuario:

- El ambiente atmosférico: estado del tiempo y visibilidad.
- Las obras viales: carreteras, ferrocarriles, puentes y terminales.
- La corriente del tránsito y sus características.
- El alcohol, deficiencias físicas y problemas emocionales

Con respecto al organismo físico del usuario, resulta de vital importancia el uso de los sentidos y de ellos el que más relevancia tiene es el de la vista, pues gracias a esta el individuo puede percatarse de lo que acontece a su alrededor, y cuando se trata de la operación de conducir un automóvil la agudeza visual, la visión periférica, la recuperación al deslumbramiento, la percepción de colores, la profundidad de recepción y la capacidad de ver el camino en la noche con escasez de luz, son habilidades indispensables que debe poseer la vista del usuario.

1.3.2 El vehículo.

La carretera debe proyectarse de acuerdo a las características del vehículo que la va a transitar, es por ello que se debe realizar un estudio donde se clasifiquen éstos y así mismo se evalúen sus características geométricas y de operación.

Clasificación: en general, los vehículos que transitan por una carretera pueden dividirse en ligeros, pesados y especiales. Los vehículos ligeros son los de carga y/o pasajeros, que tiene dos ejes y cuatro ruedas; se incluyen en esta denominación los automóviles, camionetas y las unidades de carga ligera o pasajeros. Los vehículos pesados son unidades destinadas al transporte de carga o de pasajeros, de dos o más ejes y seis o más ruedas; en esta denominación se incluyen los camiones y los autobuses. Los vehículos especiales son aquellos que eventualmente transita y/o cruzan el camino, tales como: camiones y remolques especiales para el transporte de troncos. Minerales, maquinaria pesada u otros productos voluminosos; maquinaria agrícola; bicicletas y motocicletas; así como vehículos de tracción animal.

Características geométricas y de operación: en el proyecto de los elementos de una carretera, deben tenerse en cuenta las características geométricas y de operación de los vehículos. Las características geométricas están definidas por las dimensiones y el radio de giro. Las características de operación están definidas principalmente por la relación peso-potencia, la cual en combinación con otras características del vehículo y del conductor, determina la capacidad de aceleración y deceleración, la estabilidad en las curvas y los costos de operación.

Dado que una carretera debe proyectarse para que funcione eficientemente durante un determinado número de años, no deberán proyectarse los caminos solamente en función de las características del vehículo actual, sino que deberán actualizarse las tendencias generales de esas características a través de los años, para prever hasta donde sea posible las modificaciones futuras.

1.3.3 Volumen de tránsito.

Se entiende por volumen de tránsito cierta cantidad de vehículos de motor que transitan por un camino en determinado tiempo y en el mismo sentido. Las unidades comúnmente empleadas son: vehículos por día o vehículos por hora. Se llama *Tránsito Diario Promedio Anual* (T.D.P.A.) al promedio de los volúmenes de tránsito que circulan durante 24 horas en un año. Otro parámetro importante son los volúmenes horarios, los cuales resultan de dividir el número de vehículos que pasan por un determinado punto en un periodo, entre el valor de ese periodo en horas. Los *volúmenes horarios máximos* son los que se emplean para proyectar los aspectos geométricos de los caminos y se les denomina *volumen directriz*, éste último equivale en México al 12% del T.D.P.A.

Para conocer los volúmenes de tránsito en los diferentes tramos de una carretera se utilizan como fuentes los datos obtenidos de los estudios de origen y destino, los aforos por muestreo, los aforos continuos y estaciones permanentes.

1.3.4 Velocidad.

Se define la velocidad como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo, o sea, una relación de movimiento que queda expresada, para velocidad constante, por la formula: $V = d/t$. Como la velocidad que desarrolla un vehículo queda afectada por sus propias características, por las características del conductor y de la vía, por el volumen de tránsito y por las condiciones atmosféricas imperantes, quiere decir que la velocidad a la que se mueve un vehículo varia constantemente, causa que obliga a trabajar con valores medios de velocidad.

Una velocidad que es de suma importancia es la llamada *Velocidad de Proyecto o Velocidad Directriz que no es otra cosa que aquella velocidad que ha sido escogida para gobernar y correlacionar las características y el proyecto geométrico de un camino en su aspecto operacional.*

La velocidad de proyecto es un factor de primordial importancia que determina normalmente el costo del camino y es por ello por lo que debe limitarse para obtener costos bajos. Todos los elementos del proyecto de un camino deben calcularse en función de la velocidad de proyecto. Al hacer esto, se tendrá un todo armónico que no ofrecerá sorpresas al conductor. La selección de la velocidad de proyecto está influida principalmente por la configuración topográfica del terreno, el tipo de camino, los volúmenes de tránsito y el uso de la tierra. Un camino en terreno plano o con lomerío suave justifica una velocidad de proyecto mayor que la correspondiente a la de un camino en terreno montañoso, un camino que cruce una región poco habitada justifica una velocidad de proyecto mayor que otro situado en una región poblada.

Tabla 1.3 Velocidades de proyecto recomendadas por la SCT.

TIPO DE CAMINO	TOPOGRAFÍA			
	Plana o con poco lomerío	Con lomerío fuerte	Montañosa, pero poco escarpada	Montañosa, pero muy escarpada
Tipo especial	110 km/h	110 km/h	80 km/h	80 km/h
Tipo A	70 km/h	60 km/h	50 km/h	40 km/h
Tipo B	60 km/h	50 km/h	40 km/h	35 km/h
Tipo C	50 km/h	40 km/h	30 km/h	25 km/h

Al proyectar un tramo de camino, es conveniente, aunque no siempre factible, suponer un valor constante para la velocidad de proyecto. Los cambios en la topografía pueden obligar a hacer cambios en la velocidad de proyecto en determinados tramos. Cuando este sea el caso, la introducción de una velocidad de proyecto mayor o menor no se debe efectuar repentinamente, sino sobre una distancia suficiente para permitir a los conductores cambiar su velocidad gradualmente, antes de llegar al tramo de camino con distinta velocidad de proyecto.

1.3.5 Distancia de visibilidad.

A la longitud de carretera que un conductor ve continuamente delante de él, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables, se le llama *distancia de visibilidad*. En

general, considerando dos distancias de visibilidad: la distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad de rebase.

Distancia de visibilidad de parada: esta distancia es la mínima necesaria para que un conductor que transita a, o cerca de la velocidad de proyecto, ve un objeto en su trayectoria y pueda parar su vehículo antes de llegar a él. Es la mínima distancia de visibilidad que debe proporcionarse en cualquier punto de la carretera. Esta distancia se forma por la suma de dos distancias: la distancia recorrida por el vehículo desde el instante en que el conductor ve el objeto hasta que coloca su pie en el pedal del freno y la distancia recorrida por el vehículo durante la aplicación de los frenos.

Tabla 1.4 Distancia de visibilidad de parada para diferentes velocidades de proyecto, condiciones de pavimento mojado y a nivel.(SCT)

VEL. DE PROYECTO (Km/h)	VEL. EN MARCHA (Km/h)	REACCIÓN		COEFICIENTE DE FRICCIÓN	DISTANCIA DE FRENADO (m)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD	
		Tiempo (seg.)	Distancia (m)			Calculada (m)	Redondeada (m)
30	28	2.5	19.44	0.400	7.72	27.16	25
40	37	2.5	25.69	0.380	14.18	39.87	40
50	46	2.5	31.94	0.360	23.14	55.08	55
60	55	2.5	38.19	0.340	35.03	73.22	75
70	63	2.5	43.75	0.325	48.08	91.83	90
80	71	2.5	49.30	0.310	64.02	113.32	115
90	79	2.5	54.86	0.305	80.56	135.42	135
100	86	2.5	59.72	0.300	97.06	156.78	155
110	92	2.5	63.88	0.295	112.95	176.83	175

Distancia de visibilidad de rebase: se dice que un tramo de carretera tiene distancia de visibilidad de rebase, cuando la distancia de visibilidad en ese tramo es suficiente para que el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra.

La distancia de visibilidad de rebase se aplica a carreteras de dos carriles; en carreteras de cuatro o más carriles, la maniobra de rebase se efectúa en carriles con la misma dirección de

tránsito, por lo que no hay peligro de interferir con el tránsito de sentido opuesto; las maniobra de rebase que requieran cruzar el eje de un camino de cuatro o más carriles sin faja separadora central, son tan peligrosas que no deben permitirse.

Al calcular la distancia de visibilidad para pasar en camino de dos vías, se hacen las siguientes suposiciones con respecto al comportamiento del conductor:

1. El vehículo que se rebasa va a una velocidad uniforme, menor que la de proyecto.
2. El vehículo que sobrepasa tiene que reducir su velocidad a la que lleva el vehículo que es rebasado mientras recorre la parte del camino donde la distancia de visibilidad no es segura para pasar.
3. Cuando se llega a la zona segura de sobrepaso, el conductor del vehículo que quiere sobrepasar requiere un corto periodo para examinar la situación y decidir si es seguro el sobrepaso o si no lo es. Ese periodo se llama de percepción y reacción y es, según la A.A.S.H.T.O. (American Association of State Highway and Transportation Officials), de dos segundos para los conductores que viajan a 112 km/hr.
4. Si se ejecuta el sobrepaso, este se logra acelerando durante la operación.
5. El tránsito por el carril opuesto aparece en el momento en que comienza la maniobra de sobrepaso y llega al lado del vehículo que sobrepasa precisamente cuando la maniobra es completada.

Estas suposiciones no abarcan todas las formas de sobrepaso posibles, pero si permiten una determinación satisfactoria de la distancia de visibilidad que requiere dicha operación.

1.4 RECONOCIMIENTO Y LOCALIZACIÓN.

El objeto del reconocimiento es el de examinar una zona del relieve terrestre con el propósito de fijar los *puntos obligados*. Podemos decir que hay dos clases de puntos obligados: los topográficos o técnicos y los políticos o sociales. Si al tener que salir de un valle no queremos subir demasiado para evitar el aumento de costos por movimiento de tierra, es necesario que pasemos por los puntos obligados topográficos denominados *puertos*.

Un *puerto topográfico* es un punto bajo de paso a través de una cordillera. Siendo los puertos los lugares más decisivos en la localización de una vía terrestre, es indispensable que el ingeniero trate de localizar en primer término, dichos pasos. El paso por los puertos ahorra en el desarrollo longitudinal de la vía, evita que se tengan pendientes muy fuertes y por lo tanto ahorra mucho en la construcción. Otro tipo de punto obligado técnico o topográfico es el cruce de un río y también un *talweg* (palabra alemana que significa camino del valle) por el lugar que, topográfica y geológicamente hablando representa las mejores condiciones de paso. Un talweg es una línea que recoge las aguas que caen sobre dos vertientes o costados.

De los puntos obligados por razones políticas podemos ubicar la cabecera de un distrito o un centro turístico. La existencia de una mina que representa mucha producción de minerales, viene siendo una razón económica que puede obligar al paso por ella. Claro está que la sola razón de centros importantes no quiere decir que forzosamente se tenga que tocar cada uno de ellos, pero si se debe elegir el menor trazo aun y cuando no se toquen algunos de los centros ya indicado.

El reconocimiento se lleva a cabo, en la mayoría de los casos, usando instrumentos portátiles, tales como brújula, aneroides, clicímetros, etc. La forma de llevar a cabo el reconocimiento depende de las condiciones de la región, pues unas veces será necesario hacerlo a pie, otras a caballo, en jeep, en avión o en helicóptero.

Así pues, con el reconocimiento se pueden obtener los datos generales para formar croquis que completen los datos de las cartas geográficas y así hacer un plano aproximado de la región y los perfiles aproximados de las rutas probables.

En el reconocimiento el ingeniero anota todos los datos que crea que son convenientes y que le servirán posteriormente, tales como la composición de la estructura terrestre a través de reconocimientos superficiales que le permita predecir la estabilidad de un corte en una formación cavernosa o del tipo columnar.

El ingeniero que realice el reconocimiento debe anotar las dificultades posibles en la construcción de puentes y alcantarillas, la carencia o la existencia de materiales pétreos para dichas obras, mano de obra en la localidad, etc.

1.5 TRAZO Y NIVELACIÓN PREELIMINAR.

Una vez llevado a cabo el reconocimiento, se continúa con el trazo preeliminar, que no es más que una poligonal abierta, partiendo de un punto al que se le denomina km 0 + 000, y se van clavando estacas a cada 20 m y en aquellos lugares accidentados y puntos notables que lo ameriten hasta llegar al vértice que le sigue, continuando en esta forma a todo lo largo de la línea. El trazo preliminar constituye la base para la selección definitiva del trazado y proporciona datos que sirven para preparar presupuestos preliminares de la obra.

La secuela a seguir para el trazo de la línea preliminar es la siguiente:

1. Escoger y marcar un punto de partida, el cual se debe describir a detalle.
2. Establecer el azimut de la línea en el punto de partida.
3. Determinar la cota del punto de partida.
4. Establecer su kilometraje.
5. Tomar las siguientes consideraciones:
 - Al trazar la línea preliminar no se debe hacer algún esfuerzo especial para obtener grandes tangentes, pero si hay que procurar un buen avance en el trabajo y con el orden de precisión adecuada.
 - Colocar estacas a cada 20 m y en todos los puntos intermedios necesarios debidos a quiebres fuertes del terreno.
 - No perder el tiempo tratando de que dichas estacas estén exactamente en la línea, ya que si la estaca se coloca dentro de los 5 cm con relación al alineamiento, es lo suficientemente exacto para los fines topográficos y no afectará en forma apreciable el cadeneo.
 - Evitar el daño a los sembradíos y otros cultivos, tratando de pasar el trazo paralelo a las hileras de lo sembrado y no en diagonal o en forma transversal al terreno.
 - Colocar mojoneras de concreto para marcar cada PI (Puntos de Inflexión).
 - Hacer doble lectura por repetición en todos los ángulos del PI anotando tanto el ángulo simple como el doble.

- Hacer observaciones solares a intervalos no mayores a 10 km, anotando las observaciones y corrigiendo los azimutes para que se correspondan, luego de considerar tolerancias por convergencia de meridianos.
- 6. Hacer y conservar buenas y legibles notas de campo.
- 7. Efectuar la nivelación del perfil de la línea preliminar.
- 8. Obtenidos todos los datos de campo se procede en el gabinete a vaciarlos en un plano, empezándose a dibujar la línea preliminar o poligonal base, llevando las longitudes y los ángulos correspondientes de las diferentes alineaciones.

Una vez dibujada la poligonal base, se termina el plano dibujando las curvas de nivel. La configuración del terreno puede obtenerse mediante secciones transversales apoyadas en la poligonal y que permite conocer los puntos de cota cerrada y la cota de los puntos notables del terreno utilizando el nivel de mano, la cinta y la brújula. Con estas cotas pueden dibujarse las curvas de nivel. La configuración se puede llevar a cabo también con estadía.

1.6 ALINEAMIENTO HORIZONTAL.

El alineamiento horizontal es la proyección del eje del camino sobre un plano horizontal, y los elementos que lo integran son las tangentes, las curvas circulares y las curvas de transición.

Tangentes: son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. La longitud máxima de una tangente está condicionada por la seguridad, mientras que la longitud mínima está definida por la longitud necesaria para dar la sobreelevación y ampliación de las curvas.

Curvas circulares: son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas; estas curvas pueden ser circulares simples o compuestas.

- a) *Curvas circulares simples:* se les denomina así cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola curva circular; en el sentido del cadenamiento, las curvas simples pueden ser hacia la izquierda o hacia la derecha. Estas curvas tienen los siguientes elementos característicos:

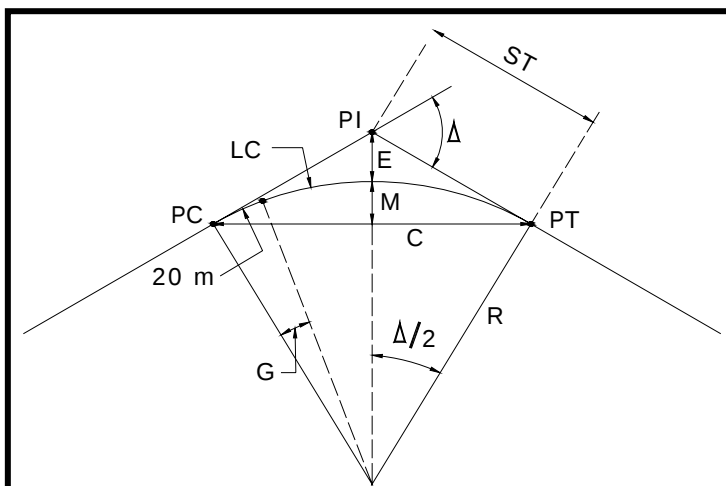


Fig. 1.3 Elementos de una curva circular simple.(SCT)

1. Grado de curvatura. Es el ángulo subtendido por un arco de 20 m. Se representa con la letra G:

$$G = \frac{1145.92}{R}$$

2. Radio de la curva. Es el radio de la curva circular, se simboliza con la letra R y quedado definido con la siguiente expresión:

$$R = \frac{1145.92}{G}$$

3. Ángulo central. Es el ángulo subtendido por la curva circular y en las curvas circulares simple es igual a la deflexión de las tangentes, se simboliza como: Δ

4. Longitud de curva. Es la longitud del arco entre el PC y el PT. Se le representa como LC:

$$LC = \frac{20\Delta}{G}$$

5. Subtangente. Es la distancia entre el PI y el PC o PT, medida sobre la prolongación de las tangentes. Se representa como ST:

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

6. Externa. Es la distancia mínima entre el PI y la curva, se representa con la letra E.

$$E = \left[R \sec \frac{\Delta}{2} \right] - R$$

7. Ordenada media. Es la longitud de la flecha en el punto medio de la curva y se simboliza con la letra M.

$$M = R - \left[R \cos \frac{\Delta}{2} \right]$$

8. Cuerda. Es la recta comprendida entre dos puntos de la curva, se le denomina C. Si esos puntos son el PC y el PT, a la cuerda resultante se le denomina cuerda larga.

$$C = 2R \sin \frac{\Delta}{2}$$

- b) *Curvas circulares compuestas*: Son aquellas que están formadas por dos o más curvas circulares simples del mismo sentido y de diferente radio, o de diferente sentido y cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos consecutivas. Cuando son del mismo sentido se llaman compuestas directas y cuando son de sentido contrario, compuestas inversas.

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

1.7 PROYECTO DE LA SUBRASANTE.

El costo de construcción en que se basa la evaluación de un camino, está gobernado por los movimientos de tierra. Esto implica una serie de estudios que permitan tener la certeza de que los movimientos a realizar sean, los más económicos, dentro de los requerimientos que el tipo de camino fija.

La subrasante es el perfil de las terracerías del camino compuesto por líneas rectas que son las pendientes unidas por arcos de curvas parabólicas verticales, intentando compensar los cortes con los terraplenes.

Parte fundamental para el trazo de la subrasante es el *perfil deducido*, el cual se logra graficando el trazo de la línea definitiva por donde pasará el camino, con las curvas de nivel que corta a su paso, tomando también en cuenta todos los accidentes del terreno comprendidos entre dos estaciones. Con este dibujo se tiene una idea fidedigna y clara del perfil longitudinal del camino, con el cual se está en condiciones de proyectar la línea subrasante.

Generalmente, las pendientes de la subrasante se proyectan al décimo y en porcentaje como 4.1%, 3.7%, etc. Según sea el sentido del cadenamiento, las pendientes ascendentes se marcan con signo positivo y las descendentes con signo negativo.

La subrasante que se proyecte debe compensar, en todo lo que sea posible, los cortes con los terraplenes en el sentido longitudinal y aún en el transversal cuando se aloje en una ladera que permita la compensación lateral. Cuando la ladera es muy inclinada y no se detienen los terraplenes, en el perfil aparece la subrasante como una línea mal compensada, continuamente en desperdicio, pero justificado ya que el camino debe alojarse totalmente en firme.

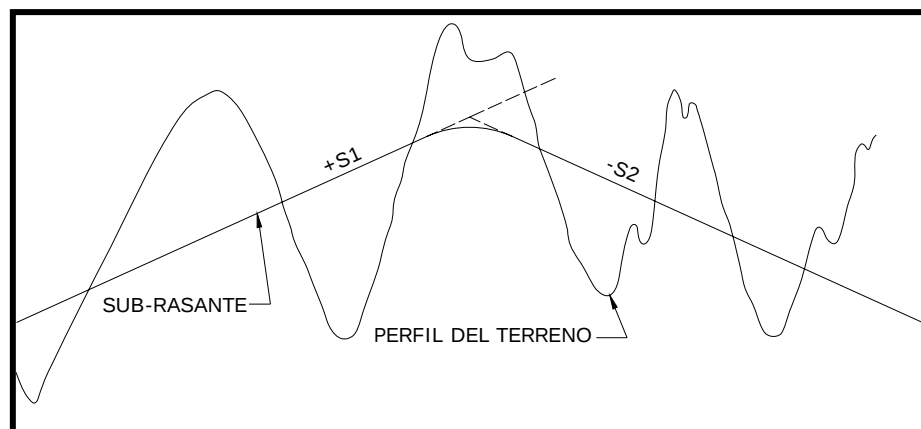


Fig. 1.4 Subrasante con pendientes de entrada y salida. (Ing. Carlos Crespo Villaláz, *Vías de Comunicación*)

Para proyectar la subrasante deben tenerse en cuenta las especificaciones de pendiente máxima y de longitud de curvas verticales, además de la conveniencia de no usar contrapendientes innecesarias, ni excesiva cantidad de quiebres que darían un alineamiento vertical defectuoso, inadecuado para el tránsito de vehículos el cual debe ser seguro y cómodo.

En algunos tramos puede suceder que circunstancias especiales de diversa índole obliguen al proyecto de la subrasante. Por ejemplo, al atravesar las poblaciones en las cuales se debe tener en cuenta la altura de las entradas a las casas, proyectando una subrasante que se acomode en lo posible a un buen número de puntos obligados para evitar defectos de drenaje o de carácter estético. De igual manera, al atravesar regiones pantanosas o inundables se hace necesario que la subrasante se eleve sobre el terreno natural a determinada altura necesitándose construir terraplenes con materiales acarreados.

1.8 ALINEAMIENTO VERTICAL.

Una vez que se ha elegido la subrasante, deberán calcularse las curvas verticales, es decir se procede al cálculo del *alineamiento vertical*, el cual se define como la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona.

El alineamiento vertical lo integran tangentes y curvas, las cuales a su vez constituyen el perfil longitudinal de la subrasante por medio de curvas verticales convexas o cóncavas, de longitud variable. Así pues, las curvas verticales se emplean para pasar gradualmente de un tramo en que la subrasante tiene una pendiente determinada a otro en que la pendiente es diferente, pudiendo presentarse dos casos: uno en que vamos subiendo y luego bajamos, denominado *cresta*, y el otro en el cual primero se baja y luego se sube llamado *columpio*.

Únicamente se proyectará curva vertical cuando la diferencia algebraica entre las dos pendientes sea mayor de 0.5% ya que en los casos de diferencia igual o menor a la indicada, el cambio es tan pequeño que en el terreno se pierde durante la construcción.

La curva que mejor satisface el cambio gradual de una tangente a otra es la parábola, ya que si se intercala la rama de una parábola entre los dos puntos, se obtiene una variación uniforme de pendiente y además la entrada y salida resultan suavizadas porque en ellas la variación de pendiente es la mitad que para el resto de la curva.

$$y = Kx^2 + Px$$

La expresión anterior corresponde a la ecuación de una parábola que es la recomendada para emplearse en las curvas verticales.

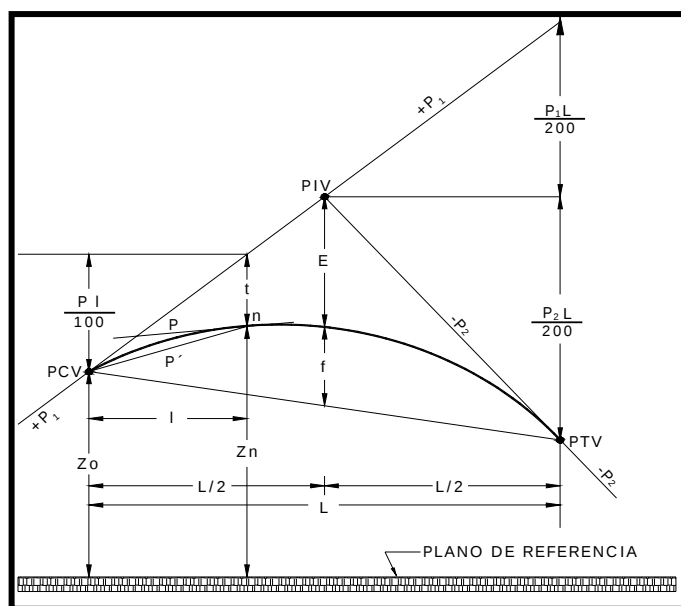


Fig. 1.5 Elementos de una curva vertical en "cresta". (SCT)

PIV: Punto de intersección de las tangentes.

PCV: Punto en donde comienza la curva vertical.

PTV: Punto en donde termina la curva vertical.

n : Punto cualquiera sobre la curva.

P_1 : Pendiente de la tangente de entrada en por ciento.

P_2 : Pendiente de la tangente de salida en por ciento.

P : Pendiente en un punto cualquiera de la curva en por ciento.

P' : Pendiente de una cuerda a un punto cualquiera en por ciento.

L : Longitud de la curva.

E : Externa

f : Flecha

l : Longitud de curva a un punto cualquiera.

t : Desviación respecto a la tangente de un punto cualquiera.

Z_o : Elevación del PCV.

Z_n : Elevación de un punto cualquiera.

1.9 SECCIONES TRANSVERSALES.

La sección transversal de un camino en un punto cualquiera de éste, es un corte vertical normal al alineamiento horizontal. Permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

Habiendo trazado la línea definitiva en el terreno con todas sus curvas y habiéndola nivelado, se obtienen las secciones transversales en cada estación de 20 m y en todos aquellos puntos intermedios en los cuales se note que haya cambio notable con respecto a las estaciones que le anteceden o le siguen. Estas secciones adoptan su ubicación de sección en corte o sección en terraplén según lo especifique el alineamiento vertical.

