



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**PROYECTO GEOMÉTRICO DEL CAMINO
BARRANQUILLAS–EL CUATE DEL MUNICIPIO
DE TANCÍTARO MICHOACÁN.**

TESIS

**PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
ACOSTA GORDILLO JOSÉ ANTONIO**

**ASESOR:
DR. JAIME SAAVEDRA ROSALES**

Morelia Michoacán; Agosto del 2016

*Al fin y al cabo,
somos lo que hacemos
para cambiar lo que somos.
Eduardo Galeano (1989)*

DEDICATORIA:

Primeramente gracias a Dios quien me ha acompañado en mis tiempos más difíciles de duda y confusión, que si he caído Él ha sido la fuerza para seguir adelante.

A mis Madre que ha sido el motor de mi vida, que si he llegado a este punto ha sido por sus sabios consejos.

A mi Padre que ha sido más que un amigo y quien me ha acompañado en todo momento en este camino de la vida.

A mis hermanos que siempre han estado a mi lado para apoyarme.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a la Facultad de Ingeniería Civil por prepararme y darme las herramientas teóricas y técnicas para desarrollarme de manera profesional.

A mis compañeros de la Quinta sección de la Generación 2007-2012 que fueron quienes con su apoyo me impulsaron para lograr cada proyecto.

A la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, que me brindaron su apoyo para la realización de este proyecto.

Al Dr. Jaime Saavedra Rosales quien me brindo su total apoyo en la realización de este trabajo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
1) GENERALIDADES.....	12
1.1) Estándar de proyecto.....	13
1.2) Clasificación de las carreteras.....	14
1.2.1) De acuerdo a su tránsito diario promedio anual.....	14
1.2.2) Según su funcionalidad.....	15
1.2.2.1) Primarias.....	15
1.2.2.2) Secundarias.....	15
1.2.2.3) Terciarias.....	15
1.2.3) Según el tipo de terreno.....	16
1.2.3.1) plano.....	17
1.2.3.2) lomerío.....	17
1.2.3.3) montañoso.....	17
1.2.4) De acuerdo a su peso y dimensiones.....	18
2) ELEMENTOS BASICOS DEL PROYECTO.....	20
2.1) El usuario.....	20
2.2) El conductor.....	20
2.3) Visión del conductor.....	21
2.3.1) Agudeza visual.....	21
2.3.2) Movimiento del ojo.....	22
2.3.3) Visión periférica.....	23
2.3.4) Visión en condiciones de deslumbramiento.....	23
2.3.5) Percepción del espacio.....	23
2.3.6) Altura del ojo.....	23
2.4) Tiempo de reacción del conductor.....	24
2.5) El vehículo.....	24
2.5.1) Características geométricas de los vehículos y de operación.....	25
2.5.2) Tránsito.....	26
2.6) Distancia de visibilidad.....	27
2.6.1) Distancia de visibilidad de parada.....	27
2.6.2) Distancia de visibilidad de encuentro.....	28
2.6.3) Distancia de visibilidad de rebase.....	29
2.7) Velocidad.....	29
2.7.1) Velocidad de proyecto.....	29
3) PLANEACIÓN DEL PROYECTO GEOMETRICO DEL CAMINO BARRANQUILLAS – EL CUATE.....	32
3.1) Antecedentes.....	32
3.2) Justificación del proyecto.....	35

3.3)	Localización geográfica de la zona.....	35
3.4)	Condiciones regionales del sitio.....	37
3.5)	Metodología del proyecto.....	38
3.5.1)	Selección de la ruta.....	39
3.5.2)	Anteproyecto.....	40
3.5.3)	Proyecto.....	41
3.5.4)	Trazo definitivo.....	41
3.6)	Alineamiento horizontal.....	42
3.6.1)	Tangentes.....	42
3.6.2)	Curvas circulares.....	43
3.6.3)	Ejemplo de cálculo de una curva circular simple.....	49
3.6.4)	Curvas circulares con espirales de transición.....	53
3.6.5)	Visibilidad en curvas horizontales.....	56
3.6.6)	Normas generales de alineamiento horizontal.....	58
3.7)	Alineamiento vertical.....	59
3.7.1)	Tangentes.....	59
3.7.2)	Pendientes.....	60
3.7.3)	Curvas verticales.....	61
3.7.4)	Ejemplo de cálculo de una curva vertical.....	71
3.7.5)	Proyecto de subrasante.....	73
3.7.6)	Visibilidad en curvas verticales.....	77
3.7.7)	Normas generales del alineamiento vertical.....	81
3.8)	Calculo de volúmenes geométricos.....	82
3.8.1)	Secciones de construcción.....	82
3.8.2)	Determinación de áreas.....	86
3.8.3)	Cálculo de volúmenes.....	88
3.9)	Calculo de la curva masa y movimiento de terracerías.....	90
3.9.1)	Propiedades de la curva masa.....	90
3.9.2)	Procedimiento para el proyecto y dibujo de la curva masa.....	91
3.9.2.1)	Objetivos.....	91
3.9.2.2)	Observaciones particulares.....	92
3.9.3)	Compensación de volúmenes de corte y terraplén.....	94
3.9.4)	Acarreos.....	96
3.9.5)	Posición económica de la compensadora.....	96
3.9.5.1)	Procedimiento grafico.....	97
3.9.5.2)	Procedimiento matemático.....	97
4)	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.....	99
4.1)	Objetivos del estudio	99
4.2)	Características del proyecto	99
4.3)	Reconocimiento geotécnico.....	99
4.4)	Exploración y muestreo.....	99

4.5)	Croquis de localización de los sondeos.....	101
4.6)	Pruebas de laboratorio	101
4.7)	Banco de materiales	102
5)	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	103
5.1)	Evaluación del impacto ambiental.....	104
5.2)	Tipos de impactos.....	104
5.3)	Impactos ambientales y medidas de mitigación por etapas.....	105
5.3.1)	Etapas de pre-construcción.....	106
5.3.2)	Etapas de preparación del sitio.....	106
5.3.3)	Etapas de construcción.....	107
5.3.4)	Etapas de conservación y operación.....	112
	OBSERVACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
	Observaciones Particulares.....	113
	Observaciones Generales.....	113
	Conclusiones y recomendaciones.....	119
	BIBLIOGRAFIA.....	121
	ANEXOS.....	123
	Presentación de planos definitivos.....	129
	Plano de planta.....	130
	Plano perfil.....	131
	Plano topográfico.....	132
	Plano de secciones.....	133

RESUMEN

El proyecto geométrico de un camino está compuesto de distintas etapas que se encuentran ligadas entre sí y que en su conjunto darán como producto final un elemento de desarrollo fundamental en el crecimiento de la región donde se desarrolle.

Con el fin de darle coherencia a la información presentada en este trabajo, se ha dividido la información en los siguientes capítulos:

- CAPITULO 1 – GENERALIDADES. Se presenta la clasificación de las carreteras de acuerdo al tránsito diario, a su funcionalidad y al tipo de terreno que se presente.

- CAPITULO 2 – ELEMENTOS BASICOS DEL PROYECTO. Antes de abordar directamente al proyecto geométrico, se recabo la máxima información acerca de sus destinatarios o usuarios finales para de esta forma adecuar aquello que se pretende diseñar a sus necesidades. Se consideran las limitaciones del usuario, en cuanto visión y tiempo de reacción, fijan ciertas condiciones de proyecto que deben tomarse en cuenta, es decir, el proyecto geométrico de un camino debe de estar basado en ciertas características físicas del individuo como son el usuario del camino, los vehículos así como el camino mismo.

- CAPITULO 3 – PLANEACIÓN DEL PROYECTO GEOMETRICO DEL CAMINO BARRANQUILLAS – EL CUATE. Se analizan los criterios y rangos de valores para la selección puntual de los parámetros operacionales que determinarán la geometría del proyecto, como lo son los alineamientos horizontal y vertical, así como los parámetros para el cálculo de la curva masa.

- CAPITULO 4 – ESTUDIOS GEOTÉCNICOS. El objetivo principal es proporcionar la información de tipo geotécnica necesaria para la realización del proyecto de terracerías para el camino contemplado, el capítulo muestra la descripción de la estratigrafía del terreno natural a lo largo del eje de trazo; las características estratigráficas de los bancos para terracerías y pavimentos, los ensayos de laboratorio, las recomendaciones y conclusiones del estudio.

- CAPITULO 5 – ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL. El propósito de un EIA es el de identificar y pronosticar el impacto en el ambiente Biogeofísico, en la salud y bienestar humano, de las propuestas legislativas, políticas, así como de interpretar y comunicar información sobre los impactos.

- OBSERVACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. Este trabajo presenta un conjunto de recomendaciones para actualizar algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras, que se encuentran en la normativa mexicana vigente tal y como fueron concebidos hace más de 30 años.

PALABRAS CLAVE:

PROYECTO, CAMINO, CURVA, GEOMETRICO, ESTUDIO

ABSTRACT

The geometric design of a road is made up of different stages that are linked together and that together they will as a final product an element of fundamental development in the growth of the region where it is developed.

In order to give coherence to the information presented in this work, information has been divided into the following chapters:

CHAPTER 1 - GENERAL. The classification of roads according to the daily traffic is presented, its functionality and the type of terrain to be present.

CHAPTER 2 - PROJECT BASICS. Before addressing directly the geometric project, maximum information about recipients or end users to adapt in this way is to design what their needs was collected.

User limitations are considered, as vision and reaction time, set certain conditions of project that should be taken into account, that is to say, the geometric design of a road must be based on certain physical characteristics of the individual as the user of the road are, vehicles and the road itself.

CHAPTER 3 - PLANNING ROAD PROJECT GEOMETRICO BARRANQUILLAS – EL CUATE. Criteria and value ranges for the timely selection of operational parameters that determine the geometry of the project are analyzed, as are the horizontal and vertical alignments, and the parameters for calculating the mass curve.

CHAPTER 4 - GEOTECHNICAL STUDIES. The main objective is to provide geotechnical information required type for the project of earthworks for the road contemplated, the chapter shows the description of the stratigraphy of the natural terrain along the axis line; stratigraphic characteristics of banks to earthworks and pavements, assaying laboratory, the recommendations and conclusions of the study.

Chapter 5 - ENVIRONMENTAL IMPACT STUDIES. The purpose of an EIA is to identify and predict the impact on the bio geophysical environment, health and human welfare, legislative, policy proposals and to interpret and communicate information about the impacts.

OBSERVATIONS AND RECOMMENDATIONS CONCLUSIONES. This paper presents a set of recommendations to update some elements of geometric road project, found in current Mexican law and as such were conceived more than 30 years ago.

INTRODUCCIÓN

Debido a que la sociedad se ha venido tornando más compleja se ha incrementado la necesidad de busca de un mayor aprovechamiento de las técnicas de diseño de vías de comunicación, ya que si por ejemplo, una determinada área urbana, o rural desea crecer y prosperar, será necesario planear, estudiar, proyectar, construir, operar, conservar y administrar nuevos sistemas lo suficientemente aptos, tanto para el transporte público como privado, que permitan conectar e integrar las actividades que se desarrollan en los diferentes lugares de la región, mediante la movilización de personas y mercancías, dichos sistemas deberán ser manejados de tal forma que las vías de comunicación sean rápidas, seguras y eficientes.

Por lo que en sus diferentes momentos históricos y de desarrollo tecnológico del país ha acudido a diversos modos y sistemas de transporte con el fin de atender la creciente economía nacional, hasta el momento actual en el que la mayor parte del transporte se desarrolla mediante el uso de las carreteras, consideradas en la mayoría de los casos como los ejes de los diferentes procesos de poblamiento y expansión económica.

Dadas las condiciones geográficas del país, que lo ubican en un lugar prioritario dentro de los procesos de integración regional y de globalización, es necesario contar con una red vial que le permita servir a la demanda de transporte en forma segura, cómoda y eficiente.

La presente Tesis pretende sintetizar de manera coherente los criterios modernos para el diseño geométrico de una carretera en particular, estableciendo parámetros para garantizar la consistencia y conjugación armoniosa de todos sus elementos unificando los procedimientos y documentación requeridos para la elaboración del proyecto, según sea su tipo y grado de detalle.

Los criterios consignados en la presente Tesis corresponden a la compilación de experiencias obtenidas en México, expresadas en términos de datos puntuales o rangos admisibles y en ningún momento pretende constituir un texto con fines académicos, ni reemplazar la aplicación del conocimiento profesional en el área. En los casos particulares en que no sea posible cumplir a cabalidad con los parámetros aquí estipulados, quedará al buen juicio y justificada sustentación por parte de los responsables del proyecto la decisión de

cambios en las características del mismo, siempre y cuando estos no afecten negativamente la seguridad ni la comodidad de los usuarios, ni impliquen exceder significativamente el presupuesto para la ejecución del proyecto.

1. GENERALIDADES

Una carretera es un sistema de transporte que permite la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo y que requiere de cierto nivel de seguridad, rapidez y comodidad. Puede ser de una o varias calzadas, cada calzada puede estar conformada por uno o varios carriles y tener uno o ambos sentidos de circulación, de acuerdo a los volúmenes en la demanda del tránsito, la composición vehicular, su clasificación funcional y distribución direccional.

Al aumentar día a día la población mundial se incrementa igualmente la cantidad y uso del vehículo, creando la necesidad de construir, ampliar o mejorar las carreteras. Igualmente la evolución que en los últimos años han tenido los vehículos de transporte automotor, con capacidad cada día mayor y con velocidades más elevadas, junto con la importancia que hoy se brinda a la seguridad y economía de los usuarios y a la protección del entorno ambiental, imponen a las carreteras el cumplimiento de condiciones técnicas muy rigurosas.

El uso de las carreteras tanto para el transporte de pasajeros, así como el de carga, se ha ido incrementando notoriamente debido a varios factores. Uno de ellos es la flexibilidad que éstas ofrecen en su utilización, otro, los costos más bajos para cierto tipo de carga y destino con respecto a otros sistemas de transporte. Si además se observa la falta de inversión y mantenimiento en otros sistemas de transporte, principalmente férreo y fluvial, que pueden llegar a ser más económicos, rápidos y seguros bajo ciertas condiciones, se entiende porque la preferencia de muchos usuarios por este medio.

Se debe tener en cuenta además que la construcción de una carretera influye de manera importante en el desarrollo económico de una región, incrementando la producción y el consumo, disminuyendo costos mejorando así la calidad de vida de la población ubicada en la zona de influencia.

En México el diseño y construcción de carreteras tiene diversos problemas dentro de los cuales se pueden nombrar los siguientes:

- La falta de recursos económicos para llevar a cabo nuevos estudios, ejecutar los diferentes proyectos ya diseñados y además garantizar un apropiado mantenimiento a las carreteras

existentes. Por falta de un adecuado mantenimiento se deben destinar recursos para rehabilitación de vías existentes que podrían utilizarse en nuevos proyectos.

- El abandono estatal de que ha sido objeto los otros medios de transporte, férreo y fluvial principalmente, ha contribuido al deterioro acelerado de la red vial, incrementando además la accidentalidad y disminuyendo el nivel de servicio. En México las vías principales presentan un alto volumen de tráfico pesado para lo cual no fueron concebidas.

- La baja rentabilidad que puede ofrecer la construcción de una vía cuando se trata del sistema de concesión. Para acceder a este sistema se debe garantizar cierto volumen de tráfico durante un período determinado lo que no es posible debido a que el parque automotor es muy bajo y solo se presenta altos volúmenes por temporadas.

El avance tecnológico en los últimos años y su influencia en el desarrollo automotriz ha obligado a estar modificando los diferentes parámetros de diseño de carreteras. No solo las altas velocidades, sino las dimensiones de los vehículos, unos más pequeños y otros más grandes y pesados influyen directamente en aspectos como el ancho de calzada y bermas, radios de curvatura mínimo, distancias de visibilidad, capacidad de soporte de la subrasante y de materiales pétreos, diseño de pavimentos, puentes y obras de drenaje, pendientes máximas, semaforización, rediseño de intersecciones, etc.

1.1) ESTÁNDAR DE PROYECTO.

Se entiende por estándar de proyecto, el nivel de calidad geométrico al cual se construye una carretera. Su selección se efectúa durante la etapa de planeación.

Entre mayor es el estándar geométrico, mejor es la seguridad vial. El mayor estándar geométrico para una carretera corresponde a las autopistas.

Algunos de los factores específicos más importantes a considerar en la selección del estándar geométrico son: la clasificación funcional de la carretera, el volumen de tránsito al final del horizonte o período económico de los mismos (20 años), el tipo de terreno y la velocidad de proyecto. Aunque también deben influir consideraciones de capacidad, eficiencia económica, seguridad e impacto ambiental.

1.2) CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS

Las vías terrestres son obras de infraestructura de transporte como lo son: carreteras, caminos, autopistas, túneles, puentes y vías férreas. Según la definición Fernando Olivera Bustamante, las vías terrestres forman parte de la infraestructura de un país, se encuentra a cargo del gobierno y contribuyen al desarrollo, debido a que una vez construidos las carreteras es más fácil proporcionar el resto de los servicios a la población.

Entre los beneficios socioeconómicos generados por la construcción de estas carreteras se encuentran: la reducción de los costos de transporte, el mayor acceso a los mercados para cultivos y producciones locales, un mayor acceso a la atención médica entre otros servicios sociales, así como la generación de empleo temporal para trabajadores locales.

Crespo Villalaz mencionaba que un camino es una vía rural, mientras que las carreteras son caminos de características modernas que se destinan al paso de un gran número de vehículos. De tal manera que una carretera se puede definir como una faja sobre la superficie terrestre, la cual cumple con las condiciones de alineamiento, ancho y pendientes necesarias para el tránsito adecuado de los vehículos.

1.2.1) DE ACUERDO A SU TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL (TDPA)¹

Las carreteras se clasifican, de acuerdo con su tránsito diario promedio anual (TDPA) es decir, el número de vehículos que pasa por un lugar dado durante (1) año, dividido entre el número de días del año, para la elaboración del proyecto, en la forma siguiente:

- Tipo A4: Para un TDPA de cinco mil (5,000) a veinte mil (20,000) vehículos.
- Tipo A2: Para un TDPA de tres mil (3,000) a cinco mil (5,000) vehículos.
- Tipo B: Para un TDPA de mil quinientos (1,500) a tres mil (3,000) vehículos.
- Tipo C: Para un TDPA de quinientos (500) a mil quinientos (1,500) vehículos.
- Tipo D: Para un TDPA de cien (100) a quinientos (500) vehículos.
- Tipo E: Para un TDPA de hasta cien (100) vehículos.

¹ Normas de Servicios Técnicos Proyecto Geométrico de Carreteras Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Pág. 7

1.2.2) SEGÚN SU FUNCIONALIDAD²

Las normativas mundiales de vanguardia anteponen una clasificación funcional a cualquier otra, con el fin de definir en primer lugar la función deseada para la vía en el contexto de la red nacional de carreteras. En ese sentido, se propone la siguiente clasificación funcional de las carreteras mexicanas para fines de proyecto geométrico:

1.2.2.1) Primarias. Son parte de corredores de transporte que unen centros de población importantes, generalmente de más de cincuenta mil (50,000) habitantes, cuyas actividades generan o atraen viajes de largo itinerario. A su vez, se subdividen en:

- **Autopistas (AP).** Carreteras de sentidos separados físicamente por una faja central o mediana, control total de acceso, dos (2) o más carriles por sentido de circulación y velocidad de proyecto en el rango de ochenta (80) km/h a ciento diez (110) km/h. Sus TDPA's son mayores a cinco mil (5,000) vehículos.
- **Vías rápidas (VR).** Carreteras de sentidos separados físicamente por una faja central o mediana, y velocidad de proyecto en el rango de ochenta (80) km/h a ciento diez (110) km/h; y que en relación con uno o varios de los demás elementos (control de acceso, número de carriles por sentido, etc.) no cumple con los estándares de las autopistas. Sus TDPA's van de tres mil (3,000) a cinco mil (5,000) vehículos.

1.2.2.2) Secundarias. Son vías que unen poblaciones medianas o pequeñas con los nodos de la red troncal, que aportan gran proporción de los viajes de mediano y corto itinerario. Tienen un sólo cuerpo, control parcial de acceso, un carril por sentido de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de setenta (70) km/h a ciento diez (110) km/h. Sus TDPA's van de mil quinientos (1,500) a tres mil (3,000) vehículos.

1.2.2.3) Terciarias. Son aquéllas utilizadas por viajes de muy corto itinerario. Subdividen en:

² Manual de Diseño Geométrico de Vialidades Tomo IV pág. 4.

- **Colectoras (C).** Carreteras de un sólo cuerpo, control parcial de acceso, un carril por sentido de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de sesenta (60) km/h a cien (100) km/h. Sus TDPA's van de quinientos (500) a mil quinientos (1,500) vehículos.
- **Locales (L).** Carreteras de un sólo cuerpo, sin control de acceso, un carril por sentido de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de cincuenta (50) km/h a ochenta (80) km/h. Sus TDPA's van de cien (100) a quinientos (500) vehículos.
- **Brechas (Br).** Carreteras de un sólo cuerpo, sin control de acceso, un carril de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de treinta (30) km/h a setenta (70) km/h. Sus TDPA's son menores a cien (100) vehículos.

La clasificación anterior tiene además la ventaja de que sus tres grandes categorías (troncales, arterias y alimentadoras) pueden homologarse con las tres categorías (primarias, secundarias y alimentadoras) de una propuesta reciente de clasificación de caminos y puentes para el Reglamento de Pesos y Dimensiones, que veremos más adelante. Aunque parezca extraño, esta correspondencia no es muy buena ni en las normativas más avanzadas, aunque es indispensable para garantizar que los vehículos para los que se diseña un camino son congruentes con los que operarán por el mismo (congruencia entre el diseño y la operación vehicular).

1.2.3) SEGÚN EL TIPO DE TERRENO³

Es un factor que puede influir significativamente en las características geométricas de una carretera. La mayoría de las normativas incluyendo la mexicana, consideran tres tipos de terreno donde se alojará el camino: plano, lomerío y montañoso. Las normativas más avanzadas los definen en términos de las pendientes y las posibilidades de los vehículos pesados de circular por ellas.

³ Normas de Servicios Técnicos Proyecto Geométrico de Carreteras Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Pág. 7

Se propone que las carreteras se proyecten considerando el relieve del terreno natural donde se alojan, de acuerdo con la siguiente clasificación:

1.2.3.1) Plano. Exige el mínimo movimiento de tierras durante la construcción por lo que no presenta dificultad ni en su trazado ni en su registro. Sus pendientes longitudinales son normalmente

Es cualquier combinación de alineamientos vertical y horizontal, que permite a los vehículos pesados mantener la misma velocidad de los ligeros. Las pendientes están limitadas a uno y dos por ciento (1% o 2%).

1.2.3.2) Lomerío. Requiere moderado movimiento de tierras durante la construcción, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y en el registro.

Sus pendientes longitudinales se encuentran entre tres y seis por ciento (3% - 6%). Es cualquier combinación de alineamientos vertical y horizontal que hacen que los vehículos pesados reduzcan su velocidad substancialmente por debajo de los ligeros, sin llegar a la máxima velocidad que pueden alcanzar en pendientes sostenidas.

1.2.3.3) Montañoso. Generalmente requiere grandes movimientos de tierra durante la construcción, razón por la cual presenta dificultades en el trazado y en su registro.

Es cualquier combinación de alineamientos vertical y horizontal que hacen que los vehículos pesados operen a la máxima velocidad que pueden alcanzar en pendientes sostenidas.

Sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre seis y ocho por ciento (6% - 8%).

1.2.4) DE ACUERDO A SU PESO Y DIMENSIONES⁴.

La clasificación para fines de proyecto geométrico en la normativa mexicana más reciente es básicamente en función del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) esperado al final del horizonte de proyecto. Así, las carreteras se clasifican en:

Cabe señalar que en el Reglamento de Pesos y Dimensiones vigente, las carreteras se clasifican en los Tipos ET, A, B, C y D, donde:

- **Carreteras Tipo ET.** Son aquéllas que forman parte de los ejes de transporte establecidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), cuyas características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, así como de otros que por interés general autorice la SCT, y que su tránsito se confíe a este tipo de caminos.
- **Carreteras Tipo A.** Son las que por sus características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, excepto aquellos que por sus dimensiones y peso sólo se permitan en las carreteras tipo ET.
- **Carreteras Tipo B.** Se refiere a las que conforman la red primaria y que atendiendo sus características geométricas y estructurales prestan un servicio de comunicación interestatal, además de vincular el tránsito.
- **Carreteras Tipo C.** Red secundaria.- Son vías que atendiendo a sus características geométricas y estructurales, principalmente prestan servicio dentro del ámbito estatal con longitudes medias, estableciendo conexiones con la red primaria. Recomendaciones de actualización de algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras

⁴ Normas de Servicios Técnicos Proyecto Geométrico de Carreteras Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Pág. 7

- **Carreteras Tipo D.** Red alimentadora.- Son las que atendiendo sus características geométricas y estructurales, principalmente prestan servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con la red secundaria.

En la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-1995, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 07 de enero de 1997, no se establecen los pesos y dimensiones máximas para las carreteras Tipo ET. Sin embargo, en el Reglamento de Pesos y Dimensiones se menciona que para esas carreteras, se permite la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso. Por tanto, para las Tipo ET, los vehículos deberán cumplir con lo especificado para las carreteras Tipo A, indicadas en la Norma, con la consideración de que se permite la circulación de los vehículos Extra largos, es decir, aquellos que tienen una configuración de tractocamión-semirremolque, de longitud máxima de 23.00 m, tractocamión-semirremolque-semirremolque y camión-remolque, de longitud máxima de 31.00 m.

2. ELEMENTOS BASICOS DEL PROYECTO

Antes de abordar cualquier proyecto, es conveniente y muy recomendable recabar la máxima información acerca de sus destinatarios o usuarios finales para de esta forma adecuar aquello que se pretende diseñar a sus necesidades. De la interpretación de estos datos recopilados depende en gran medida la calidad de dicho proyecto.

Para esto, generalmente se considera que los conductores de vehículos tienen dos limitaciones: la visión y el tiempo de reacción; estas limitaciones deben ser tomadas en cuenta en todo proyecto geométrico de caminos.

El hombre que ha demostrado ser capaz de hacer frente al problema que se le presenta en la conducción de vehículos muy avanzados, tiene que utilizar caminos que frecuentemente resultan inadecuados.

Además, el cambio continuo en las características del vehículo aunado a las limitaciones del usuario, en cuanto visión y tiempo de reacción, fijan ciertas condiciones de proyecto que deben tomarse en cuenta, es decir, el proyecto geométrico de un camino debe de estar basado en ciertas características físicas del individuo como son el usuario del camino, los vehículos así como el camino mismo.

2.1) EL USUARIO

La planeación y el proyecto de carreteras así como el control y la operación del tránsito requieren de conocimiento de las características físicas y psicológicas del usuario del camino. El ser humano, ya sea peatón o conductor, considerándolo individual o colectivamente, es el elemento crítico en la determinación de muchas de las características del tránsito.

Tanto la motivación como la inteligencia, aprendizaje, estado emocional y física del usuario del camino, son otros elementos profundamente significativos en la operación del tránsito.

2.2) EL CONDUCTOR

Técnicamente, podría definirse como aquel sujeto que maneja el mecanismo de dirección o que va al mando de un vehículo. Empleando términos más gráficos, podría decirse que el conductor es el cerebro del vehículo.

De cara al estudio del comportamiento del conductor, es necesario realizar una síntesis de estos factores, estableciendo una clasificación que figuran en la siguiente tabla:

FACTORES QUE AFECTAN AL CONDUCTOR		
FACTORES INTERNOS	Psicológicos	Motivación Experiencia Personalidad Estado de ánimo
	Físicos	Vista Adaptación lumínica Altura del ojo Otros sentidos
	Psicosomáticos	Cansancio Sexo Edad
FACTORES EXTERNOS	Tiempo (meteorológico) Uso del suelo Tráfico Características de la vía Estado del firme	

Tabla 2.1. Factores que afectan al conductor

2.3) VISIÓN DEL CONDUCTOR

De los sentidos del ser humano, la visión es indudablemente la más importante, ya que a través de la vista, el individuo obtiene información de lo que acontece a su alrededor; muchos de los problemas operaciones y de proyecto requieren del conocimiento de las características generales de la visión humana.

Es importante para la tarea de manejar, la agudeza visual, la visión periférica, la recuperación al deslumbramiento, la percepción de colores y la profundidad de percepción, es decir, que el conductor debe ser capaz de identificar objetos al mirar hacia adelante, de detectar el movimiento a sus lados, de ver el camino en la noche con escasez de luz y bajo condiciones de deslumbramiento y, por último, de distinguir colores de señales y semáforos y las distancias relativas de los diferentes objetos.

2.3.1) Agudeza Visual: Uno de los datos más importantes acerca del ojo, es la agudeza visual. Ésta tiene lugar en un momento dado, en una pequeña porción del campo visual, limitada por un cono cuyo ángulo es de tres grados; sin embargo, la agudeza visual es bastante sensible dentro de un cono visual de cinco

a seis grados y regularmente clara hasta diez grados, siendo este el punto en el cual la agudeza visual disminuye rápidamente.

En la tabla 5.2 se muestra el porcentaje de conductores que pudieron leer correctamente letreros colocados dentro de diferentes ángulos de visión. Es importante por consiguiente, que las señales de tránsito sean diseñadas y colocadas de tal manera que queden dentro de un cono de visión de 10 grados.

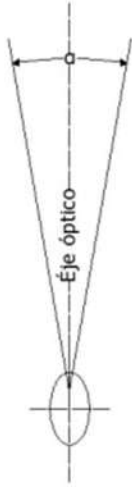
Letreros Colocados dentro del Cono de Visión cuyo Ángulo Horizontal "a" es:	Porcentaje de Respuestas Correctas	
5.8°	98	
7.6°	95	
9.6°	90	
11.4°	84	
13.4°	74	
15.4°	66	

Tabla 2.2. Identificación de letreros.

2.3.2) Movimiento del ojo. Debido a que el campo de visión del conductor se encuentra limitado, éste mueve los ojos sobre aquellas áreas que considera significativas: es por ello que la velocidad con que se mueven viene a ser de suma importancia conforme la velocidad del tránsito aumenta. Para obtener una clara visión del tránsito en el camino, es necesario que el ojo efectúe seis movimientos diferentes, todos los cuales representan tiempo mientras se recorre una distancia.

Movimiento a la izquierda..... 0.15 – 0.33 seg.

Moverlos hacia la izquierda..... 0.10 – 0.30 seg.

Moverlos a la derecha..... 0.15 – 0.33 seg.

Fijarlos a la derecha..... 0.10 – 0.30 seg.

Tiempo Total: 0.50 – 1.25 seg.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras

Cuando el conductor depende de iluminación artificial, éste pierde seis metros de visibilidad por cada 15 km/h de incremento en la velocidad, esto quiere decir que el conductor requiere de 1.4 segundos más por cada 15 km/h para obtener la máxima percepción visual.

2.3.3) Visión Periférica: Estudios de conductores muestran que el ángulo central total de visión periférica, se encuentra en un rango que va de los 120° a los 160°, pero debido a la concentración visual, este rango se contrae al incrementarse la velocidad, desde un ángulo central de 100° a 30 km/h hasta un ángulo de 40° a 100 km/h.

Si bien es cierto que para muchas situaciones del tránsito se confía en la visión periférica, un buen proyecto y regulación adecuada no se apoya en la visión periférica de los conductores, sino en el cono de agudeza visual.

2.3.4) Visión en condiciones de deslumbramiento. Algunas condiciones como la salida de túneles, la iluminación de las calles y el deslumbramiento por los faros de otros vehículos, exigen del conductor un esfuerzo de adaptabilidad a los cambios de luz. En tanto que la reacción pupilar a los cambios de luz compensa cuando mucho 70 veces el incremento de luz externa, el cambio de luz de día a la noche varía en relaciones de millones a uno. La adaptación residual al cambio de la luz a la obscuridad es una función de la retina. Al pasar de la obscuridad a la luz, el ojo se adapta por sí mismo mucho más rápido que cuando pasa de luz a la obscuridad.

2.3.5) Percepción del espacio. Los valores del espacio y del tiempo de percepción basados en la visión, permiten al conductor formar juicios de su propio comportamiento, así como del comportamiento de los demás en la corriente del tránsito.

Los tamaños y formas de los detalles que se perciben y su posición relativa permiten que el usuario se forme un juicio del espacio; sin embargo este juicio está sujeto a la variación, debido a valores como a la convergencia de los ojos para adaptarse a la visión binocular o la tensión nerviosa para poder ver a través de la niebla etc.

2.3.6) Altura del ojo del conductor. La altura del ojo del conductor sobre la superficie ha tenido una disminución gradual con el paso de los años.

Las dimensiones representativas de la altura del ojo del conductor son de importancia en el proyecto geométrico para el cálculo de distancia de visibilidad.

Para la visibilidad de curvas en cresta se tiene una altura de ojo de 1.14 metros y altura de objeto se maneja una altura de 0.15 metros.

2.4) TIEMPO DE REACCIÓN DEL CONDUCTOR

El breve intervalo de tiempo entre ver, oír o sentir y empezar a actuar en respuesta al estímulo de una situación del tránsito o del camino, se conoce como “tiempo de reacción”. Idealmente esta respuesta del conductor requiere de un tiempo para percepción, intelección, emoción y voluntad. Así, mientras más compleja viene a ser una situación, el conductor debe de disponer del tiempo suficiente para hacer una evaluación apropiada de todos los factores que intervienen, con el fin de reaccionar con seguridad. El tiempo requerido para esta acción, puede variar desde 0.5 segundos para situaciones simples hasta 3 o 4 segundos para situaciones más complejas. Se ha encontrado que la respuesta a estímulos visuales, es un poco más lenta que la de los estímulos audibles o a los del tacto, como puede verse en la siguiente tabla:

Estímulo	Tiempo de reacción en segundos
Luz	0.18
Sonido	0.14
Tacto	0.14

Tabla 2.3. Tiempo de Reacción Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras

2.5) EL VEHÍCULO

Una carretera tiene como objetivo permitir la circulación rápida, económica, segura y cómoda, de vehículos sujetos al control de un conductor. Por esto, la carretera debe proyectarse de acuerdo a las características del vehículo que la va a usar y considerando en lo posible, las reacciones y limitaciones del conductor.

En general, los vehículos que transitan por una carretera pueden dividirse en vehículos ligeros, vehículos pesados y vehículos especiales. Los vehículos ligeros son vehículos de carga y/o pasajeros, que tienen dos ejes y cuatro ruedas; se incluyen en esta denominación los automóviles, camionetas y las unidades ligeras de carga y/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 transitan y/o cruzan el camino, tales como; camiones y/o remolques especiales para el transporte de troncos, minerales, maquinaria pesada u

otros productos voluminosos, maquinaria agrícola, bicicletas y motocicletas; y en general todos los vehículos no clasificados anteriormente, tales como vehículos deportivos y vehículos de tracción animal.

2.5.1) CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS VEHÍCULOS Y DE OPERACIÓN

En el proyecto de los elementos de una carretera, deben tomarse en cuenta las características geométricas y de operación de los vehículos. Las características geométricas están definidas por la relación de peso/potencia y centro de gravedad, la cual en combinación con otras características del vehículo y del conductor, determina la capacidad de aceleración y desaceleración, la estabilidad en las curvas y los costos de operación.

TIPO DE VEHÍCULO	EQUIV. DE CAMIONES	ESQUEMAS		CARGA MÁX. (TONELADAS)	PESO MÁX. (TONELADAS)	
		PERFIL	PLANTA		PESO MÁX. (TONELADAS)	PESO MÁX. (TONELADAS)
AUTOMÓVILES	1			4	—	4
	2			4	—	4
CAMIONES	3			6	—	12
	4			7	—	14
	5			7	—	14
	6			7	—	14
	7			7	—	14
	8			7	—	14
	9			7	—	14
	10			7	—	14
	11			7	—	14
	12			7	—	14
OTROS VEHÍCULOS	13	VARIABLE		—	—	—
	14	VARIABLE		—	—	—
	15	VARIABLE		—	—	—
	16	VARIABLE		—	—	—

Tabla 2.4. Clasificación de los vehículos por características geométricas y de operación

Dado que una carretera se proyecta para que funcione eficientemente durante un determinado número de años, no deben proyectarse los caminos solamente en función de las características del vehículo actual, sino que deberán analizarse las tendencias generales de esas características a través de los años, para prever hasta donde sean posibles las modificaciones futuras.

2.5.2) TRÁNSITO

Al proyectar una carretera, la selección del tipo de camino, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente de la demanda, es decir, el volumen de tránsito que circulará en un intervalo de tiempo dado, su variación, su tasa de crecimiento y su composición.

Un error en la determinación de estos datos ocasionará que la carretera funciones durante un periodo de previsión, bien con volúmenes de tránsito muy inferiores a aquellos para los que se proyectó o que se presentes problemas de congestionamiento.

El cálculo de la determinación del tránsito viene determinado por las siguientes definiciones:

- Volumen de Tránsito: Es el número de vehículos que pasan por un tramo del camino en un intervalo de tiempo.
- Densidad de tránsito: Se define como el número de vehículos que se encuentran en una cierta longitud de camino en un instante dado.
- Tránsito promedio Diario: Es el promedio de los volúmenes diarios registrados en un periodo determinado.
- Tránsito Máximo Horario: Se define como el número máximo de vehículos que circulan en una parte del camino durante una hora, para un lapso determinado de observación generalmente a un año.
- Volumen horario de proyecto: Es el volumen de horario tránsito que servirá como valor para poder determinar las características geométricas del camino.

Para conocer los volúmenes de tránsito en las diferentes partes de la carretera, se utilizan como fuentes los datos obtenidos con los estudios de origen y destino, cuyo objetivo primordial es la de conocer el movimiento del tránsito en cuanto a los puntos de partida, así como

comportamiento de tránsito, tanto en magnitud como en composición como a los diversos puntos que se transportarán los vehículos. También se hacen uso de datos de muestreo a partir de estaciones de aforo, para determinar el tránsito representativo de cada dato así como datos obtenidos de las estaciones de peaje.

Para poder determinar las características geométricas de un proyecto de carreteras, se necesita analizar, la composición y la distribución de tránsito por sentidos, de acuerdo con el servicio que se pretenda proporcionar en el camino, estos datos se pueden obtener a partir de datos de Caminos y Puentes Federales (CAPUFE).

2.6) DISTANCIA DE VISIBILIDAD

A la longitud de la 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, se consideran dos distancias de visibilidad: la distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad de rebase.

La distancia de visibilidad, en cada punto a lo largo de la vía, debe ser por lo menos la requerida para un operador por debajo del promedio o para que un vehículo pare en esta distancia.

2.6.1) DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

La gran diferencia en el cálculo de la distancia de visibilidad de parada entre la normativa mexicana más reciente y la de países más adelantados reside en que en la primera dicha distancia se calcula para la velocidad de marcha (asumiéndose que en promedio es 0.875 de la velocidad de proyecto), en tanto que en las de vanguardia se estima para la velocidad de proyecto.

Además, se propone actualizar la altura del ojo del conductor a 1.08 m considerando la altura de los vehículos actuales, así como la altura del objeto a 0.60 m, la cual prácticamente corresponde a la altura de las luces traseras o de los faros de los vehículos ligeros (automóviles, camionetas, etc.).

La distancia de visibilidad de parada, es considerada como la mínima distancia de visibilidad que debe proporcionarse en cualquier punto del camino.

Su valor se obtiene al aplicar la formula siguiente:

$$Dp = \frac{Vt}{3.6} + \frac{V^2}{254 f}$$

En donde:

Dp= Distancia de visibilidad de parada

V = Velocidad de marcha, en Km/hora

t = Tiempo de reacción, en segundos.

f = Coeficiente de fricción longitudinal (véase Tabla 2.5)

VELOCIDAD DE PROYECTO Km/h	VELOCIDAD DE MARCHA Km/h	REACCION		COEFICIENTE DE FRICCIÓN LONGITUDINAL	DISTANCIA DE FRENADO M	DISTANCIA DE VISIBILIDAD	
		TIEMPO SEG	DISTANCIA M			CALCULADA M	PARA PROYECTO M
30	28	2.5	19.44	0.400	7.72	27.16	30
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	33.03	73.22	75
70	63	2.5	43.75	0.325	48.08	91.83	95

Tabla 2.5. Distancia de Visibilidad de Parada.

2.6.2) DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ENCUENTRO.

La distancia de visibilidad de encuentro, usada solamente en caminos con un solo carril, es la distancia mínima requerida en curvas verticales en cresta, para que los conductores de dos vehículos que circulan en sentido opuesto estén en posibilidad de efectuar la maniobra de parada con seguridad.

Su valor se obtiene, mediante la expresión:

$$De = 2 Dp$$

En donde:

De= Distancia de visibilidad de encuentro.

Dp= Distancia de visibilidad de parada.

2.6.3) DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE.

La distancia de visibilidad de rebase, es la distancia de visibilidad suficiente para que el conductor de un vehículo, esté en posibilidad de adelantar a otro, que circula por el mismo carril, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que transite en sentido opuesto.

En el caso de los Caminos Rurales, esta distancia no es tomada en cuenta, debido a que este tipo de caminos tienen solamente un carril de circulación y los rebases y cruces se realizan por medio de los libraderos.

2.7) VELOCIDAD

La velocidad es en definitiva un factor muy importante en todo proyecto y factor definitivo al calificar la calidad del flujo del tránsito. Su importancia, como elemento básico para el proyecto, queda establecida por ser un parámetro en el cálculo de la mayoría de los demás elementos del proyecto.

Con excepción de una condición de flujo forzado, normalmente existe una diferencia entre las velocidades a las que viajan los diferentes vehículos dentro del flujo del tránsito. Todo ello es consecuencia del sinnúmero de factores que afectan la velocidad, como son las limitaciones del conductor, las características de operación del vehículo, la presencia de otros vehículos, las condiciones ambientales, y las limitaciones de velocidad establecidas por dispositivos de control.

Una de las velocidades que más se toman en cuenta para el diseño de carreteras es la velocidad de marcha el cual es una medida de la calidad de servicio que el camino proporciona a los usuarios; por lo tanto, para fines de proyecto, es necesario conocer las velocidades de los vehículos que se espera circulen por el camino para diferentes volúmenes de tránsito. La velocidad de marcha en un camino sufre variaciones durante el día, dependiendo principalmente esta variación del volumen de tránsito.

2.7.1) VELOCIDAD DE PROYECTOS

La norma mexicana más reciente define velocidad de proyecto como la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un tramo carretero y que se utiliza para su diseño geométrico.

La velocidad de proyecto es la mínima velocidad a lo largo de un tramo para la que quedarán preparados los segmentos diseñados con los estándares más restrictivos permitidos para esa velocidad (radio mínimo de curvatura, pendiente máxima, etc.).

En otras palabras, la velocidad de proyecto es una elección, la cual deberá ser congruente con el tipo de carretera, y sirve para determinar los diferentes elementos de diseño geométrico. Este concepto se establece a partir de dos principios básicos: 1) que todas las curvas de un tramo se proyecten para la misma velocidad; y 2) que la velocidad de proyecto refleje la velocidad a la que un porcentaje elevado de los conductores desea circular. El concepto de velocidad de proyecto se creó, por tanto, con el propósito de asegurar la homogeneidad o consistencia del trazo.

La normativa mexicana más reciente permite rangos de velocidad de proyecto muy amplios para cada tipo de carretera; esto es:

- De 60 a 110 km/h para caminos tipo A,
- De 50 a 110 km/h para caminos tipo B,
- De 40 a 100 km/h para caminos tipo C, y
- De 30 a 70 km/h para caminos tipo D y E.

Las disposiciones más avanzadas consideran rangos más reducidos para cada categoría, con el fin de evitar variaciones muy fuertes de velocidad de proyecto a lo largo de una carretera, las cuales suelen ser fuente importante de accidentes.

Por esa razón, en la clasificación funcional de carreteras propuesta, se incluyen los siguientes rangos de velocidad de proyecto más reducidos:

- De 80 a 110 km/h para autopistas y vías rápidas,
- De 70 a 110 km/h para arterias,
- De 60 a 100 km/h para colectoras,
- De 50 a 80 km/h para locales, y
- De 30 a 70 km/h para brechas.

También se recomienda generar las velocidades de proyecto de los diferentes tramos de una carretera a partir de un análisis económico de sensibilidad realizado como parte del estudio de planeación, considerando varias opciones de velocidad dentro del rango correspondiente, haciendo intervenir en dicho análisis los costos de construcción y conservación de la vía y los costos de operación del transporte en términos de la magnitud y composición del tránsito, así como la seguridad y los aspectos ambientales.

3. PLANEACIÓN DEL PROYECTO GEOMETRICO DE LA CARRETERA BARRANQUILLAS – EL CUATE

Para llevar a cabo la planeación de un sistema carretero, es preciso que se establezcan los objetivos que se quieren alcanzar con las acciones que se van a emprender, en forma concreta y realizable, satisfaciendo la demanda de transporte de personas y mercancías con un mínimo de recursos.

El objetivo de la planeación en carreteras, es evaluar la factibilidad del proyecto mediante el análisis del estudio socioeconómico, que dependerá de que los beneficios que se obtengan con la obra superen a los costos de inversión, mantenimiento y operación, cumpliendo con las expectativas de obtener un rendimiento en un plazo determinado.

Entonces, los principales proyectos y productos requeridos de la planeación son un anteproyecto de la carretera y un estudio socioeconómico, los cuales a su vez necesitan para su elaboración de estudios complementarios pero indispensables como son mediciones de tránsito, de traslado de mercancías y de personas, costos de construcción y conservación, análisis de rentabilidad, etc.