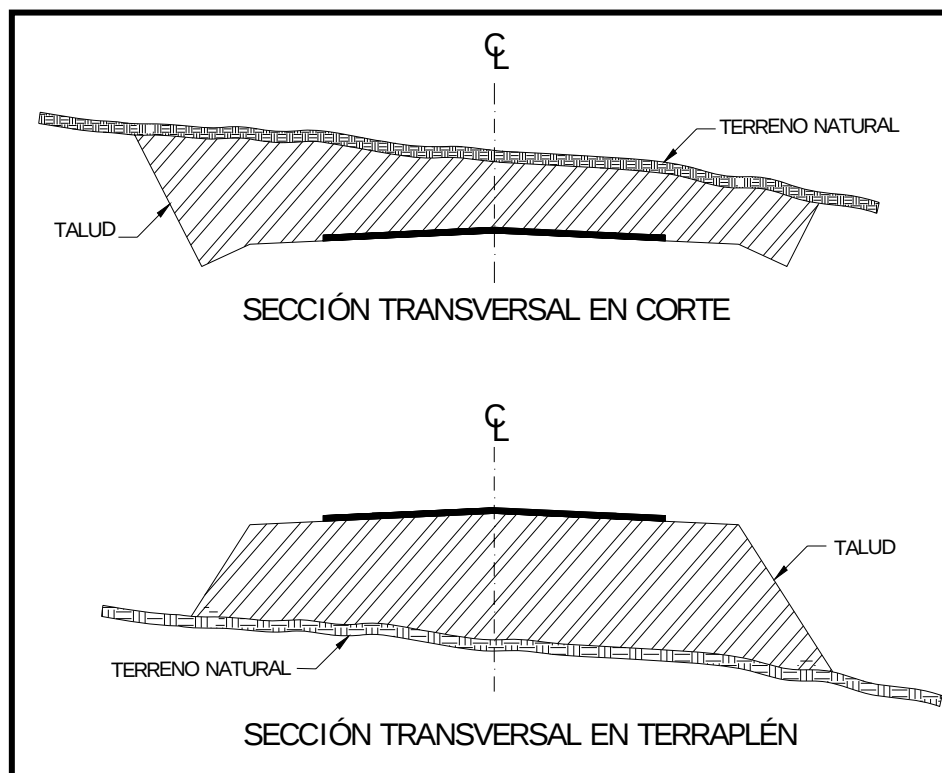


Fig. 1.6 Tipos de secciones transversales en un camino. (Ing. Carlos Crespo Villaláz, *Vías de Comunicación*)

Los elementos que integran a la sección transversal son: la corona, la subcorona, las cunetas y contracunetas, los taludes, las partes complementarias y el derecho de vía.

Corona: es la superficie del camino terminado que queda comprendida entre los hombros del camino. Este elemento queda integrado por las siguientes partes:

- a) Rasante. Es la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino. En la sección transversal esta representada por un punto.
- b) Pendiente transversal. Es la pendiente que se da a la corona normal a su eje. Según su relación con los elementos del alineamiento horizontal se presentan los siguientes casos.
 - Bombeo. Es la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno y otro lado de la rasante para evitar la acumulación del agua sobre el camino.

- **Sobreelevación.** Es la pendiente que se da al a corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas del alineamiento horizontal.

Tabla 1.5 Valores de bombeo para emplearse en el proyecto en función del tipo de superficie de rodamiento. (SCT)

TIPO DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO		BOMBEO
Muy Buena	Superficie de concreto hidráulico o asfáltico, tendido con entendedoras mecánicas.	0.010 a 0.020
Buena	Superficie de mezcla asfáltica tendida con motoconformadoras. Carpeta de riegos.	0.015 a 0.030
Regular a Mala	Superficie de tierra o grava.	0.020 a 0.040

c) **Acotamientos.** Son las fajas contiguas a la calzada, comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros del camino y tienen las siguientes funciones:

- Dar seguridad al usuario del camino al proporcionarle un ancho adicional fuera de la calzada, en el que puede eludir accidentes potenciales o reducir su severidad, pudiendo también estacionarse en ellos en caso obligado.
- Proteger contra la humedad y posibles erosiones a la calzada, así como dar confinamiento al pavimento.
- Mejorar la visibilidad en los tramos en curva, sobre todo cuando el camino va en corte.
- Facilitar los trabajos de conservación.
- Dar mejor apariencia al camino.

El ancho de los acotamientos depende del volumen de tránsito y del nivel de servicio a que el camino vaya a funcionar.

Subcorona: es la superficie que limita a las terracerías y sobre la que se apoyan las capas del pavimento. En sección transversal es una línea. Los elementos que la definen son la subrasante, la pendiente transversal y el ancho.

- a) Subrasante. Es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona. En la sección transversal es un punto cuya diferencia de elevación con la rasante, esta determinada por el espesor del pavimento y cuyo desnivel con respecto al terreno natural, sirve para determinar el espesor del corte o terraplén.
- b) Pendiente transversal. La pendiente transversal de la subcorona es la misma que la de la corona, logrando mantener uniforme el espesor del pavimento.
- c) Ancho. El ancho de la subcorona es la distancia comprendida entre los puntos de intersección de la subcorona con los taludes del terraplén, cuneta o corte.

Cunetas: Son zanjas que se construyen en los tramos en corte a uno o a ambos lados de la corona, contiguas a los hombros, con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes del corte. Normalmente, la cuneta tiene sección triangular con un ancho de 1.00 m, medido horizontalmente del hombro de la corona al fondo de la cuneta; su talud es generalmente de 3:1; del fondo de la cuneta parte el talud del corte.

Contracunetas: Son zanjas de sección trapezoidal, que se excavan arriba de la línea de ceros de un corte, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural. Se construyen perpendiculares a la pendiente máxima del terreno con el fin de lograr una captación eficiente del escurrimiento laminar. Su proyecto en dimensiones y localización está determinado por el escurrimiento posible, por la configuración del terreno y por las características geotécnicas de los materiales que lo forman.

Taludes: el talud es la inclinación del paramento de los cortes o de los terraplenes, expresado numéricamente por el recíproco de la pendiente. Por extensión, en caminos, se le llama también talud a la superficie que en cortes queda comprendida entre la línea de ceros y el fondo de la cuneta; y en terraplenes, la que queda comprendida entre la línea de ceros y el hombro correspondiente.

Los taludes de los cortes y terraplenes se fijan de acuerdo con su altura y la naturaleza del material que los forman.

Partes complementarias: bajo esta denominación se incluyen aquellos elementos de la sección transversal que concurren ocasionalmente y con los cuales se trata de mejorar la operación y la conservación del camino. Tales elementos son las guarniciones, bordillos, banquetas y fajas separadoras. Las defensas y dispositivos para el control del tránsito también pueden considerarse como parte de la sección transversal.

Derecho de vía: Es la faja que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y en general, para el uso adecuado de esa vía y de sus servicios auxiliares. Su ancho será el requerido para satisfacer esas necesidades.

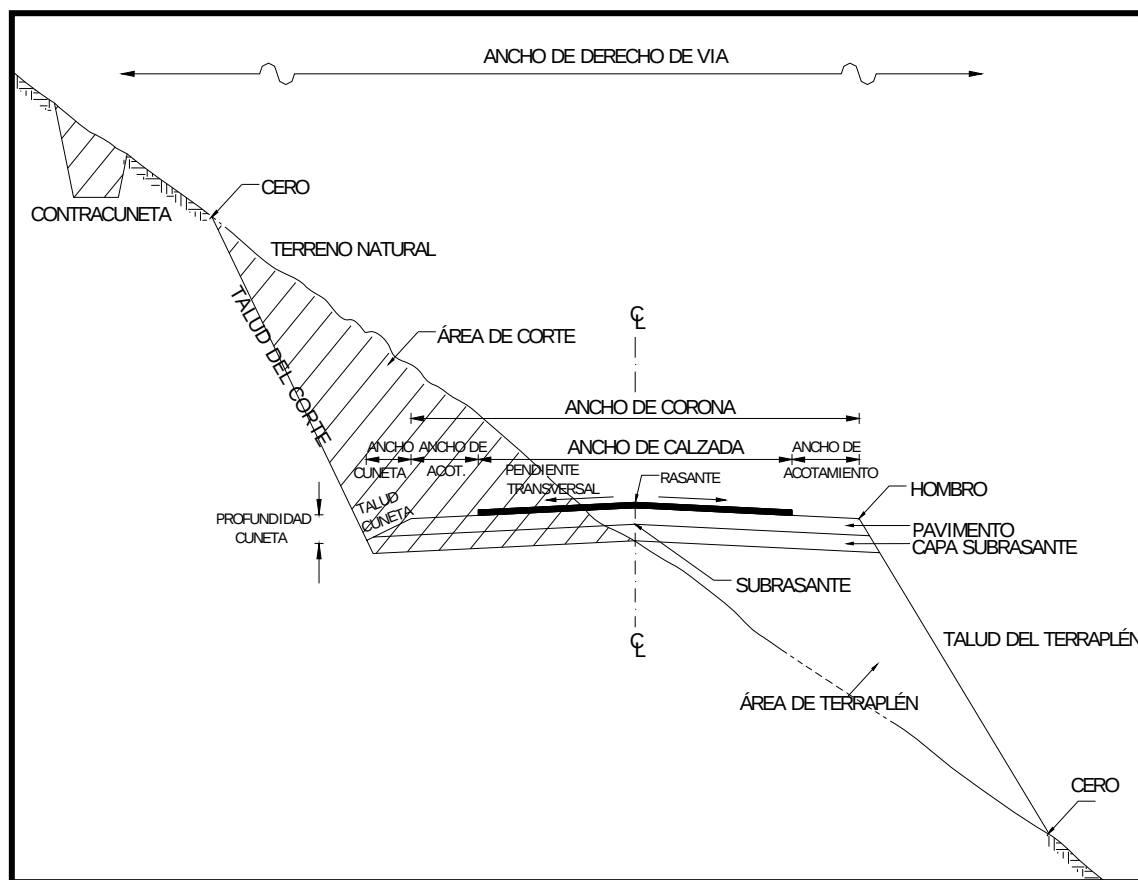


Fig. 1.7 Sección transversal típica en una tangente de alineamiento horizontal. (SCT)

1.10 VOÚMENES Y MOVIMIENTOS DE TIERRAS.

Para fines de presupuesto y pago de la obra, es preciso determinar los volúmenes tanto de corte como de terraplén. Para lograr lo anterior, es necesario calcular el área de las distintas porciones consideradas en el proyecto de las secciones transversales de construcción.

1.10.1 Cálculo de las áreas de secciones transversales.

Uno de los métodos más utilizados para obtener las áreas de las secciones es el *gráfico*, el cual consiste en dividir la sección transversal en trapecios y dos triángulos extremos, mediante líneas verticales a una separación constante. Para entenderlo mejor, se toma como ejemplo la siguiente sección en terraplén.

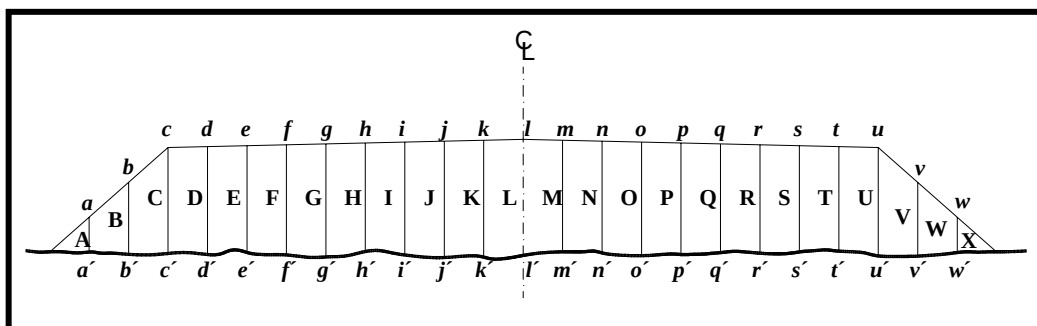


Fig.1.8 Sección transversal en terraplén subdividida en franjas verticales. (SCT)

El área de la sección es igual a la suma de las áreas parciales.

$$AT = \left(\frac{a}{2}\right)S + \left[\frac{(a+b)}{2}\right]S + \left[\frac{(b+c)}{2}\right]S + \left[\frac{(c+d)}{2}\right]S + \left[\frac{(d+e)}{2}\right]S + \dots$$

Si se toma a la S como constante, resulta:

$$AT = S \left\{ \left(\frac{a}{2}\right) + \left[\frac{(a+b)}{2}\right] + \left[\frac{(b+c)}{2}\right] + \left[\frac{(c+d)}{2}\right] + \left[\frac{(d+e)}{2}\right] + \dots \right\}$$

Es decir:

$$AT = S \left[\left(\frac{2a}{2} \right) + \left(\frac{2b}{2} \right) + \left(\frac{2c}{2} \right) + \left(\frac{2d}{2} \right) + \left(\frac{2e}{2} \right) + \dots \right]$$

Por lo tanto:

$$AT = S(a + b + c + d + e + f + g + \dots)$$

La expresión anterior no es muy exacta dado que las líneas verticales no coinciden en todos los casos con los puntos de cambio de pendiente del terreno, con los cerros, hombros y centro de la sección, sin embargo el error que se origina es función de la equidistancia S y lógicamente será menor conforme S sea más pequeña.

La aplicación del método gráfico, basada en esta expresión, consiste en acumular las distancias aa' , bb' , cc' , dd' , marcándolas en una tirilla de papel; una vez efectuado la operación en toda la sección, la distancia entre las marcas extremas en la tirilla, multiplicada por la equidistancia S , define el área total de la sección.

1.10.2 Cálculo de los volúmenes de tierra entre estaciones.

Una vez que se conocen las áreas de las diferentes secciones transversales se determina el volumen de tierras a mover, para ello se considera como ejemplo un tramo en recta todo en terraplén o todo en corte. La selección del sólido del camino, entre los perfiles transversales, es semejante a un prismoide.

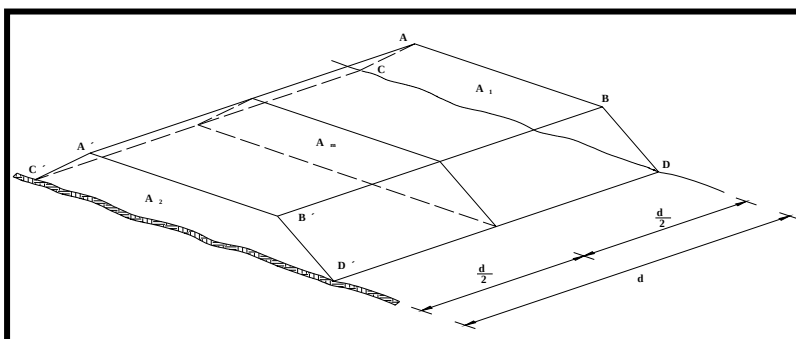


Fig. 1.9 Secciones transversales en terraplén formando un prismoide. (SCT)

El volumen del prismoide esta dado por la fórmula:

$$V = \left(\frac{d}{6}\right)(A_1 + A_2 + 4A_m)$$

En donde:

d = Distancia entre las bases o altura del prismoide.

A_1, A_2 = Áreas de las bases

A_m = Área de la sección media.

Lo indicado no es del todo exacto ya que el terreno no es una superficie plana sino irregular, sin embargo, en la práctica puede considerarse la superficie $C'D'CD$ como engendrada por una recta que se apoya en las líneas CD y $C'D'$, siempre que el terreno entre dos estaciones consecutivas sea lo suficientemente regular.

Entonces si las generatrices del prismoide son paralelas a un plano directriz, la sección media es igual a la media de las secciones extremas, es decir:

$$AT = \frac{(A_1 + A_2)}{2}$$

Y el volumen del prismoide vale:

$$V = \left(\frac{d}{6}\right)\left\{A_1 + A_2 + 4\left[\frac{(A_1 + A_2)}{2}\right]\right\} = \left(\frac{d}{6}\right)(A_1 + A_2 + 2A_1 + 2A_2)$$

$$V = \left[\frac{(A_1 + A_2)}{2}\right]d$$

$$AT = \left(\frac{d}{2}\right)(A_1 + A_2)$$

Así pues, el volumen de material ya sea en corte o en terraplén comprendido entre dos secciones, se calculará tomando la suma de las áreas extremas y multiplicándola por la mitad de la distancia que las separa. En el caso de que dos secciones consecutivas sea una en corte y otra en terraplén, el sólido se denomina *de paso*.

Cuando las dos secciones consideradas sean mixtas de corte y terraplén, si los puntos de paso de las dos secciones están en una recta paralela al eje del camino, los volúmenes de corte y terraplén serán:

$$V_T = \left[\frac{(T_1 + T_2)}{2}\right]d$$

$$V_C = \left[\frac{(C_1 + C_2)}{2}\right]d$$

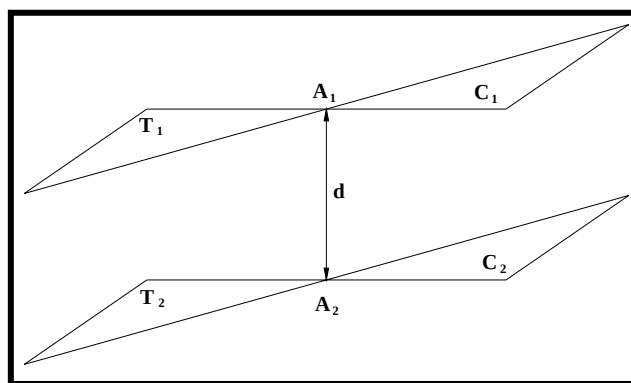


Fig. 1.10 Secciones transversales mixtas. (SCT)

Si el punto de paso no se encuentra en la misma recta paralela al eje del camino, el volumen buscado se descompone en una parte formada por dos terraplenes, T_1 y T_2 , otra en corte C_0 y terraplén T_0 , y además una formada por dos cortes C_1 y C_2 . Aplicando las fórmulas ya conocidas tenemos:

$$V_T = \left(\frac{d}{2}\right)\left\{T_1 + T_2 + \left[\frac{T_0^2}{(T_0 + C_0)}\right]\right\}$$

$$V_C = \left(\frac{d}{2}\right)\left\{C_1 + C_2 + \left[\frac{C_0^2}{(C_0 + T_0)}\right]\right\}$$

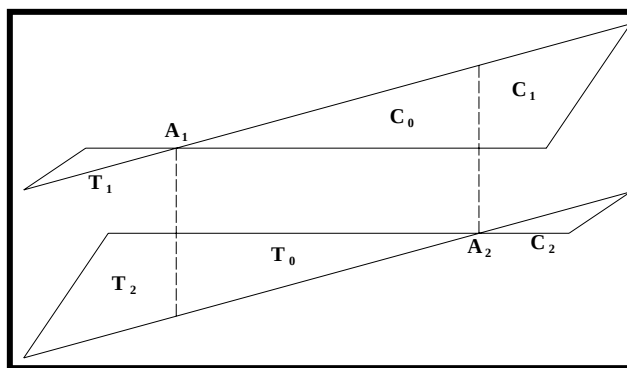


Fig. 1.11 Secciones transversales mixtas irregulares. (SCT)

1.10.3 Diagrama de masas.

Al diseñar un camino es importante conseguir la mayor economía posible en el movimiento de tierras. Dicha economía se logra excavando y rellenando solamente lo indispensable y acarreando los materiales la menor distancia posible y de preferencia cuesta abajo. Este estudio de las cantidades de excavación y de relleno, su compensación y movimiento, se lleva a cabo mediante un diagrama llamado *Curva Masa* o *Diagrama de Masas*, posiblemente el método más preciso y sencillo conocido actualmente.

La curva masa es un diagrama en el cual las ordenadas representan volúmenes acumulativos de las terracerías y las abscisas el cadenamamiento correspondiente. Este diagrama se dibuja a una escala conveniente en el mismo papel donde se dibujó el perfil longitudinal del terreno y se proyectó la subrasante.

Para determinar los volúmenes acumulados se consideran positivos los de los cortes y negativos los de los terraplenes, haciéndose la suma algebraicamente, es decir, sumando los volúmenes de signo positivo y restando los de signo negativo. La secuela a seguir para el proyecto de la curva masa es como sigue:

1. Se proyecta la subrasante sobre el dibujo del perfil del terreno.
2. Se determina en cada estación, o en los puntos que lo ameriten, los espesores de corte o de terraplén.
3. Se dibujan las secciones transversales topográficas (secciones de construcción).
4. Se dibuja la plantilla del corte o del terraplén con los taludes escogidos según el tipo de material, sobre la sección topográfica correspondiente, quedando así dibujadas las secciones transversales del camino.
5. Se calculan las áreas de las secciones transversales del camino.
6. Se calculan los volúmenes abundando los cortes o haciendo la reducción de los terraplenes, según el tipo del material y método escogido.
7. Se suman algebraicamente los volúmenes de cortes y terraplenes.
8. Se dibuja la curva con los valores anteriores.

Como el diagrama de masas tiene por abscisa las estaciones del cadenamiento, se dibuja de izquierda a derecha, y como los volúmenes de corte aumentan el valor de las ordenadas por tener signo positivo, resulta que la curva masa sube de izquierda a derecha en los cortes, teniendo un máximo donde termina el corte. A partir de ese punto, baja de izquierda a derecha ya que los volúmenes de los terraplenes hacen disminuir el valor de la ordenada, que seguirá decreciendo hasta donde termina el terraplén y empieza otro corte.

Se aconseja calcular y dibujar la curva masa por tramos de 500 m a un km y hasta no quedar conforme no seguir con los siguientes tramos. Por simple inspección y algo de experiencia se varia la subrasante para tener un a mejor compensación repitiendo el proceso señalado cuantas veces sea necesario.

En términos generales, la línea de compensación de los acarreo mínimos, es aquella que corta el mayor número de veces a la curva masa. Comparando varios diagramas de curva masa para un mismo tramo, el mejor será el más económico, es aquel cuya suma del importe de las excavaciones incluyendo prestamos, más el valor de los sobreacarreos del menor precio, siempre y cuando se refiera a un perfil aceptable. Los objetivos principales de la curva masa son los siguientes:

1. Compensar volúmenes.
2. Fijar el sentido de los movimientos del material.
3. Fijar los límites del acarreo libre.
4. Calcular los sobreacarreos.
5. Controlar préstamos y desperdicios.

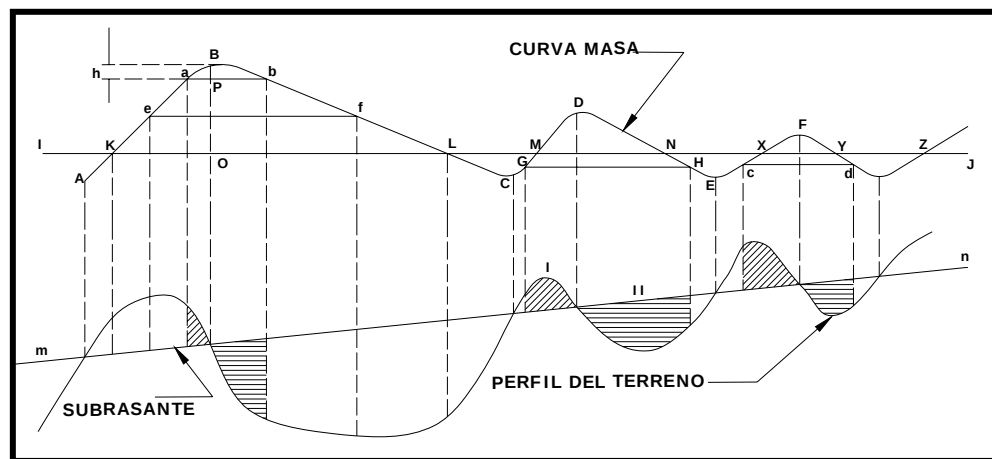


Fig. 1.13 Diagrama de masas. (Ing. Carlos Crespo Villaláz, *Vías de Comunicación*)

Compensar volúmenes. Cualquier línea horizontal que corte una cima o un columpio de la curva masa, marca los límites de corte y terraplén que se compensan. Si se traza en la curva masa la línea GH, se corta la curva precisamente en los puntos G y H. En la curva masa esta horizontal que el volumen comprendido entre G y D es suficiente para construir el terraplén de D a H, o bajando referencias al perfil del camino, que el volumen del corte marcado I llena el terraplén II.

La línea GH resuelve lo referente a los volúmenes I y II pero no indica lo que debe hacerse con el resto del corte ni hasta donde debe acarreararse. Si se traza la línea horizontal II que corta toda la curva, se tendrá que el corte KB es suficiente para el terraplén BL, que con el corte MD se construirá el terraplén DN, que el terraplén LC se construirá con el corte CM, que el terraplén NE se construirá con el corte EX. Bajando al perfil del camino las referencias de los puntos K, L, M, N y X, se obtienen los límites de los movimientos de los cortes y de los terraplenes.

Sentido de los movimientos. Los cortes que en la curva masa queden arriba de la línea de compensación se mueven hacia delante, y los cortes que queden debajo de la línea de compensación se mueven hacia atrás.

Distancia de acarreo libre. En la construcción de terracerías con volúmenes considerables, la longitud del acarreo necesario para colocar los materiales de excavación en los terraplenes correspondientes, ejerce una influencia importante en el costo de operaciones. Debido a que ocurren en estos casos variaciones considerables en la longitud del acarreo del material excavado, se ha adoptado la práctica de considerar dentro del precio de excavación, del acarreo del material a cierta distancia que se le denomina *distancia de acarreo libre*. Esta distancia se a fijado sea de 20 m, o sea una estación, y puede ser modificada. La distancia de acarreo libre es la distancia a la que cada m³ de material puede ser movida sin que se haga un pago adicional.