Entre los objetivos de una adecuada planeación de la red carretera está disminuir desequilibrios sociales y económicos, mejorando el desarrollo regional y el acceso a zonas rurales marginadas. Eficientando el uso de los recursos, satisfaciendo las necesidades del usuario, considerando aspectos de seguridad y movilidad, tomando en cuenta la protección al medio ambiente y el desarrollo de proyectos que contribuyan al reordenamiento territorial y la eficiencia operativa.

En la selección de la opción óptima, debido a que en muchas ocasiones los objetivos son de tipo económico, es conveniente analizar diferentes alternativas que resuelvan la necesidad inicial estudiando los beneficios que pueden obtenerse y los costos de su realización de estas opciones; se debe realizar una evaluación económica para cada alternativa de solución comparándola con la alternativa cero o “hacer nada”, con las alternativas que resulten rentables, es necesario hacer un análisis de los beneficios y costos incrementables en el que se comparen las alternativas, del cual saldrá la más rentable.

3.1) ANTECEDENTES

Tancítaro significa “lugar de tributo”. Este pueblo, de origen prehispánico, por su ubicación entre la sierra y la tierra caliente, fue elegido para que ahí se entregaran los productos de los pueblos, tanto de la costa como de tierra caliente, sujetos al imperio tarasco.

Es conquistada por Domingo de Medina. En 1531, aparece como corregimiento, el cual abarcó tanto los pueblos de la sierra como de tierra caliente, conservando su función de recolección de productos que tributaban el imperio español. En la tierra fría comprendía las poblaciones de San Miguel, Ticipendo, Yaraparícuaro (o Los Reyes), San Juan, Urapú, San Antonio, Pancitácuaro,

San Pedro Guanimba y San Francisco Guario y en la zona caliente: Acahuato, Parícuaro, Apatzingán, Santa Anna Amatlán, Tomatlán, Xapa y Poco. Ambas porciones fueron encomendadas por mitad al conquistador Domingo Medina y a la Corona. A la muerte del primero, pasaron a su hijo Alejo Enríquez de Medina, quien la administró alrededor de 1597.

Para 1546 contaba con 990 tributarios, los cuales fueron disminuyendo debido a la explotación de la encomienda hasta quedar reducidas a 714 a finales del siglo XVI.

La población fue evangelizada por los franciscanos, quienes establecieron ahí un monasterio que sirvió para avanzar hacia tierra caliente. Producían algodón, maíz y maderas.

Para el siglo XVII, su población había descendido a sólo 100 habitantes, los cuales producían algodón, plátano y ganado. Para 1765 pertenecía al clero secular, quien administraba pequeñas rancherías.

Después de la independencia formó parte del partido de Apatzingán, contaba con ayuntamiento y tuvo una gran recuperación de población. En 1822 contaba con 3,475 habitantes, producía maíz y madera.

Por Ley Territorial de 1831 fue establecido como municipio de Apatzingán. Fue elevado al rango de Villa el 28 de junio de 1860, con el título de Tancítaro de Medellín, fue escenario de varios combates durante la Intervención Francesa.

Cronología de Hechos Históricos

1522 Pasa a formar parte de Apatzingán.

1531 Conquista española por Domingo de Medina, el cual pasa a ser encomendero.

1831 Se establece como municipio.

1860 Es elevada a la categoría de Villa como Tancítaro de Medellín.

a) BARRANQUILLA (Rincón de Barranquillas)

Se localiza en el Municipio Tancítaro del Estado de Michoacán de Ocampo México y se encuentra en las coordenadas GPS:

Longitud (dec): -102.299444

Latitud (dec): 19.220556

La localidad se encuentra a una mediana altura de 1480 metros sobre el nivel del mar.

Población en Barranquillas (Rincón de Barranquillas).

La población total de Barranquillas (Rincón de Barranquillas) es de 549 personas, de cuales 277 son masculinos y 272 femeninas.

Edades de los ciudadanos.

Los ciudadanos se dividen en 280 menores de edad y 269 adultos, de cuales 31 tienen más de 60 años.

Habitantes indígenas en Barranquillas (Rincón de Barranquillas)

0 personas en Barranquillas (Rincón de Barranquillas) viven en hogares indígenas. Un idioma indígena hablan de los habitantes de más de 5 años de edad 1 personas. El número de los que solo

hablan un idioma indígena pero no hablan español es 0, los de cuales hablan también mexicano es 0.

Estructura social

Derecho a atención médica por el seguro social, tienen 9 habitantes de Barranquillas (Rincón de Barranquillas).

Estructura económica

En Barranquillas (Rincón de Barranquillas) hay un total de 107 hogares.

De estas 107 viviendas, 23 tienen piso de tierra y unos 8 consisten de una sola habitación.

99 de todas las viviendas tienen instalaciones sanitarias, 86 son conectadas al servicio público, 106 tienen acceso a la luz eléctrica.

La estructura económica permite a 0 viviendas tener una computadora, a 73 tener una lavadora y 97 tienen una televisión.

Educación escolar en Barranquillas (Rincón de Barranquillas)

Aparte de que hay 44 analfabetos de 15 y más años, 8 de los jóvenes entre 6 y 14 años no asisten a la escuela.

De la población a partir de los 15 años 46 no tienen ninguna escolaridad, 194 tienen una escolaridad incompleta. 53 tienen una escolaridad básica y 9 cuentan con una educación post-básica.

Un total de 15 de la generación de jóvenes entre 15 y 24 años de edad han asistido a la escuela, la mediana escolaridad entre la población es de 5 años.

b) El Cuate

Se localiza en el Municipio Tancítaro del Estado de Michoacán de Ocampo México y se encuentra en las coordenadas GPS:

Longitud (dec): -102.289167

Latitud (dec): 19.241667

La localidad se encuentra a una mediana altura de 1780 metros sobre el nivel del mar.

Población en El Cuate

La población total de El Cuate es de 446 personas, de cuales 233 son masculinos y 213 femeninas.

Edades de los ciudadanos

Los ciudadanos se dividen en 219 menores de edad y 227 adultos, de cuales 23 tienen más de 60 años.

Habitantes indígenas en El Cuate

30 personas en El Cuate viven en hogares indígenas. Un idioma indígena hablan de los habitantes de más de 5 años de edad 18 personas. El número de los que solo hablan un idioma indígena pero no hablan español es 3, los de cuales hablan también español es 6.

Estructura social

Derecho a atención médica por el seguro social, tienen 73 habitantes de El Cuate.

Estructura económica

En El Cuate hay un total de 98 hogares.

De estas 98 viviendas, 37 tienen piso de tierra y unos 4 consisten de una sola habitación.

92 de todas las viviendas tienen instalaciones sanitarias, 85 son conectadas al servicio público, 89 tienen acceso a la luz eléctrica.

La estructura económica permite a 0 viviendas tener una computadora, a 52 tener una lavadora y 87 tienen una televisión.

Educación escolar en El Cuate

Aparte de que hay 42 analfabetos de 15 y más años, 30 de los jóvenes entre 6 y 14 años no asisten a la escuela.

De la población a partir de los 15 años 56 no tienen ninguna escolaridad, 160 tienen una escolaridad incompleta. 21 tienen una escolaridad básica y 11 cuentan con una educación post-básica.

Un total de 6 de la generación de jóvenes entre 15 y 24 años de edad han asistido a la escuela, la mediana escolaridad entre la población es de 4 años.

3.2) JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Las autoridades municipales y el comité de la localidad de esta región de Michoacán tienen el interés de pavimentar el Camino: BARRANQUILLAS – EL CUATE al km 0+000.00 a km 4+283.60.

Este nuevo camino proyectado, agilizará más rápido la llegada a varias localidades reduciendo tiempo para salida que integra la gran mayoría de las localidades.

Con la pavimentación de este camino se incrementará el desarrollo de la agricultura, comercio, educación, salubridad e higiene de dichos pueblos; ya que por la falta de caminos pavimentados como este, el país no incrementa debidamente su desenvolvimiento económico y social, privando a los mismos pueblos del derecho a participar en los adelantos de la civilización y de sus comodidades; por lo que no es posible establecer una corriente de intercambio de los centros productores con los consumidores, impidiendo a los pueblos el envío oportuno y económico de sus productos y el abastecimiento muchas veces hasta de lo más indispensable para su subsistencia.

3.3) LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA

Se localiza al oeste del Estado, en las coordenadas 19°20' de latitud norte y 102°22' de longitud oeste, a una altura de 2,080 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Peribán y Nuevo Parangaricutiro, al oeste con Nuevo Parangaricutiro y Parácuaro, al sur con Parácuaro, Apatzingán y Buenavista, y al oeste con Peribán y Buenavista. Su distancia a la capital del Estado es de 170 km.

Simbología

	Carretera de dos carriles
	Terrestre
	Brecha
	Vereda
	Calle
	Zona urbana
	CABECERA
	Localidad

Escala Gráfica (Kilometros)

0 2.8 5.6 8.4 11.2 14.0

The map shows the Tancitaro region in Mexico. Key features include:

- Geographical Features:** PICO DE TANCITARO (3660 m), C. TANCITARO, Río del Pasto, Río de la Car.
- Towns and Settlements:** El Copetiro, El Carrizalillo, El Pilón, El Limón de Luna, Pareo, La Canoa, Las Paredes, Mayo, La Huellera, Los Últimos, La Soledad, Apo, Tancitaro, Zirimonদি, La Peña, Aparicuar, Zirimbo, Condembar, Las Granadas, La Tinaja, Acúmbaro, Barranquillas, El Molinito, El Cuale, Las Barrancas, Las Hoyas, La Caratacua, El Zapote, Rancho Nuevo, Pucuar, Las Ordeñitas, La Estancia, Santa Elena, Los Lobos, Zacándaro, Arán, Cutzab, Matang.
- Roads:** 44, 22, 43, 63, 40, 68, 16.
- Other Labels:** NACIONAL DEL, URU, La Escondida.

A red circle highlights the area around El Cuale, indicating the location of the study site.

JOSÉ ANTONIO ACOSTA GORDILLO

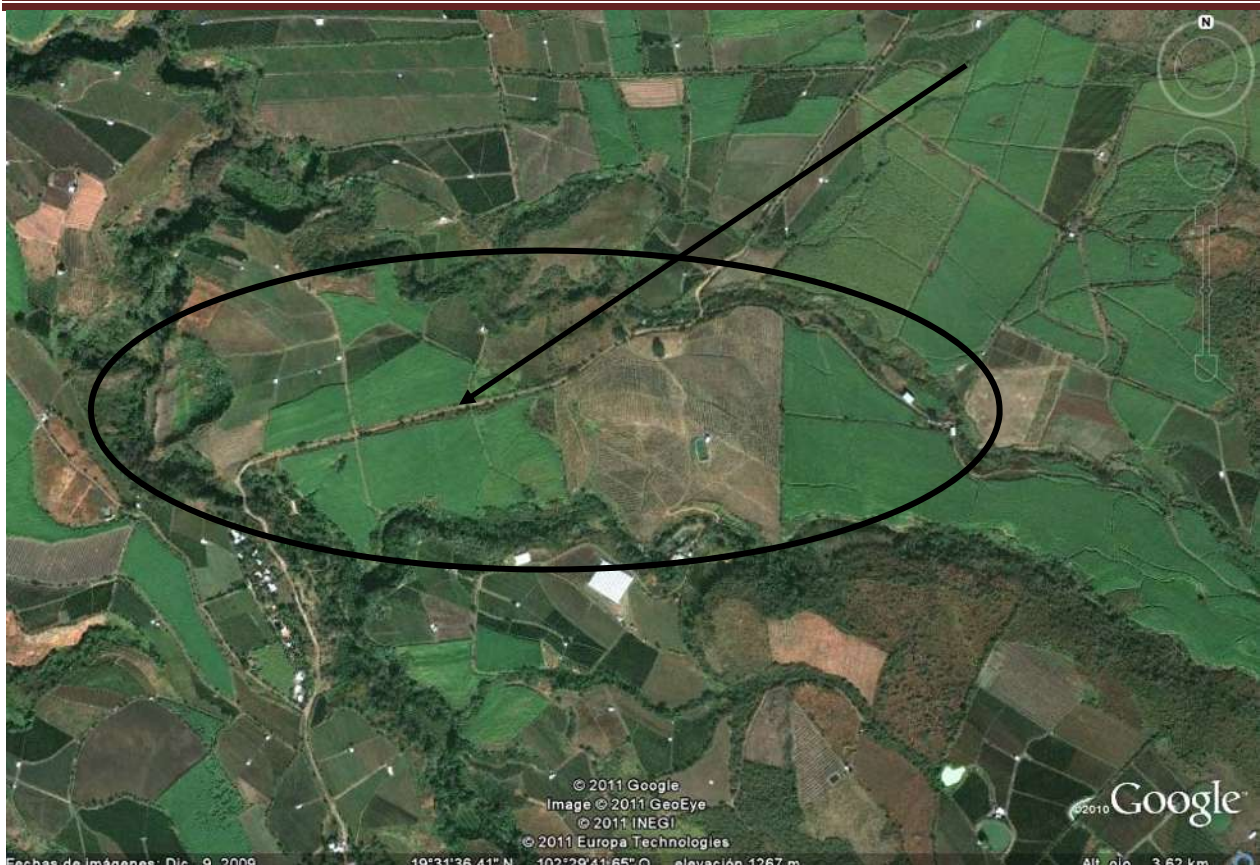


Figura 3.2. Vista general de la zona del proyecto

3.4) CONDICIONES REGIONALES DEL SITIO

Su superficie: Es de 717.65 Km² y representa 1.21 por ciento del total del Estado.

Orografía: Su relieve lo constituyen el sistema volcánico transversal, las sierras de Tancítaro, Paracho y Nahuatzen y los cerros Don Celso, El Astillero, Guayimba y Pico de Tancítaro.

Hidrografía: Su hidrografía la constituyen arroyos y manantiales de agua fría, Zirimóndiro, Condémbaro, Zirimbo, Santa Catarina, Choritiro y El Cuate.

Clima: Su clima es templado con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 900 milímetros y temperaturas que oscilan entre 7 y 38° centígrados.

Principales Ecosistemas: En el municipio domina el bosque de coníferas, con pino, oyamel y junípero y el bosque mixto, con pino y encino. Su fauna la conforman el venado, coyote, armadillo, conejo, tejón, zorrillo, tlacuache, zorra, gallina de cerro, pichón, águila negra, calandria, jilguero y gorrión.

Recursos Naturales: La superficie forestal de maderables es ocupada por pino, encino y en el caso de la no-maderable por matorrales, chaparral espinoso y selva baja.

Características y Uso del Suelo: Los suelos del municipio datan de los períodos cenozoico, terciario y mioceno, corresponden principalmente a los del tipo podzólico. Su uso es primordialmente forestal y en menor proporción agrícola y ganadera.

3.5) METODOLOGÍA PARA EL PROYECTO GEOMÉTRICO DE UN PROYECTO

La metodología para un proyecto de caminos se integra por 3 fases las cuales son: selección de ruta, anteproyecto, y trazo definitivo.

Debido a que el levantamiento topográfico tiene la finalidad de corregir alineamientos en un camino existente la metodología particular fue establecida por las condiciones siguientes.

Etapas de una carretera

Tradicionalmente, el proyecto de una carretera involucra las siguientes etapas:

1. Planeación,
2. Proyecto,
3. Construcción, y
4. Operación

En la etapa de planeación, se realizan estudios geográfico-físicos, económico-sociales y políticos.

Mediante los estudios geográfico-físicos, se estudia la topografía del terreno.

Mediante los estudios económico-sociales, se determinan las necesidades de las diferentes regiones para su desarrollo, por área económico-social (industria, ganadería, comercio, educación, costumbres, salud, etc.).

El aspecto político es indispensable para conocer jerarquías, procedimientos y jurisdicciones, así como para determinar la viabilidad política de los proyectos.

La etapa de construcción incluye la dirección técnica de la obra; la ejecución de la misma; así como el control de mecánica de suelos y de calidad para todos los elementos de la obra en general.

La etapa de operación considera la conservación de los diferentes elementos de la carretera; la realización de estudios de tránsito para control de la circulación, además de mecánica de suelos y pruebas de materiales para las labores de conservación, reconstrucción y modernización requeridas.

Generalmente, se han considerado tres pasos para el proyecto geométrico de una carretera: selección de ruta; anteproyecto; y proyecto.

En el paso de selección de ruta, se obtiene la zona más ventajosa para la localización de un camino.

En el anteproyecto, se establece el trazo del camino, haciéndose necesario completar y definir los trazos recogidos previamente, a través de un levantamiento topográfico.

Una vez situado el trazo, se inicia el proyecto mediante estudios de precisión que permiten definir las características geométricas del camino; los materiales que lo forman; y los cauces que lo cruzan.

Este trabajo se circunscribe a los diferentes pasos de la metodología tradicionalmente utilizada en el proyecto geométrico de las carreteras en México.

Etapas para la elaboración de un proyecto de una carretera

- 1.- Elección de ruta
- 2.- Anteproyecto
- 3.- Proyecto definitivo
- 4.- Implantación de la línea definitiva en el campo

3.5.1) SELECCIÓN DE RUTA

La elección de la ruta es la etapa más importante del proyecto, estos trabajos son de carácter interdisciplinario, ya que intervienen profesionales de distintas ramas de conocimiento primordialmente influyen aspectos económicos en la decisión de una ruta, más sin embargo la participación de la ingeniería es fundamental y en esta participan especialistas de proyecto geométrico, ingenieros en planeación, ingenieros geólogos y etc.

Se entiende por ruta, la franja de terreno de ancho variable entre dos puntos obligados, dentro de los cuales es factible hacer la localización de un camino, mientras más detallados y precisos estos estudios para determinar la ruta, el ancho de la ruta será más reducido.

La selección de la ruta es un proceso que involucra varias actividades, desde el acopio de datos (cartas topográficas, cartas geológicas, cartas geográficas, cartas de uso de suelo, Estudios de tránsito, planes de desarrollo), examen y análisis de los mismos, hasta levantamientos aéreos (1:50,000, helicóptero 1:25,000), terrestres o combinados según sean necesarios para determinar a este nivel costos y ventajas de las diferentes rutas para elegir la más conveniente.

Dentro de la elección de la ruta deben de considerarse los datos arrojados por las distintas disciplinas:

Ingeniería, incluye: Topografía, geología, clima, edafología, volúmenes de tránsito.

Sociales y demográficos, incluye: Uso de suelo, patrones de zonificación, derecho de vía.

Ambientales, incluye: Tipos de vida silvestre, ubicación de sitios recreativos, históricos, arqueológicos, posibles efectos de la contaminación del aire, agua y por ruido.

Económicos, incluye: Precios unitarios de construcción, las tendencias en actividades agrícolas, comerciales, industriales, derecho de vía.

Por medio de las actividades anteriores es posible obtener pendientes longitudinales y transversales del terreno, tipo y densidad del drenaje natural, formación de curvas y suelos, presencia de fallas estructurales, bancos de materiales de construcción y zonas pantanosas y de inundación.

Ya analizado lo anterior se podrá definir y marcar sobre los planos la ruta aceptada. Así mismo se efectúan los análisis de evaluación de las diversas alternativas y justificaciones técnicas de la operación que se consideró más aceptable.

Para el estudio la ruta está obligada por el camino existente, se obtendrá la información directamente en campo mediante brigadas topográficas con equipo de estación total, el anteproyecto consistirá en la obtención de los datos que permitan conocer la geometría del eje del camino existente. Y el trazo definitivo consistirá en replantear mediante un eje auxiliar o bien eje de proyecto, el alineamiento horizontal con las debidas referencias de trazo para la troncal, estructuras y obras de drenaje así como el establecimiento de bancos de nivel.

3.5.2) ANTEPROYECTO.

Para la ejecución de este estudio la selección de la ruta está obligada por la geometría del camino existente por lo que esta ruta se apoyó del establecimiento de una poligonal auxiliar y puesto que el trabajo en campo se realizara con apoyo de la estación total se establecerán puntos de control (ST) de donde se realizara la radiación a cada punto del eje del camino y sección transversal.

Previamente a este trabajo se recorrió el tramo estableciendo marcas a cada 20 mts con el apoyo de un odómetro cabe mencionar que se aproxima el cadenamiento debido a que al realizar los trabajos con el equipo de estación total cada punto está referenciado mediante coordenadas.

El anteproyecto puede realizarse utilizando el método fotográfico o por medio de brigadas de topografía en el campo de acuerdo con las características y recursos disponibles. El objetivo principal es obtener una mejor información de la topografía de la ruta seleccionada, y segundo definir de manera global los elementos de proyecto del camino. Si en dado caso no se contara con

los suficientes elementos para hacerlo con el procedimiento fotogramétrico, se emplea el procedimiento convencional, que es a partir del trabajo de la brigada de topografía.

El resultado final es el conjunto de estudios y levantamientos que se llevan a cabo con base en los datos previos, en donde se define entre otras cosas la sección transversal, así como los alineamientos horizontales y verticales.

3.5.3) PROYECTO

La etapa de proyecto se inicia una vez situada la línea, con estudio de una precisión tal, que permite definir las características geométricas del camino, las propiedades de los materiales que lo formarán y las condiciones de los escurrimientos que cruza.

3.5.4) TRAZO DEFINITIVO.

El proyecto definitivo de una vía terrestre consiste en los estudios de campo y gabinete necesarios para determinar los planos definitivos, los volúmenes de obra y sus presupuestos. Los estudios fueron los siguientes:

- 1.- Implantación de la línea definitiva en el campo.
- 2.- Estudio de movimiento de tierras.
- 3.- Proyecto de obras de drenaje.
- 4.- Proyecto de pavimentos.
- 5.- Proyecto de puentes, intersecciones, etc.
- 6.- Proyecto de señalamiento.

1.- Con el apoyo de la poligonal abierta (Puntos de control), trazada y nivelada en la etapa de anteproyecto, se trazó la línea definitiva en campo (incluyendo tangentes y curvas), esta línea se nivela, y de ser necesario se corrige, hechas las correcciones se realizan planos de planta y perfil del proyecto.

2.- Ya trazada la línea definitiva, prosiguió con el estudio de movimiento de tierras, pues se pretende hacer más económica la obra.

3.6) ALINEAMIENTO HORIZONTAL

El alineamiento horizontal es la proyección sobre un plano horizontal del eje del camino o proyecto. Los elementos que integran el alineamiento horizontal son las tangentes y las curvas; estas últimas pueden ser circulares o circulares con espirales de transición según sea el caso. La proyección del eje en un tramo recto, define la tangente y el enlace de dos tangentes consecutivas de rumbos diferentes se efectúa por medio de una curva

El establecimiento del alineamiento horizontal depende de: La topografía y características hidrológicas del terreno, las condiciones del drenaje, las características técnicas de la subrasante y el potencial de los materiales locales.