Para determinar los volúmenes de acarreo libre, se toma un vector que horizontalmente represente a la escala del cadenamiento (1:2000) el valor del acarreo libre (20 m) y se va corriendo verticalmente hasta que toque a dos puntos de la curva; la cantidad de material movido esta dado por la ordenada de la horizontal al punto más alto o más bajo de la curva comprendida, (h en la figura anterior). En la figura de la curva masa anterior, las líneas *ab* y *cd* se supone que miden una

estación y por lo tanto marcan el acarreo libre. Bajando hasta el perfil del terreno los puntos donde estas horizontales ab y cd cortan a la curva masa, se tienen los límites de cortes y terraplenes correspondientes al acarreo libre. Los volúmenes de los cortes son, para cada caso, las diferencias de las ordenadas entre a y B y entre c y F .

Distancia de sobreacarreo. Es el transporte de los materiales ya sea del corte o de un préstamo a mayor distancia que la del acarreo libre. A la distancia que hay del centro de gravedad del corte (o préstamo) al centro de gravedad del terraplén que se forma con ese material, se le resta la distancia de acarreo libre para tener la distancia media de sobreacarreo, y se evalúa en estaciones de 20 m. y decimos de estación. *El valor del sobreacarreo se obtiene multiplicando esa distancia por los metros cúbicos de la excavación, medidos a la misma excavación, y por el precio unitario correspondiente del m^3 por estación.* Para determinar la distancia media de sobreacarreo, se divide OP en dos partes iguales y por ese punto se traza la horizontal que se encuentra a la curva masa en los puntos e y f que tienen la propiedad de encontrarse en las ordenadas que pasan por los centros de gravedad de las masas movidas. A la distancia entre los puntos anteriores, medida hasta los décimos de estación se le resta la distancia de acarreo libre para tener la distancia del sobreacarreo.

Cuando la curva masa afecte formas irregulares como se muestra en las figuras siguientes, las distancias de sobreacarreo determinadas por el procedimiento anterior pueden no ser precisas. En esos casos es preferible encontrar por medio del planímetro las áreas A y B y dividir su suma entre el volumen V para encontrar la distancia de sobreacarreo, teniendo en cuenta la escala, necesitándose a veces, resolver el problema en acarreos compuestos, agregando a lo anterior el sobreacarreo d obtenido de la suma de $(a+b)$ entre v ya que el área entre la curva masa y una horizontal representa el producto del volumen por la longitud media de acarreo.

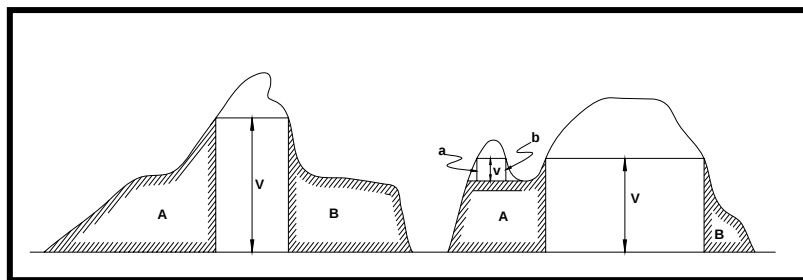


Fig. 1.14 Curva masa con formas irregulares.

Préstamos y desperdicios. Si se determina correctamente, con anterioridad, los factores de abundamiento y de reducción de los materiales, se puede observar que los volúmenes de los cortes son suficientes para construir los terraplenes y no hay desperdicio. Sin embargo, es muy común que las determinaciones de los factores antes mencionados no se lleven a cabo y sean nada más supuestos, con lo cual la curva masa no se cumple enteramente y los cortes no resultan suficientes para terraplenar, siendo necesario hacer préstamos de materiales. Si en un determinado caso se observa que los préstamos se repiten sistemáticamente puede modificarse el proyecto de la subrasante. Si los préstamos son eventuales, se modifica la curva masa corrigiendo los abundamientos o reducciones de acuerdo a la realidad.

Cuando por una determinada causa sea necesario hacer uso de un préstamo, en muchas ocasiones se presenta duda de si es más conveniente tomar los materiales de un préstamo o sobreacarrearlos de un corte. Para ello es necesario determinar la distancia económica de sobreacarreos. Así, el costo del metro cúbico de préstamo y del costo de ese mismo metro cúbico acarreado de un corte, se obtiene la distancia económica de sobreacarreos de la siguiente manera, a manera de ejemplo:

Costo del metro cúbico del préstamo.....\$ 7.50

Costo del sobreacarreos por metro cúbico y por estación de 20 m\$ 0.35

$$\text{Distancia de acarreo} = \frac{7.50}{0.35} = 21.4 \text{ estaciones}$$

Por lo tanto el número de metros a los cuales se puede sobreacarreos será de $21.4 \times 20 = 428$ Aumentándole a esa distancia los 20 m del acarreo libre, se tienen 448 m como la máxima distancia a la que se puede acarrear de un corte, ya que más allá de esa distancia conviene más que el contratista traiga material de un préstamo.

1.10.4 Procedimientos para el cálculo de la curva masa.

Existen dos procedimientos diferentes para el cálculo de la curva masa, ambos presentan resultados satisfactorios si se eligen adecuadamente los coeficientes por cambio de volumen. Para el cálculo del volumen de sobreacarreos, siguiendo cualquiera de los dos procedimientos, se multiplicará el volumen del material compacto (en la excavación) sobreacarreado, por la distancia de sobreacarreos.

Procedimiento de abundar los cortes. Los volúmenes de corte de cada estación se multiplican por un coeficiente mayor que la unidad que corresponde al abundamiento que sufrirá el material. Este coeficiente es generalmente llamado *factor de abundamiento*, y se determina de la forma siguiente:

$$F.A. = \left(\frac{\gamma_b}{\gamma_s} \right) = \left(\frac{V_s}{V_b} \right)$$

En la que:

γ_b = Peso volumétrico del material en el banco o corte.

γ_s = Peso volumétrico del material suelto.

V_s = Volumen del material suelto.

V_b = Volumen del material en el banco o corte.

Tabla 1.6 Factores aproximados de abundamiento para los cortes. (SCT)

MATERIAL	FACTOR DE ABUNDAMIENTO
Tierra negra	1.00 a 1.25
Material arenoso	1.10 a 1.30
Roca suelta	1.30 a 1.40
Roca fija	1.40 a 1.65

Los volúmenes de los terraplenes no sufrirán modificación, calculándose con las áreas de construcción. Al calcular los sobreacarreos habrá que tomar los volúmenes sobreacarreos del material compacto; para esto se dividirá la ordenada del volumen sobreacarreado entre el factor de abundamiento usado.

Tabla 1.7 Factores aproximados de abundamiento para los cortes. (Ing. Carlos Crespo Villaláz, *Vías de Comunicación*)

ESTACIONES	ELEVACIONES		ESPESORES		ÁREAS		A1 + A2		SEMI-DISTANCIA	VOLÚMENES		FACTOR DE ABUNDAMIENTO	VOLÚMENES ABUNDADOS		SUMA ALGEBRAICA		ORDENADA EN LA CURVA MASA
	TERRENO	SUBRASANTE	C	T	C	T	C	T		C	T		C	T	(+) C	(-) T	
64 + 940	199.83	199.64	0.19		2.90												15000
960	200.53	200.12	0.41		4.50		7.40		10	74		0.95	82		82		15082
980	201.26	200.60	0.66		9.80		14.30		10	143		1.11	159		159		15241
65 + 000	202.43	201.08	1.35		12.70		22.50		10	225		1.11	250		250		15491
20	199.90	201.96		2.06	4.10	49.50	16.80	49.50	10	168	495	1.11	186	495		309	15182
40	199.10	202.04		2.94		39.50	4.10	89.00	10	41	890	1.11	46	890		844	14338
60	202.27	202.52		0.25		3.90		43.40	10		434			434		434	13904
80	203.69	203.00	0.69		9.40		9.40	3.90	10	94	39	1.11	104	39	65		13969
90	204.00	203.24	0.76		10.70		20.10		5	101		1.11	112		112		14081
65 + 100	204.28	203.48	0.8		11.00		21.70		5	109		1.11	121		121		14202

Procedimiento de corregir los volúmenes de los terraplenes. En este procedimiento los volúmenes de los cortes no sufren modificación, en cambio los volúmenes de los terraplenes se multiplican factores (generalmente menores a la unidad) para convertirlos en volúmenes compactos, para ello es necesario prever qué materiales formarán los terraplenes en cada sección. El factor de reducción del banco o corte al terraplén será:

$$F.A. = \left(\frac{\gamma_b}{\gamma_t} \right) = \left(\frac{V_t}{V_b} \right)$$

En la cual:

γ_b = Peso volumétrico del material en el banco o corte.

γ_t = Peso volumétrico del material en el terraplén (como primera aproximación se puede tomar un porcentaje del peso volumétrico máximo).

V_t = Volumen del material en el terraplén.

V_b = Volumen del material en el banco o corte.

Con este procedimiento los volúmenes acarreados quedan a base de material compacto y gráficamente se pueden apreciar en el diagrama, sin necesidad de hacer correcciones. En forma

tentativa se pueden fijar las características físicas del material de la subrasante como se indica a continuación en las tablas 1.9 y 1.10.

Tabla 1.8 Factores aproximados de reducción para los terraplenes.(SCT)

MATERIAL	FACTOR DE REDUCCIÓN
Tierra negra	0.98 a 1.00
Material arenoso	0.75 a 0.90
Roca suelta	0.70 a 0.75
Roca fija	0.60 a 0.70

Tabla 1.9 Características físicas del material de subrasante. (Ing. Carlos Crespo Villalàz, Vías de Comunicación)

CARACTERÍSTICA	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Tamaño máx. (mm)	76	76	76
% < malla # 200	25 máx.	35 máx.	
Límite Líquido (%)	30 máx.	40 máx.	50 máx.
Índice plástico (%)	10 máx.	20 máx.	25 máx.
A.A.S.H.T.O. Estand. (%)	100 mínimo	100 +- 2	100 +- 2
CBR (%)	20 mínimo	15 mínimo	15 mínimo

Tabla 1.10 Características físicas del material de terracerías (cuerpo).

CARACTERÍSTICA	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Tamaño máx. (mm)	76	0.5 espesor de capa	0.5 espesor de capa
% < malla # 200	30 máx.		
Límite Líquido (%)	40 máx.	50 máx.	60 máx.
Índice plástico (%)	< 20	< 25	25 máx.
A.A.S.H.T.O. Estand. (%)	95 mín.	90 +- 2 o bandeado	90 +- 2 o bandeado
CBR (%)	5 mín.	5 mín.	3 mín.
Expansión (%)	< 3	< 3	3

Tabla 1.11 Factores aproximados de abundamiento para los terraplenes. (Ing. Carlos Crespo Villaláz, *Vías de Comunicación*)

ESTACIONES	ELEVACIONES		ESPESORES		ÁREAS		A1 + A2		SEMI-DISTANCIA	VOLÚMENES		FACTOR DE ABUNDAMIENTO	VOLÚMENES ABUNDADOS		SUMA ALGEBRAICA		ORDENADA EN LA CURVA MASA	
	TERRENO	SUBRASANTE	C	T	C	T	C	T		C	T		C	T	(+) C	(-) T		
64 + 940	199.83	199.64	0.19		2.90												15000	
960	200.53	200.12	0.41		4.50		7.40		10	74		1.11	82		82		15082	
980	201.26	200.60	0.66		9.80		14.30		10	143		1.11	159		159		15241	
65 + 000	202.43	201.08	1.35		12.70		22.50		10	225		1.11	250		250		15491	
20	199.90	201.96		2.06	4.10	49.50	16.80	49.50	10	168	495	1.11	186	495		309	15182	
40	199.10	202.04		2.94		39.50	4.10	89.00	10	41	890	1.11	46	890		844	14338	
60	202.27	202.52		0.25		3.90		43.40	10		434			434		434	13904	
80	203.69	203.00	0.69		9.40		9.40	3.90	10	94	39	1.11	104	39	65		13969	
90	204.00	203.24	0.76		10.70		20.10		5	101		1.11	112		112		14081	
65 + 100	204.28	203.48	0.8		11.00		21.70		5	109		1.11	121		121		14202	

1.11 DRENAJE EN LOS CAMINOS.

El objeto del drenaje en los caminos, es en primer término, el reducir al máximo posible la cantidad de agua que de una u otra forma llega al mismo, y en segundo término dar salida rápida al agua que llegue al camino.

Para que un camino tenga buen drenaje debe evitarse que el agua circule en cantidades excesivas por el mismo, destruyendo el pavimento y originando la formación de baches y reblandezca las terracerías originando pérdidas de estabilidad de las mismas con sus consiguientes asentamientos perjudiciales. Debe evitarse también que los cortes, formados por materiales de mala calidad, se saturen de agua con peligro de derrumbes o deslizamientos según el tipo de material de corte, y debe evitarse además, que el agua subterránea reblandezca la subrasante con su consiguiente peligro.

Como puede observarse, el prever un buen drenaje es uno de los factores más importantes en el proyecto de un camino y por lo tanto debe cuidarse desde la localización misma tratando de alojar siempre el camino sobre suelos estables, permanentemente y naturalmente drenados. Sin embargo, debido a la necesidad de un alineamiento determinado, el camino puede atravesar suelos

variables, permeables unos e impermeables otros, obligando ello a la construcción de obras de drenaje de acuerdo con las condiciones requeridas. La experiencia en análisis y estudios de muchos caminos en mal estado ha enseñado que el drenaje inadecuado más que ninguna otra causa, ha sido el responsable del daño que han sufrido.

Existen algunas normas que deben guiar al ingeniero localizador en lo relativo al drenaje de los caminos: *Cuando el camino debe seguir el curso de un valle o corriente de agua, las terracerías deben quedar a una altura conveniente sobre el nivel de las aguas máximas del río o valle, ya sea que se admita o no que el agua llegue hasta mojar las terracerías.*

El estudio de drenaje se divide en dos partes: *drenaje superficial y drenaje subterráneo.*

1.11.1 Drenaje superficial.

El primer estudio se refiere a las obras de captación y defensa tales como cunetas, contracunetas, bombeo, etc.; y el segundo de las obras llamadas de cruce como las alcantarillas, vados, etc.

Cunetas. Son zanjas que se hacen a ambos lados del camino con el propósito de recibir y conducir el agua pluvial de la mitad del camino (o de todo el camino en las curvas), el agua que escurre por los cortes y a veces la que escurre de pequeñas áreas adyacentes.

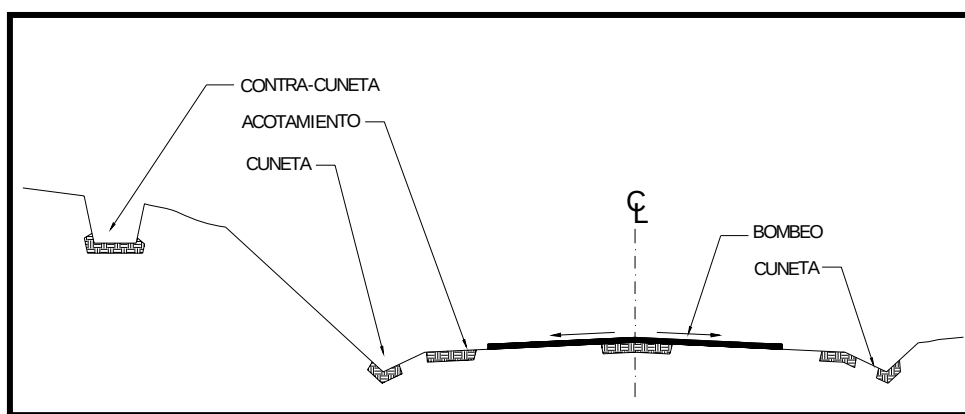


Fig. 1.15 Elementos del drenaje superficial en una sección transversal en corte. (Ing. Carlos Crespo Villaláz, *Vías de Comunicación*)

Las dimensiones, la pendiente y otras características de las cunetas, se determinan mediante el flujo que va a escurrir por las mismas. Las cunetas generalmente se construyen de sección transversal triangular o trapecial y su diseño se basa en los principios del flujo en los canales abiertos.

Hay una cuneta que se le ha llamado cuneta tipo que tiene talud interior de 3:1 (del lado del camino) y 1.5:1 del lado exterior con un tirante de agua de 30 cm, es la que se usa comúnmente

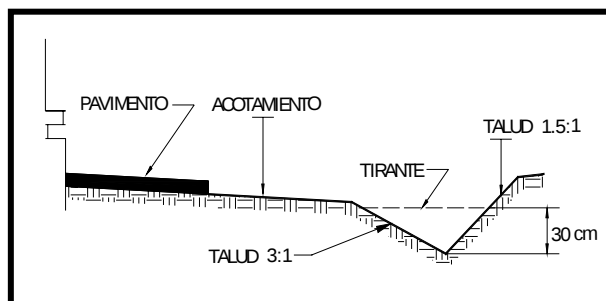


Fig. 1.16 Cuneta tipo. (Ing. Carlos Crespo Villaláz, Vías de Comunicación)

Contracunetas. Son zanjas que se construyen para recoger y encausar el agua que proviene de zonas más alejadas y que se dirige al camino, tratando de evitar que llegue a las cunetas en cantidad mayor, que aquella para la cual están proyectadas.

Estas obras se calculan igual que las cunetas y generalmente son de sección trapecial de 50 cm de plantilla y taludes de 1:1 en material suficientemente compacto, pudiendo llegar a hacerse paredes verticales. En todos los casos el tamaño y forma deberán sujetarse a las necesidades hidráulicas y a las condiciones del terreno. Las contracunetas deben colocarse a una distancia aproximada de 5 m del talud del corte. Su longitud será la necesaria para llevar las aguas hasta desembocar en un talweg u hondonada adyacente.

Bombeo del camino. Se denomina bombeo de un camino a la forma de la sección transversal del mismo y que tiene como fin principal el drenar hacia los lados el agua que cae en el camino mismo. El bombeo que debe emplearse depende de la clase de superficie, facilidad de circulación de los vehículos y aspecto del camino. En nuestro país se acostumbra emplear un bombeo de 2.00 % para los caminos asfaltados y de 1.50% para los de concreto hidráulico.

Lavaderos o vertederos. El desfogue de una corriente de agua puede hacerse a través de un lavadero, el cual no es más que una cubierta o delantal de mampostería de concreto o de piedra acomodada simplemente, por donde se encausa el agua de los taludes o terraplenes, o en terreno muy erosionable, hasta llevarla a lugares donde la erosión continuada no pueda llegar a afectar el camino en forma alguna.

Alcantarillas. Las obras de cruce, que son llamadas también de drenaje transversal, tienen por objeto dar paso rápido al agua que, por no poder desviarse en otra forma, tenga que cruzar de un lado a otro del camino. En estas obras de cruce están comprendidos los puentes y las alcantarilla. La diferencia fundamental entre los puentes y las alcantarillas es que éstas llevan encima un colchón de tierra y aquellos no. Una alcantarilla consta de dos partes: el cañón y los muros de cabeza. El cañón forma el canal de la alcantarilla y es la parte principal de la estructura. Los muros de cabeza sirven para impedir la erosión alrededor del cañón, para guiar la corriente y para evitar que el terraplén invada el canal. Según la forma del cañón las alcantarillas se dividen en alcantarillas de tubo, alcantarillas de cajón y alcantarillas de bóveda.

Las alcantarillas se colocan, generalmente, en el fondo del cauce que desaguan, aunque en algún caso particular puede cambiarse esa localización.

Al localizar una alcantarilla debe procurarse no forzar los cruces para hacerlos normales cuando la localización razonable y natural esviada, ya que en esos casos la economía obtenida con cruces normales casi nunca compensa los gastos de conservación ocasionados por la erosión del agua al sufrir estas fuertes desviaciones. Además, no debe tratarse de reducir el número de alcantarillas concentrando en una sola el agua de varios tawlegs, sino por el contrario, es conveniente colocar todas las alcantarillas que sean necesarias para un funcionamiento eficaz del drenaje. Cuando el esviajamiento de una corriente sea igual o menor a 5° es preferible hacer la estructura perpendicular al camino suprimiendo el esviajamiento y rectificando ligeramente el cauce, como se muestra en la figura siguiente.

Cuando la forma del cauce se ajusta a la dirección de la alcantarilla, basta poner aleros o muros de cabeza para encauzar el agua. Cuando el cauce es irregular, es necesario canalizar un

trcho a la entrada y a la salida de la alcantarilla para que el agua se encauce bien. En aquellos casos en el que la dirección de la corriente con la normal al eje del camino formen un ángulo mayor de 5° , es preferible alinear la alcantarilla con el fondo del arroyo aún a expensas de que resulte una obra más larga y costosa que la construida normal, ya que esta requeriría canalizar el cauce con codos forzados que son poco resistentes al embate del agua en grandes cantidades produciéndose deslaves en los lugares de máxima velocidad y azolves en aquellos de velocidad mínima.

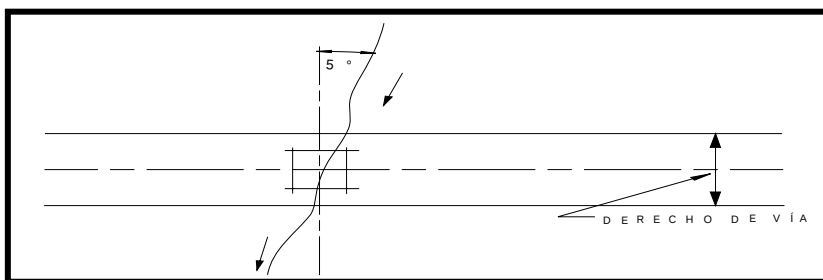


Fig. 1.17 Alcantarilla perpendicular al camino. (Ing. Carlos Crespo Villaláz, *Vías de Comunicación*)

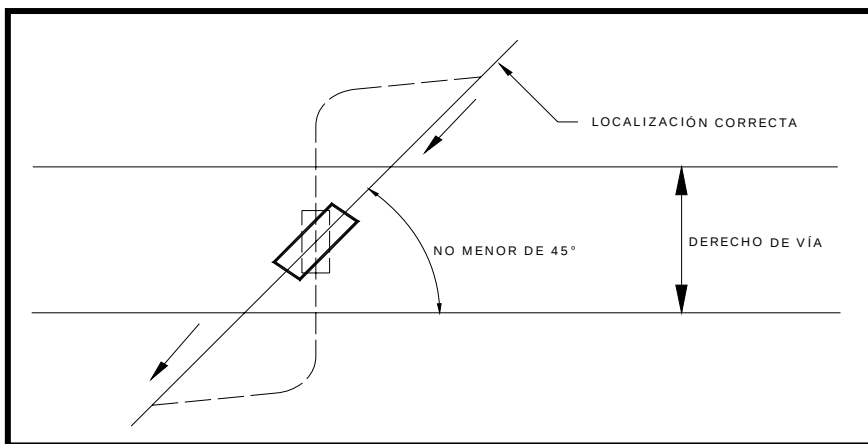


Fig. 1.18 Alcantarilla enviada con respecto al camino. (Ing. Carlos Crespo Villaláz, *Vías de Comunicación*)

Cuando un camino cuenta con cunetas muy largas debido a que va bordeando una loma, es muy conveniente aliviar la cuneta cada 100 m mediante el empleo de una alcantarilla de alivio que sirva para dar salida a toda el agua que este arriba de la misma, lográndose que el caudal de la cuneta no pase de cierto límite. La separación de 100 m indicada es sólo como guía ya que deben colocarse de acuerdo con las condiciones de pendiente, tipo de suelo, protección de las cunetas y ancho de su sección transversal. Sin embargo, la distancia ya indicad es una de las más comunes en camino.

1.11.2 Drenaje subterráneo.

El drenaje subterráneo es muy semejante al drenaje superficial, ya que las capas impermeables forman canales bien definidos o vasos de almacenamiento de agua subterránea tal como sucede en la superficie del terreno; el drenaje subterráneo consiste en proporcionar ductos de drenaje adecuado para controlar el escurrimiento de esa agua rápidamente. La mayor parte de los suelos, cuando están secos, dan soporte adecuado a las cargas de tránsito a las que se le somete directamente a través de un pavimento; así pues, es necesario efectuar las obras necesarias para mantener el camino, si no completamente seco, por lo menos, con una humedad que no sea perjudicial a las partes que lo forman. Las siguientes obras de drenaje son las comunes para impedir que el agua llegue al camino y para remover aquella que haya llegado al mismo.

Drenes ciegos. Los drenes ciegos son zanjas rellenas de piedra quebrada o grava, éstos han sido muy empleados, y cuando se les ha construido en forma correcta, a dado resultados satisfactorios durante mucho tiempo. Cuando se usan drenes ciegos paralelos al camino, la práctica común es colocar uno en cada lado del camino, precisamente bajo las cunetas, tienen un ancho de 0.45 m de ancho y de 0.60 a 0.90 m de profundidad; para que sean efectivos deben tener una pendiente uniforme e ir a desfogar a una salida adecuada.

Otro punto importante a considerar en este tipo de obras es que debe tenerse cuidado en graduar el material con que se rellena la zanja ya que existe una marcada tendencia, en todos los aguaceros fuertes, a que las cepas rellenas de piedra se inunden de agua cargada de lodo y se azolven.

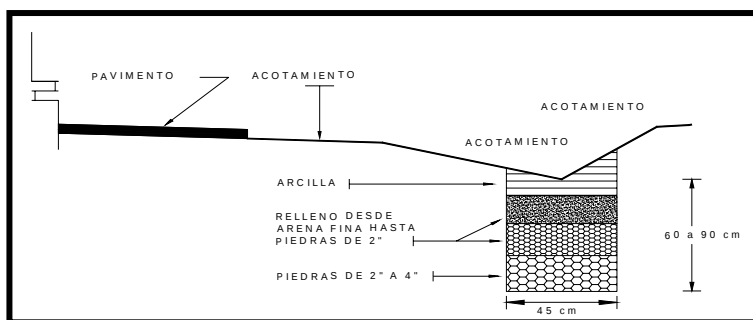


Fig. 1.19 Dren ciego. (Ing. Carlos Crespo Villaláz, *Vías de Comunicación*)

Drenes de tubo. En general, para drenaje subterráneo en caminos, los drenes con tubo de barro de concreto son muy superiores a los formados por zanjas abiertas y a los drenes ciegos. Los tubos para subdrenaje deben satisfacer una serie de requisitos para que funcionen en forma efectiva durante un periodo largo; estos requisitos se refieren al aplastamiento, flexión, presión hidráulica, capacidad de infiltración y durabilidad.

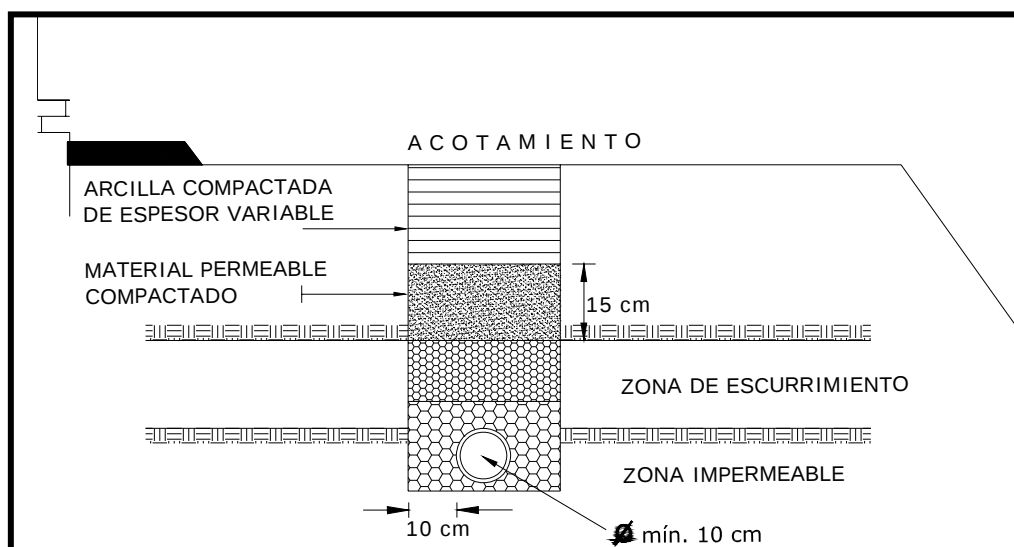


Fig. 1.20 Dren de tubo. (Ing. Carlos Crespo Villaláz, *Vías de Comunicación*)

1. **Aplastamiento.** Cuando los tubos se colocan dentro de la zona de tránsito, es imprescindible usar tubos que no se rompan, ya que un tubo agrietado o roto puede ser la causa de que falle todo un sistema de subdrenaje.
2. **Flexión.** La misma naturaleza y fin de la mayoría de los drenes subterráneos involucra que los tubos vayan colocados en un suelo muy húmedo e inestable, por lo tanto es necesario que dichos tubos presenten juntas apropiadas con el fin de que flexionen un poco y puedan amoldarse a las desigualdades de la plantilla.
3. **Presión hidráulica.** En algunas ocasiones el tubo de drenaje subterráneo puede trabajar a presión con lo que se producen altas velocidades que pueden ser destructivas, por lo tanto es necesario que las juntas estén fuertemente unidas para evitar las posibilidades de socavación por el agua que pueda salir.

4. Capacidad de infiltración. Esto depende de si el tubo es o no perforado, cuando es perforado, esta diseñado para permitir la máxima infiltración y las perforaciones se localizan de modo que puedan excluir la entrada del lodo y material de relleno todo lo que sea posible.
5. Durabilidad. Para la duración de los tubos es necesarios que ellos sean resistentes a la desintegración, erosión y corrosión

El tamaño de los tubos depende del tipo de terreno por drenar, de la clase de tubo, de la altura de precipitación y de la pendiente de la tubería; para conocer la cantidad de agua que llega a los subdrenes, teóricamente bastaría calcular la diferencia entre la precipitación y el escurrimiento. Como dato práctico se puede admitir que cuando el terreno es muy plano y no es permitida la entrada superficial al tubo directamente, se puede suponer, por término medio que el gasto que llega a los tubos de drenaje es de $3 \text{ m}^3 / \text{hr}$ por cada hectárea drenada. Cando el terreno es escarpado el gasto puede aumentarse bastante.

Para conocer el área que un tubo de drenaje drenará es necesario saber hasta que distancia a cada lado del tubo influenciará éste para abatir el nivel freático. En suelos de arena suelta se puede suponer que dicha distancia es de aproximadamente 30 m a cada lado del tubo cuando el dren se encuentra a una profundidad de 1.20 m; para terrenos formados por arcillas compactas la distancia sólo llegara a una distancia de 9 m a cada lado; en terrenos muy sueltos la influencia del dren puede llegar hasta 60 m a cada lado. Como un dato general, se puede decir que la mayoría de los suelos que necesiten drenaje subterráneo, la zona drenada abarcara 15 m de ancho. De forma ordinaria se puede tomar que es suficiente utilizar un tubo de 4" de diámetro y muy rara vez el de 6", no es aconsejable usar tubos de menos de 4" de diámetro porque se azolvan con facilidad.

CAPÍTULO 2.

DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS CAD

2.1 DESCRIPCIÓN

Se denomina *herramientas de diseño asistido* a un conjunto de elementos que permiten la realización de tareas a través de computadora. Es frecuente utilizar las siglas *CAD*, del inglés *Computer Aided Design*, para designar al uso de una amplio rango de herramientas computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y a otros profesionales del diseño en sus respectivas actividades.

2.1.1 Antecedentes.

Inicialmente estos programas se limitaban a pequeñas aplicaciones centradas en el dibujo técnico en dos dimensiones que venían a sustituir el tradicional tablero de dibujo, ya que ofrecía ventajas para la reproducción y conservación de los planos y reducía el tiempo de dibujo, permitiendo además usar elementos repetitivos y agilizar los cambios. Se podría comparar a las ventajas de los primeros procesadores de textos frente a la máquina de escribir.

La evolución y desarrollo de las aplicaciones CAD han estado íntimamente relacionadas con los avances del sector informático. El nacimiento del CAD, lo podemos situar al final del periodo de las computadoras de primera generación, pero tiene su pleno desarrollo a partir de la aparición de las computadoras de cuarta generación en que aparecen los circuitos de alta escala de integración LSI (Large Scale Integration) y ya están desarrollados plenamente los lenguajes de alto nivel. Están desarrolladas: la memoria virtual utilizando sistemas de memoria jerárquicamente estructurados, la multiprogramación y la segmentación con el propósito de permitir la ejecución simultánea de muchas partes del programa.

La cronología del CAD, se puede resumir en los siguientes datos agrupados en los apartados:

- **1955:** El primer sistema gráfico SAGE (Semi Automatic Ground Envioirement) de la Fuerzas aéreas norteamericanas (US Air Force's), es desarrollado en el Lincoln Laboratory del MIT (Massachussets Institute of Technology). El sistema SAGE procesaba datos de radar y otras informaciones de localizaciones de objetos mostrándolos a través de una pantalla CTR.

- **1962:** Basado en su tesis doctoral Ivan E. Sutherland desarrolla en el Lincoln Laboratory (MIT) el sistema Sketchpad. La tesis "A Machines Graphics Communications System" establece las bases de los gráficos interactivos por computadora tal y como hoy los conocemos. Sutherland propuso la idea de utilizar un teclado y un lápiz óptico para seleccionar situar y dibujar, conjuntamente con una imagen representada en la pantalla.
- **1963:** El sistema Sketchpad introducido en la universidades causa gran expectación. Quizás lo más interesante fuera la demostración de que la computadora podía calcular que líneas eran las que definían la parte vista del objeto al tiempo que borraba de la pantalla el resto. Las líneas ocultas permanecían en la memoria de la computadora y en la base de datos, y volvían a aparecer cada vez que se colocaba el cuerpo en una posición distinta respecto al observador. Las limitaciones del sistema provenían más de la capacidad del ordenador que del principio conceptual como tal. El Prof. Charles Eastman de Carnegie-Mellon University desarrolla BDS (Building Description System). Estaba basado en una librería de cientos de miles de elementos arquitectónicos, los cuales, pueden ser ensamblados y mostrar sobre la pantalla un diseño arquitectónico completo.
- **1965:** Basado en ITEK Control Data Corp., comercializa el primer CAD con un precio de 500.000 US\$. El Prof. J. F. Baker Jefe del Cambridge University Engineering Department, inicia las investigaciones en Europa trabajando con un ordenador gráfico PDP11. A. R. Forrest realiza el primer estudio de investigación con un CAD, realizando intersección de dos cilindros.
- **1969:** COMPUTERVISION desarrolla el primer plotter (trazador).
- **1970:** Las grandes compañías del sector automóvil y espacial (General Motor, Ford, Chrysler, Lockheed) adoptan los sistemas CAD
- **1975:** TEXTRONIX desarrolla la primera pantalla de 19". AMD (AVION MARCEL DASSAULT), desarrolla el primer sistema CAD/CAM y Lockheed es la primera empresa que lo compra.
- **1977:** Se crea DELTA TECHNICAL SERVICES en la Cambridge University.
- **1978:** COMPUTERVISION desarrolla la primer terminal gráfico que utiliza la tecnología raster. A finales de los 70 un sistema CAD tenía un precio de 125.000 US \$.
- **1979:** Boeing, General Electric y NIST, desarrollan un formato neutral de intercambio de datos IGES (Inicial Graphics Exchange Standard)

- **1980:** Se crea MATRA DATAVISIO y la empresa española INVESTRÓNICA, con desarrollos CAD y CAM para la industria textil-confección.
- **1981:** Se crea DASSAULT SYSTEM. Basados en desarrollos de la Cornell University, la empresa 3D/Eye Inc., es la pionera en 3D y tecnología de gráficos. UNIGRAPHICS presenta Unisolid el primer sistema de modelado sólido sobre un ordenador PADL-2.
- **1982:** John Walker funda AUTODESK con 70 personas con la idea de producir un programa CAD para PC de menos de 1000 US \$. En el COMDEX de Noviembre de Las Vegas presenta el primer AutoCAD.
- **1983:** Inicio del sistema universal de transferencia de datos STEP (Standard for the Exchange of Product model data)
- **1985:** Se presenta MicroStation, como desarrollo CAD para PC, basado en PseudoStation de Bentley System. Permite ver dibujos en formato IGDS, sin necesidad del software de Interghs.
- **1990:** Mac Donell Douglas (Boeing) selecciona el sistema Unigraphics.
- **1992:** Aparece el primer AutoCAD sobre plataforma SUN (procesadores Risc)
- **1995:** El primer AutoCAD (versión 12) y Unigraphics sobre Windows.
- **1999:** La empresa Autodesk tiene 1.000.000 usuarios de AutoCAD LT y 100.000 3D Studio.
- **2000:** Autodesk inicia la venta por Internet de AutoCAD 2000.
- **2001:** Presentación versión AutoCAD 2002. Destacan la función de asociación de funciones de las dimensiones en el dibujo, el editor gráfico de atributos. la definición de bloques y un conversor de capas asociado a la funcionalidad del gestor de normas. Orientación hacia Internet.

2.1.2 Actualidad y evolución.

Los fabricantes del sector CAD siempre han sido punteros en aprovechar la tecnología informática más avanzada. Técnicas como el diseño vectorial, la organización de los proyectos en capas, la medición automatizada, el trabajo directo con objetos y procedimientos, la ampliación de los programas con extensiones especializadas o el diseño con modelos 3D, en la actualidad, estos sistemas están conectados a los sistemas de gestión y producción de tal forma que ya desde la fase de diseño se puede saber el costo del producto final, manipular los controladores de componentes y materiales para su fabricación, en fin, una gran cantidad de ventajas.

Hemos pasado de tener una representación de un plano en pantalla a tener un modelo virtual del que podemos obtener datos, montar en otros modelos, hacerlo adaptativo, imprimirlo, fabricarlo. El siguiente paso fueron los llamados sistemas expertos que permiten recoger reglas y normas de forma que el sistema guía al usuario en la toma de decisiones. Y ahora se persigue recoger el conocimiento y la experiencia del usuario y que el sistema aprenda, teniendo en cuenta estética, ingeniería, fabricación y calidad. Los paquetes actuales varían desde aplicaciones basadas en vectores y sistemas de dibujo en 2 dimensiones (2D) hasta modeladores en 3 dimensiones (3D) a través del uso de modeladores de sólidos y superficies paramétricas. Se trata básicamente de una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Permite diseñar en dos o tres dimensiones mediante geometría alámbrica, esto es, puntos, líneas, arcos, reglas flexibles, superficies y sólidos para obtener un modelo numérico de un objeto o conjunto de ellos.

A destacar, el gran interés estratégico que desde el principio ha tenido el CAD para las empresas por el impacto enorme en la productividad, éstas han apostado por el CAD y ello supone importantes inversiones, que lógicamente potencian y convierten el CAD en un producto estratégico con un gran mercado.

Sus comienzos, las herramientas CAD se vieron frenadas por estar destinadas a un grupo de usuarios muy reducido y requerían, además, de un hardware muy potente, pero sobre todo por la resistencia de muchos profesionales a adoptar estas tecnologías. El incremento de potencia del hardware y la importancia de las empresas que los usaban, entre los que ha destacado la industria de la ingeniería en todas sus ramas, permitieron que poco a poco estas herramientas se desarrollaran alcanzando los modelos tridimensionales y fueran incluyendo curvas complejas, superficies y, finalmente figuras de sólidos, hasta llegar a los complejos sistemas asociativos y paramétricos que permiten realizar todo el diseño de un automóvil o un avión, someterlos a pruebas de choque, temperaturas, etc.; realizar proyectos de construcción en el aspecto ingeniería y arquitectónico, ya que permite crear dibujos precisos con vistas de diferente ángulo y con una excelente calidad de definición. Además se puede diseñar toda la infografía de marketing, realizar prototipos y, por supuesto, fabricarlos, programando y controlando las máquinas que los fabrican y comprobando después los resultados obtenidos.

El diseño asistido por computadora ha evolucionado de tal forma, que se ha convertido en la herramienta principal para la creación de entidades geométricas enmarcadas dentro de procesos de administración del ciclo de vida de productos (*Product Lifecycle Management*), y que involucra software y algunas veces hardware especiales.

La base de datos asocia a cada entidad una serie de propiedades como color, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica, etc., que permiten manejar la información de forma lógica. Además pueden asociarse a las entidades o conjuntos de estas, otro tipo de propiedades como el coste, material, etc., que permiten enlazar el CAD a los sistemas de gestión y producción.

De los modelos pueden obtenerse planos con cotas y anotaciones para generar la documentación técnica específica de cada proyecto. La evolución de estos sistemas ha permitido avances impresionantes en la industria, de los que hoy se benefician desde los satélites hasta las batidoras domésticas.

2.2 AUTOCAD

AutoCAD es un programa de Diseño Asistido por Computadora (en inglés CAD) para dibujo en 2D y 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa *Autodesk*. Al igual que otros programas de CAD, *AutoCAD* gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica, el llamado editor de dibujo. La interacción del usuario se realiza a través de comandos, de edición o dibujo, desde la línea de órdenes, a la que el programa está fundamentalmente orientado. Las versiones modernas del programa permiten la introducción de éstas mediante una interfaz gráfica de usuario o en inglés GUI, que automatiza el proceso.

Como todos los programas de CAD, procesa imágenes de tipo vectorial, aunque admite incorporar archivos de tipo fotográfico o mapa de bits, donde se dibujan figuras básicas o primitivas (líneas, arcos, rectángulos, textos, etc.), y mediante herramientas de edición se crean gráficos más complejos. El programa permite organizar los objetos por medio de *capas* o *estratos*, ordenando el dibujo en partes independientes con diferente color y grafismo. El dibujo de objetos seriados se gestiona mediante el uso de *bloques*, posibilitando la definición y modificación única de múltiples objetos repetidos.

Parte del programa AutoCAD está orientado a la producción de planos, empleando para ello los recursos tradicionales de grafismo en el dibujo, como color, grosor de líneas y texturas tramadas. AutoCAD, a partir de la versión 14, utiliza el concepto de *espacio modelo* y *espacio papel* para separar las fases de diseño y dibujo en 2D y 3D, de las específicas para obtener planos trazados en papel a su correspondiente escala. La extensión del archivo de AutoCAD es *.dwg*, aunque permite exportar en otros formatos (el más conocido es el *.dxf*). Las aplicaciones del programa son múltiples, desde proyectos y presentaciones de ingeniería, hasta diseño de planos o maquetas de arquitectura.

Desde el diseño conceptual hasta el dibujo y la documentación detallada, AutoCAD contiene todo lo necesario para crear, visualizar, documentar y compartir los proyectos de ingeniería. AutoCAD combina los comandos y la interfaz de usuario con un entorno de diseño actualizado, dándole la capacidad de dar forma a las ideas que hacen posible el proyecto.

2.2.1 Diseño conceptual

Un entorno actualizado de diseño conceptual hace simples e intuitivas la creación, edición y navegación de sólidos y superficies. Con todas las herramientas en un solo lugar, es fácil convertir las ideas en diseños. Gracias a las herramientas de navegación, se pueden interactuar con los modelos durante la creación y edición, haciendo más productiva la búsqueda de alternativas de diseño.

2.2.2 Herramientas de visualización

Cualquiera que sea la fase del proyecto en que se encuentre, AutoCAD permite transmitir la visión del diseño con potentes herramientas de visualización, como animaciones subjetivas y renderizaciones realistas. Tales herramientas de animación significan que puede sacar a la luz cualquier defecto temprano en el proceso de diseño, antes de que se convierta en un problema.

2.2.3 Documentación

Llegado el momento de construir el diseño, AutoCAD permite transformar con rapidez y facilidad los modelos de diseño en juegos de documentos de construcción que reflejan de forma clara y exacta lo que se debe construir, a partir del modelo de diseño, secciones y alzados para luego incorporarlos a los dibujos. Al no tener que recrear la información del modelo para los documentos de construcción, se ahorra tiempo y se evitan los errores derivados de la recreación manual.

2.2.4 Aplicaciones.

Dado que AutoCAD emplea un entorno gráfico muy completo, éste programa ha sido tomado como base para desarrollar aplicaciones que trabajan utilizando el mismo sistema operador y la misma interfaz. Dichas aplicaciones son muy variadas y las hay para diversas ramas de la ingeniería y la arquitectura., en lo que respecta a la ingeniería civil se han desarrollado aplicaciones para emplearse en las vías terrestres como lo son *Land Desktop*, *Civil Design* y *CivilCAD*, los cuales pertenecen también a la empresa Autodesk.

2.3 LAND DESKTOP

El *Autodesk Land Desktop* es una aplicación basada en el AutoCAD que incluye herramientas eficaces e intuitivas con las que se puede crear y etiquetar puntos de cota, definir y editar alineaciones de carreteras y terrenos, automatizar procesos de delineación, crear modelos digitales de terreno y calcular volúmenes y curvas de nivel. Proporciona funciones específicas de ingeniería del terreno, tales como MDT (Modelos Digitales del Terreno) y anotación de pendientes automatizada. La base del programa es una estructura de datos centralizada que potencia la eficacia sea cual sea el tipo o el tamaño de su proyecto.

2.3.1 Productividad.

Land Desktop racionaliza la productividad en todas y cada una de las fases de un proyecto y facilita una ubicación central en la que los datos son accesibles y proporciona herramientas para todos los procesos de diseño.

Permite explorar las opciones de diseños de carretera con polilíneas, evaluar múltiples diseños de superficies y relacionarlos con el terreno existente, convierte polilíneas en alineaciones definidas de carretera y extrae información de superficies a lo largo de segmentos rectos o arco.

2.3.2 Creación y gestión de datos COGO (Coordenadas Globales).

Algo muy importante en el desarrollo de esta labor para el usuario es el control absoluto del aspecto y la visualización de puntos de cota. Los puntos COGO que sean necesarios se guardan en bases de datos externas vinculadas a proyecto y según distintos criterios de datos, se crean y usan los grupos de puntos. Los datos de puntos adicionales, procedentes de bases de datos externas, se asocian sin ninguna dificultad.

2.3.3 Creación de geometría base.

Con este sistema, las líneas se crean según orientación, azimut, ángulo, longitud y otros criterios; y las curvas se generan mediante diversos métodos gráficos y geométricos. El trazado de clotoides, sinusoidales, cosinusoidales y espirales cuadráticas es otra de las posibilidades que ofrece en este sentido.

2.3.4 Definición y manipulación de alineaciones.

Para representar carreteras, canales y líneas de ferrocarril, se pueden definir alineaciones en plano y luego editarlas gráficamente o con un editor de tablas. El programa genera automáticamente puntos en la geometría del trazado, realizando etiquetado automático de estaciones.

2.3.5 Modelado y análisis de terrenos.

El explorador de modelos de terreno crea y gestiona superficies, a partir de cualquier combinación de datos de proyecto: datos de puntos, grupos de puntos, curvas, objetos AutoCAD, líneas de ruptura, etc. y para la edición de superficies se puede utilizar una amplia gama de comandos.

2.3.6 Volúmenes.

Se utilizan métodos de cálculo compuestos, de malla o por secciones y se crean informes de movimientos de tierra y secciones transversales del trazado, generando curvas de nivel en las zonas de desmonte y terraplén.

2.3.7 Curvas de nivel.

Se pueden generar automáticamente curvas con estilos, capas e intervalos personalizados y controlar el aspecto de diversos grupos de curvas mediante un gran número de herramientas, recortando, alargando y editando objetos de contorno.

2.3.8 Análisis de condiciones del terreno.

Por último, otra de las características de Autodesk Land Desktop es su poder para actualizar automáticamente líneas de base de sección, trazar secciones de superficies diversas y utilizar cartografía temática para crear mapas de pendientes. Las superficies 3D se visualizan mediante mallas 3D y permite definir líneas de flujo de agua en superficies y calcular cuencas y subcuencas de drenaje. Land Desktop ofrece a urbanistas, ingenieros y topógrafos una solución integrada para infraestructuras que dispara la rentabilidad y fomenta la colaboración en todas las fases del urbanismo.

2.4 CIVIL DESIGN.

Este software fue creado para diseñar y analizar sistemas de drenaje y desagüe sanitario y pluvial, evaluar y mejorar situaciones de nivelación complejas con objetos que reaccionan automáticamente ante los cambios, o diseñar caminos rápidamente con vistas interactivas de planta, perfil y sección. Civil Design se ha diseñado pensando en la colaboración de los proyectos, de manera que varios miembros del equipo de trabajo puedan acceder simultáneamente a datos como alineaciones de carreteras y cotizaciones.

Civil Design es el programa ideal para todas las tareas de diseño de Ingeniería Civil, desde el dibujo de planos, perfiles y secciones hasta el cálculo de superficies. Con este software se pueden diseñar estructuras de drenaje, todos los detalles de una carretera de forma rápida e inteligente, permite una interacción directa entre las selecciones gráficas, la confirmación visual, el análisis de ingeniería y la comprobación con los criterios de diseño, además de la generación flexible de informes, automatiza la creación de modelos de superficie y curvas de nivel para que los proyectos de carreteras resulten más eficientes, puede crear polilíneas 3D para representar la sección transversal o la naturaleza lineal de un diseño.

Civil Design se ejecuta sobre la última versión de Autodesk Land Desktop y este a su vez funciona sobre los sólidos cimientos de AutoCAD, lo cual nos garantiza una excelente integración de información para todos los miembros del proyecto, estén donde estén. También ofrece la flexibilidad de un planteamiento de diseño de caminos que integra plantillas definibles por el usuario, líneas de control de transición y normas de ingeniería. Este enfoque integrado permite realizar en poco tiempo diseños de subdivisión de carreteras, reformas y proyectos complejos, Civil Design aporta además herramientas de nivelación automatizadas que suministran información instantánea al cambiar parámetros de diseño. La organización y el análisis de sistemas de canalizaciones se simplifican al integrar las trayectorias de tuberías con modelos de superficie, plantas y perfiles de carretera, además de otros elementos del proyecto de diseño.

CAPITULO 3.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO “DESARROLLO CASAS BLANCAS”

3.1 PROBLEMÁTICA URBANA ACTUAL DE LA CIUDAD DE MORELIA

La ciudad de Morelia funge como centro regional estatal del cual dependen, de manera directa, los centros de población que comprenden los municipios de Charo, Tarímbaro, Quiroga, entre otros, lo que intensifica la actividad económica, política y social entre la capital y cada uno de los municipios antes citados, a través de la creación constante de programas de desarrollo social a nivel regional, entre los más importantes el de la vivienda.

El municipio de Morelia ha presentado un crecimiento acelerado, el cual se debe principalmente al saldo migratorio positivo, es decir, que gran cantidad de personas optan por conseguir un espacio donde radicar lo más cercano a la capital, lo cual provoca el crecimiento desordenado de la mancha urbana por los asentamientos irregulares, nuevos fraccionamientos y el crecimiento interno del área urbana de forma vertical, distorsionando así, la imagen urbana.

Morelia se convierte a pasos acelerados en una ciudad insustentable; sin capacidad vial para albergar a la población actual y futura; la deficiencia en la infraestructura y los servicios municipales, y la sobreexplotación de los recursos naturales y alteración al medio ambiente la disminución en la calidad de vida de la población por los altos índices de contaminación, aire, agua, suelo, imagen urbana; y sumado a ello la falta de áreas verdes y de esparcimiento

El crecimiento de la ciudad se ha dado principalmente al norte y poniente, sobre la salida a salamanca y carretera a Zinapécuaro, así como sobre al carretera a Quiroga, lo cual ha entorpecido el flujo vial de dichas zonas por la gran concentración de fraccionamientos de reciente creación.

3.2 EL DESARROLLO “CASAS BLANCAS” COMO UN PROYECTO INTEGRAL DE VIVIENDA.

El “**Desarrollo Casas Blancas**”, será una obra de alto impacto social y económico; que contribuirá al desarrollo regional de los municipios de Morelia y Charo. Se descentralizara y descongestionará la zona urbana actual de la ciudad de Morelia; ofreciendo a la población una vivienda terminada digna, dentro de un desarrollo planeado y ordenado con la integración de áreas verdes y provisto de todos los servicios de equipamiento urbano; próximo a la ciudad, pero a la vez, independiente.