3.6.1) TANGENTES

Se definen como las rectas que unen a las curvas en una proyección horizontal; debido a que las tangentes van unidas entre sí por curvas, la longitud de la tangente está comprendida entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. Los puntos del alineamiento horizontal que se encuentran de forma precisa sobre la tangente en el terreno se le conoce como: punto sobre tangente y se expresa con las siglas PST.

La longitud máxima de la tangente se encuentra condicionada por la seguridad. No se recomienda mucho el uso de tangentes muy prolongadas ya que puede causar accidentes, debido a la somnolencia que produce al conductor al tener su vista en puntos fijos del camino durante mucho tiempo así también porque se favorecen los deslumbramientos en la noche; por lo que para evitar esto se sugiere mejor alineamientos ondulados con curvas de gran radio.

La longitud mínima de la tangente entre dos curvas consecutivas se encuentra definida por la longitud necesaria para dar la observación y ampliación a esas curvas.

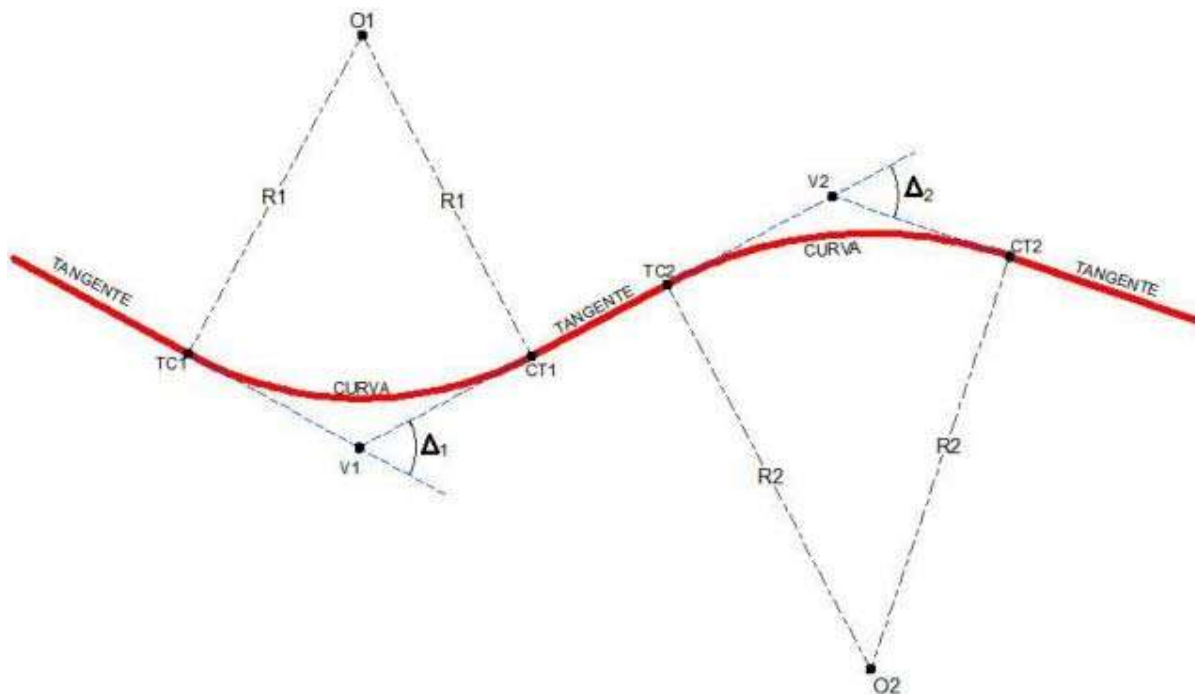


Figura 3.3. Alineamiento formado por tangentes y curvas circulares

3.6.2) CURVAS CIRCULARES

Las curvas circulares son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas y pueden ser simples o compuestas, según se trate de un solo arco de círculo o de dos o más sucesivos, de diferente radio.

A) *Curvas circulares simples:* 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. Las curvas circulares simples tienen los elementos característicos y se calculan de la siguiente manera:

PI = Punto de inflexión

PC = Punto donde comienza la curva

PT = Punto donde termina la curva

PST = Punto sobre tangente

PSST = Punto sobre subtangente

PSC = Punto sobre la curva

O = Centro de la curva circular

Δ = Angulo de deflexión de las tangentes

Δ_c = Angulo central de la curva

Δ_c = Angulo de la cuerda larga

G_c = Grado de curvatura de la curva

R_c = Radio de curvatura de la curva

ST = Subtangente

E = Externa

M = Ordenada media

CL = Cuerda larga

L_c = Longitud de la curva circular

ϕ = Angulo de deflexión a un PSC

ϕ = Angulo de una curva cualquiera

C = Cuerda

ℓ = Longitud de arco cualquiera en la curva

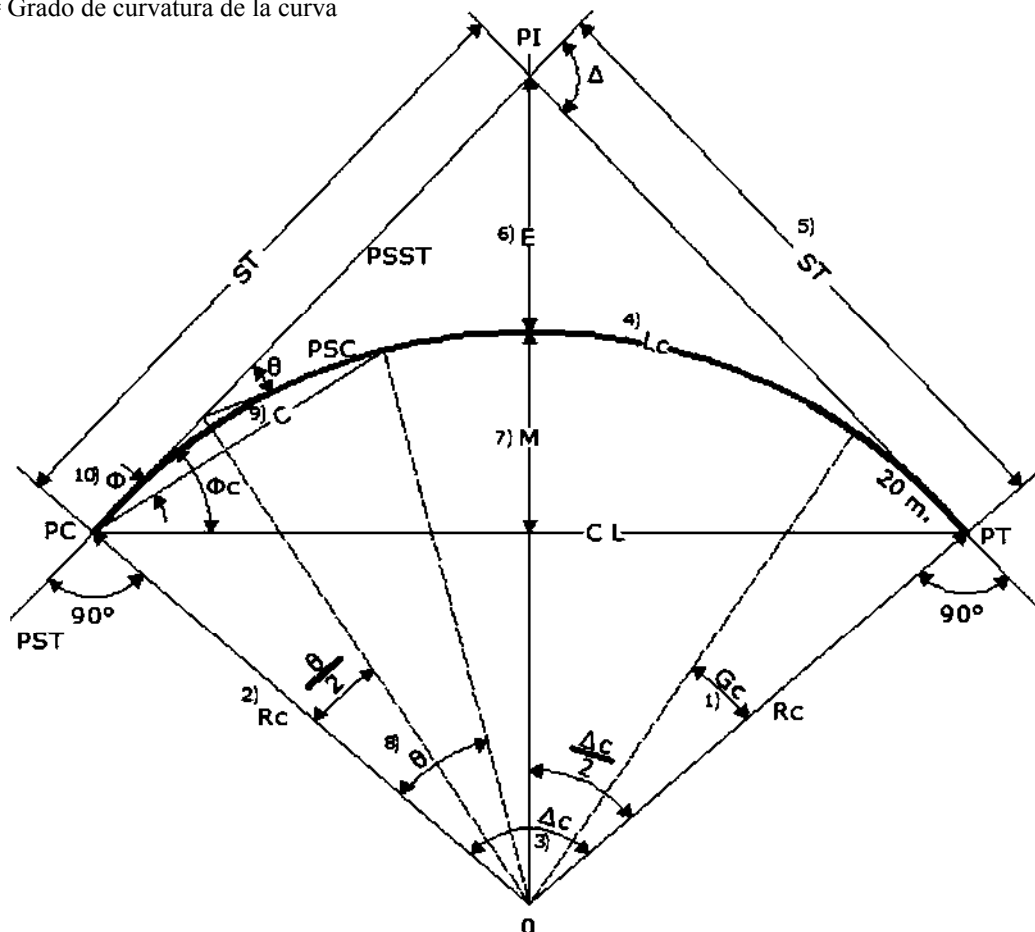


Figura 3.4. Elementos de la curva circular simple.

- 1) Radio de Curvatura mínimo (R_{cmin}): Es el radio mínimo permisible de la curva circular.

$$R_{cmin} = \frac{V^2}{127 (S_{m\acute{a}x} + f)}$$

En donde:

V = Velocidad de proyecto

f = Coeficiente de fricción lateral

$S_{m\acute{a}x}$ = Sobreelevación máxima de la curva, en m/m

V = Velocidad de Proyecto

Los valores de f y $S_{m\acute{a}x}$ se obtienen de la **figura 7.3**.

VELOCIDAD DE PROYECTO km/h	COEFICIENTE DE FRICCIÓN LATERAL	SOBREELEVACION MAXIMA m/m
30	0.280	0.10
40	0.230	0.10
50	0.190	0.10
60	0.165	0.10
70	0.150	0.10
80	0.140	0.10
90	0.135	0.10
100	0.130	0.10
110	0.125	0.10

Figura 3.5. Valores de la sobreelevación máxima y coeficientes de fricción lateral.

- 2) Grado de curvatura (G_c): Se define como el ángulo subtendido por un arco de 20 metros de longitud.

La fórmula para calcular el grado de curvatura es:

$$G_c = \frac{1145.92}{R_c}$$

El grado máximo de curvatura que puede tener una curva, es el que permite a un vehículo recorrer con seguridad la curva con la sobreelevación máxima a la velocidad de proyecto, está dada por la expresión:

$$G_{m\acute{a}x} = \frac{1145.92}{R_{cmin}}$$

- 3) Radio de curvatura (R_c): Se define como el radio de la curva circular y su longitud va desde el centro de círculo hasta el arco de longitud. Su fórmula para calcular el radio de curvatura para cuerdas de 20 m es.

$$R_c = \frac{1145.92}{G_c} \text{ (metros)}$$

- 4) Ángulo central (Δc): Se define como el ángulo subtendido por la curva circular y en las curvas circulares simples este ángulo es igual a la deflexión de las tangentes.
- 5) Longitud de curva (ℓc): Se define como la longitud del arco entre el principio de curva PC y el principio de tangente PT. Su fórmula para obtenerlo es la siguiente:

$$\ell c = \frac{20 \Delta c}{G_c}$$

- 6) Subtangente (ST): Se define como la distancia entre el punto de intersección PI y el PC o PT (extremos de la curva), medida sobre la prolongación de las tangentes. A partir del triángulo rectángulo O-PI-PT (figura 7.4) se obtiene.

$$ST = R_c \tan \frac{\Delta c}{2}$$

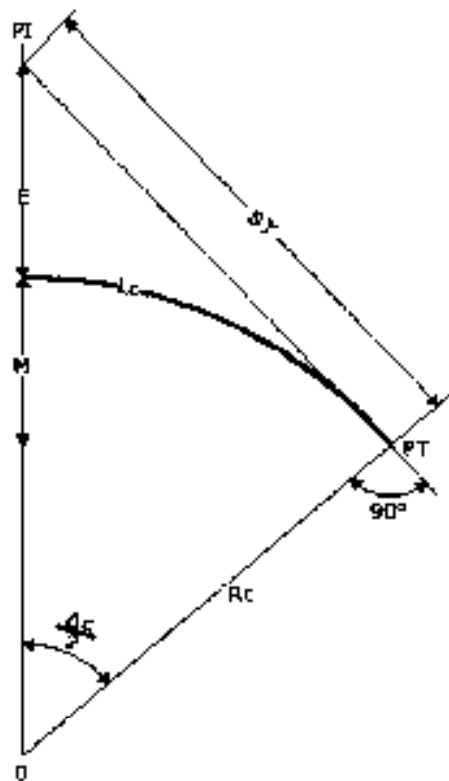


Figura 3.6. Triángulo rectángulo O-PI-PT.

- 7) Externa (E): Se define como la distancia mínima entre el PI y la curva, se obtiene a partir del triángulo O-PI-PT (figura x) con la siguiente fórmula.

$$E = R_c \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta c}{2}} - 1 \right)$$

- 8) Ordenada media (M): Se define como la longitud de la flecha en el punto media de la curva. A partir del triángulo O-PI-PT (figura 7.4) se puede obtener este valor.

$$M = Rc \left(1 - \cos \frac{\Delta c}{2}\right)$$

- 9) Deflexión para cualquier punto de la curva (θ): Se define como el ángulo entre la prolongación de la tangente en PC y la tangente en el punto considerado. Se obtiene con la siguiente relación.

$$\theta = \frac{Gc \ell}{20}$$

- 10) Cuerda (C): Se define como la recta comprendida entre dos puntos de la curva. Si los puntos extremos de la cuerda coinciden con los puntos extremos de la curva PC y PT respectivamente, entonces a la curva resultante se le denomina cuerda larga y se representa con la letra CL. A partir del triángulo PC - O -PSC se puede formular la ecuación para obtener la cuerda y la cuerda larga. Su fórmula es:

$$C = 2 Rc \operatorname{sen} \frac{\nu}{2}$$

- 11) Ángulo de la cuerda (Φ): Se define como el ángulo comprendido entre la prolongación de la tangente y la cuerda a considerar, se representa con la letra griega phi y se puede obtener a partir del triángulo PC - O - PSC.

$$\phi = \frac{Gc \ell}{40}$$

Si se toma en cuenta la fórmula del ángulo de deflexión θ , se encuentra la fórmula para el ángulo de la cuerda larga:

$$\phi c = \frac{Gc lc}{40 m} \text{ (grados)}$$

- 12) Punto donde comienza la curva (PC) :

$$PC = PI - ST$$

- 13) Punto donde termina la curva (PT):

$$PT = PC + lc$$

- 14) Deflexión por metro: Es el ángulo de deflexión correspondiente a una cuerda de 1 metro y se expresa por la letra D'm (valor expresado en minutos).

$$D'm = 1.5 Gc \text{ o } Dm = \frac{G}{40}$$

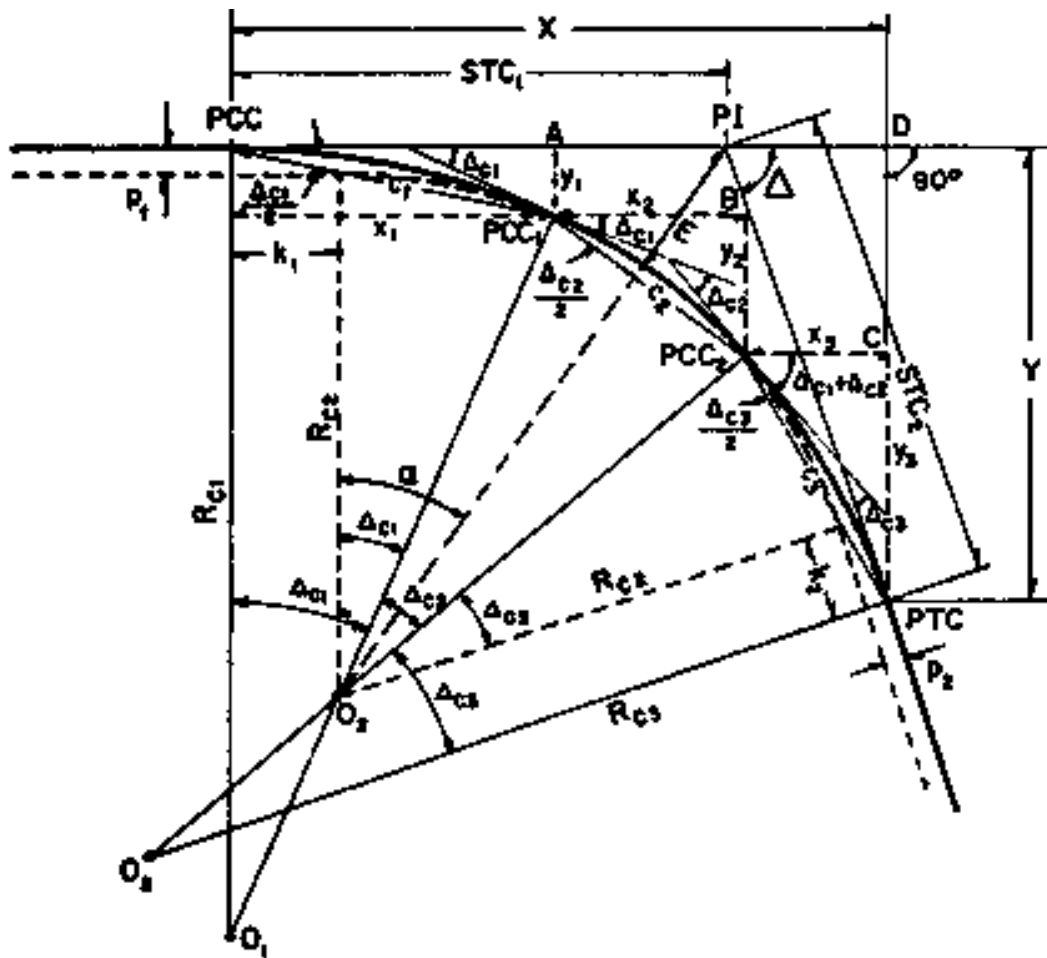
Una vez calculados todos los elementos antes mencionados, se procede a elaborar la tabla de construcción, la cual tiene la siguiente forma:

	ESTACIÓN	Lc	DEFLEXIÓN PARCIAL	DEFLEXIÓN TOTAL

B) *Curvas circulares compuestas*: Son las curvas que resultan de la composición de dos o más curvas circulares, ya sean en el mismo sentido o de sentido inverso y pueden ser de cualquier radio. Si las curvas que componen a la curva circular son del mismo sentido se denominan curvas compuestas directas mientras que si las curvas son de diferente sentido se denominan curvas circulares compuestas.

Las curvas compuestas tanto directas como inversas no son recomendables ya que estos pueden introducir cambios de curva peligrosos, sólo son recomendables para camino de baja velocidad y para intersecciones siempre y cuando la relación entre dos radios consecutivos no sobrepase de 2.0 y se resuelva satisfactoriamente la transición de sobreelevación.

Generalmente se utilizan en terrenos montañosos o se puede utilizar cuando existan limitaciones de libertad de diseño, como por ejemplo en los accesos a puentes, en los pasos a desnivel y en las intersecciones.



- PI** Punto de intersección de las tangentes
PCC Punto donde se inicia la curva circular compuesta
PTC Punto donde termina la curva circular compuesta
PCC₁, PCC₂ Puntos de curvatura compuesta, o sean los puntos en donde termina una curva circular simple y empieza otra
O₁, O₂, O₃ Centros de las curvas circulares simples que integran la curva circular compuesta

Δ Angulo de deflexión entre las tangentes
Δ_{c1}, Δ_{c2}, Δ_{c3} Angulos centrales de los curvas circulares simples
R_{c1}, R_{c2}, R_{c3} Radios de cada una de las curvas circulares simples
STC₁, STC₂ Subtangentes de la curva circular compuesta
P₁, P₂, k₁, k₂ Desplazamientos de la curva central para curva compuesta de tres centros

Figura 3.7. Elementos de la curva circular compuesta

3.6.3) EJEMPLO DE CALCULO DE UNA CURVA CIRCULAR SIMPLE

Para este ejemplo nos basaremos en la curva ubicada entre los kilómetros

DATOS:

Tipo de camino: D

$V_p = 40$ km/hr

$PI = 0 + 351.21$

$\Delta = 45^\circ 59' 32.28$ DER.

$Smáx = 12 \%$

1. Radio de curvatura mínimo.

$$R_{cmin} = \frac{V^2}{127 (Smáx+f)} \rightarrow R_{cmin} = \frac{40^2}{127 (10\%+0.230)} \rightarrow = 38.177 \text{ m.}$$

2. Grado máximo de curvatura.

$$G_{máx} = \frac{1145.92}{R_{cmin}} \rightarrow G_{máx} = \frac{1145.92}{38.177} \rightarrow = 30^\circ 00' 57.39''$$

Se propone un grado de curvatura menor al máximo calculado, el cual será de:

$$G_c = 15^\circ 00' 00''$$

3. Radio de curvatura.

$$R_c = \frac{1145.92}{15^\circ} \rightarrow = 76.394$$

4. Longitud de curva.

$$\ell_c = \frac{20 \Delta_c}{G_c} \rightarrow \ell_c = \frac{20 (45^\circ 59' 32.28'')}{15^\circ} = 61.323 \text{ m}$$

5. Subtangente.

$$ST = R_c \tan \frac{\Delta_c}{2} \rightarrow ST = 76.394 \tan \frac{45^\circ 59' 32.28''}{2} = 32.421 \text{ m}$$

6. Externa.

$$E = R_c \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta_c}{2}} - 1 \right) \rightarrow E = 76.394 \left(\frac{1}{\cos \frac{45^\circ 59' 32.28''}{2}} - 1 \right) = 6.595 \text{ m}$$

7. Ordenada Media.

$$M = R_c (1 - \cos \frac{\Delta_c}{2}) \rightarrow M = 76.394 (1 - \cos \frac{45^\circ 59' 32.28''}{2}) = 6.071$$

8. Cuerda larga.

$$C = 2 R_c \sin \frac{\Delta_c}{2} \rightarrow C = 2 (76.394) \sin \frac{45^\circ 59' 32.28''}{2} = 59.689 \text{ m}$$

9. Punto donde comienza la curva (PC).

$$PC = PI - ST = 351.21 - 32.421 = 318.79$$

10. Punto donde termina la curva (PT):

$$PT = PC + lc = (318.79) + 61.323 = 380.11\text{m}$$

11. Con los datos de Grado de curvatura ($G_c = 15^\circ 00'$) y la velocidad de proyecto ($V_p = 40$ km/hr) ingresamos a la tabla 004-5 de las Normas de Servicios Técnicos sobre Ampliaciones, sobreelevaciones y Transiciones para carreteras tipo E y D en la página número 37 y resolvemos de la siguiente manera:

VELOCIDAD		30			40			50			60			70		
Gc	Rc	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le
0° 30'	2291.84	20	3.0	10	20	3.0	13	20	3.0	16	30	3.0	19	30	3.0	22
1° 00'	1145.92	20	3.0	10	20	3.0	13	30	3.0	16	30	3.0	19	30	3.0	22
1° 30'	763.94	20	3.0	10	30	3.0	13	30	3.0	16	30	3.0	19	40	3.0	22
2° 00'	572.96	20	3.0	10	30	3.0	13	30	3.0	16	40	3.0	19	40	3.0	22
2° 30'	458.37	30	3.0	10	30	3.0	13	40	3.0	16	40	3.0	19	50	3.0	22
3° 00'	381.97	30	3.0	10	40	3.0	13	40	3.0	16	50	3.0	19	50	4.0	22
3° 30'	327.40	30	3.0	10	40	3.0	13	40	3.0	16	50	3.2	19	60	4.7	26
4° 00'	286.48	30	3.0	10	40	3.0	13	50	3.0	16	50	3.6	19	60	5.3	30
4° 30'	254.65	40	3.0	10	40	3.0	13	50	3.0	16	60	4.1	20	60	6.0	34
5° 00'	229.18	40	3.0	10	50	3.0	13	50	3.0	16	60	4.5	22	70	6.7	37
5° 30'	208.35	40	3.0	10	50	3.0	13	50	3.2	16	60	5.0	24	70	7.3	41
6° 00'	190.99	40	3.0	10	50	3.0	13	60	3.5	16	60	5.5	26	70	8.0	45
6° 30'	176.29	50	3.0	10	50	3.0	13	60	3.8	16	70	5.9	28	80	8.7	49
7° 00'	163.70	50	3.0	10	50	3.0	13	60	4.1	16	70	6.4	31	80	9.3	52
7° 30'	152.79	50	3.0	10	60	3.0	13	70	4.4	18	70	6.8	33	80	10.0	56
8° 00'	143.24	50	3.0	10	60	3.0	13	70	4.7	19	80	7.3	35			
8° 30'	134.81	50	3.0	10	60	3.0	13	70	5.0	20	80	7.7	37			
9° 00'	127.32	50	3.0	10	60	3.0	13	70	5.3	21	80	8.2	39			
9° 30'	120.62	60	3.0	10	70	3.2	13	70	5.5	22	80	8.6	41			
10° 00'	114.59	60	3.0	10	70	3.3	13	80	5.9	24	90	9.1	44			
11° 00'	104.17	60	3.0	10	70	3.7	13	80	6.5	26	90	10.0	48			
12° 00'	95.49	60	3.0	10	80	4.0	13	90	7.1	28						
13° 00'	88.15	70	3.0	10	80	4.3	14	90	7.6	31						
14° 00'	81.85	70	3.0	10	80	4.7	15	90	8.2	33						
15° 00'	76.39	70	3.0	10	90	5.0	16	100	8.8	36						
16° 00'	71.62	80	3.0	10	90	5.3	17	100	9.4	38						
17° 00'	67.41	80	3.0	10	90	5.7	18	110	10.0	40						
18° 00'	63.66	80	3.0	10	100	6.0	19									
19° 00'	60.31	90	3.2	10	100	6.3	20									
20° 00'	57.30	90	3.3	10	100	6.7	21									
22° 00'	52.09	100	3.7	10	110	7.3	23									
24° 00'	47.75	100	4.0	10	120	8.0	26									
26° 00'	44.07	110	4.3	10	130	8.7	28									
28° 00'	40.93	110	4.7	11	130	9.3	30									
30° 00'	38.20	120	5.0	12	140	10.0	32									
32° 00'	35.81	130	5.3	13												
34° 00'	33.70	130	5.7	14												
36° 00'	31.83	140	6.0	14												
38° 00'	30.16	150	6.3	15												
40° 00'	28.65	150	6.7	16												
42° 00'	27.28	160	7.0	17												
44° 00'	26.04	160	7.3	18												
46° 00'	24.91	170	7.7	18												
48° 00'	23.87	180	8.0	19												
50° 00'	22.92	180	8.3	20												
52° 00'	22.04	190	8.7	21												
54° 00'	21.22	190	9.0	22												
56° 00'	20.46	200	9.3	22												
58° 00'	19.76	200	9.7	23												
60° 00'	19.10	210	10.0	24												

Ac Ampliación de la calzada y la corona, en cm.
En carreteras tipo E no se dará la ampliación por curvatura a menos que se proyecten libraderos en curva horizontal.