Dentro del desarrollo, se optimizará y facilitará la operación y administración de los servicios urbanos e infraestructura, ya que su construcción se cubrirá totalmente desde su creación; lo que permitirá resolver eficientemente las necesidades futuras de la población. Se crearan y/o mejoraran vías de acceso al desarrollo, siendo un beneficio conjunto para los habitantes del municipio y las localidades cercanas por la importancia y utilidad de las vías de comunicación entre si.

El aumento considerable en la población con éste desarrollo habitacional, traerá como beneficio para el municipio de Charo, el incremento en los recursos asignados por los gobiernos federal y estatal, así como el incremento en la recaudación del impuesto predial, entre otros; los cuales podrán ser asignados a las zonas mas marginadas y dispersas del municipio.

3.3 UBICACIÓN DEL PREDIO

El predio donde se llevará a cabo el Desarrollo “Casas Blancas” se sitúa en el municipio de Charo, específicamente en la loma conocida como “El Chomuro”, comprendiendo una superficie de poco más de 205 hectáreas. Esta zona se destina básicamente para pastar diverso tipo de ganado, y se encuentra muy cerca de la comunidad de Francisco I. Madero, teniendo como principal vía de acceso la carretera que comunica a la población de Zurumbeneo con Charo, la cabecera municipal.

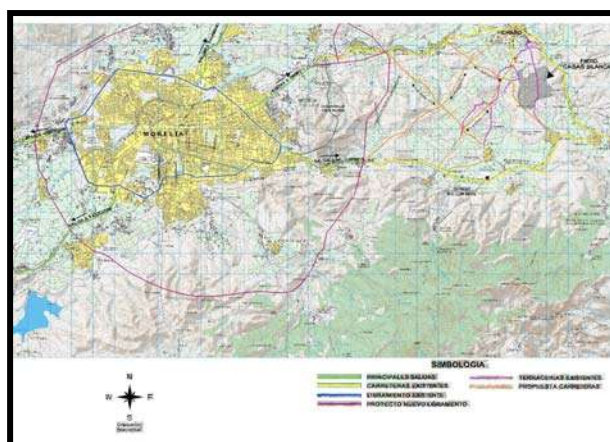


Fig. 3.1 Macrolocalización del predio y principales vialidades municipales existentes y en proyecto.

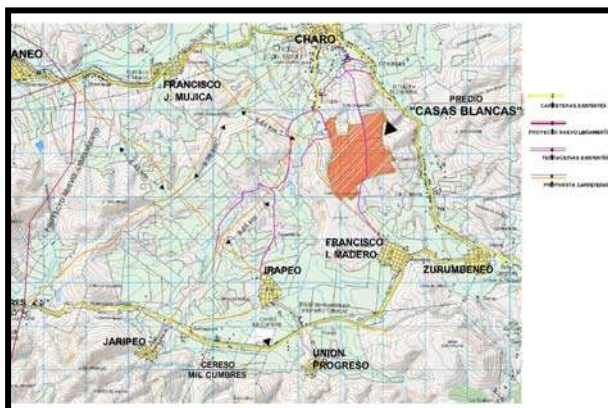


Fig. 3.2 Microlocalización del predio.

3.4 COMPARATIVA DE TAMAÑO.

Para tener una idea más clara del tamaño del predio, se hizo una comparativa con la zona del centro histórico de la ciudad de Morelia, ubicando la superficie del terreno sobre un mapa del primer cuadro, en donde se puede apreciar el número de manzana el número de manzanas que ocuparía el desarrollo. En cifras, se tiene que el área total del predio es de 205.52 has. equivalentes, aproximadamente, a 95 manzanas del centro.

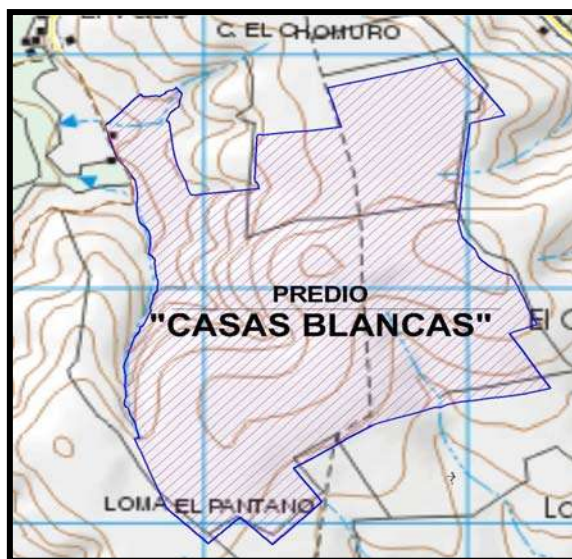
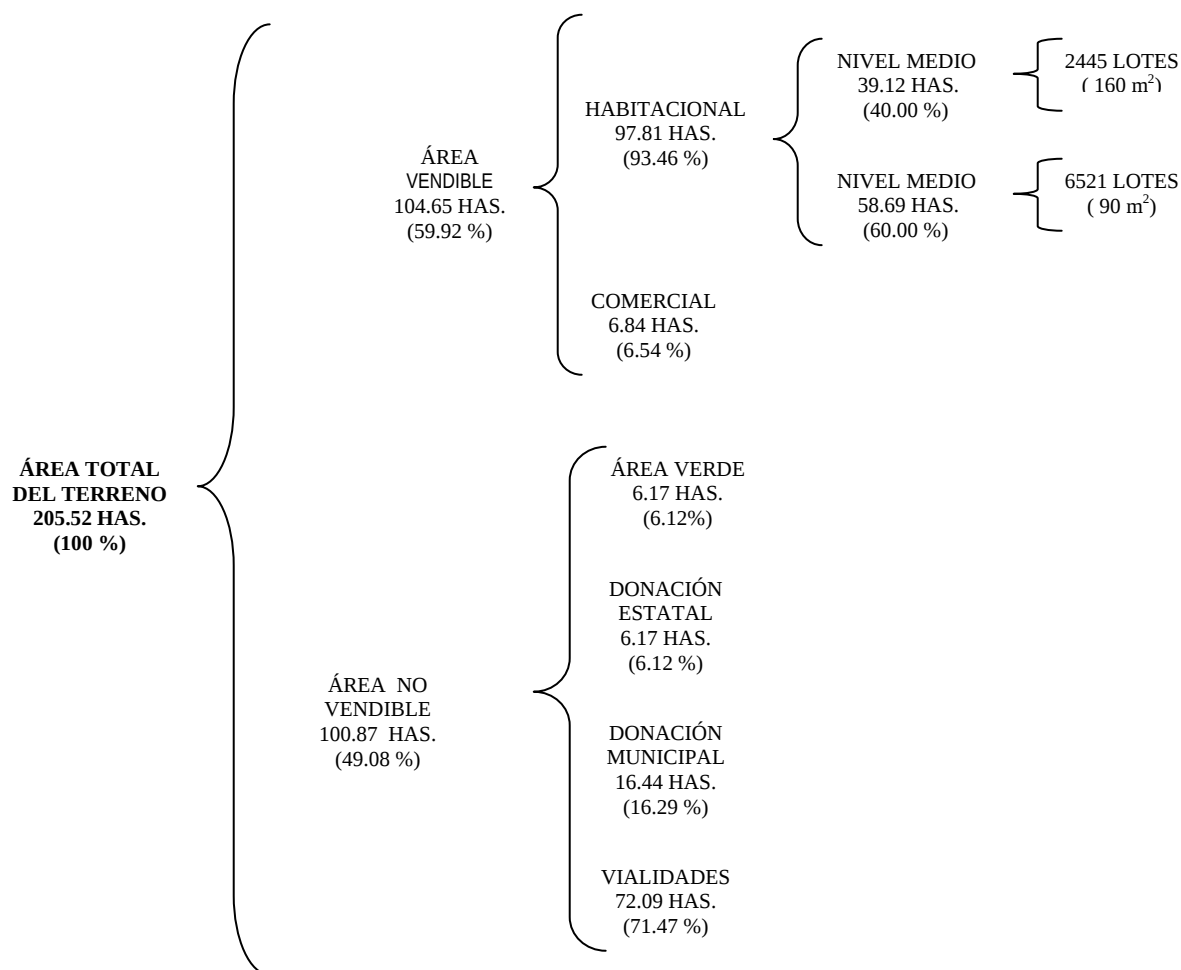


Fig. 3.3 Delimitación del predio.



Fig. 3.4 Correlación del área del predio con el centro de la ciudad de Morelia.

3.5 DESGLOCE DE ÁREAS Y PORCENTAJES DE USOS DEL SUELO



3.6 FOTOGRAFÍAS DEL PREDIO

En este subcapítulo se presenta una recopilación fotográfica que describe mejor el aspecto que presenta el terreno, en ellas se puede apreciar la vegetación, el panorama, y sobretodo su morfología que ayuda a entender la información topográfica con que se cuenta. Para ubicar la fotografía que se describe, en la figura 3.5 se observa una zonificación del predio con sus curvas de nivel, para asociar claramente la topografía con el aspecto visual que se tiene en el lugar.

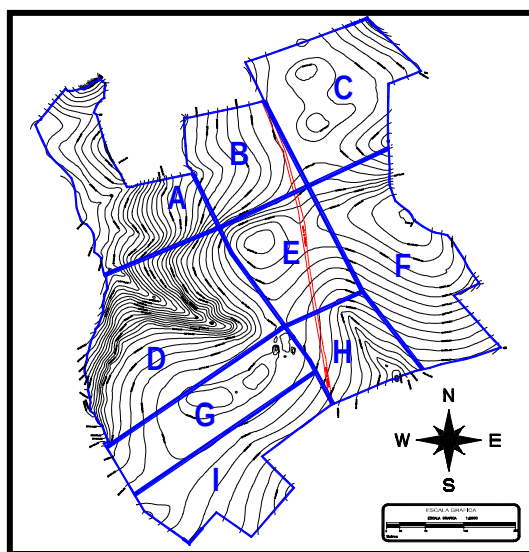


Fig. 3.5 Zonificación del predio.



Fig. 3.6 Fotografía de la zona "A" tomada desde la parte baja.



Fig. 3.7 Fotografía de la zona "B" con vista a la zona más plana.



Fig. 3.8 Fotografía de la zona "C" con vista a la zona más plana



Fig. 3.9 Fotografía de la zona "D" vista desde la parte alta.



Fig. 3.10 Fotografía de la zona "D" vista desde la parte baja.



Fig. 3.11 Fotografía de la zona "E" vista desde la parte alta.



Fig. 3.12 Fotografía de la zona "F" vista desde la parte alta.



Fig. 3.13 Fotografía de la zona "G".



Fig. 3.14 Fotografía de la zona "H".



Fig. 3.15 Fotografía de la zona "I" .

CAPÍTULO 4.

APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS CAD EN EL PROYECTO GEOMETRICO

4.1 CONSIDERACIONES DEL PROYECTO

4.1.1 Proyecto geométrico de una vialidad urbana.

La configuración física de todo camino esta dada por su proyecto geométrico, en el cual se especifican las dimensiones que darán lugar a sus alineamientos, tanto horizontal como vertical. Para el diseño de estas estructuras, existen en México normas que regulan las características geométricas que las conforman, tal es el caso de la SCT que edita “Las Normas de Servicios Técnicos para Proyecto Geométrico de Carreteras” y en las cuales todos los caminos que se construyen en el país se deben basar.

El proyecto geométrico de un a vialidad urbana difiere en cierta forma de las características de una carretera, dado que el servicio que proporciona a los usuarios es para traslados relativamente cortos, a bajas velocidades, con un elevado volumen de transito y sobre todo, que esta inmersa en un ambiente de ciudad, es decir, que pasa entre los edificios y lugares públicos, lo que obliga a que en el momento del diseño, se tomen ciertas consideraciones especiales, para proveer a los usuarios de una estructura que les permita conducirse de un lugar a otro con seguridad y que se pueda tener en todo momento el fácil acceso al lugar al que se dirigen.

Por lo anterior las normas de la SCT se deben tomar en cuenta de manera diferente, puesto que estas se enfocan a los caminos que comunican a poblaciones, ciudades y estados y no especifican las características con que debe cumplir una vialidad urbana, sin embargo, dado que la vialidad principal que tendrá el “Desarrollo Casas Blancas” es un periférico, es conveniente que se consideren las normas, pues como vialidad principal, la circulación deberá ser ágil y con un elevado volumen de tránsito, lo que obliga a que su diseño garantice geométricamente la seguridad de los automovilistas.

4.1.2 Tipo de camino.

Las normas de la SCT parten de una clasificación de caminos basada en el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), de ésta se de elegir el tipo de camino que se diseñara respetando las especificaciones la norma señala. Para el periférico en proyecto, se estima que dará servicio a mas de 3000 vehículos diarios, es decir un TDPA de 3000 por lo que le corresponde un camino Tipo A, sin embargo, tomando en cuenta las recomendación que hace

Jan Bazant en su “Manual de Diseño Urbano”, en las que dice que para una vialidad urbana de este tipo se debe manejar la velocidad de proyecto de 30 a 50 km/hr, la elección del camino Tipo A no quedaría, pues para este camino la norma señala velocidades de proyecto de 60 a 110 km/hr, por lo que se descarta que la vialidad cumpla como camino A.

Por la velocidad de proyecto que se recomienda y tomando en cuenta que la topografía del terreno es accidentada, donde se pueden presentar pendientes mayores del 6%, se elige un camino Tipo C, con velocidad de proyecto de 40 y 50 km/hr. Se consideran dos velocidades para tener mayor holgura en el diseño sobre todo de las curvas horizontales, para que éstas se ajusten a la configuración topográfica del terreno.

Tabla 4.1 Características Generales para Camino C según la SCT (TABLA 002-1 CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LAS CARRETERAS).

CONCEPTO			UNIDAD	TIPO DE CARRETERA				
				C				
T.D.P.A.			veh/día	500 A 1500				
TIPO DE TERRENO	MONTAÑOSO		-					
	LOMERÍO							
	PLANO							
VELOCIDAD DE PROYECTO			km/h	40	50	60	70	80
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA			m	40	55	75	95	115
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE			m	180	225	270	315	360
GRADO MÁXIMO DE CURVATURA			º	30	17	11	7.5	8.5
CURVAS VERTICALES	K	CRESTA	m / %	4	8	14	20	31
		COLUMPIO	m / %	7	10	15	20	25
	LONGITUD MÍNIMA		m	30	30	40	40	50
PENDIENTE GOBERNADORA			%	6		5		
PENDIENTE MÁXIMA			%	8		7	5	
LONGITUD CRÍTICA			m	VER FIGURA				
ANCHO DE CALZADA			m	6.00				
ANCHO DE CORONA			m	7.00				
ANCHO DE ACOTAMIENTOS			m	-				
ANCHO DE FAJA SEPARADORA CENTRAL			m	-				

BOMBEO	%	2
SOBREELEVACIÓN MÁXIMA	%	10
SOBREELEVACIÓN PARA GRADOS MENORES AL MÁXIMO	%	VER TABLA 004-6
AMPLIACIONES Y LONGITUDES MÍNIMAS DE TRANSICIÓN	m	

Tabla 4.2 Características de Curva para Camino C según la SCT.

AMPLIACIONES, DE TRANSICIÓN PARA CAMINO TIPO "C"		SOBREELEVACIONES			Y		LONGITUD
Gc	Rc	40 km/h			50km/h		
°	m	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le
0.25	4583.662	20	2	22	20	2	28
0.5	2291.831	20	2	22	20	2	28
0.75	1527.887	20	2	22	20	2	28
1	1146.918	20	2	22	30	2	28
1.25	918.732	30	2	22	30	2	28
1.5	763.944	30	2	22	30	2	28
1.75	654.809	30	2	22	30	2.2	28
2	572.958	30	2	22	40	2.5	28
2.25	509.296	30	2	22	40	2.8	28
2.5	458.366	40	2.1	22	40	3.1	28
2.75	416.697	40	2.3	22	40	3.4	28
3	381.972	40	2.5	22	50	3.7	28
3.25	352.689	40	2.7	22	50	3.9	28
3.5	327.404	40	2.9	22	50	4.2	28
3.75	306.577	50	3.1	22	50	4.4	28
4	288.479	50	3.3	22	50	4.7	28
4.25	269.827	50	3.4	22	60	4.9	28
4.5	254.648	50	3.6	22	60	5.1	28
4.75	241.245	50	3.8	22	60	5.4	28
5	229.183	50	3.9	22	60	5.6	28
5.5	208.348	60	4.2	22	60	6	28
6	190.986	60	4.5	22	70	6.3	28
6.5	176.295	60	4.8	22	70	6.7	28
7	163.702	70	5.1	22	70	7	28
7.5	152.789	70	5.3	22	80	7.3	29
8	143.239	70	5.6	22	80	7.6	30
8.5	134.814	80	5.8	22	80	7.9	32
9	127.324	80	6.1	22	90	8.2	33
9.3	120.623	80	6.3	22	90	8.4	34
10	114.592	90	6.5	22	100	8.6	35
11	104.174	90	6.9	22	100	9	36
12	95.493	100	7.3	23	110	9.3	37
13	88.147	100	7.6	24	110	9.6	38
14	81.851	110	7.9	25	120	9.8	39

15	78.394	110	8.2	26	120	9.9	40
16	17.62	120	8.5	27	130	10	40
17	67.407	120	8.7	28	140	10	40
18	63.662	130	8.9	28			
19	60.311	130	9.1	29			
20	57.296	140	9.2	29			
21	54.567	140	9.4	30			
22	52.087	150	9.5	30			
23	49.822	150	9.6	31			
24	47.746	160	9.7	31			
25	45.837	160	9.8	31			
26	44.074	170	9.9	32			
27	42.441	170	9.9	32			
28	40.926	180	10	32			
29	39.514	190	10	32			
30	38.197	190	10	32			

Ac	Ampliación de la corona (CENTÍMETROS)
Sc	Sobreelevación máxima (PORCENTAJE)
Le	Longitud de la transición (METROS)

NOTA:

Para GRADOS DE CURVATURA no previstos, los datos se obtendrán por interpolación lineal.

4.1.3 Sección transversal de construcción

El proyecto del “Desarrollo Casas Blancas” marca una sección del periférico de tipo boulevard, con un carril de circulación y un cordón de estacionamiento en cada sentido, así como un camellón central y banquetas en cada lado. La figura 4.1 muestra las dimensiones de la sección.

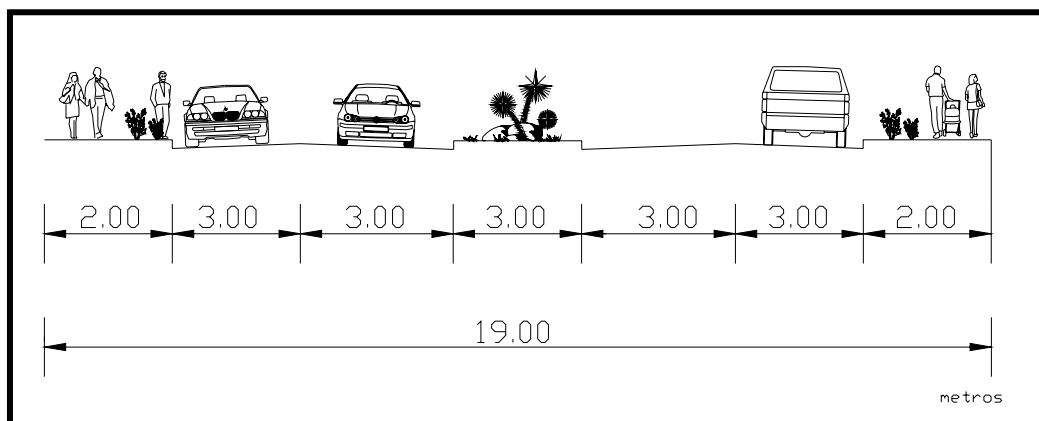


Fig. 4.1 Sección transversal de proyecto.

Con la finalidad de utilizar de manera más práctica los programas de Land Desktop y Civil Design, se contempló una sección transversal de un sólo cuerpo, es decir, que se excluyeron de la sección original, el camellón y las banquetas. El programa de Civil Design tiene el alcance de calcular los volúmenes de espesores de las capas que integran la estructura del pavimento, por lo que fue conveniente hacer un diseño empleando el programa DISPAV_5 que edita la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Este programa requiere algunos datos indispensables para el cálculo de los espesores de las capas, y para ello se tomó en cuenta información que se ha utilizado en proyectos similares desarrollados en la ciudad de Morelia, tal información es la siguiente:

- Composición del tráfico:
 - A = 92.5 %
 - B2 = 1.5 %
 - B3 = 1.0%
 - C2 = 2.5%
 - C3 = 2.0%
 - T3-S3 = 0.25%
 - T3-S3 = 0.25%
- Vida útil: 15 años
- Tasa de crecimiento anual: 3.0%
- Nivel de confianza: 85.0%

Para el caso del TDPA se hizo el siguiente cálculo:

El desarrollo constará de 9000 lotes para vivienda y se estima que cada una la habiten 4 personas, por lo que se tendrían 36000 habitantes.

El Plan de Desarrollo Urbano de Morelia contempla que existe un automóvil por cada 5 habitantes lo que resulta que se tendrán 7200 automóviles, si consideramos que cada vehículo realiza como mínimo 2 viajes al día en promedio, se tienen 14 400 automóviles transitando, esquematisando esos viajes en la figura 4.2, se observa que los automóviles que se dirijan a algún punto situado, por ejemplo, al lado izquierdo de la línea de control, al momento de acceder al periférico sólo circulara por el lado izquierdo del periférico sin la necesidad de cruzar los

puntos que donde interfecta la línea de control al periférico, es decir, que no circulara por el lado derecho del periférico por lo que resulta un TDPA para el carril de proyecto de 3600 vehículos.

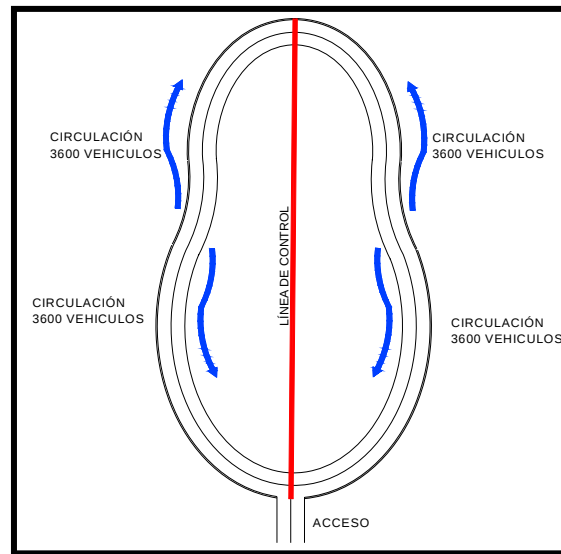


Fig. 4. 2 Esquema de la circulación en el periférico.

El programa también solicita los datos de los materiales que integrarán las capas del pavimento, específicamente el Valor Relativo De Soporte (VRS) y para ello se obtienen de las normas de la SCT del libro “CMT. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES” en su apartado de la N-CMT-1 a la N-CMT-4, en la siguiente tabla se resumen los resultados que arroja el programa:

Tabla 4.3 Resultados del programa.

Capa	H	VRSz	E	V	Vida previsible	
	cm	%	kg/cm ²		Def	Fatiga
Carpeta	11.0		30000	0.35		3.8
Base granular	15.0	100	3265	0.35	78.4	
Sub-base	20.0	60	2284	0.45	5.9	
Subrasante	40.0	20	1058	0.45	40.6	
Terracería	Semi-inf	5	401	0.45	4.5	

	Vida Previsible	Tránsito de Proyecto
Deformación	4.5	4.5

Fatiga	3.8	3.4
--------	-----	-----

La vida previsible es cercana o mayor que la vida de proyecto, el diseño parece adecuado. La tolerancia es +/- 10% del tránsito de proyecto crítico.

En la figura 4.3 se observa la sección de construcción con los espesores calculados que se empleara en el proyecto geométrico.

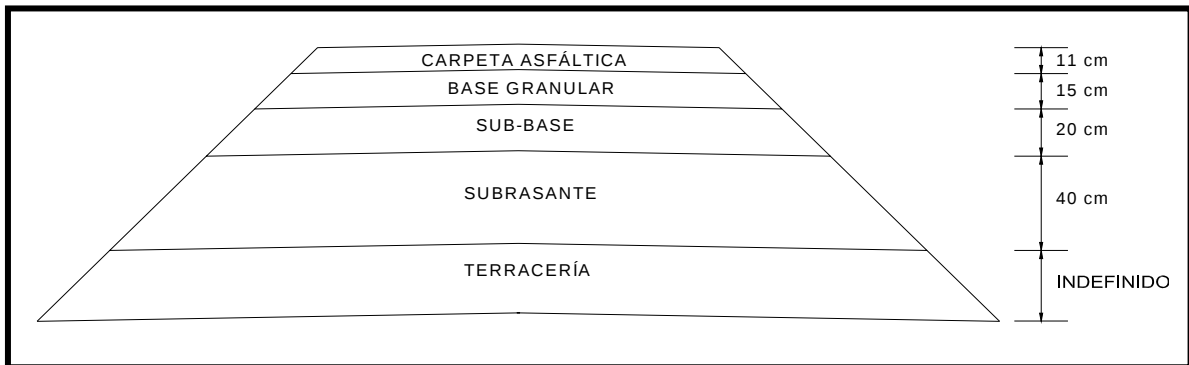


Fig. 4. 3 Sección transversal a un solo cuerpo.

4.2 APLICACIÓN DE LOS PROGRAMAS EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO

La aplicación de las herramientas CAD en un proyecto de ingeniería puede darse de diferentes formas según sea las necesidades del proyectista. Para el caso del proyecto “Desarrollo Casas Blancas”, en el cual se quiere el proyecto geométrico de las vialidades principales, sólo se utilizarán los programas Land Desktop y Civil Design, ambos ejecutados en una interfase de Autocad.

En pocas palabras se puede decir que Land Desktop y Civil Design, se complementan para la realización completa del proyecto, con el primero se puede desarrollar todo lo que comprende el alineamiento horizontal y con el segundo todo el alineamiento vertical, las secciones verticales y los volúmenes de obra; así mismo, el hecho de que estos programas se ejecuten en un entorno de Autocad, al momento de crear el dibujo, se puede hacer uso de todas las herramientas que este provee para dibujar con mayor facilidad y presentación.