Sc Sobreelevación, en porcentaje.

Le Longitud de la transición mixta, en metros.

Tabla 3.8. Ampliaciones, sobreelevaciones y transiciones para carreteras tipo C y D

Longitud de espiral (Le) = 16.00 m.

Ampliación de curva (Ac) = 0.90 m.

Sobreelevación (Sc) = 5.00 %

12. Calculo de los kilometrajes más importantes de la curva circular simple.

Para la determinación de estos puntos se debe de presentar este caso:

- a) La curva circular debe de cumplir la condición de que al menos el tercio central de la curva contenga la sobreelevación máxima ($Le/2 \leq Lc/3$).

Los puntos auxiliares se obtienen con las siguientes expresiones:

$$TT_1 = PC - (Le/2) \quad N_1 = TT_1 - N$$

$$TT_2 = PC + (Le/2) \quad N_2 = TT_1 + N$$

$$TT_3 = PT - (Le/2) \quad N_3 = TT_4 - N$$

$$TT_4 = PT + (Le/2) \quad N_4 = TT_4 + N$$

$$N = (Le/Sc) \times b$$

$$N = \frac{b * Le}{Sc} = \frac{2 (16)}{5} = 6.4 m.$$

$$TT_1 = PC - \frac{Le}{2} = 318.79 - \frac{16}{2} = 310.79$$

$$N_1 = TT_1 - N = 310.79 - 6.4 = 304.39$$

$$N_2 = TT_1 + N = 310.79 + 6.4 = 317.19$$

$$PSM_1 = PC + \frac{Le}{2} = 318.79 + \frac{16}{2} = 326.79$$

$$PSM_2 = PT - \frac{Le}{2} = 380.11 - \frac{16}{2} = 372.11$$

$$TT_2 = PT + \frac{Le}{2} = 380.11 + \frac{16}{2} = 388.11$$

$$N_3 = TT_2 - N = 388.11 - 6.4 = 381.71$$

$$N_4 = TT_2 + N = 388.11 + 6.4 = 394.51$$

$$L = PC - TT_1 = 318.79 - 310.79 = 8$$

$$\text{Por lo tanto, } S = \frac{L}{Le} Sc = \frac{8}{16} 5.0 = 2.5 \%$$

Una vez obtenidos los puntos auxiliares más importantes de la curva circular simple realizamos un compendio de estos datos en una tabla para después proceder a trazarla en campo.

$$_ Km P.I = 0 + 351.210$$

$$\underline{\quad S.T = 32.421 \quad}$$

$$Km.P.C = 0 + 318.789$$

$$+ \underline{\quad L.C = 61.323 \quad}$$

$$Km P.T = 380.112$$

$$Dm = \frac{G}{40} = \frac{15^\circ}{40} = 0^\circ 22'30'' ;$$

$$G = 15^\circ 00' \quad \therefore \quad C = 20 m.$$

DEFLEXIONES PARCIALES:

$$D1 = (0^\circ 22' 30'') (1.211) = 0^\circ 27' 15''$$

$$D2 = (0^\circ 22' 30'') (20.00) = 7^\circ 30' 00''$$

$$D3 = (0^\circ 22' 30'') (0.112) = 0^\circ 02' 31''$$

ESTACION		CUERDA	DEFLEXIONES PARCIALES	DEFLEXIONES TOTALES
0+318.789	PC	-----	-----	0°00'00''
0+320.00		1.211	0°27'15''	0°27'15''
0+340.00		20.00	7°30'00''	7°57'15''
0+360.00		20.00	7°30'00''	15°27'15''
0+380.00		20.00	7°30'00''	22°57'15''
0+380.112	PT	0.112	0°02'31''	22°59'46'' = $\Delta/2$
LC		61.323		

DEFLEXION TOTAL:

Para obtener la Deflexión total basta con realizar la **suma progresiva** de cada una de las deflexiones parciales dando el resultado por la mitad del valor de la deflexión entre las tangentes que componen la curva.

Nota: Entre los resultados obtenidos en este ejemplo y los obtenidos por la SCT existen variaciones de centésimas producto del redondeo de los resultados, aun así el resultado se considera correcto.

3.6.4) CURVAS CIRCULARES CON ESPIRALES DE TRANSICIÓN

Cuando un vehículo pasa de un tramo de 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 la ampliación necesarias. Para lograr este cambio gradual se usan las curvas de transición.

Se define como curva de transición a la liga entre una tangente y una curva circular, teniendo como principal característica que en su longitud se realiza de manera gradual y continua un cambio en el valor del radio de curvatura.

Curva circular simple con espirales de transición: Constan de una espiral de entrada, una curva circular simple y una espiral de salida. Cuando las espirales de entrada y salida tienen la misma longitud, la curva se denomina simétrica, de no ser así se dice que es asimétrica. Este tipo de curvas se utilizan exclusivamente en carreteras tipo A, B y C y solo cuando la sobreelevación de las curvas circulares sea de 7% o mayor.

Las curvas circulares con espirales de transición tienen los elementos que la componen.

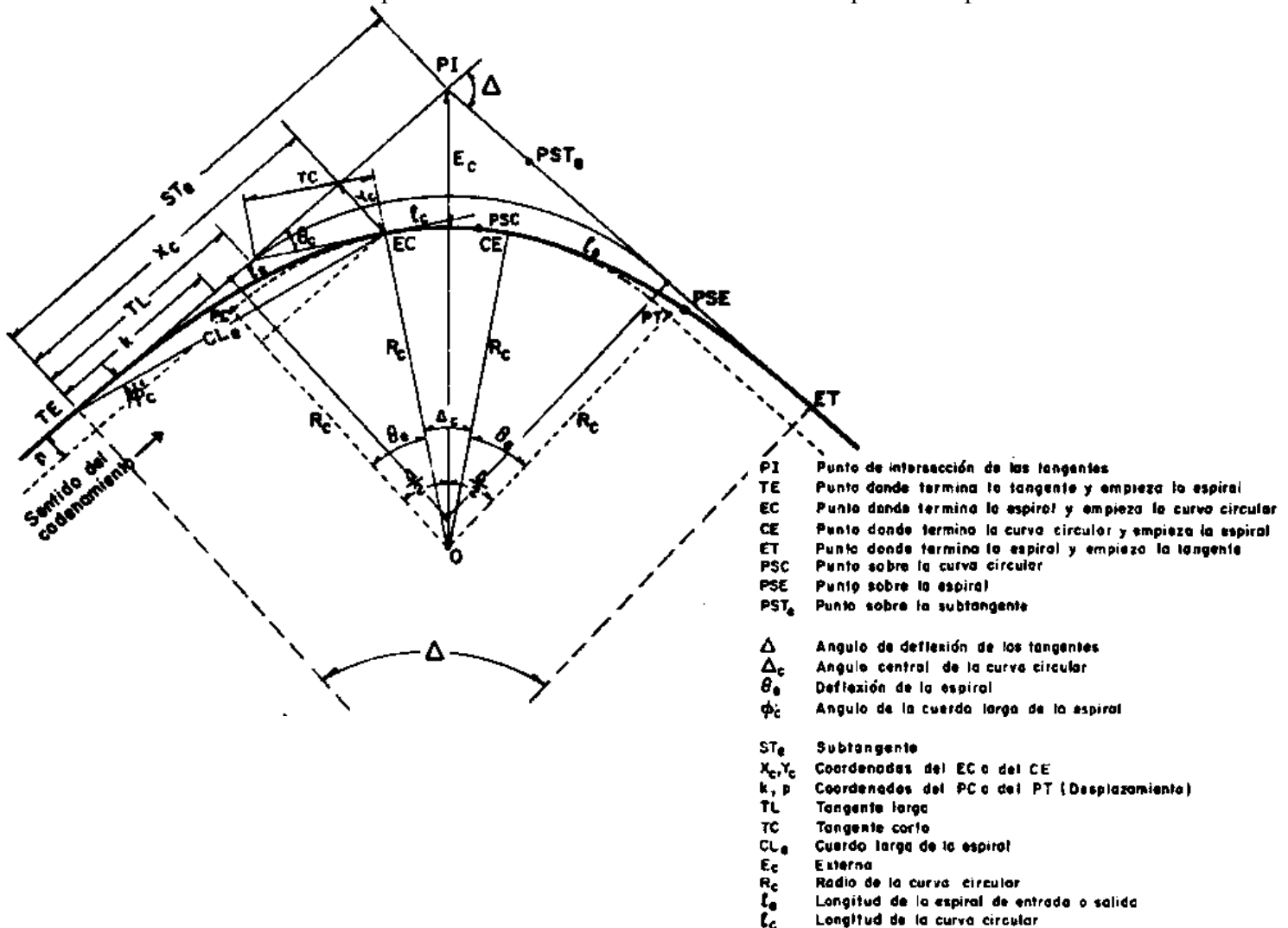


Figura 3.9. Elementos de la curva circular con espirales

- 1) Grado de la curvatura de la curva circular.- Es el ángulo que subtiende un arco de 20 m. en la curva circular

$$Gc = \frac{1145.92}{Rc}$$

En donde Rc = Radio de la curva circular

- 2) Longitud de la espiral.- es la longitud medida sobre la curva entre el TE y EC o del CE al ET. Su valor mínimo se determina con la siguiente manera:

$$Le = 8VS$$

En donde:

Le = Longitud de la espiral (mts)

V = Velocidad del proyecto (km/h)

S = sobreelevación de la curva circular en (m/m)

Para carreteras tipo A-4, la longitud de la espiral calculada con esta expresión deberá multiplicarse por 1.7

- 3) Parámetros de la espiral.- es la magnitud que define las dimensiones de la espiral.

$$K = \sqrt{Rc \, lc}$$

- 4) Deflexión de la curva.- Es el ángulo comprendido entre las normales a las tangentes en TE y ET. Su valor es igual a la deflexión de las tangentes y se representa con Δ .

- 5) Angulo central de la curva circular.- Es el ángulo formado entre el EC y CE medido a partir del centro de la curva circular.

$$\Delta c = \Delta - 2\theta e$$

- 6) Deflexión a un punto cualquiera de la espiral.- Es el ángulo comprendido entre la tangente en TE o ET y la tangente en un punto cualquiera PSE.

$$\theta = \left(\frac{L}{Le}\right)^2 \theta c$$

- 7) Deflexión de la espira.- Es el ángulo comprendido entre las tangentes a la espiral en sus puntos extremos

$$\theta e = \frac{Gc Le}{40}$$

- 8) Longitud de la curva.- Es la longitud del arco entre el EC y CE.

$$lc = \frac{20\Delta c}{Gc}$$

- 9) Longitud total de la curva.- Es la suma de las longitudes de las dos espirales de transición y de la longitud de curva circular

$$L_T = 2 L_e + l_c$$

- 10) Coordenadas del EC o del CE de la curva.

$$X_c = \frac{L_e}{100} (100 - 0.00305 \theta_e^2)$$
$$Y_c = \frac{L_e}{100} (0.582 \theta_e - 0.0000126 \theta_e^3)$$

- 11) Coordenadas del PC o del PT de la curva circular

$$p = Y_c - R_c (1 - \cos \theta_e)$$
$$k = X_e - R_c \sin \theta_e$$

- 12) Subtangente.- Es la diferencia entre el PI y el TE o ET de la curva, medida sobre la prolongación de la tangente.

$$ST_e = k + (R_c + p) \tan \frac{\Delta}{2}$$

- 13) Externa.- Es la distancia entre el PI y la curva y se denomina Ec.

$$E_c = (R_c + p) \frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - R_c$$

- 14) Cuerda.- Es la recta comprendida entre dos puntos de la curva. Si estos puntos son el TE y EC o el ET y el CE, a la cuerda resultante se le denomina cuerda larga

$$C_e = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

Para la cuerda larga

$$CL_e = \sqrt{X_c^2 + Y_c^2}$$

- 15) Angulo de la cuerda.- Es el ángulo comprendido entre la prolongación de la tangente y la cuerda considerada.

$$\phi = \arctan \frac{y}{x}$$

- 16) Tangente larga.- es el tramo de subtangente comprendido entre el TE o ET y la intersección con la tangente a EC o CE.

$$TL = X_c - Y_c \frac{1}{\sin \theta_e}$$

- 17) Tangente corta.- Es el tramo de la tangente a Ce o EC comprendida entre uno de estos puntos y la intersección con la subtangente correspondiente.

$$TC = Y_c \frac{1}{\sin \theta_e}$$

18) Punto donde termina la tangente y empieza la espiral (TE)

$$TE = PI - ST_e$$

19) Punto donde termina la espiral y empieza la curva circular (EC)

$$EC = TE + Le$$

20) Punto donde termina la curva circular y empieza la espiral (CE)

$$CE = EC + l_c$$

21) Punto donde termina la espiral y empieza la tangente (ET)

$$ET = CE + Le$$

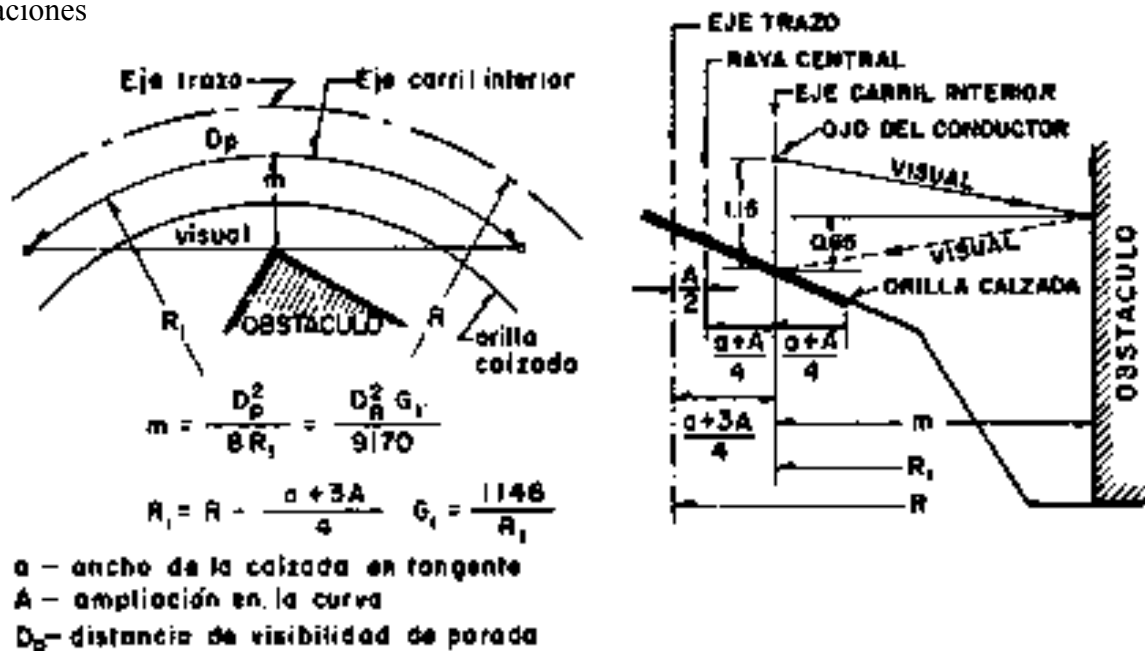
3.6.5) VISIBILIDAD EN CURVAS HORIZONTALES

La seguridad del tránsito en las autopistas requiere ciertas distancias mínimas de visibilidad para poder asegurar una distancia de frenado si se encuentran objetos en la carretera. Se considera conveniente una distancia mínima de frenado entre los 140 y 170 metros para una velocidad de 90 km/h.

La distancia de visibilidad horizontal puede verse restringida en el interior de las curvas horizontales por objetos tales como pilas de puentes, edificios, barreras de concreto o metálicas, cortes, etc. Por tal razón, debe verificarse que se cuente con una distancia libre de obstáculos mínima **m** del eje del carril interior a obstáculos en el interior de curvas horizontales, para dar la distancia de visibilidad de parada o de rebase, según se desee satisfacer una u otra en la curva.

El valor de **m** depende del grado de curvatura, pero también de la distancia de visibilidad (sea de parada o de rebase), por lo cual, al actualizar las distancias mexicanas de visibilidad, también deben modificarse los correspondientes valores de **m** tanto para parada como para rebase.

La grafica de la figura 3.11 permite comparar las condiciones existentes en el proyecto con las recomendaciones



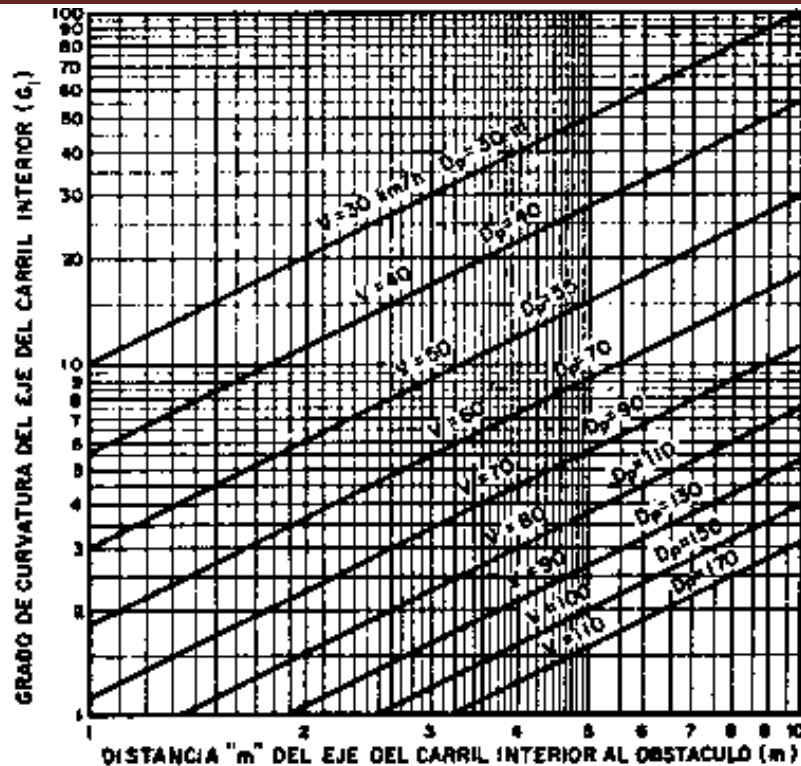


Figura 3.10. Distancia mínima necesaria a obstáculos en el interior de curvas circulares para dar la distancia de visibilidad de parada

Figura 3.11 compara los valores de m en la normativa mexicana vigente para satisfacer la distancia de visibilidad de parada (columna 2), contra sus correspondientes valores recomendados (columna 3) para un radio de curvatura (del eje del carril interior) de 300 m. Como es evidente, para la mayor velocidad de proyecto considerada en la tabla (110 km/h), el valor de m en la columna 3 es 88% mayor que el de la columna 2.