Para desarrollar un proyecto de ingeniería con la ayuda de los programas Land Desktop y Civil Design, es necesario conocer a primera instancia la información topográfica del terreno, la cual puede ser con las curvas de nivel, puntos topográficos digitalizados o cartas geográficas de la INEGI.

A continuación se presenta la forma en que se aplican los programas al proyecto geométrico, se describe de manera general el proceso que se sigue para desarrollar cada fase del proyecto, desde la creación de la superficie del terreno, hasta la obtención de los volúmenes de obra. El procedimiento que se explica es el correspondiente a la realización del proyecto geométrico definitivo, que resulto después de varios análisis de distintas propuestas de trazo, de ellas se explica en el subcapítulo 4.3.

En el proyecto “Desarrollo Casas Blancas”, se contó con los datos tomados con equipo topográfico digital (estación total). Estos datos definen un punto sobre el terreno asignándole las coordenadas X-Y-Z, es decir, una ubicación geográfica, correspondiéndole a la Y el norte, a la X el este y a la Z la altura o nivel. En la figura 4.4 se muestran los puntos almacenados en una base de datos como archivo de texto en un bloc de notas.

PUNTOS_TOP_CHOMURO - Bloc de notas			
Archivo	Edición	Formato	Ver Ayuda
0	0	2055.000	
-287.345	-304.668	2062.948	
149.632	145.611	2059.798	
-192.99	779.107	2073.063	
-356.162	-109.441	2067.921	
580.603	350.457	2042.878	
785.223	434.887	2052.647	
667.664	573.646	2073.585	
522.974	518.660	2060.412	
377.673	871.589	2092.290	
501.881	951.771	2104.066	
-460.109	-47.813	2065.527	
-706.559	101.044	2047.768	

Fig. 4.4 Puntos topográficos almacenados en una base de datos como archivo de texto.

Se abre el programa de Land Desktop y se crea un nuevo dibujo donde se realizarán todas las acciones que integrarán el proyecto, en la figura 4.5 se aprecia la ventana que aparece al abrir el programa.

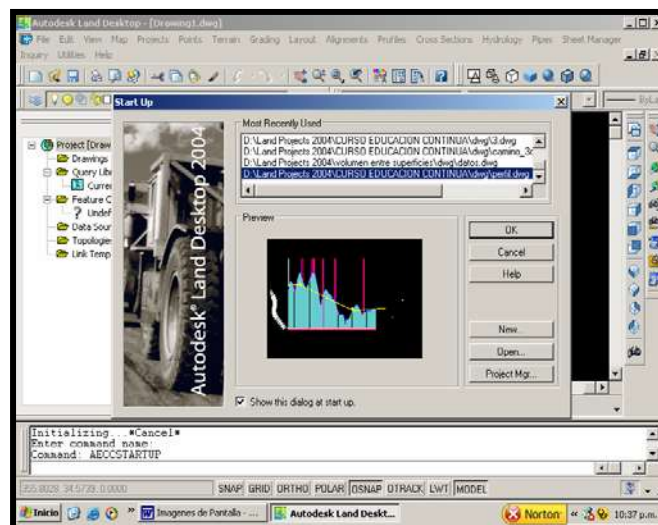


Fig. 4.5 Ventana de inicio para un nuevo proyecto.

A medida que vamos accedendo en la creación del nuevo proyecto, el programa solicita la definición de las características que habrá de tener el dibujo, en la figura 4.6 se muestra la ventana donde se definen parámetros como la escala, las unidades, la orientación, el estilo del texto, etc.

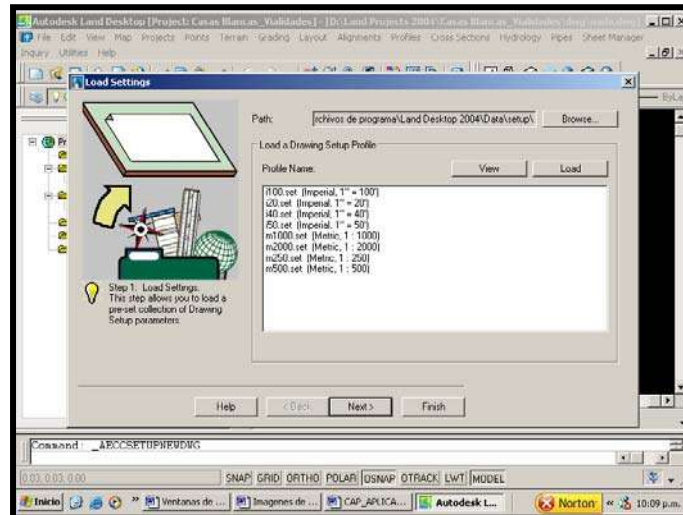


Fig. 4.6 Ventana de definición del dibujo.

Ya que se tiene definido el dibujo, se importan los puntos, para que tengamos ya en la pantalla la su representación gráfica (fig. 4.7) y su correspondiente edición para que el programa las reconozca como una entidad del dibujo y así poder manipularlos para la creación de la superficie.

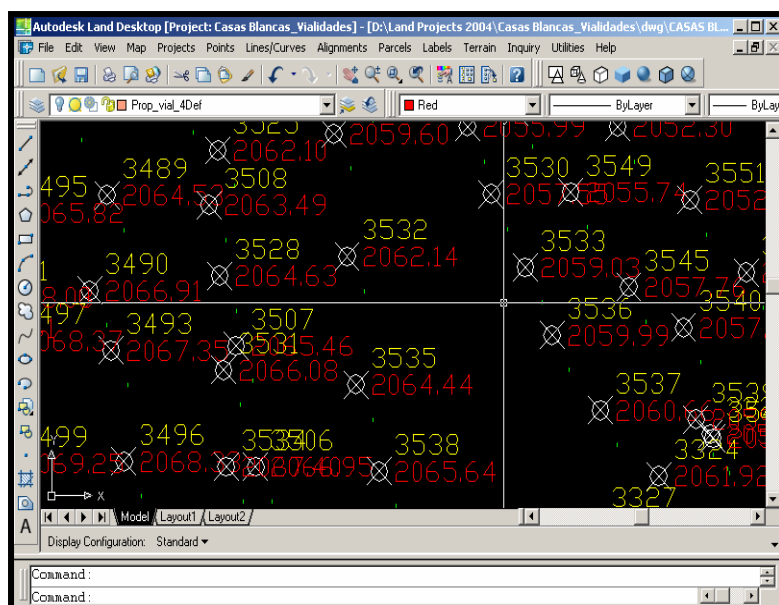


Fig. 4.7 Representación gráfica de los puntos topográficos con su número y elevación.

Con los puntos en la pantalla se puede visualizar la forma que tendrá la superficie, como se muestra en la figura 4.8.

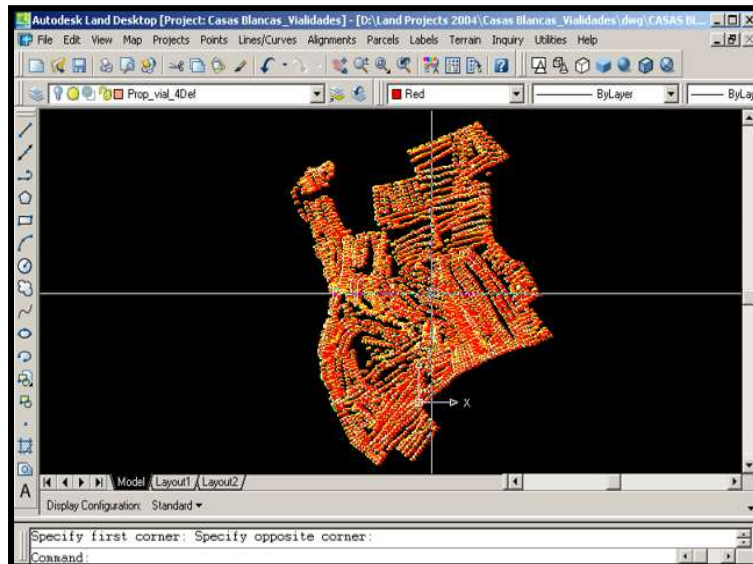


Fig. 4.8 Visualización de todos los puntos que integran la superficie del terreno.

El programa permite realizar triangulaciones de punto a punto para generar un mayado (fig. 4.9) con el cual se pueda interpolar las elevaciones y se obtengan las curvas de nivel.

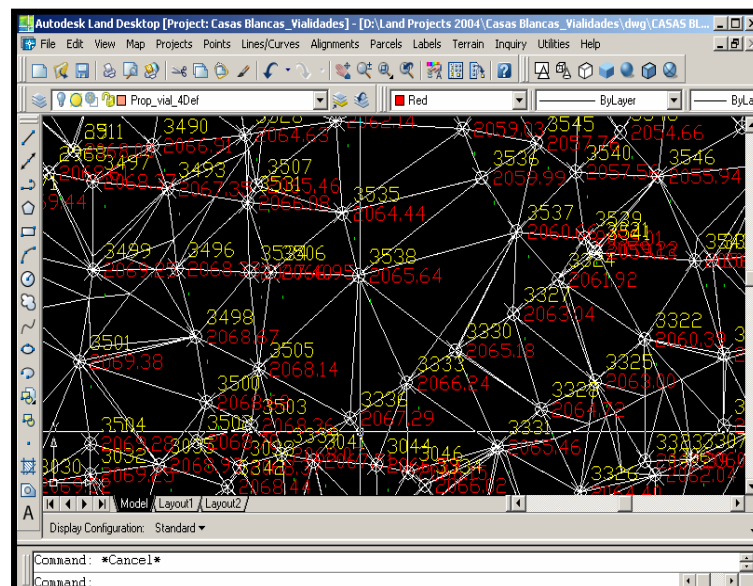


Fig. 4.9 Triangulación entre puntos.

Con la malla sobre todo el terreno (fig. 4.10), se está en condiciones de tener una vista tridimensional de la superficie (fig. 4.11), ya que al momento de unir cada punto con las líneas de

triangulación, estas incluyen la elevación correspondiente de los puntos. Cabe señalar que al momento de importarlos al dibujo, la ubicación que guardan en los sentidos X-Y, es la que les corresponde físicamente con respecto al norte y al sur, por eso desde estos pasos tenemos las dimensiones del terreno y podemos tomar cualquier distancia horizontal dentro de sus límites. Así mismo, toda la zona de dibujo que comprende la superficie, queda sensible a las peticiones que se le harán posteriormente, es decir que al momento de crearse la malla, cualquier punto que se señale dentro de esa zona, guardará una representación topográfica con sus dimensiones en los sentidos X-Y-Z.

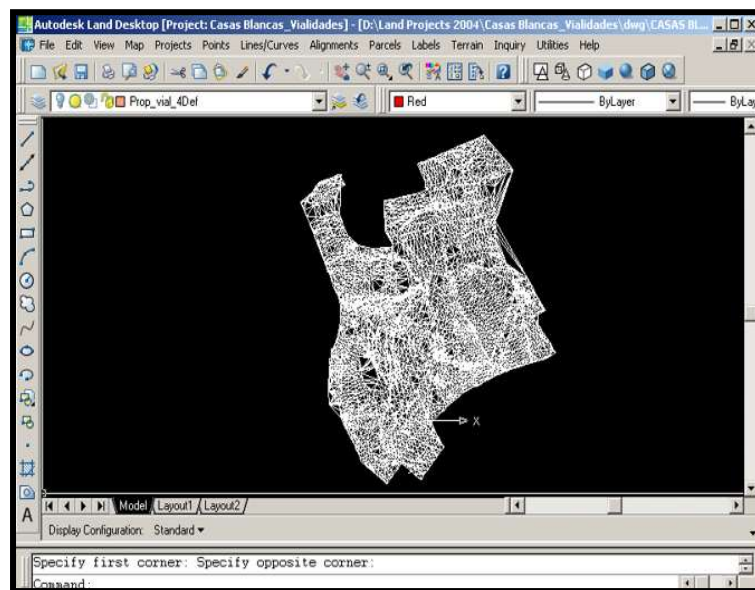


Fig. 4.10 Mayado de triangulación sobre todo el terreno.

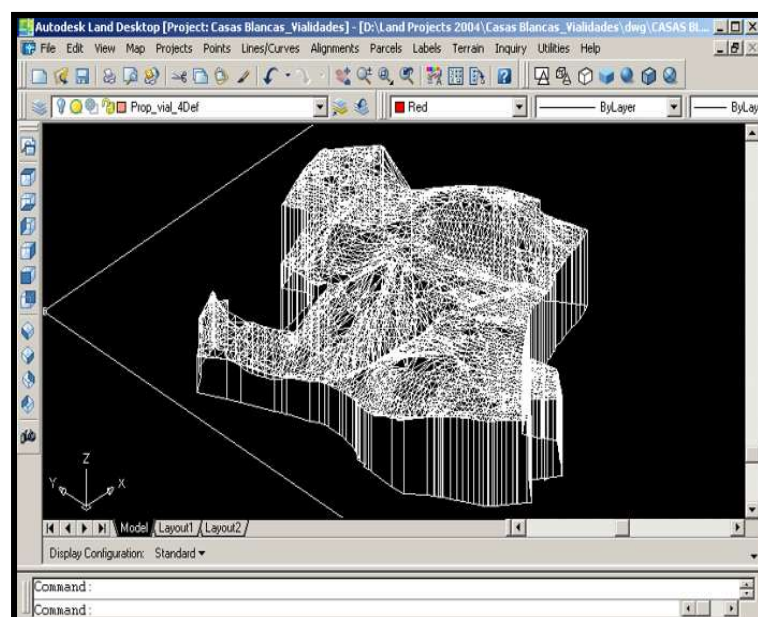


Fig. 4.11 Vista tridimensional de la superficie del terreno con el mayado.

El mayado también permite que se le de otra presentación más clara a la superficie tridimensional, es decir, que si se le aplica el comando “shade” (propio de Autocad), la figura toma una apariencia sólida, lo que le da más claridad a la superficie del terreno, en la figura 4.12 se aprecia como queda la imagen después de ejecutar el comando.

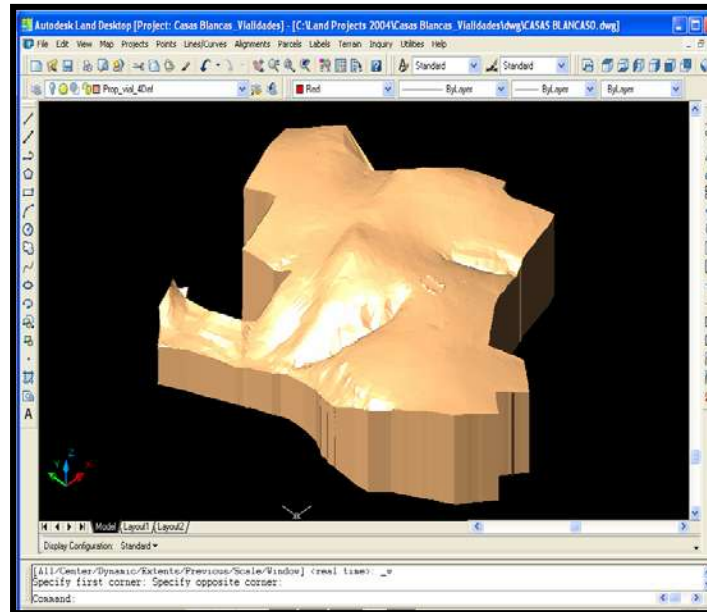


Fig. 4.12 Representación de la superficie con apariencia de sólido.

Ya que se hizo la triangulación entre puntos, se pueden editar las curvas de nivel. En la figura 4.13 se presenta una de las ventanas donde se introducen las características que habrán de tener las curvas y en la figura 4.14 la apariencia de la superficie con todas las curvas, que para este caso se crearon las curvas menores (color azul) a cada dos metros de desnivel y las curva mayores (color magenta) a cada diez metros.

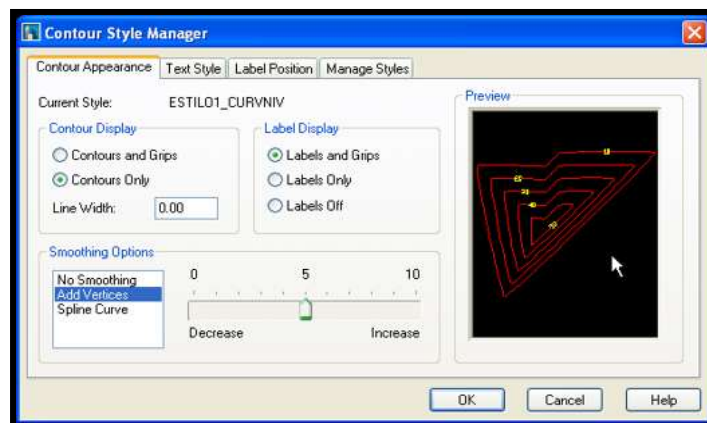


Fig. 4.13 Ventana de definición de la curvas de nivel.

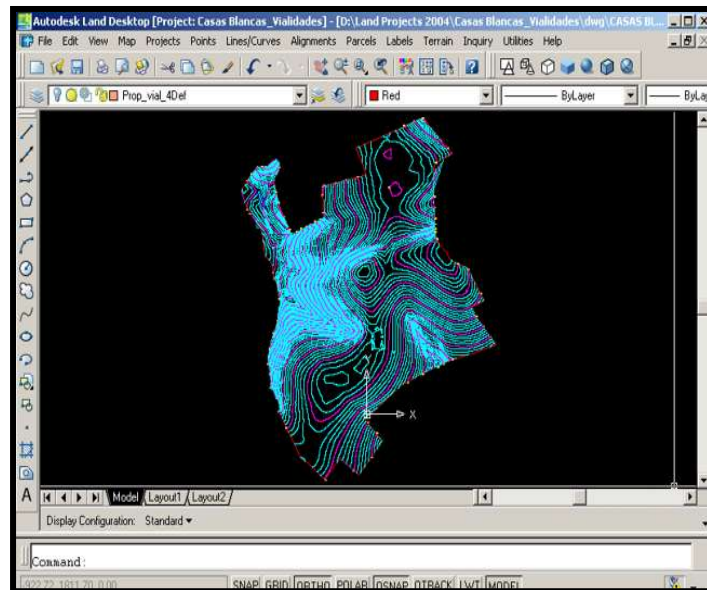


Fig. 4.14 Superficie con curvas de nivel.

Hasta esta parte del proyecto se tiene definida por completo la superficie del terreno y se esta en condiciones de proponer trazos preliminares de las vialidades. Estas propuestas se realizan con polilíneas y sólo trazando tangentes, en la figura 4.15 se presenta una propuesta (polilínea verde).

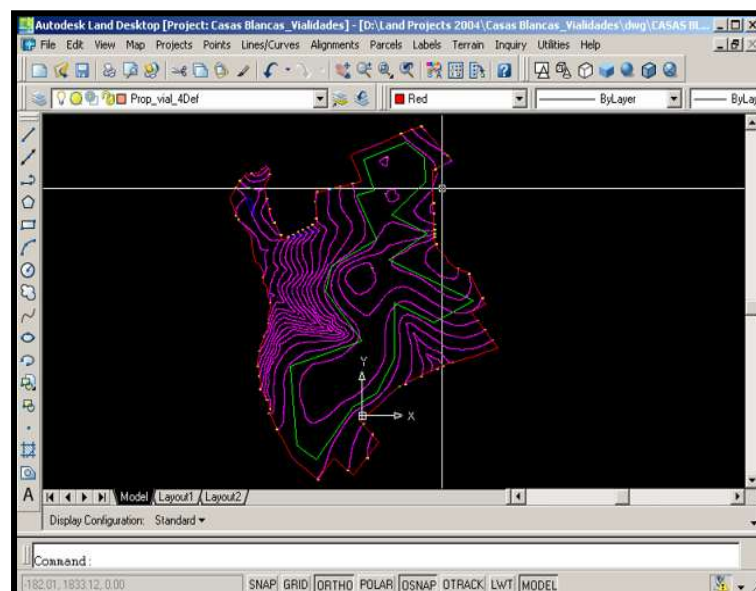


Fig. 4.15 Propuesta de trazo.

La propiedad que tiene este trazo con polilínea, es que permite tener una vista rápida del perfil longitudinal que se genera tomando en cuenta los puntos por donde se paso, y en el cual podemos revisar la pendiente dominante con el sólo hecho de elegir un punto sobre el perfil y

arrastra el ratón hacia otro punto de interés, generándose una recta como se puede ver en la figura 4.16.

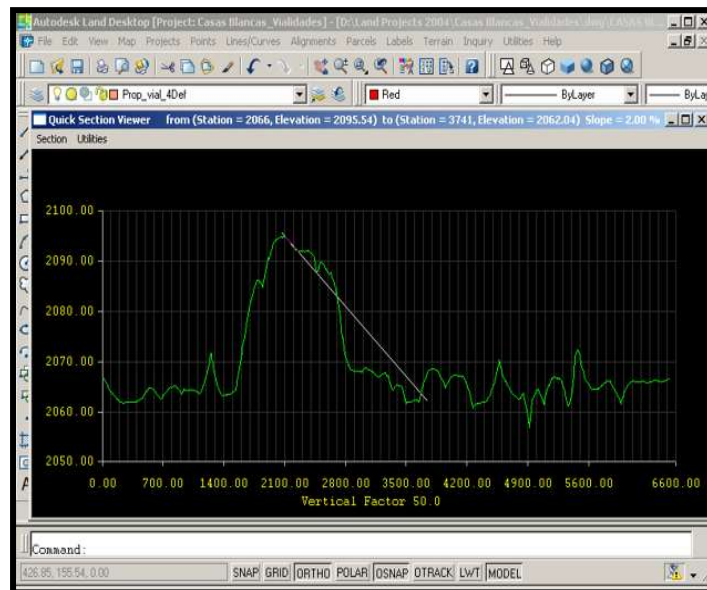


Fig. 4.16 Perfil longitudinal generado con el trazo preliminar.

Si el trazo es convincente, sobre todo en cuanto a pendientes, se procede a editarlo para que el programa de Land Desktop lo reconozca como alineamiento y sobre éste se puedan crear las curvas horizontales, con los requerimientos que exigen las normas de la SCT, de acuerdo al tipo de camino que se trata. El programa permite editar valores de las tablas para curvas, como las enunciadas en las Normas de Servicios Técnicos para Proyecto Geométrico de la SCT, las cuales son almacenadas también como base de datos y para su inclusión el alineamiento, sólo basta con elegir la curva que mejor se adapte a las condiciones topográficas del terreno y, desde luego, respetar el tipo de camino y velocidad de proyecto. Para este caso en que se trata de un camino tipo C, con velocidad de proyecto de 30 a 50 km/hr y con curvas de grado de curvatura tales, que se generan sobreelevaciones mayores al 7%, se eligen curvas circulares con espirales de transición. En la figura 4.17 aparece la ventana con los valores editados correspondientes al tipo de camino, cabe señalar que algunos valores son diferentes a los utilizados por las normas mexicanas, puesto que el programa funciona con las normas de su país de origen, pero que son susceptibles de modificar para obtener valores equivalentes a los que se utilizan en México.

horizontal Speed Table

Current File: c:\... \Camino_Tipo C_SCT.sup Select...

Design Speed: 50

Degree of Curve	Radius	Rate of Superelevation	2 Lane Spiral Spi Len	4 Lane Spiral Spi Len
50°00'002"	114.59	0.09	35.00	0.00
55°00'008"	104.17	0.09	36.00	0.00
60°00'007"	95.49	0.09	37.00	0.00
64°59'053"	88.15	0.10	38.00	0.00
70°00'003"	81.85	0.10	39.00	0.00
73°05'026"	78.39	0.10	40.00	0.00
79°59'059"	71.62	0.10	40.00	0.00
84°59'045"	67.41	0.10	40.00	0.00
149°59'020"	38.20	0.10	32.00	0.00

Add Delete Edit Save Save As

OK Cancel Help

Fig. 4.17 Ventana con los datos de las curvas para un camino tipo C y velocidad de proyecto de 50 km/hr.

Otra forma de crear las curvas, es eligiéndolas desde las opciones predefinidas que tiene el programa, según las condiciones del trazo, en la figura 4.18 se aprecian algunas de estas opciones.

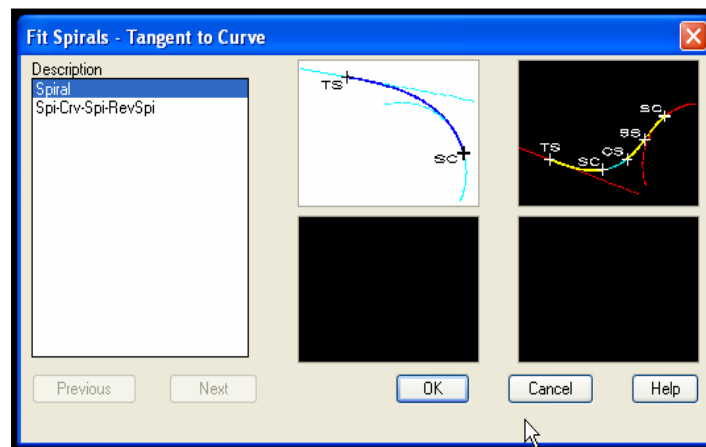


Fig. 4.18 Ventana con las opciones de curvas horizontales predefinidas.

En las figuras 4.19 y 4.20 se aprecian las partes que integran la curva y el alineamiento completo con todas sus curvas, respectivamente.