Comparativa de los valores de “ m ” en la normativa mexicana vigente para satisfacer la distancia de visibilidad de parada contra sus correspondientes valores recomendados para un radio de curvatura (del eje del carril interior) de 300 m

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	“ m ” en la normativa vigente (m)	“ m ” recomendadas (m)
30	0.38	0.38
40	0.67	0.84
50	1.26	1.76
60	2.34	3.01
70	3.76	5.04
80	5.51	8.17
90	7.59	12.04
100	10.01	17.51
110	12.76	24.00

Figura 3.11. Comparativa de los valores “ m ”

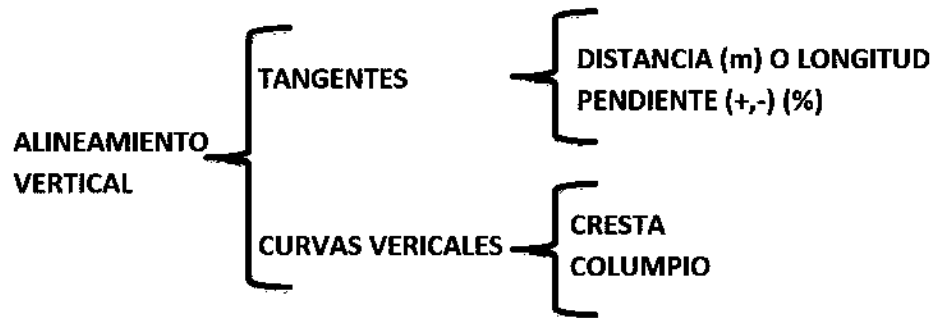
3.6.6) NORMAS GENERALES DE ALINEAMIENTO HORIZONTAL

La normativa del proyecto geométrico nos señala algunas normas generales que deben estar comprendidas dentro del alineamiento horizontal, las cuales indicaremos a continuación:

1. La seguridad al tránsito que debe ofrecer el proyecto es la condición que debe tener preferencia.
2. La topografía condiciona muy especialmente los radios de curvatura y la velocidad de proyecto.
3. La distancia de visibilidad debe ser tomada en cuenta en todos los casos, porque con frecuencia la visibilidad requiere radios mayores que la velocidad en sí.
4. El alineamiento debe ser tan direccional como sea posible sin dejar de ser consciente con la topografía. Una línea que se adapta al terreno natural es preferible a otra con tangentes largas pero con repetidos cortes y terraplenes.
5. Para una velocidad de proyecto dada, debe evitarse dentro de lo razonable, el uso de la curvatura máxima permisible, dejando la curva máxima para las condiciones más críticas.
6. Debe procurarse un alineamiento uniforme que no tenga quiebres bruscos en su desarrollo, por lo que deben evitarse curvas forzadas después de tangentes largas o pasar repentinamente de tramos de curvas suaves a otros de curvas forzadas.
7. En terraplenes altos y largos sólo son aceptables alineamientos rectos o de muy suave curvatura, pues es muy difícil para un conductor percibir alguna curva forzada y ajustar su velocidad a las condiciones prevalecientes.
8. En camino abierto debe evitarse el uso de curvas compuestas, sobretodo donde sea necesario proyectar curvas forzadas. Las curvas compuestas se pueden emplear siempre y cuando la relación entre el radio mayor y el menor sea igual o menor a 1.5
9. Debe evitarse el uso de curvas inversas que presenten cambios de dirección rápidos, pues dichos cambios hacen difícil al conductor mantenerse en su carril, resultado peligrosa la maniobra. Las curvas inversas deben proyectarse con una tangente intermedia, la cual permite que el cambio de dirección sea suave y seguro.
10. Un alineamiento con curvas sucesivas en la misma dirección debe evitarse cuando existan tangentes cortas entre ellas, pero puede proporcionarse cuando las tangentes sean mayores a 500 metros.
11. Para anular la apariencia de distorsión, el alineamiento horizontal debe estar coordinado con el vertical.
12. Es conveniente limitar el empleo de tangentes muy largas, pues la atención de los conductores se concentra durante largo tiempo en puntos fijos, que motivan somnolencia, especialmente durante la noche, por lo cual es preferible proyectar un alineamiento ondulado con curvas amplias.

3.7) ALINEAMIENTO VERTICAL

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical, del desarrollo del eje de la subcorona, la cual también se le llama subrasante; y está integrado por tangentes y curvas verticales como se muestra a continuación:



La proyección del eje en un tramo recto define la tangente y el enlace de dos tangentes consecutivas, de pendiente diferente, se efectúa por medio de una curva. (Figura 3.12)

En general, el tipo de curva empleada en caminos es la *parábola*.

3.7.1) TANGENTES

Se definen como las rectas que unen a las curvas a través de una proyección vertical, se caracterizan por su longitud y su pendiente. La longitud de la tangente se mide a partir de una proyección horizontal medida a partir de fin de la curva anterior y el principio de la siguiente curva, se representa como T_v . La pendiente de la tangente se define como la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma recta.

Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le denomina PIV, y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se representa con la letra A .

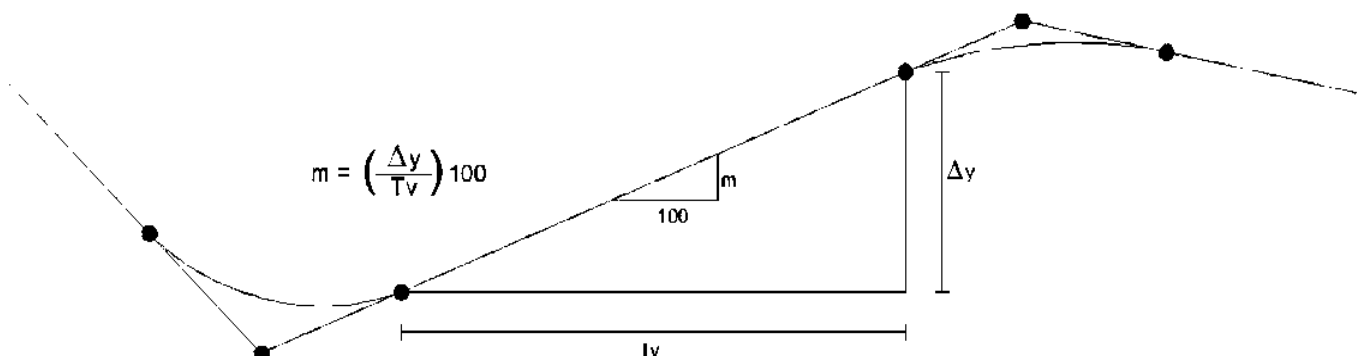


Figura 3.12. Tangentes Verticales

3.7.2) PENDIENTES

La pendiente representa la medida de las inclinaciones de las subidas o descensos en la carretera coloquialmente conocidas como cuestas.

Respecto al alineamiento vertical, el proyectista debe cuidar que el cambio de pendientes sea gradual, en armonía con el tipo de carretera y con la topografía del terreno, de preferencia pendientes grandes con longitudes largas, en su lugar preferir acomodar longitudes cortas con algunos quiebres o tramos con pequeña pendiente donde los vehículos puedan retomar impulso.

Aunque las especificaciones indican máxima pendiente permitida y máxima longitud permitida, la manera como el proyectista aplica estos criterios para lograr acomodar el proyecto en armonía con el terreno y con el servicio que debe dar al usuario, determinará al final de cuentas la calidad del proyecto terminado, para esto nos regimos en las siguientes definiciones y características.

a) Pendiente gobernadora.

Es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea Subrasante, en función de las características del tránsito y de la configuración del terreno, la mejor pendiente será aquella que al combinar estos conceptos nos da el menor costo de construcción, conservación y operación. Esta servirá como norma para todas aquellas pendientes que se deban proyectar en el camino

b) Pendiente máxima.

Es la mayor pendiente que se permite en el proyecto queda determina por el volumen y la composición del tránsito previsto y la configuración del terreno, esta se empleara cuando convenga desde el punto de vista económico, para salvar ciertos obstáculos locales tales como cantiles, fallas y zonas inestables, todo esto siempre y cuando no rebase la longitud critica. En la tabla siguiente se ven pendientes recomendadas por las normas de la SCT. Figura 3.13. Valores permisibles de pendiente máxima y gobernadora.

CONCEPTO	UNIDAD	TIPO DE CARRETERA																													
		E					D					C						B						A							
TERRENO	MONTAÑOSO																														
	LOMERÍO																														
	PLANO																														
VELOCIDAD DE PROYECTO	km/h	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	40	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	110	110	60	70	80	90	100	110
PENDIENTE GOBERNADORA	%	9					8					6						5						4							
		7					6					5						4						3							
PENDIENTE MÁXIMA	%	13					12					8						7						6							
		10					9					7						6						5							
		7					6					5						4						4							

Figura 3.13. Pendiente gobernadora y máxima para cada tipo de terreno respecto a la velocidad de proyecto

c) Pendiente mínima.

Se fija para permitir el drenaje cuando el trazo va en corte se recomienda una pendiente de 0.5% mínimo para permitir el adecuado funcionamiento de las cunetas.

En terraplenes la pendiente mínima puede ser nula, es decir, 0%. Este porcentaje solo se considera en gabinete, ya que en la construcción la longitud de los cortes y la precipitación pluvial en la zona podrán llevar a aumentar. Es por esto que la pendiente mínima deseable que garantiza el adecuado funcionamiento será del 0.3%. En la selección de uno de los dos valores anteriores se debe tener en cuenta el criterio de frecuencia, intensidad de las lluvias y el espaciamiento de las obras de drenaje tales como alcantarillas y aliviaderos, para que exista un mayor desagüe del agua pluvial pero sobre todo para que brinde mayor seguridad.

d) Longitud crítica.

Es la Longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá de un límite previamente establecido, el vehículo de proyecto, la configuración del terreno, el volumen y la composición del tránsito son elementos que intervienen para la determinación de la longitud crítica.

Por lo tanto, analizando el tipo terreno de nuestro proyecto geométrico, así como su velocidad además el proyecto del camino corresponde a un camino **TIPO “D”** con las características principales siguientes:

- **Longitud total** ----- 3.058 KM
- **Grado máximo de curvatura** ----- 30 %
- **Velocidad de proyecto** ----- 30.0-70.0 km/hr.
- **Terreno** ----- Plano

Ingresando en la figura 3.13, obtenemos la pendiente máxima la cual oscila entre 12 y el 6 % y la cual la vamos a considerar de:

- **Pendiente máxima** ----- 11%

Aunque las especificaciones indican máxima pendiente permitida y máxima longitud permitida, la manera como el proyectista aplica estos criterios para lograr acomodar el proyecto en armonía con el terreno y con el servicio que debe dar al usuario, determinará al final de cuentas la calidad del proyecto terminado.

3.7.3) CURVAS VERTICALES

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida.

Deben dar por resultado una vía de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas.

El punto común de una tangente y una curva vertical en su origen se denomina PCV, y PTV al punto común de la tangente y la curva al final de ésta. Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le designa como PIV, y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se le representa por la letra “A”.

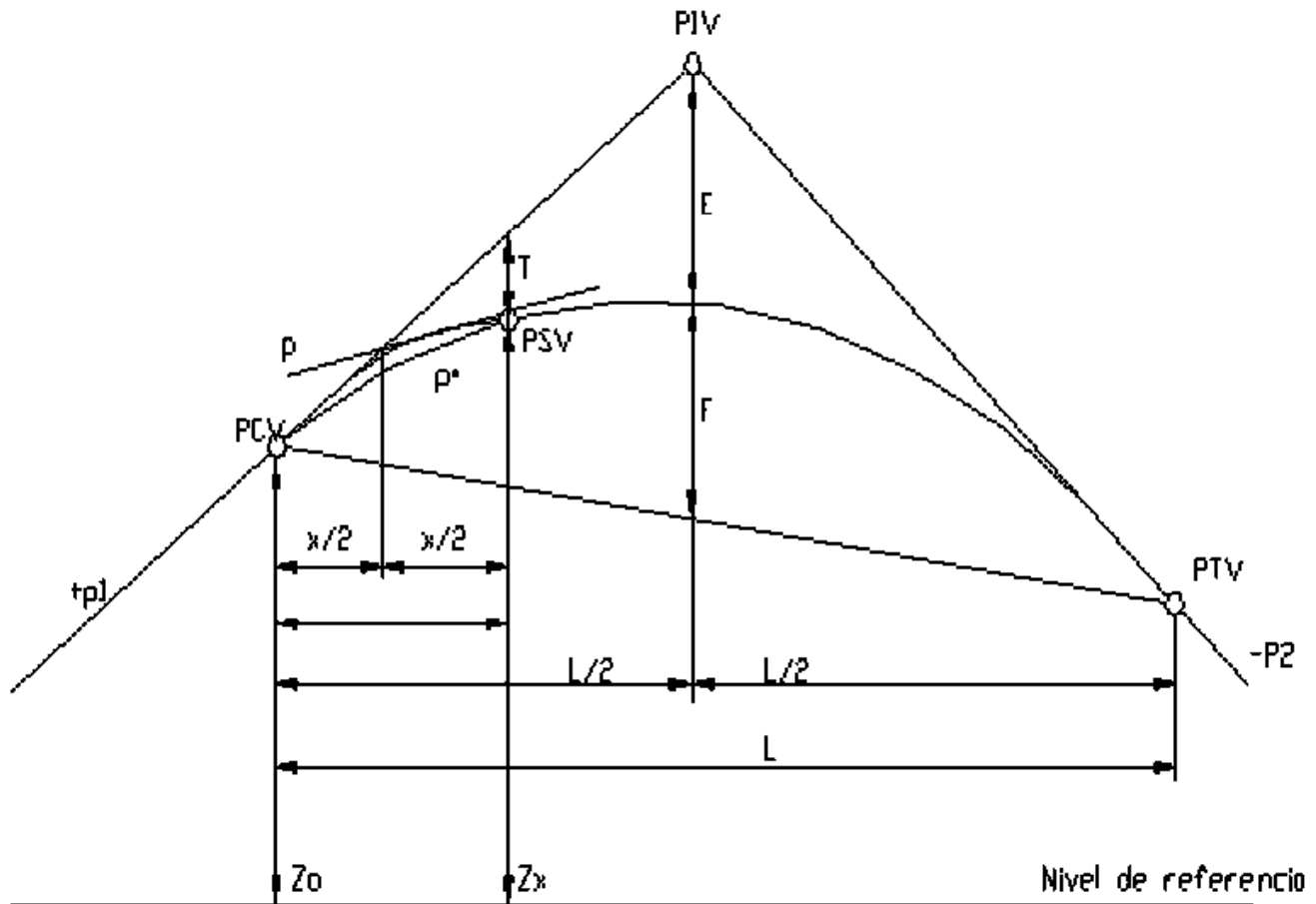


Figura 3.14. Elementos de la curva vertical

PIV = Punto de intersección de las tangentes verticales

PCV = Punto en donde comienza la curva vertical

PTV = Punto en donde termina la curva vertical

PSV = Punto cualquiera sobre la curva vertical

P1 = Pendiente de la tangente de entrada, en por ciento.

P2 = Pendiente de la tangente de salida, en por ciento

A = Diferencia algebraica de pendientes

L = Longitud de la curva vertical, en metros

K = Variación de longitud por unidad de pendiente (parámetro); $K = L/A$

X = Distancia del PCV a un PSV, en metros

P = Pendiente en un PSV, en por ciento; $P = P_1 - A(X/L)$

P' = Pendiente de una cuerda, por ciento; $P' = 1/2(P_1 + P)$

E = Externa, en metros; $E = (A^2 L)/8$

F = Flecha, en metros; $F = E$

T = Desviación de un PSV a la tangente de entrada, en metros; $T = 4E(X/L)^2$

Z0 = Elevación del PCV, en metros

Zx = Elevación de un PSV, en metros

Nota: Si X y L se expresan en estaciones de 20 m la elevación de un PSV puede calcularse con cualquiera de las expresiones:

$$Z_x = Z_0 + (20 p_1 - (10AX/L)) * X$$

$$Z_x = Z_0 - 1 + 20 p_1 - (10A/L) * (2X - 1)$$

$$A = P_1 - (-P_2)$$

TIPOS DE CURVAS VERTICALES

Las curvas verticales se pueden clasificar por su forma como curvas verticales cóncavas y convexas, también llamadas curvas de columpio y cresta respectivamente. Y de acuerdo con la proporción entre sus ramas que las forman como simétricas y asimétricas. En la Figura siguiente se indican las curvas verticales cóncavas (en columpio) y convexas (en cresta).

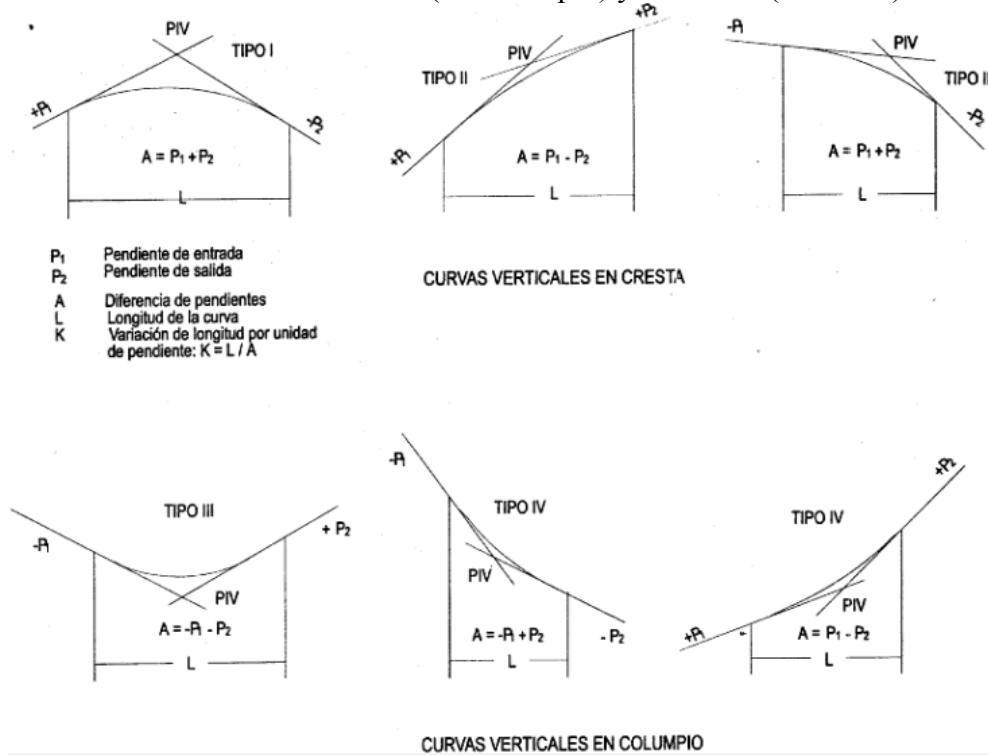
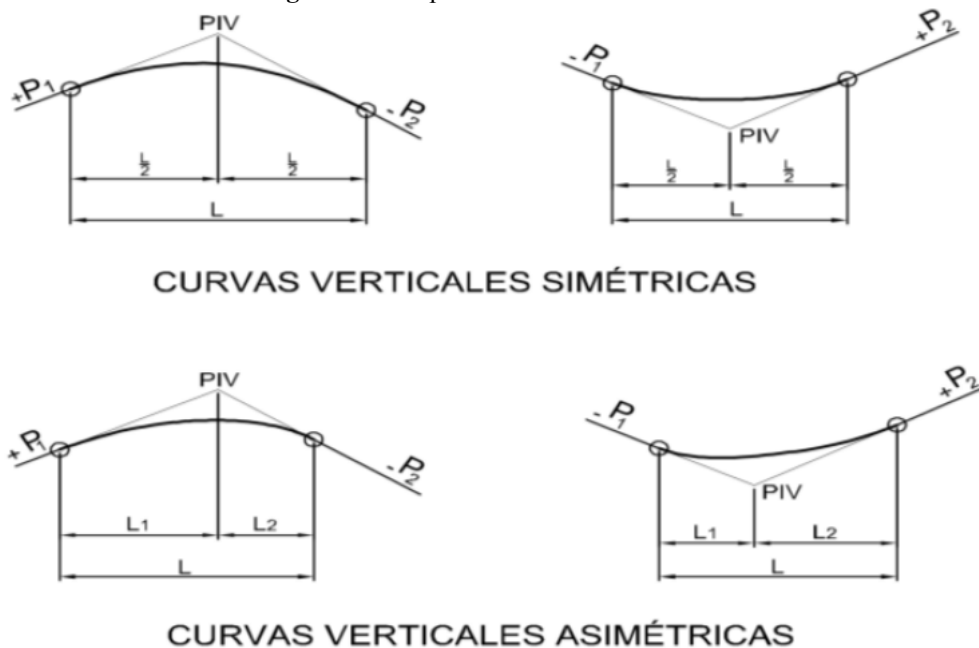


Figura 3.15. Tipos de curvas verticales



L = Longitud de la curva L_1 = Longitud rama de entrada L_2 = Longitud rama de salida

Figura 3.15. Tipos de Curvas verticales simétricas y asimétricas

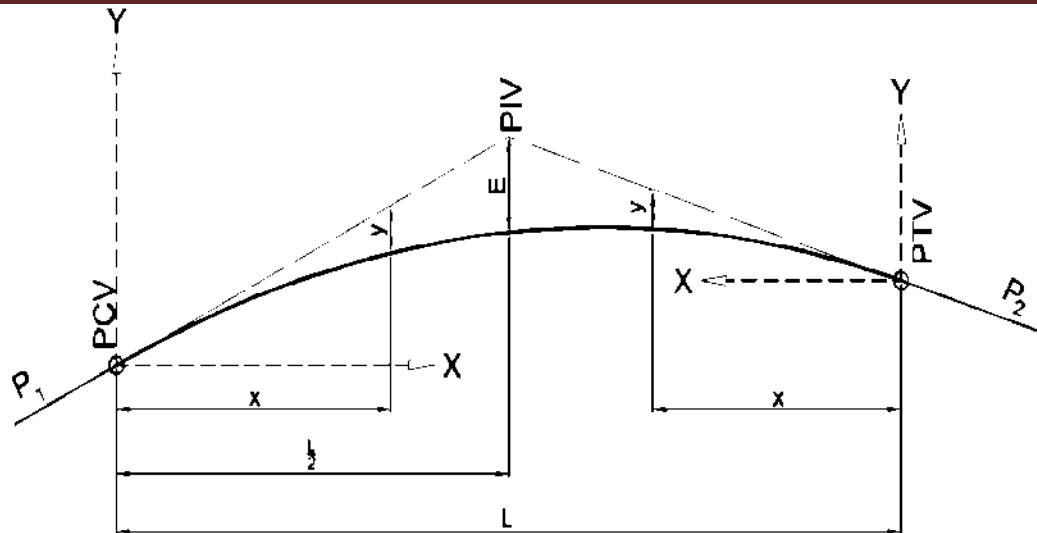


Figura 3.16. Elementos de la curva vertical simétrica

Dónde:

PCV: Principio de la curva vertical.

PIV: Punto de intersección de las tangentes verticales.

PTV: Terminación de la curva vertical.

L: Longitud de la curva vertical, medida por su proyección horizontal, en metros.

P1: Pendiente de la tangente de entrada, en porcentaje (%).

P2: Pendiente de la tangente de salida, en porcentaje (%).

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%), o sea

E: Externa. Ordenada vertical desde el PIV a la curva, dada en metros, se determina así:

$$E = \frac{A * L}{800}$$

X: Distancia horizontal a cualquier punto de la curva desde el PCV o desde el PTV.

Y: Ordenada vertical en cualquier punto, también llamada corrección de la curva vertical, se calcula mediante la expresión:

$$E = \frac{A * L_1 * L_2}{200(L_1 + L_2)}$$

X1: Distancia horizontal a cualquier punto de la primera rama de la curva medida desde el PCV.

X2: Distancia horizontal a cualquier punto de la segunda rama de la curva medida desde el PTV.

Y1: Ordenada vertical en cualquier punto de la primera rama medida desde el PCV, se calcula mediante la expresión:

$$Y1 = E \left(\frac{X1}{L1} \right)^2$$

Y2: Ordenada vertical en cualquier punto de la segunda rama medida desde el PTV, su ecuación es:

$$Y2 = E \left(\frac{X2}{L2} \right)^2$$

DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE LA CURVA VERTICAL

Los criterios para la selección de la longitud de la curva vertical que a continuación se indican son aplicables para las curvas simétricas y asimétricas y son los siguientes:

-Criterio de seguridad

Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical para que en toda su trayectoria la distancia de visibilidad sea mayor o igual a la de parada (D_P). Es pertinente manifestar que en algunos casos el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales que satisfagan la distancia de visibilidad de rebase (D_R).

- Criterio de operación

Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.

- Criterio de drenaje

Establece una longitud máxima que puede tener la curva vertical para evitar que, por ser muy extensa, en su parte central resulte muy plana dificultándose el drenaje de la calzada.

CURVA CONVEXA (EN CRESTA)

- Longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de seguridad

De acuerdo con el criterio de seguridad, la longitud mínima se obtiene mediante la aplicación de la Distancia de Visibilidad de Parada (D_P). Se presentan dos relaciones entre la distancia de visibilidad (D_P) y la Longitud de la curva (L): Cuando $D_P < L$ y $D_P > L$. Las ecuaciones que se indican a continuación presentan la longitud de la curva para cada relación, teniendo en cuenta la altura del ojo de conductor sobre la calzada (h_1), que es igual a un metro con ocho centímetros (1.08 m), y la altura del obstáculo (h_2), que es igual a sesenta centímetros (0.60 m).

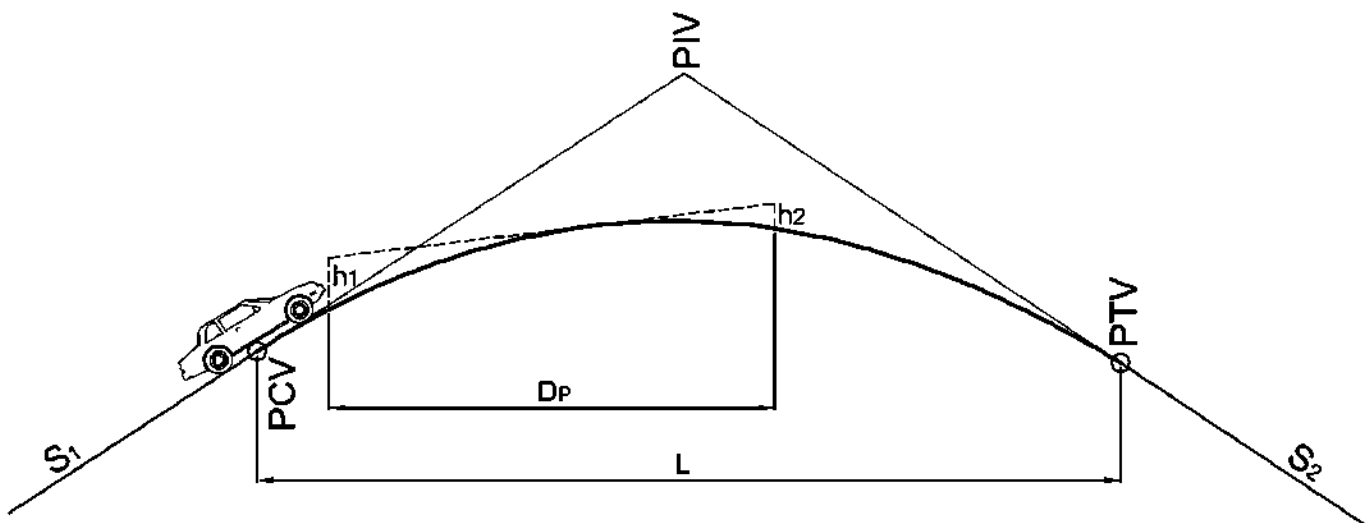


Figura 3.17. Elementos para determinar la longitud mínima de la curva vertical convexa según criterio de seguridad.

- Cuando $DP < L$

$$L_{min} = \frac{A * (D_p)^2}{200 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

Dónde:

L min: Longitud mínima de la curva, en metros.

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).

DP: Distancia de visibilidad de parada, asociada a la Velocidad Específica de la curva vertical (V CV), en metros.

h1: Altura del ojo del conductor, en metros. h1= 1.08 m.

h2: Altura del obstáculo, en metros. h2= 0.60 m.

Reemplazando los valores de h1 y h2 se tiene:

$$L_{min} = \frac{A * (D_p)^2}{658}$$

- Cuando $DP > L$:

$$L_{min} = 2 * D_p - \frac{200 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$

Reemplazando los valores de h1 y h2:

$$L_{min} = 2 * D_p - \frac{658}{A}$$

Por lo tanto,

$$L_{min} = \frac{A * (D_p)^2}{658}$$

De los dos casos anteriores se adopta la ecuación para $DP < L$, debido a que genera valores mayores que cubren los valores asociados a $DP > L$.

El control de la distancia de visibilidad de parada (DP) también se puede hacer mediante el parámetro K, el cual es igual a la relación L/A (distancia horizontal, en metros necesaria para tener un cambio de pendiente de uno por ciento (1%) a lo largo de la curva). Lo anterior se traduce en:

$$K_{min} = \frac{L}{A}$$

Y utilizando la ecuación adoptada se tiene:

$$K_{min} = \frac{(D_p)^2}{658}$$

Los valores de Kmin para curvas convexas se presentan en la Tabla 004-3 del Manual Normas de servicios Técnicos para Proyecto Geométrico de Carreteras de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes 1984 pagina 26, para diferentes Velocidades Específicas de las curvas verticales de acuerdo con la expresión anterior. Por lo tanto, para obtener la longitud mínima de la curva se emplea la expresión:

$$L_{min} = K_{min} * A ; A \text{ en porcentaje (\%)} \text{ y } L_{min} \text{ en metros}$$

$$L = KA$$

Velocidad de proyecto (km/h)	Valores del parámetro K (m/%)			Longitud mínima aceptable (m)
	Curvas en cresta		Curvas en columpio	
	Carretera tipo		Carretera tipo	
	E	D, C, B, A	E,D,C,B,A	
30	4	3	4	20
40	7	4	7	30
50	12	8	10	30
60	23	12	15	40
70	36	20	20	40
80	-	31	25	50
90	-	43	31	50
100	-	57	37	60
110	-	72	43	60

Figura 3.18. Valores mínimos del parámetro K y de la longitud mínima aceptable de las curvas verticales.

- Longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de operación

La aplicación de este criterio evita el cambio súbito de pendiente y permite que el perfil de la vía en la curva vertical tenga una adecuada estética y apariencia.

La longitud mínima de la curva vertical para cumplir con este criterio está en función de la Velocidad de proyecto (V_{cv}) y es dada por la siguiente expresión:

$$L_{min} = 0.6 * V_{cv}$$

Dónde:

$L_{mín}$: Longitud mínima según criterio de operación, en metros.

V_{cv} : Velocidad Proyecto de la curva vertical, en km/h

Las longitudes de curvas que permiten una distancia de visibilidad de adelantamiento son demasiado grandes comparadas con la aplicación de los controles anteriores y se generan valores que son imprácticos e inusuales. No se recomienda proporcionar distancia de visibilidad de rebase en curvas verticales convexas.

- Longitud máxima de la curva vertical convexa según el criterio de drenaje

En el punto más alto de la cresta de una curva vertical convexa con pendiente P_1 y P_2 de diferente signo se tiene un corto tramo a nivel (pendiente = 0%), que dificulta el drenaje longitudinal, para lo cual la AASHTO – 2004 considera que un valor de A igual a cero punto seis por ciento (0.6%) en un tramo de la curva igual a treinta metros (30 m), provee el adecuado drenaje en el sector más plano de la curva.

$$K_{m\acute{a}x} = \frac{30}{0.6} = 50$$

Para garantizar el drenaje adecuado en la cresta de la curva vertical convexa se debe diseñar la curva con un valor de K menor o igual a cincuenta (50).

CURVA CÓNCAVA (EN COLUMPIO)

- Longitud mínima de la curva vertical cóncava a según el criterio de seguridad

En las curvas cóncavas, el análisis de visibilidad considera las restricciones que se presentan en la noche y estima la longitud del sector de carretera iluminado hacia adelante, como la distancia de visibilidad.

Dicha distancia depende de la altura de las luces delanteras del vehículo (H), para la cual se asume un valor de sesenta centímetros (0.60 m) y un ángulo de divergencia del rayo de luz hacia arriba (α) respecto al eje longitudinal del vehículo de un grado (1°).

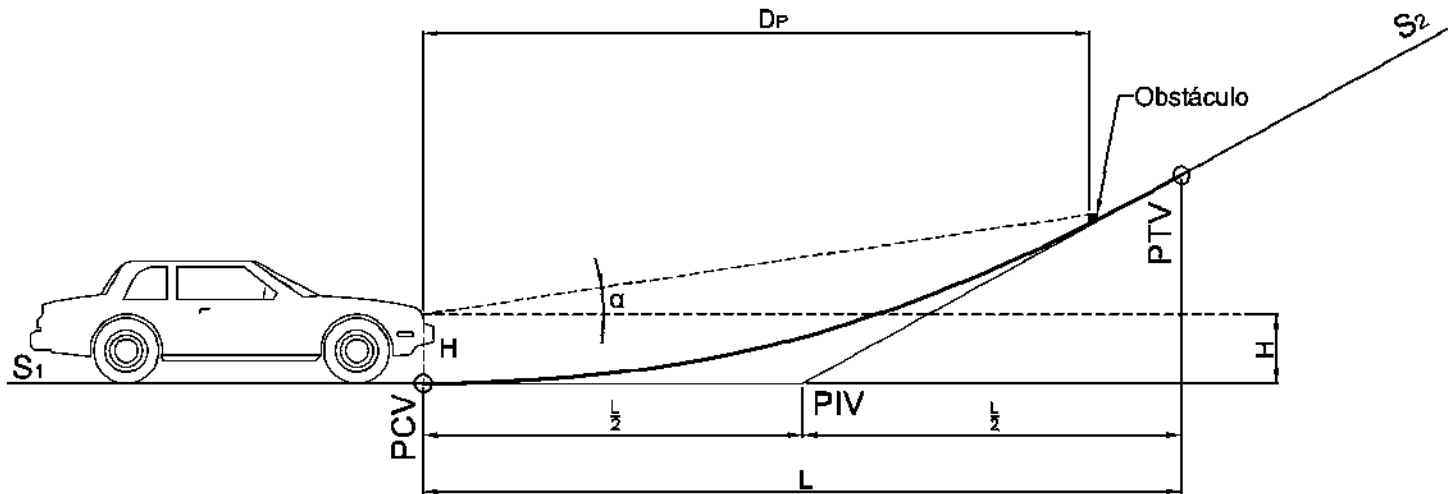


Figura 3.19. Elementos para determinar la longitud mínima de una curva vertical cóncava según el criterio de seguridad.

- De la misma forma que en las curvas convexas se presentan dos situaciones:

- Cuando $D_P < L$

El conductor y el obstáculo están dentro de la curva y la distancia de visibilidad es menor que la longitud de la curva.

En términos generales, se tiene que:

$$L_{min} = \frac{A * (D_P)^2}{200 (H + D_P * \tan \alpha)}$$

Dónde:

DP: Distancia de visibilidad de parada, en metros.

H: Altura de los faros delanteros del vehículo, igual a sesenta centímetros (0.60 m).

α : Ángulo de divergencia de los rayos de luz de los faros delanteros. $\alpha = 1^\circ$.

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).

Reemplazando los valores en la expresión anterior:

$$L_{min} = \frac{A * (D_p)^2}{120 + 3.5 * D_p}$$

Reemplazando el ángulo $\alpha = 1^\circ$:

$$L_{min} = 2 * D_p - \frac{120 + 3.5 * D_p}{A}$$

De los dos casos anteriores se adopta la ecuación para $D_p < L$, debido a que genera valores mayores, que cubren los valores asociados a $D_p > L$.

Por lo tanto:

$$L_{min} = \frac{A * (D_p)^2}{120 + 3.5 * D_p}$$

De igual forma como en las curvas convexas, se puede determinar el parámetro K:

$$L_{min} = \frac{(D_p)^2}{120 + 3.5 * D_p}$$

Los valores de K mín para curvas cóncavas se presentan en la Tabla 004-3 del Manual Normas de servicios Técnicos para Proyecto Geométrico de Carreteras de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes 1984 página 26, para diferentes Velocidades Específicas de las curvas verticales de acuerdo con la expresión anterior.

Por lo tanto, para obtener la longitud mínima de la curva se emplea la expresión:

$$L_{min} = K_{min} * A ; A \text{ en porcentaje (\%)} \text{ y } L_{min} \text{ en metros}$$

$$L = KA$$

Velocidad de proyecto (km/h)	Valores del parámetro K (m/%)			Longitud mínima aceptable (m)
	Curvas en cresta		Curvas en columpio	
	Carretera tipo		Carretera tipo	
	E	D, C, B, A	E,D,C,B,A	
30	4	3	4	20
40	7	4	7	30
50	12	8	10	30
60	23	12	15	40
70	36	20	20	40
80	-	31	25	50
90	-	43	31	50
100	-	57	37	60
110	-	72	43	60

Figura 3.20. Valores mínimos del parámetro K y de la longitud mínima aceptable de las curvas verticales.

Longitud mínima de la curva vertical cóncava según el criterio de Operación

Se aplica el mismo criterio de las curvas convexas y por lo tanto la longitud mínima de la curva cóncava se expresa por:

$$L_{min} = 0.6 * V_{cv}$$

Dónde:

L mín: Longitud mínima según criterio de operación, en metros.

Vcv: Velocidad Proyecto de la curva vertical, en km/h

Para la distancia de visibilidad de adelantamiento, de paso o de rebase, no es indispensable su cálculo, ya que es posible ver las luces del vehículo que viene en sentido contrario.

Longitud máxima de la curva vertical cóncava según el criterio de drenaje

Es necesario controlar la longitud máxima de la curva vertical cóncava para evitar el encharcamiento de las aguas superficiales en el punto más bajo de la curva. De acuerdo con este criterio, se debe diseñar la curva vertical cóncava con un valor de K menor o igual a cincuenta (50).

3.74) EJEMPLO DE CALCULO DE UNA CURVA VERTICAL

DATOS:

Datos de curva (1)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-3.450	8.288	0+260.000	1490.1091	80.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = -11.738%				Tipo de curva: En columpio	

Velocidad del Proyecto (V_p) = 40 km/hr.

1.- Parámetro K para curva en columpio para una $V_p = 40$ km/hr.

$$K = 7$$

2.- Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y salida.

$$A = 8.288 - (-3.450) = 11.738 \%$$

3.- Longitud de la curva vertical.

$$L_{min} = 7 (11.738) = 82.166 \text{ m.}$$

$$L_{propuesta} = 80\text{m.}$$

4.- Elevación de la subrasante donde comienza la curva vertical y de la cota en la tangente (PCV).

$$PCV = 1490.1091 - (-3.450\%) (80/2) = 1491.49 \text{ m.}$$

5.- Elevación de la subrasante donde termina la curva vertical y principia de tangente vertical (PTV).

$$PTV = 1490.1091 + 8.288 \% (80/2) = 1493.42 \text{ m.}$$

6.- Externa vertical.

$$E = \frac{11.738\% (80)}{8} = 1.17\text{m.}$$

7.- Flecha.

$$F = 1.17$$

8.- Cotas en la tangente

$$Cota_T = Cota_{Tant} + (\Delta_{EST}) P1$$

Dónde:

$Cota_{Tant}$ es la elevacion de la tangente anterior

Δ_{EST} Es la diferencia entre estaciones

P1 es la pendiente de entrada

Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)
<i>PCV</i>	0+220.000	1491.489
	0+240.000	1490.799
	0+260.000	1490.109
	0+280.000	1491.767
<i>PTV</i>	0+300.000	1493.424

9.- Constantes

$$Y = \frac{11.738}{\frac{80}{2}} = 0.29345$$

PARA		C
<i>N</i>	<i>n</i> ²	<i>n</i> ² <i>y</i>
0	0	0
1	1	0.29345
2	4	1.1738
3	9	2.64105
4	16	4.6952
5	25	7.33625
6	36	10.5642

10.- Elevaciones de la subrasante

$$ELEV_{SBR} = Cota_T + n^2Y$$

Estación	Elev. (Subrasante/Curva)
0+220.000	1491.489
0+240.000	1491.093
0+260.000	1491.283
0+280.000	1492.060
0+300.000	1493.424

11.- Presentación de cálculo de una curva vertical

Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)
0	<i>PCV</i>	0+220.000	1491.489	1491.489
1		0+240.000	1490.799	1491.093
2		0+260.000	1490.109	1491.283
3		0+280.000	1491.767	1492.060
4	<i>PTV</i>	0+300.000	1493.424	1493.424

3.7.5) PROYECTO DE SUBRASANTE

La subrasante es una sucesión de líneas rectas que son las pendientes unidas mediante curvas verticales, intentando compensar los cortes con los terraplenes.

Las pendientes ascendentes se marcan positivas y las descendentes con el signo inverso, teniendo en cuenta para su magnitud las especificaciones de pendiente, evitando el exceso de deflexiones verticales que desmerita la seguridad y comodidad del camino o el exagerado uso de tangentes que resultaría antieconómico.

Las condiciones topográficas, geotécnicas, hidráulicas y el costo de las terracerías definen el proyecto de la subrasante, por ello se requiere, el realizar varios ensayos para determinar la más conveniente. Una vez proyectada las tangentes verticales se procede a unir las mediante curvas parabólicas.

Determinación económica de la subrasante.

La subrasante económica es aquella que ocasiona el menor costo de la obra, entendiéndose por eso, a la suma de los costos ocasionados durante la construcción, por la operación, y la conservación del camino. Para fines de proyectos, se considera como subrasante económica aquella que ocasione el menor movimiento de terracerías.

Al iniciarse el estudio de la subrasante en un tramo se debe de analizar:

- El alineamiento horizontal definitivo.
- El perfil longitudinal.
- Las secciones transversales del terreno.
- La calidad de los materiales (datos geotécnicos).
- La elevación mínima del proyecto para alojar adecuadamente el drenaje.

Con base a lo anterior se considera que los elementos de construcción que definen el proyecto subrasante son:

Elementos que definen el proyecto de la subrasante.

Los elementos que definen el proyecto de la subrasante económica, son los siguientes:

- A) Condiciones topográficas
- B) Condiciones geotécnicas
- C) Subrasante mínima
- D) Costo de terracerías

A) Condiciones topográficas.

De acuerdo a la configuración del terreno este se considera en los siguientes tipos:

- Plano
- Lomerío

- Montañoso

Estas condiciones quedan definidas por las condiciones topográficas y de relieve que caracterizan a la zona en que se ubica el proyecto de una vía. En términos de caminos, los terrenos se clasifican en terreno plano, lomerío, y montañoso.

- **Terreno plano.**

La sección generalmente se queda en terraplén, con la altura de subrasante suficiente para librar humedades y para dar cavidad a las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel. Los terraplenes serán construidos con material de préstamo de banco o lateral. Generalmente tienen tramos con visibilidad de rebase que no presentan dificultad tanto por el alineamiento horizontal como vertical.

- **Terreno en lomerío.**

Generalmente se proyecta un alineamiento ondulado, que en la mayoría de los casos permitirán aprovechar los materiales productos de los cortes para formar terraplenes contiguos, también se tienen las alturas suficientes para alojar las obras de drenaje

- **Terreno Montañoso.**

El proyecto de la subrasante queda condicionada a la pendiente transversal del terreno y al análisis de las secciones transversales en zonas críticas o en balcón, es decir el diseño de la subrasante trata de que en la mayoría de los casos de la sección quede alojada en corte, generalmente se tiene un gran volumen de corte y por consiguiente fuertes desperdicios

B) Condiciones Geométricas.

La calidad de los materiales que se encuentran en la zona donde se localiza el camino, es un factor muy importante para lograr el proyecto de la subrasante económica, ya que además del empleo que tendrán en formación de terracerías, servirán de apoyo al camino. La elevación de la subrasante está limitada en ocasiones por la capacidad de carga del suelo que servirá de base en el camino.

Para definir las clasificaciones de los materiales así como de resistencia y deformabilidad de los mismos se realizan estudios de geotecnia en el terreno en que se construirá el camino, para realizar estos estudios es necesario tomar muestras del terreno natural por medio de Pozos a Cielo Abierto, por lo general se toman a cada 500 m dependiendo de la uniformidad de los materiales del terreno natural.

Existen tres tipos de materiales de suelos, y su clasificación es la siguiente:

Material tipo “A”: Material blando a suelto, que puede excavarse desde con una pala hasta con motoescrapas, sin tractores empujadores.

Material tipo “B”: Solo puede ser excavado con tractor sobre orugas con cuchilla de inclinación variable, con poco o nada de explosivos.

Material tipo “C”: Material que solo puede ser excavado con el uso de explosivos, también se consideran rocas mayores a 75 cm.

C) Subrasante mínima.

La subrasante económica debe sujetarse a ciertos elementos del camino que definen su elevación mínima y que son básicamente las siguientes:

- Obras menores (alcantarillas).
- Puentes.
- Zonas de inundación.
- Intersecciones.

Alcantarillas: Los elementos a considerar incluyen los del descrito en la parte a, Terreno Plano, además es importante basarse en elevación de despalme, la pendiente según el eje de la obra, el colchón mínimo, el ángulo de esviaje, la altura de la obra, el ancho de la obra, y las pendientes longitudinales y transversales de la obra.

Puentes: Es importante considerar el nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME), aumento del nivel de aguas por estrechamiento del cauce, espacio libre.

Zonas de inundación: La elevación de la subrasante de un camino cuando este pasa por una zona de inundación, se recomienda que tenga como mínimo un metro por arriba del NAME.

Intersecciones: Los cruces que un camino tiene con otras vías de comunicación terrestre, ya sea un proyecto o existentes obligan a una determinada elevación de subrasante, la cual es el punto medio o más alto del camino existente.

D) Costos de Terracerías

La posición que debe guardar la subrasante para obtener la economía máxima en la construcción de terracerías, depende de los siguientes conceptos:

- Costos Unitarios.
- Coeficiente de Variabilidad Volumétrica.
- Distancia Máxima de Sobreacarreo Económico.
- Costos Unitarios.

- Costos Unitarios.

Excavación en corte.

Excavación en préstamo.

Compactación en terraplén de material de corte

Compactación en terraplén de material de préstamo.

Sobreacarreo de material de corte a terraplén

Sobreacarreo de material de corte a desperdicio.

Sobreacarreo de material de corte a préstamo a terraplén.

Costo del terreno afectado para préstamo, desmonte, despalme, dividido entre el volumen de terracerías extraído

- Coeficiente de Variabilidad Volumétrica.

Del material de corte

Del material de préstamo

- Distancia Máxima de Sobreacarreo Económico.

La utilización del material producto del corte en la formación de terraplenes, está condicionado tanto a la calidad del material como a la distancia hasta la que es económicamente posible su transporte.