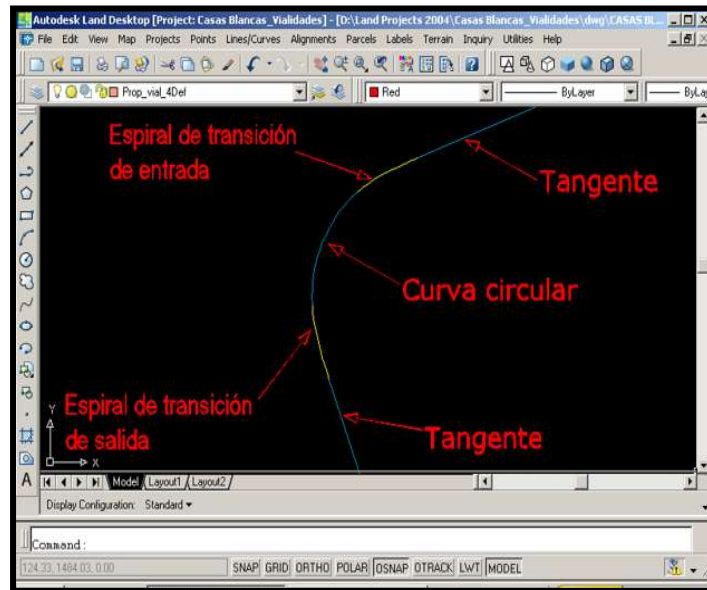


Fig. 4.19 Partes de la curva horizontal.

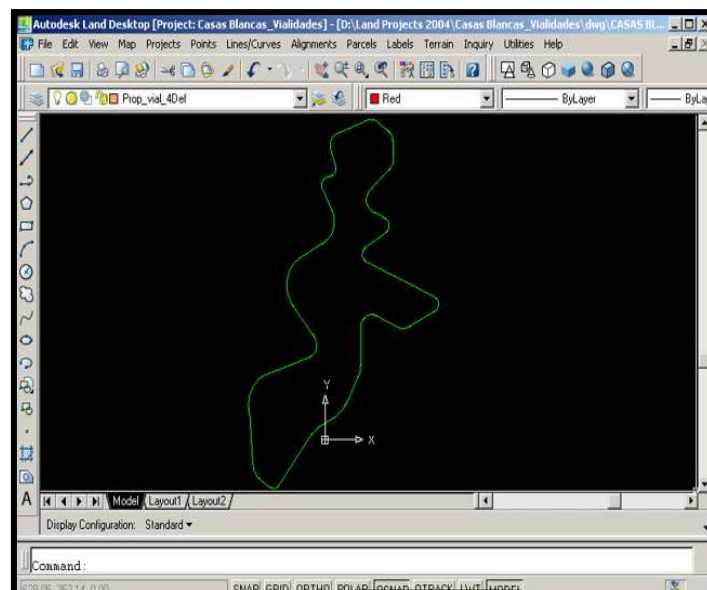


Fig. 4.20 Alineamiento completo con curvas horizontales.

Una vez que se tiene el alineamiento con sus respectivas curvas horizontales, se procede a crear alineamientos paralelos a éste correspondientes a los hombros de la corona y al derecho de vía, para ello el programa permite editar las distancias a las que se generarán estos alineamientos de acuerdo al tipo de camino, en la figura 4.21 se presenta la venta donde se introducen estos valores y en la figura 4.22 se observan las partes de dichos alineamientos.

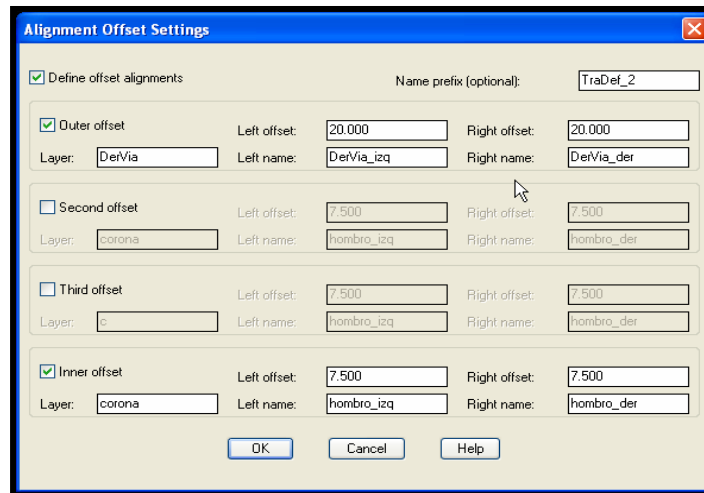


Fig. 4.21 Ventana para la edición de las distancias paralelas de los hombros de la corona y del derecho de vía al alineamiento central.

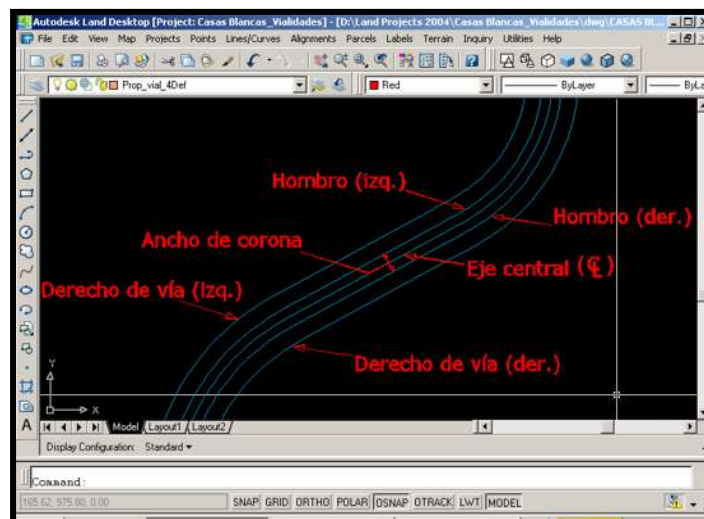


Fig. 4.22 Líneas paralelas al trazo correspondientes a la corona y al derecho de vía.

Para finalizar la proyección del alineamiento horizontal, se crean el cadenamiento completo del alineamiento, como se puede ver en la figura 4.23.

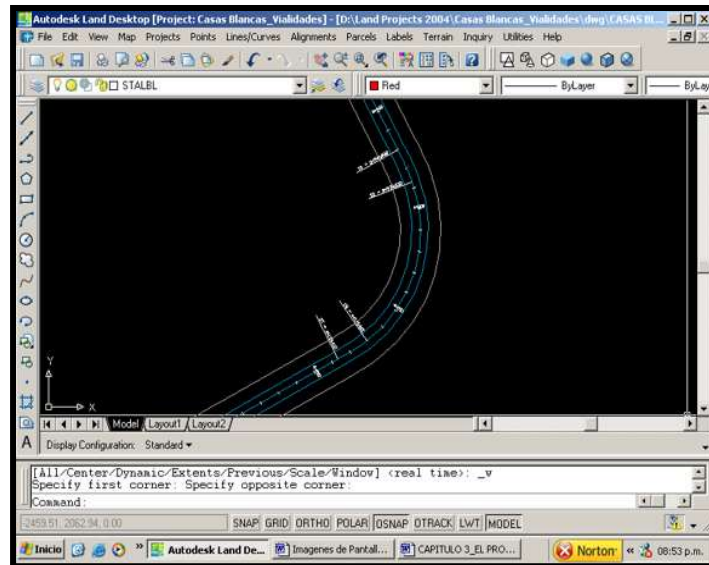


Fig. 4.23 Cadenamiento.

Para iniciar la proyección del alineamiento vertical, se carga el programa Civil Design en la ventana que aparece en la figura 4.24, y posteriormente se procede a definir los parámetros que darán lugar a la creación del perfil del terreno natural, que de igual forma se hace a través de ventanas de dialogo como la de la figura 4.25.

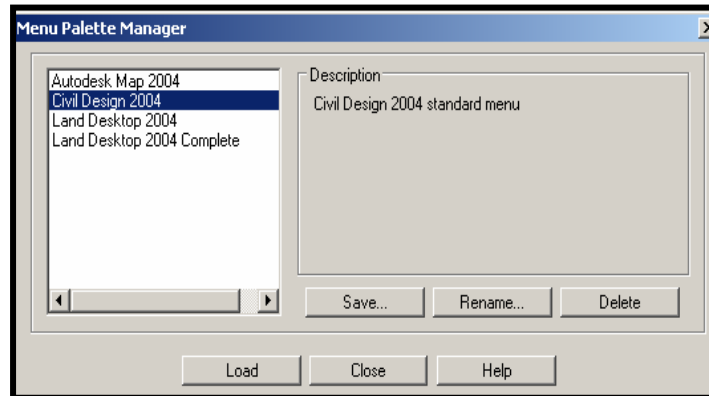


Fig. 4.24 Ventana para cargar el paquete Civil Design.

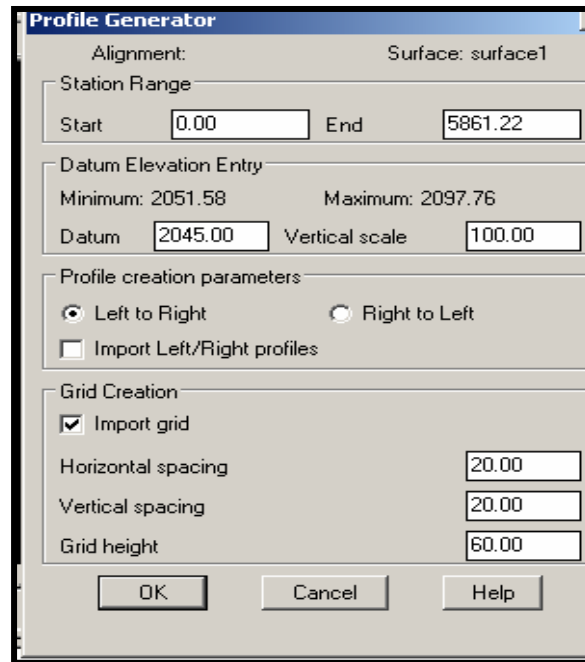


Fig. 4.25 Ventana para definir los parámetros del perfil.

Ya que se definieron los parámetros del perfil, el programa lo dibuja con la apariencia que se muestra en la figura 4.26 y se está listo para trazar las tangentes verticales que darán lugar al alineamiento.

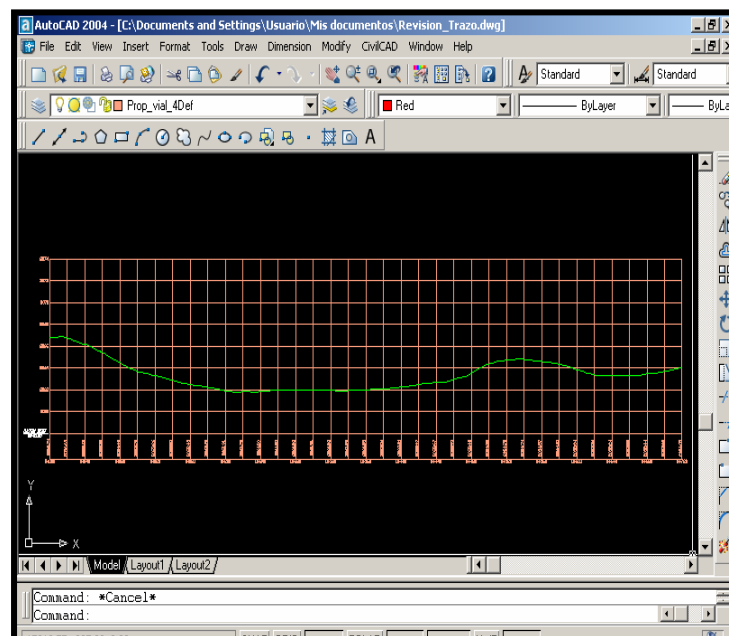


Fig. 4.26 perfil del terreno natural.

En el momento en que se trazan las tangentes el programa muestra en la barra de comandos la distancia que tiene la tangente recién dibujada y lo más importante su pendiente,

con lo que se puede rectificar la línea antes de establecer los puntos que la definen, en la figura 4.27 se muestra el trazo de dos tangentes verticales (color rojo), y el espesor que se genera tanto de terraplén como de corte. En la escala vertical, las líneas de la retícula están a cada dos metros, y en la horizontal a cada veinte metros.

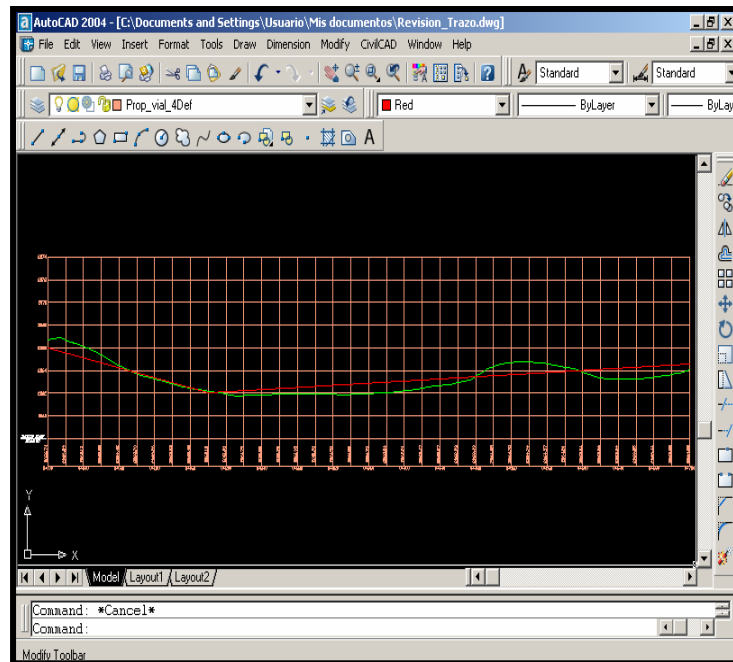


Fig. 4.27 Tangentes verticales.

Para crear las curvas verticales, Civil Design tiene curvas predefinidas tomando en cuenta diferentes parámetros, como la longitud de curva, el valor K, por distancia de velocidad de rebase, por distancia de velocidad de parada, entre otros, en la figura 4.28 se aprecian las diferentes opciones de curvas que se pueden elegir. Para este caso se elige la curva que toma en cuenta el valor de K que es la variación de longitud por unidad de pendiente, ya que así lo especifica la norma por el tipo de camino. Para las curvas en cresta el valor de K será de 8 y para la que estén en columpio será de 10.

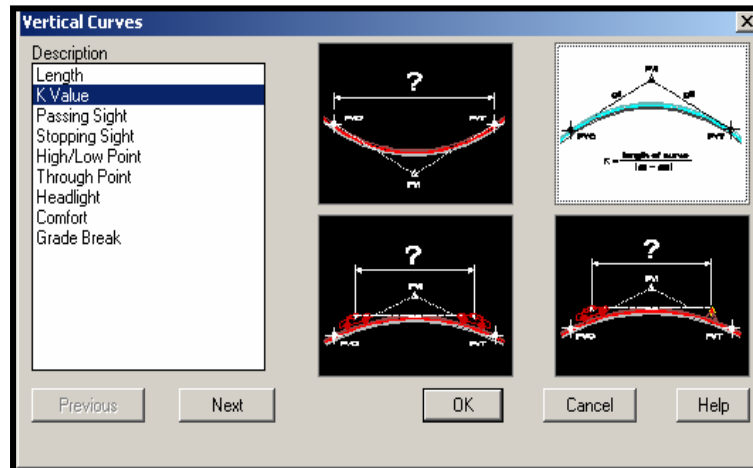


Fig. 4.28 Ventana con las opciones de curvas verticales predefinidas.

Una vez que se eligen las curvas, el programa las dibuja incluyendo los datos de cada curva, como se puede observar en la figura 4.29 donde se muestra a detalle una de las curvas y en la figura 4.30 todas las curvas verticales sobre el alineamiento.

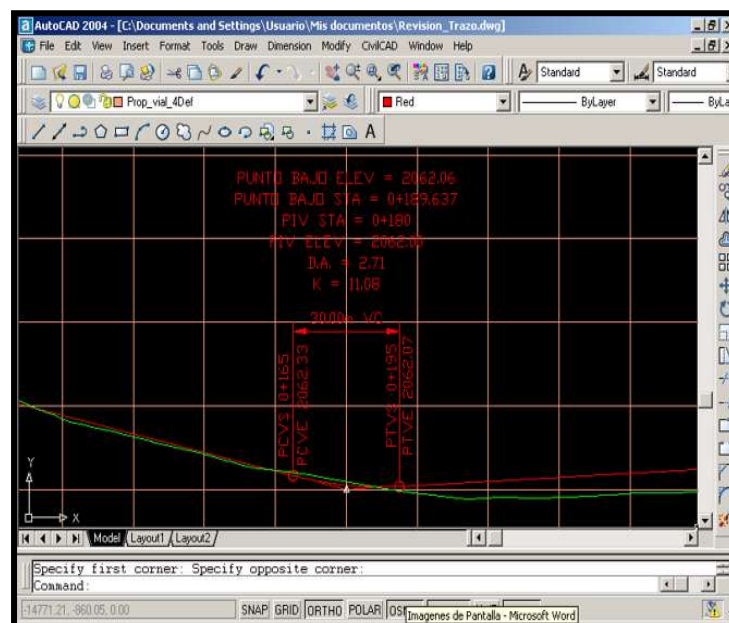


Fig. 4.29 Ventana con las opciones de curvas verticales predefinidas.

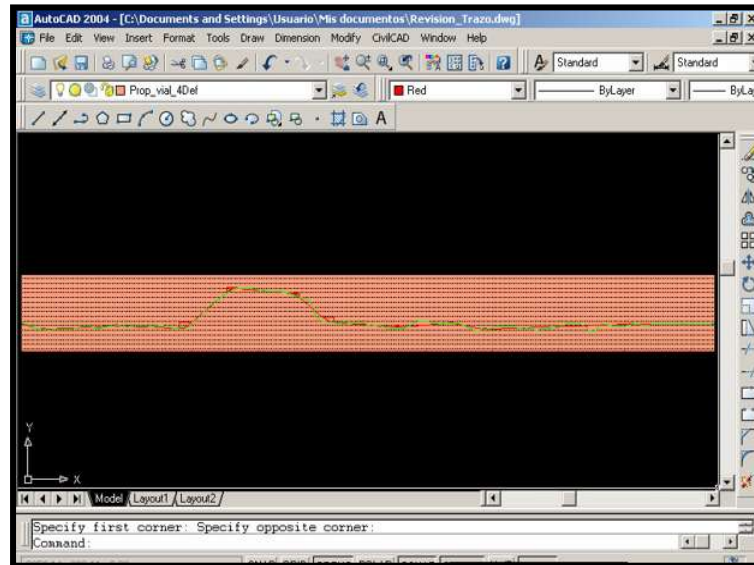


Fig. 4.30 Ventana con las opciones de curvas verticales predefinidas.

Ya con el alineamiento vertical definido, se procede a tomar información en el sentido transversal del alineamiento a través de secciones transversales, sobre estas, el programa obtiene información de las elevaciones del terreno natural con las que configura la superficie, en la ventana que aparece en la figura 4.31 se le dan los datos al programa, para este caso se le ordeno que explorará a treinta y cinco metros a cada lado del alineamiento y la separación entre cada sección fuera de veinte metros en tangente y diez en las curvas. En la figura 4.32 se observan las líneas de las secciones transversales sobre el alineamiento y en la figura 4.33, la sección transversal dibujada.

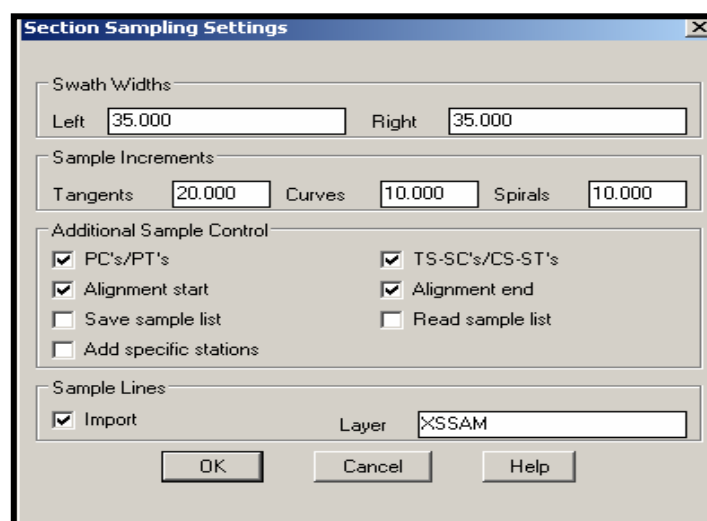


Fig. 4.31 Ventana para definir las secciones transversales del terreno natural.

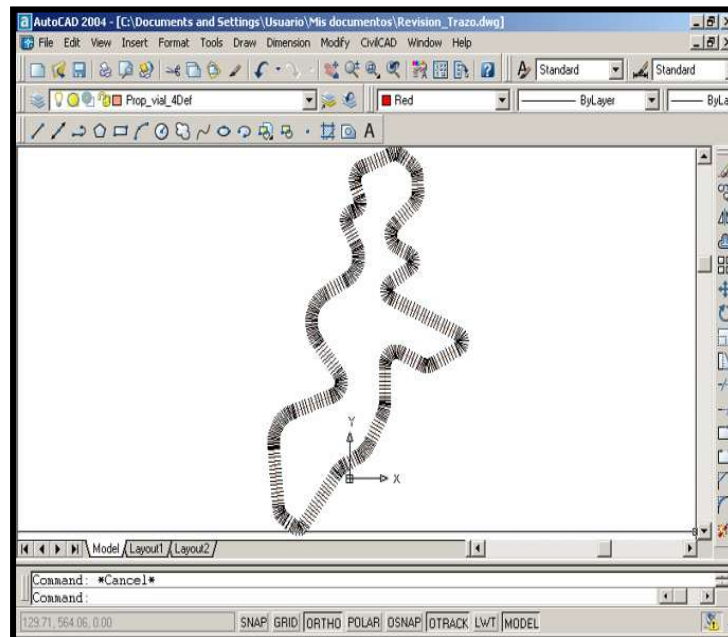


Fig. 4.32 Secciones transversales en el alineamiento.

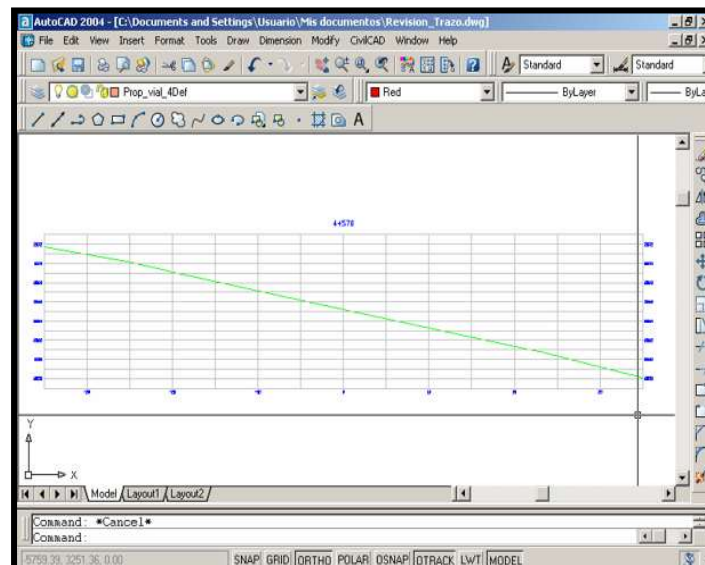


Fig. 4.33 Sección transversal del terreno natural.

Ahora se edita una sección de construcción tipo, para ello tomamos los espesores de la estructura de pavimento que resultaron del diseño con el programa “Dispav”, en la edición se le asignan propiedades a la corona como la ampliación y sobreelevación en las curvas, en la figura 4.34 aparece la sección que se empleará para el proyecto.

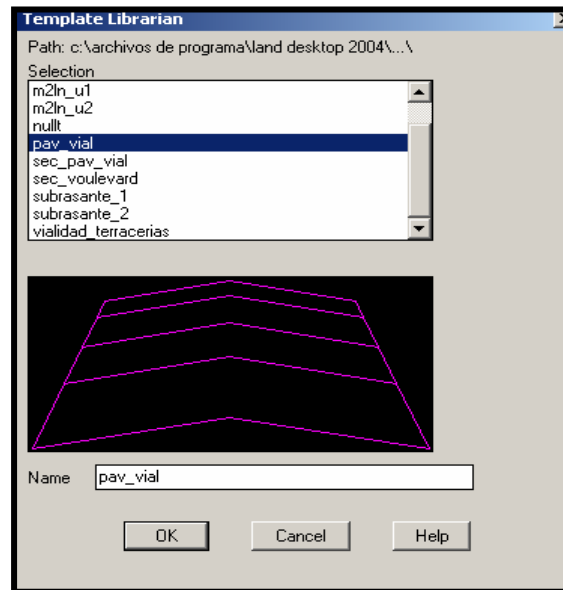


Fig. 4.34 Sección transversal tipo.

Ahora se procede a asociar la sección de construcción con la sección transversal del terreno natural, para ello el programa toma las elevaciones del terreno natural y la rasante hasta el nivel de la carpeta en cada sección conforme a la configuración del perfil en el alineamiento vertical. En la figura 4.35 se observa la sección transversal alojada en balcón y en la figura 4.36 cada sección dibujada.

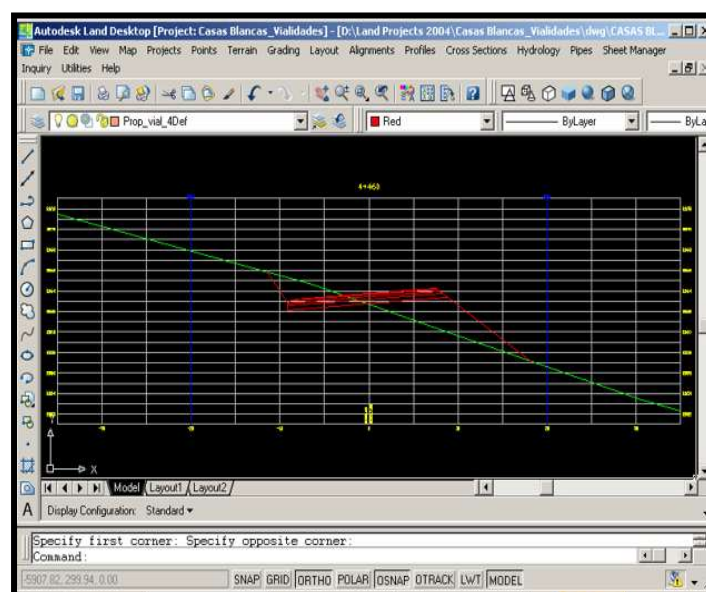


Fig. 4.35 Sección transversal en balcón.

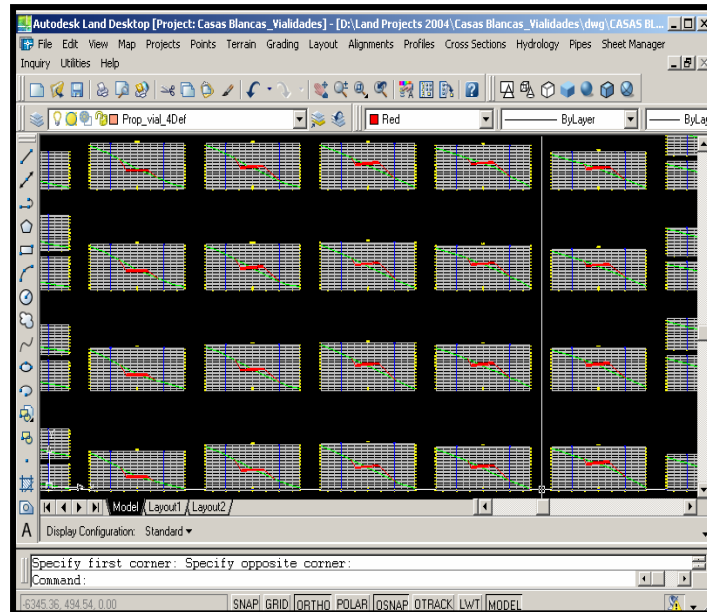
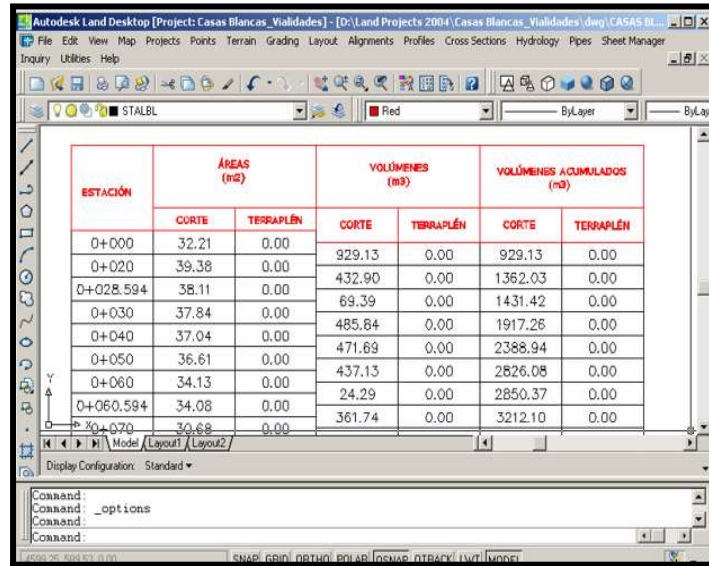


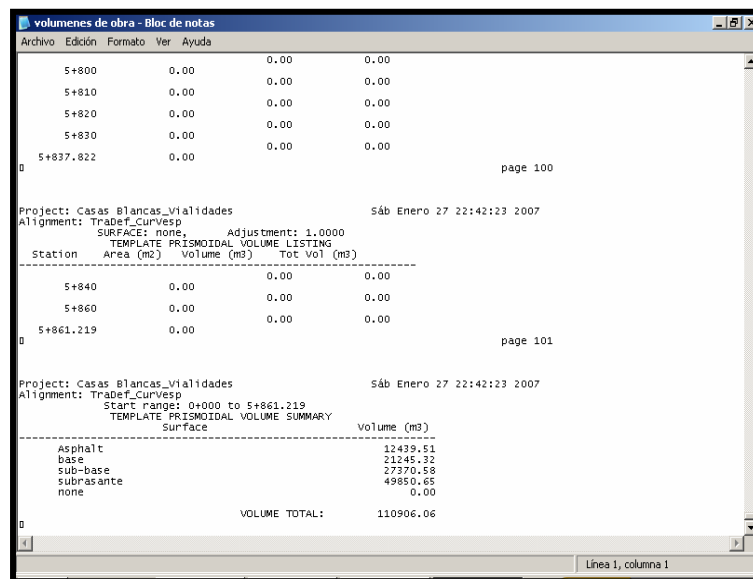
Fig. 4.36 Secciones transversales de todo el alineamiento.

Con el proyecto desarrollado hasta la creación de las secciones transversales, se puede ejecutar los cálculos de los volúmenes correspondientes a las terracerías y a las diferentes capas que integran la sección de construcción. Civil Design tiene dos modalidades para presentar los cálculos y resultados de los volúmenes, el primero es creando una tabla en la pantalla donde se incluyen de manera global los volúmenes de corte y terraplén, en la figura 4.37 se aprecia dicha tabla. La segunda forma de presentar los resultados es a través de un archivo de texto, a manera de tabla como se observa en la figura 4.38, y con la ventaja de realizar los cálculos para los volúmenes de material que integran las diferentes capas de la sección de construcción, incluso cuando se conoce la estratigrafía del suelo, se pueden obtener los volúmenes de corte desglosados en partes indicando el volumen a mover de cada estrato.



ESTACIÓN	ÁREAS (m ²)		VOLUMENES (m ³)		VOLUMENES ACUMULADOS (m ³)	
	CORTE	TERRAPLÉN	CORTE	TERRAPLÉN	CORTE	TERRAPLÉN
0+000	32.21	0.00	929.13	0.00	929.13	0.00
0+020	39.38	0.00	432.90	0.00	1362.03	0.00
0+028.594	38.11	0.00	69.39	0.00	1431.42	0.00
0+030	37.84	0.00	485.84	0.00	1917.26	0.00
0+040	37.04	0.00	471.69	0.00	2388.94	0.00
0+050	36.61	0.00	437.13	0.00	2826.08	0.00
0+060	34.13	0.00	24.29	0.00	2850.37	0.00
0+060.584	34.08	0.00	361.74	0.00	3212.10	0.00
0+070	30.68	0.00				

Fig. 4. 37 Tabla de volúmenes de corte y terraplén.



Project: Casas Blancas_Vialidades
Alignment: TrabeF_CurVesp
SURFACE: none, Adjustment: 1.0000
TEMPLATE PRISMOIDAL VOLUME LISTING

Station	Area (m ²)	Volume (m ³)	Tot Vol (m ³)
5+800	0.00	0.00	0.00
5+810	0.00	0.00	0.00
5+820	0.00	0.00	0.00
5+830	0.00	0.00	0.00
5+837.822	0.00	0.00	0.00
5+840	0.00	0.00	0.00
5+860	0.00	0.00	0.00
5+861.219	0.00	0.00	0.00

Project: Casas Blancas_Vialidades
Alignment: TrabeF_CurVesp
Start range: 0+000 to 5+861.219
TEMPLATE PRISMOIDAL VOLUME SUMMARY

Surface	Volume (m ³)
Asphalt	12439.51
base	21245.32
sub-base	27370.58
subrasante	49850.65
none	0.00
VOLUME TOTAL:	110906.06

Fig. 4. 38 Tabla de volúmenes y resultados en un archivo de texto.

Para concluir el proyecto en su totalidad, el programa dibuja de manera directa la curva masa, sólo como dibujo, pues no permite crear las líneas compensadoras de donde se obtienen las distancias de acarreo, en la figura 4.39 se muestra la curva masa correspondiente al trazo definitivo del proyecto.

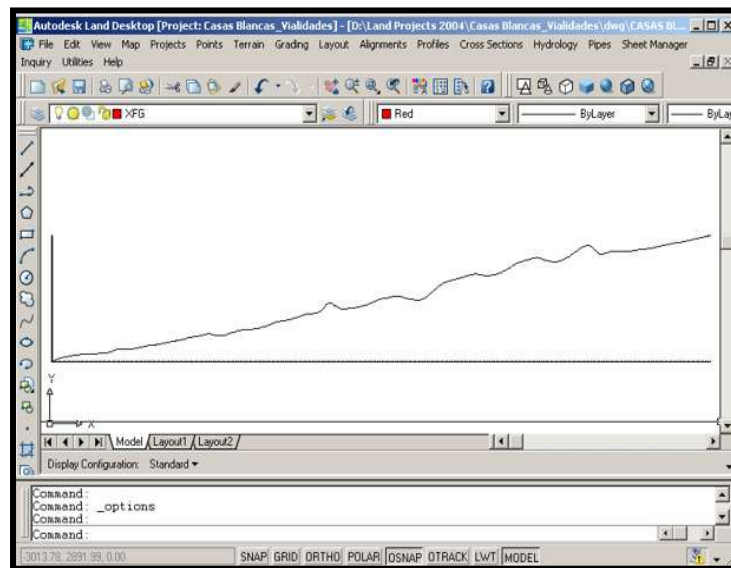


Fig. 4. 39 Dibujo de la curva masa.

4.3 ALTERNATIVAS DE TRAZOS PRELIMINARES AL DEFINITIVO

Como en todo proyecto de ingeniería, antes de tomar una decisión se evalúan diferentes alternativas de solución al problema sobre el que se está trabajando; para llegar a la determinación de cual era la mejor opción de trazo de la vialidad principal del “Desarrollo Casas Blancas”, se hizo un análisis de diferentes propuestas basadas en diferentes aspectos, como el que debía de circular por toda la periferia de la superficie, o el que se cubriera la mayor parte del terreno cuidando que el trazo lo más económico posible, en fin, distintos criterios encaminados a realizar un proyecto integral. De ahí la importancia de contar con este tipo de herramientas como lo son los programas, que proveen al proyectista la facilidad de poder evaluar distintas alternativas con precisión y en tiempo breve, a continuación se presentan los trazos preliminares que fueron estudiados. Su desarrollo contemplo los alineamientos horizontal y vertical completos, sin embargo, con fines ilustrativos sólo se describen algunas de las características que se encontró en cada uno de ellos.

4.3.1 Propuesta original

Cuando me fue proporcionada la información del proyecto a realizar, se me entregó también una propuesta de trazo, la cual fue realizada con la intención de cubrir casi la totalidad

del terreno pero sin tomar mucho en cuenta la topografía por donde pasaba (figura 4.40), respetando esa propuesta, se hizo la edición de ese trazo como alineamiento resultando como se aprecia en las figuras 4.41 y 4.42 espesores de corte y terraplén muy altos, así como pendientes muy elevadas, por ello, se procedió a evaluar otro trazo tomando un criterio diferente.

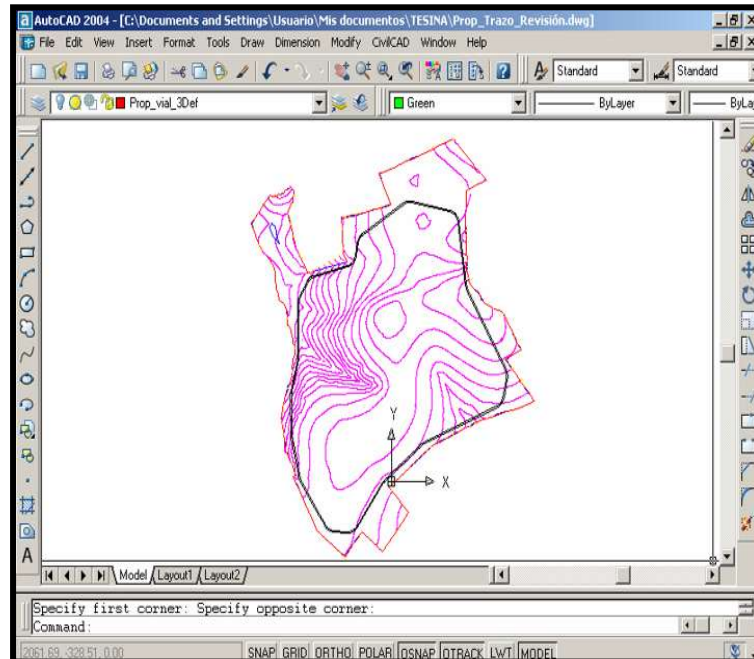


Fig. 4. 40 Propuesta inicial de trazo.

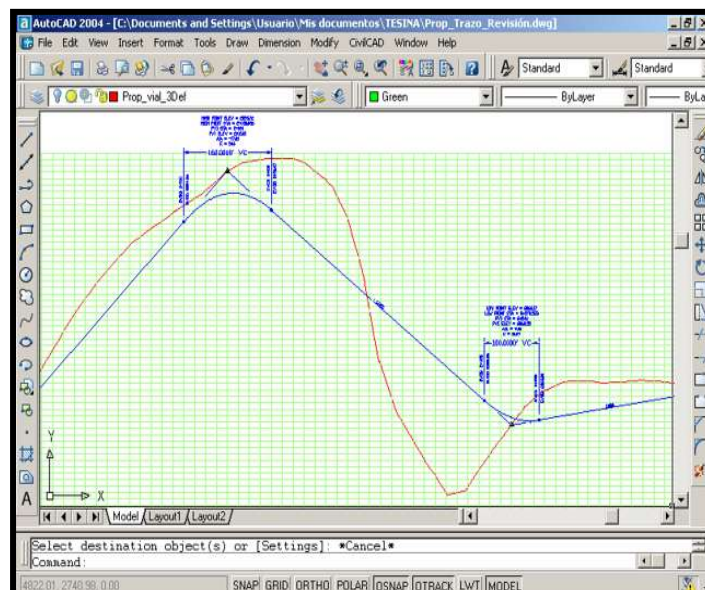


Fig. 4. 41 Perfil del trazo.

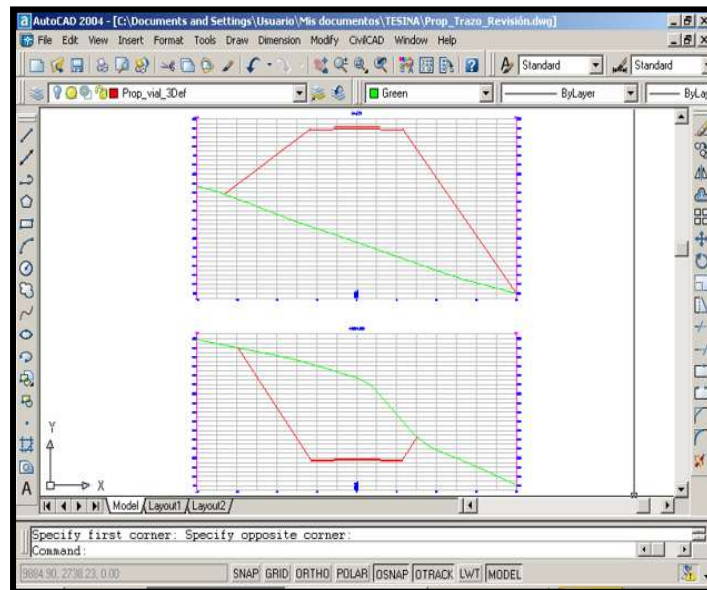


Fig. 4.42 Secciones de corte y terraplén.

4.3.2 Segunda propuesta

Se propuso un segundo trazo, con el criterio de seguir la tendencia de las curvas de nivel, lográndose disminuir los espesores de corte y terraplén, así como una ligera disminución en las pendientes, sin embargo, aún estos resultados eran elevados considerando que se trata de una vialidad urbana y que el nivel de la capa superior de esta, debe estar lo más próximo al nivel de piso terminado de una construcción, en las figuras 4.43, 4.44 y 4.45 se pueden observar algunos de sus detalles.

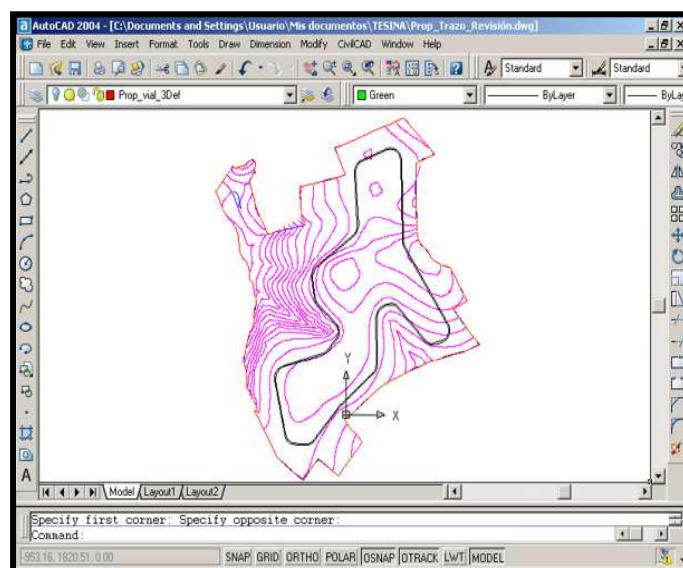


Fig. 4.43 Segunda propuesta de trazo.

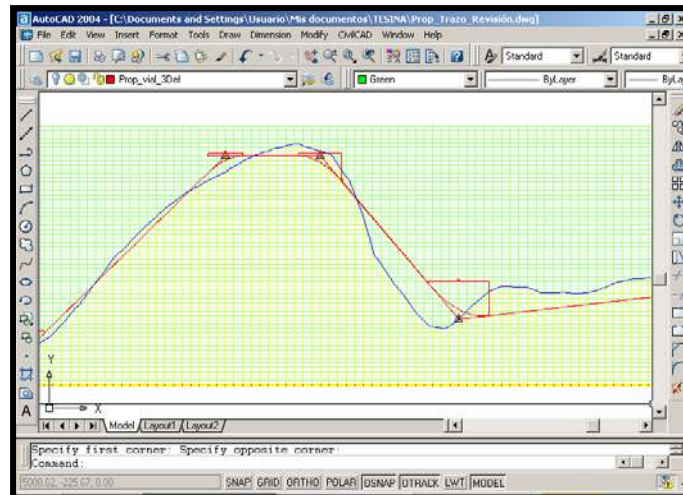


Fig. 4.44 Perfil del trazo.

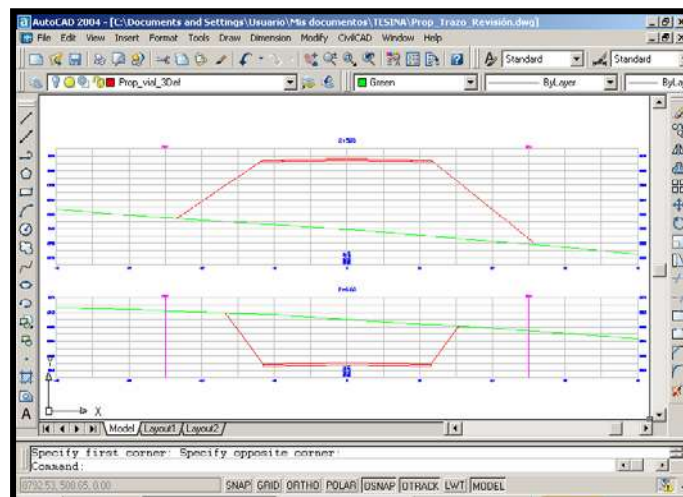


Fig. 4.45 Secciones de corte y terraplén.

4.3.3 Tercera propuesta

Esta propuesta al igual que la segunda, se hizo siguiendo la tendencia de las curvas de nivel, pero procurando extenderse en la medida lo posible para cubrir una superficie mayor sin pasar por zonas donde el terreno se tornaba escarpado, en las figuras 4.46, 4.47 y 4.48 se muestran algunos detalles donde se puede apreciar que los espesores de corte y terraplén se abatieron considerablemente, pero las pendientes aún permanecen sin cambio notorio.

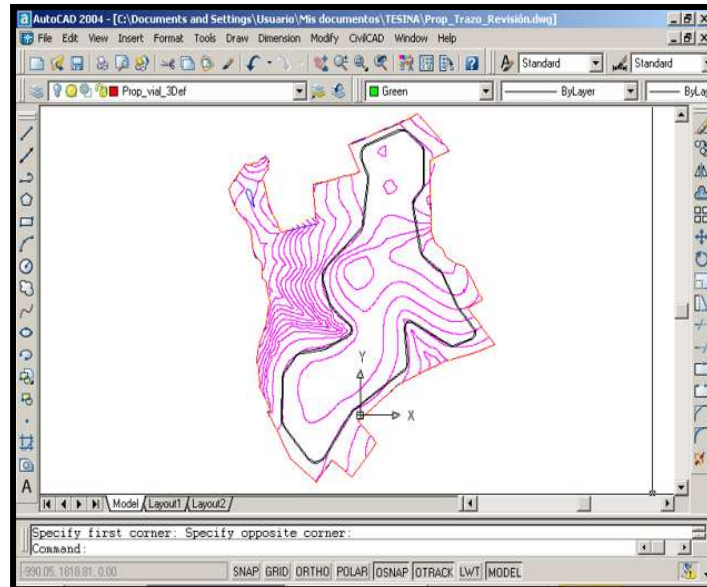


Fig. 4. 46 Tercera propuesta de trazo.

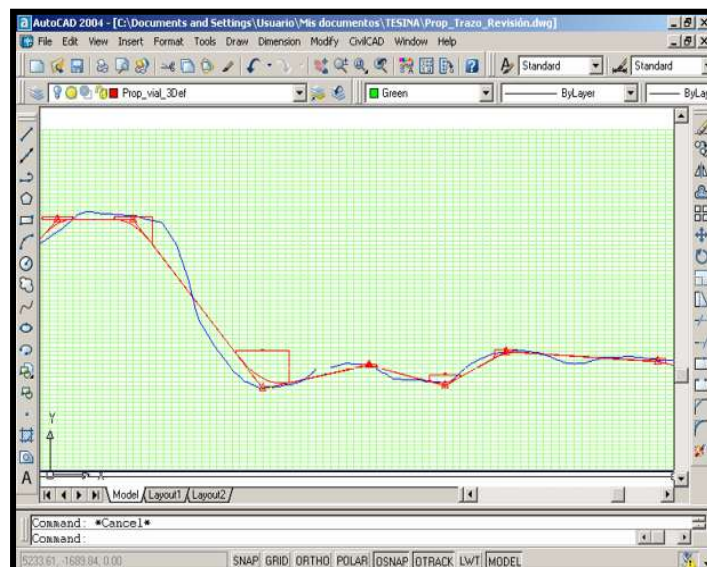


Fig. 4. 47 Perfil del trazo.

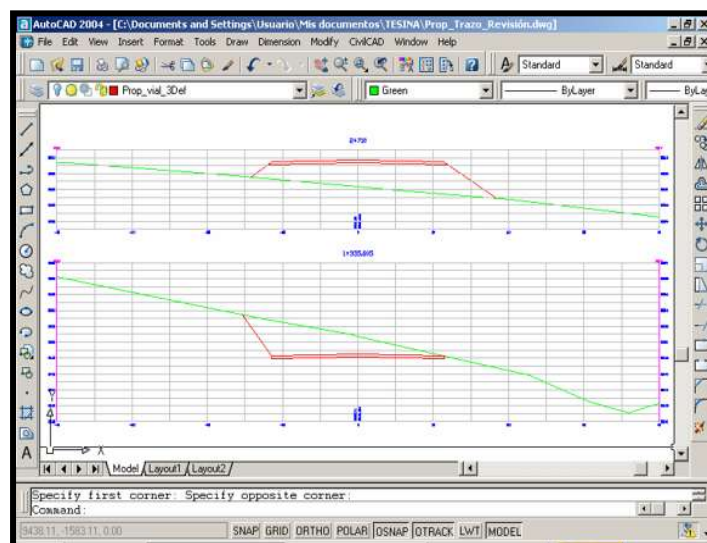


Fig. 4. 48 Secciones de corte y terraplén.

Esta propuesta fue tomada como base del trazo definitivo, a partir de ésta sólo se hicieron afinaciones en algunas zonas donde el terreno presentaba mayor inclinación. Los espesores de corte y terraplén permanecieron prácticamente iguales y se logró una ligera disminución en las pendientes, suficiente para entrar en las recomendaciones que se dan para este tipo de proyectos.

Cabe señalar, que el alineamiento definitivo se describió en el subcapítulo anterior y que las propuestas que se trataron, fueron sólo preliminares para llegar al desarrollo del proyecto con la mejor opción.

CONCLUSIONES

El desarrollo de esta tesis mostró la aplicación de las herramientas CAD, encontrando como principal beneficio la precisión y rapidez para lograr los resultados de una propuesta del trazo de un camino, estableciendo que la tecnología se debe aprovechar para dar mejores soluciones a los problemas que se presentan en el ejercicio de la Ingeniería Civil.

En lo particular, encuentro que es de vital importancia la constante actualización en las técnicas nuevas de trabajo, en donde se aplica la tecnología avanzada, sobre todo haciendo uso de la computación para permanecer vigente en los estándares de competitividad, que cada vez son más exigentes en calidad y eficiencia.

Por último, concluyo que es necesario contar con una norma para regular las características que deben prevalecer en las obras viales de un desarrollo urbano, pues estoy seguro, que de contar con un fundamento firme que hable de este tipo de caminos, se pueden realizar proyectos con una notable mejoría en su funcionalidad y seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

SAHOP, *Manual de Proyecto Geométrico Para Carreteras*.

Carlos Crespo Villaláz, *Vías de comunicación*, 2da. ed., México, D.F., Ed. Limusa, 1989.

Normas y especificaciones de la SCT Para el proyecto geométrico, libro 2 normas de servicios técnicos, parte 2.01 proyecto geométrico, título 2.01.01 carreteras. México, D.F., 1991.

Jan Bazant, *Manual de Diseño Urbano*, México, D.F., 1983

David Adame Ordaz, *Land Desktop y Civil Design en el Proyecto Geométrico de un Camino, Guía Básica*, Morelia Mich., U.M.S.N.H., Facultad de Ingeniería Civil, 2004.

Ingeniero Muñoz Chávez, *Apuntes de vías terrestres I*, 2do. año., U.M.S.N.H. Morelia, Mich., 2002.

PAGINAS DE INTERNET

www.es.wikipedia.org

www.personal.telefonica.terra.es

www.comgrap.cl

www.dasoft.com.mx

www.cmicslp.org

www.digibuy.com