En manera de resumen tenemos el siguiente cuadro explicativo.

Condiciones topográficas (Donde se traza el camino)	Terreno plano Terreno lomerío Terreno montañoso
Condiciones geotécnicas (Tipo de materiales por los que pasa el camino)	Material de Terracerías Tipo A (se puede atacar con pico y pala) Tipo B(se ataca con arado o con explosivos ligeros) Tipo C (se ataca mediante explosivos)
Subrasante mínima (Puntos que la fijan)	Obras menores Puentes Zonas de inundación Intersecciones
Costos de las terracerías (En función de los siguientes)	Costos unitarios - Excavaciones en corte - Excavaciones en préstamo - Compactación - Sobreacarreos - Costos de afectaciones - Desmontes y despalmes Coeficientes de variabilidad volumétrica Distancia económica de sobreacarreo

3.7.6) VISIBILIDAD EN CURVAS VERTICALES

La distancia de visibilidad vertical puede verse restringida por la presencia de curvas verticales en el perfil de la carretera.

El principio para calcular las longitudes mínimas de curva vertical en cresta o en columpio, es que garanticen la distancia de visibilidad de parada o de rebase, según se desee satisfacer una u otra en la curva.

Al actualizarse el cálculo de las distancias de visibilidad de parada o de rebase para las velocidades de proyecto en vez de las de marcha, así como las alturas del ojo del conductor, del objeto y de los faros, también deben modificarse los valores mínimos del parámetro K (cociente de la longitud de la curva entre la diferencia algebraica de pendientes), tanto para curvas verticales en cresta como en columpio.

Por lo anterior y de acuerdo a las Normas Técnicas de la SCT, para las curvas verticales en cresta el criterio debe ser que K sea suficientemente grande para permitir que el conductor perciba el objeto de 0.15 m de altura sin interferencia de la superficie del pavimento, la cual prácticamente corresponde a la altura de las luces traseras o de los faros de los vehículos ligeros (automóviles, camionetas, etc.), siendo la altura del ojo del conductor de 1.14 m.

En el caso de las curvas verticales en columpio, el criterio debe ser que K permita que el conductor, para la condición de visibilidad nocturna, vea la superficie del pavimento al ser iluminada por los faros delanteros del vehículo, asumiéndose una altura para los faros de 0.61 m y un ángulo de divergencia del cono luminoso de los faros de un grado.

Visibilidad:

- a) Curvas verticales en cresta: Para que las curvas cumplan con la distancia de visibilidad necesaria su longitud deberá calcularse a partir del parámetro “K”, que se obtiene con la expresión:

$$K = (D^2 / (2(H^{\frac{1}{2}} + h^{\frac{1}{2}})^2)) / 100$$

En donde:

D = Distancia de visibilidad, en metros.

H = Altura del ojo del conductor (1.14 m)

h = Altura del objeto (0.15 m)

- b) Curvas verticales en columpio: Para que las curvas cumplan con las distancias de visibilidad necesaria su longitud deberá calcularse a partir del parámetro “K” que se obtienen con la expresión:

$$K = (D^2 / (2(T D +))) / 100$$

En donde:

D = Distancia de visibilidad, en metros.

T = Pendiente del haz luminoso de los faros (0.0175)

h = Altura de los faros (0.61 m)

Distancia de Visibilidad.

La distancia de visibilidad de parada se obtiene con la siguiente expresión.

$$D_p = ((V t / 3.6) + (V^2 / (254 f)))$$

En donde:

Dp = Distancia de visibilidad de parada, en metros.

V = Velocidad de marcha, en km/hr.

t = Tiempo de reacción, en segundos.

f= Coeficiente de fricción longitudinal.

En la siguiente tabla se indican los valores para proyecto de la distancia de visibilidad de parada que corresponden a la velocidad de proyecto.

VEL. DE PROY. KM / H.	VEL. DE MARCHA KM / H.	REACCIÓN		COEF. DE FRICCIÓN LONG	DIST. DE FRENADO M.	DISTANCIA DE VISIBILIDAD	
		TIEMPO SEG.	DISTANCIA M.			CALCULADA METROS	PARA PROY. METROS
30	28	2.5	19.44	0.4	7.72	27.16	30
40	37	2.5	25.69	0.38	14.18	39.87	40
50	46	2.5	31.94	0.36	23.14	55.08	55
60	55	2.5	38.19	0.34	35.03	73.22	75
70	63	2.5	43.75	0.325	48.08	91.83	95
80	71	2.5	49.3	0.31	64.02	113.32	115
90	79	2.5	54.86	0.305	80.56	135.42	135
100	86	2.5	59.72	0.3	97.06	156.78	155
110	92	2.5	63.89	0.295	112.96	176.85	175

Tabla3.21. Valores para proyecto de la distancia que corresponde a la velocidad de parada.

VELOCIDAD. DE PROY KM / H.	VALORES DE “ K “ EN (m / %)			LONGITUD MINIMA m
	CURVA CRESTA		COLUMPIO	
	E	A,B,C,D	A,B,C,D,E	
30	4	3	4	20
40	7	4	7	30
50	12	8	10	30
60	23	14	15	40
70	36	20	20	40
80		31	25	50
90		43	31	50
100		57	37	60
110		72	43	60

Tabla 3.22. Valores del parámetro “K” y de la longitud mínima aceptable de las curvas verticales.

De encuentro

Esta distancia de visibilidad, que es igual a dos veces la distancia de visibilidad de parada, se utiliza en el proyecto de carreteras Tipo E de un sólo carril (brechas, de la clasificación funcional), con el fin de que dos conductores que se encuentran al circular en sentidos opuestos detengan sus vehículos con seguridad y puedan realizar la maniobra necesaria para que ambos continúen su viaje.

Por lo anterior, todas las recomendaciones de actualización para las distancias de visibilidad de parada son aplicables a esta distancia de visibilidad, resultando en un incremento máximo del 14% en ella para una velocidad de proyecto máxima en brechas de 70 km/h.

Para la medición de la distancia de visibilidad de encuentro, la altura del ojo de ambos conductores debe ser igual a 1.08 m, con objeto de enfatizar la importancia de que ambos puedan verse entre sí.

De decisión

Esta distancia de visibilidad es la distancia mínima necesaria para que un conductor, circulando a la velocidad de proyecto, pueda maniobrar con anticipación ante la presencia de una situación cuya complejidad demanda tiempos de percepción-reacción t más grandes que los requeridos usualmente. Se calcula y se mide utilizando los mismos criterios que la distancia de visibilidad de parada (altura del ojo del conductor de 1.08 m y altura del objeto de 0.60 m).

Las normativas más avanzadas incluyen este tipo de distancia de visibilidad, el cual no es considerado por la mexicana. Por tanto, se sugiere incluirlo según los valores en la Tabla 3.23, que considera cinco diferentes grados de complejidad de maniobra.

Distancias de visibilidad de decisión					
VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE DECISIÓN (m)				
	MANIOBRA ANTICIPADA				
	A	B	C	D	E
30	34	85	89	104	119
40	50	118	119	139	158
50	69	154	149	174	198
60	92	193	178	208	238
70	118	236	208	243	277
80	148	284	238	278	317
90	180	332	268	313	356
100	215	384	297	347	396
110	253	440	327	382	435
Maniobra anticipada A: Parada en zona rural, $t=3.0$ s Maniobra anticipada B: Parada en zona urbana, $t=9.1$ s Maniobra anticipada C: Cambio de velocidad/trayecto/dirección en zona rural, t varía entre 10.2 y 11.2 s Maniobra anticipada D: Cambio de velocidad/trayecto/dirección en zona suburbana, t varía entre 12.1 y 12.9 s Maniobra anticipada E: Cambio de velocidad/trayecto/dirección en zona urbana, t varía entre 14.0 y 14.5 s					

Figura 3.23. Distancia de visibilidad de decisión.

3.7.7 NORMAS GENERALES DE ALINEAMIENTO VERTICAL

En el perfil longitudinal de una carretera, la subrasante es la línea de referencia que define el alineamiento vertical. La posición de la subrasante depende principalmente de la zona atravesada, pero existen otros factores que deben considerarse:

- 1.- La condición topográfica del terreno influye en diversas formas al definir la subrasante. Así, en terrenos planos, la altura de la subrasante sobre el terreno reguladas, generalmente por el drenaje. En terrenos en lomerío se adoptan subrasante onduladas, las cuales convienen tanto en razón de la operación de los vehículos como por la economía del costo. En terrenos montañosos la subrasante es controlada estrechamente por las restricciones y condiciones de la topografía.
- 2.- Es preferente una subrasante suave con cambios graduales.
- 3.- Deben evitarse vados formados por curvas verticales muy cortas.
- 4.- Se deben evitar dos curvas verticales sucesivas y en la misma dirección separada por una tangente vertical corta.
- 5.- Es preferible un perfil escalonado, una sola pendiente sostenida. Procurando disponer las pendientes más fuertes al comenzar el ascenso.
- 6.- Cuando existan fuertes pendientes uniformes, es conveniente adoptar un carril adicional.
- 7.- Los carriles auxiliares e ascenso deben ser considerados donde la longitud crítica de la pendiente este excedida.
- 8.- Se debe moderar la pendiente en intersecciones a nivel.

3.8 CALCULO DE VOLUMENES GEOMÉTRICOS

Para obtener la aproximación debida en el cálculo de los volúmenes de tierra, es necesario obtener la elevación de la subrasante en las estaciones cerradas y en todos aquellos puntos intermedios en los cuales se note que se haya cambios notables en la pendiente del terreno. También es conveniente calcular la elevación de los PC, PT, TE, ET, EC, Y CE de las curvas horizontales en los que la sección transversal sufre un cambio motivado por la sobreelevación y la ampliación.

Una vez que se obtiene la elevación de la subrasante para cada una de las estaciones consideradas en el proyecto, se determina el espesor correspondiente dado por la diferencia entre las elevaciones del terreno y la subrasante.

El cálculo de volúmenes se hace con base en las áreas medidas en las secciones de construcción.

3.8.1) SECCIONES DE CONSTRUCCIÓN.

En esta sección se presentan elementos complementarios que definen a una sección transversal de construcción, la cual es la representación gráfica que contiene tanto los datos propios del diseño geométrico, como los correspondientes al empleo y tratamiento de los materiales que formaran las terracerías, y las cuales se separan en dos grupos:

- Los propios del diseño geométrico.
- Los impuestos por el proceso constructivo a que deben sujetarse la construcción de las terracerías.
-

En referencia a los del *diseño geométrico* se mencionan a continuación:

- 1.- Espesor de corte o terraplén.
- 2.- Ancho de corona.
- 3.- Ancho de Calzada
- 4.- Ancho de acotamiento
- 5.- Pendiente transversal o Bombeo.
- 6.- Ampliación de curvas.
- 7.- Longitud de transición
- 8.- Espesor de pavimento
- 9.- Ancho de subcorona
- 10.- Talud de corte o terraplén
- 11.- Dimensiones de las cunetas.

En relación al *procedimiento de construcción* tenemos:

- 1.- Despalme
- 2.- Compactación del terreno natural
- 3.- Escalón de liga

- 4.- Cuerpo de terraplén
- 5.- Capa subrasante
- 6.- Cuña de afinamiento
- 7.- Muro de retención
- 8.- Berma
- 9.- Estratos de Corte
- 10.- Caja en corte

1.- Espesor de corte o de terraplén: Es la diferencia que hay entre la elevación del terreno natural y la subrasante, con este dato conocemos si el camino en una determinada estación está cortando o terraplenado.

2.- Ancho de corona: La corona es la superficie terminada de una carretera, comprendida entre sus hombros, o sea las aristas superiores de los taludes del terraplén y/o las interiores de las cunetas.

3.- Ancho de calzada: La calzada es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles, entendiéndose por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.

4.- Ancho de acotamiento: Los acotamientos son las fajas contiguas a la calzada comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros del camino.

5.- Pendiente transversal: Es la pendiente que se da a la corona en el sentido normal a su eje. Según su relación con los elementos del alineamiento horizontal se presenta tres casos: bombeo, sobreelevación y transición del bombeo a la sobreelevación.

6.- Ampliación en curvas: Cuando un vehículo circula por una curva del alineamiento horizontal, ocupa un ancho mayor que cuando circula sobre una tangente y el conductor experimenta cierta dificultad para mantener su vehículo en el centro del carril por lo que se hace necesario dar un ancho adicional a la calzada respecto al ancho en tangente. A este sobreancho se le llama ampliación, la cual debe darse tanto a la calzada como a la corona.

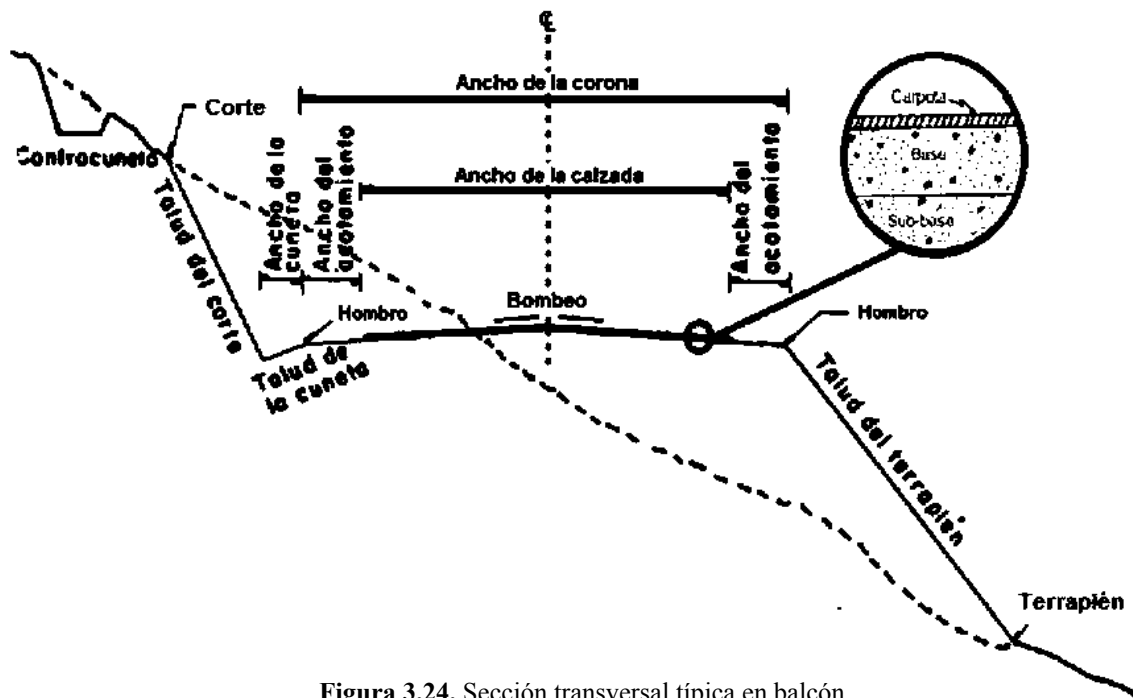


Figura 3.24. Sección transversal típica en balcón

7.- Espesor de Pavimento: El pavimento está formado por las capas de material seleccionado y/o tratado, comprendidas entre la subcorona y la corona. Esta estructura tiene por objeto soportar las cargas, inducidas por el tráfico y repartirlas de manera que los esfuerzos transmitidos a las capas de terracerías, no le causen deformaciones perjudiciales; al mismo tiempo que proporciona una superficie adecuada de rodamiento al tránsito. Los pavimentos que generalmente están formados por la subbase, la base y la carpeta asfáltica, definiendo esta última la calzada del camino.

8.- Ancho de subcorona: La subcorona es la superficie que limita a las terracerías y sobre la que se apoyan las capas del pavimento.

9.- Talud de corte o terraplén: El talud es la inclinación de la superficie de los cortes o los terraplenes.

Los taludes de los cortes y terraplenes se fijan de acuerdo con su altura y la naturaleza del material que los forman. En terraplenes, dado el control que se tiene en la extracción y colocación del material que se forma el talud, el valor comúnmente utilizado para este es de 1:5:1. En los cortes, debido a la gran variedad en el tipo y disposición de los materiales, es indispensable un estudio para definir los taludes.

10.- Dimensiones de las cunetas: Las cunetas son zanjas que se construyen en los tramos en corte o a ambos lados de la corona, contigua a los hombros con el objetivo de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes de corte.

Normalmente la cuneta tiene una sección triangular con ancho de 1.00 m, medido horizontalmente del hombro de la corona al fondo de la cuneta; su talud es generalmente 3:1; del fondo de la cuneta parte el talud del corte.

En relación al *procedimiento de construcción* tenemos:

1.- Despalme: Es la remoción de la capa superficial del terreno natural que por sus características no es adecuada para la construcción, normalmente con altos contenidos de materia orgánica. Se considera la diferenciación en despalmes en zonas de cortes, de terraplén y en bancos de préstamo.

2.- Compactación: Del terreno natural: Es el que se le da al material sobre el que se desplata el terraplén o al que quede debajo de la subcorona o de la capa subrasante en corte.

3.- Escalón de liga: Son excavaciones del terreno natural o que se forman el área de desplante de un terraplén cuando la inclinación del terreno es un poco menor a la inclinación del talud a fin de obtener una liga adecuada y evitar un deslizamiento.

4.- Cuerpo de Terraplén: Se le llama así a la parte del terraplén que queda debajo de la subcorona. Su función es la de alcanzar el nivel de desplante para la construcción de la subyacente o subrasante según sea el caso.

5.- Capa subrasante: Es la capa construida bajo la subbase o la base, su función es la de recibir las cargas transmitidas por el pavimento y transmitir las en forma uniforme hacia la subyacente y el cuerpo de terraplén. Su espesor varía entre 20 y 30 cm. Está conformada por suelos naturales, seleccionados o cribados producto de cortes o de la extracción de bancos.

6.- Cuña de Afinamiento: Es el aumento lateral que se da a un talud de terraplén, para lograr la compactación debida, en las partes contiguas a él. Es de forma triangular, comúnmente de 20 cm de ancho en su parte superior al nivel de hombro de la subcorona y termina en la línea de ceros del talud. Al finalizar el proceso constructivo se retiran.

7.- Muro de retención: Cuando la línea de ceros de talud del terraplén no llega al terreno natural se requiere la colocación de un muro de retención.

8.- Berma: Es un terraplén, que está formado por el material que se coloca adosado a su talud, a fin de darle mayor estabilidad al terraplén. En un corte, es un escalón que se hace recortando el talud, con el objeto de darle mayor estabilidad.

9.- Estratos en corte: Así se designan a las diferentes capas que aparecen en un corte, cuando cada una de ellas está formada por material de distintas características.

Caja de corte: Es la excavación del material subyacente a la subcorona, inadecuado para formar la capa subrasante.

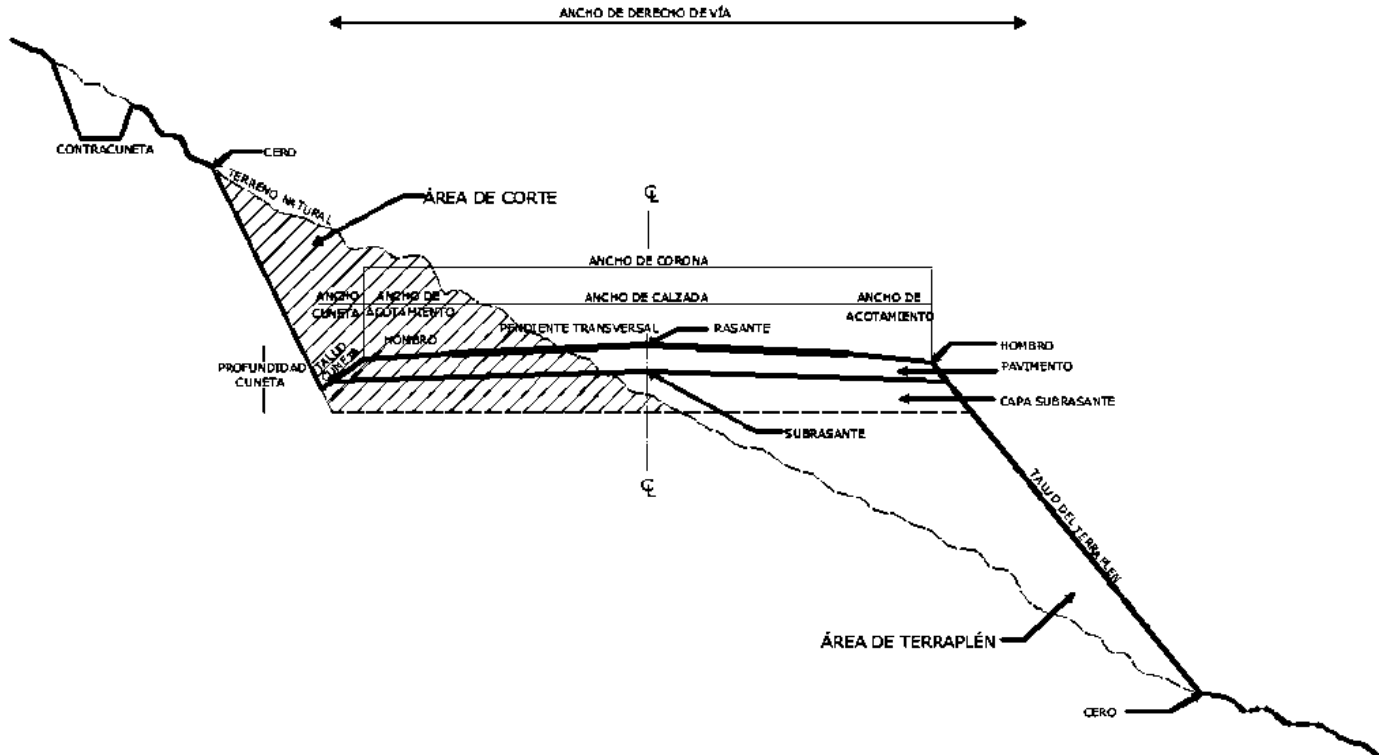


Figura 3.25. Sección de construcción transversal típica en una tangente del alineamiento horizontal.

3.8.2) DETERMINACIÓN DE AREAS.

Para fines de presupuesto y pago de la obra, es preciso determinar los volúmenes tanto en corte como en terraplén y en general de los materiales necesarios para construir la obra. Para lograr eso tenemos que obtener el área de las distintas posiciones consideradas en el proyecto de la sección de construcción. Los métodos más comunes son:

- Método analítico
- Método Grafico
- Método del planímetro

Método analítico.

Se basa en la descomposición de la sección en figuras regulares (figura 3.26) obtenidas al trazar líneas verticales por los puntos de quiebre del terreno y de la sección de construcción, y el cálculo del área se define con la utilización de las coordenadas de los vértices de la sección y con la siguiente fórmula:

$$A = \left| \begin{array}{cccccc} Y1 & Y2 & Y3 & Y4 & \dots & Yn & Y1 \\ X1 & X2 & X3 & X4 & \dots & Xn & X1 \end{array} \right|$$

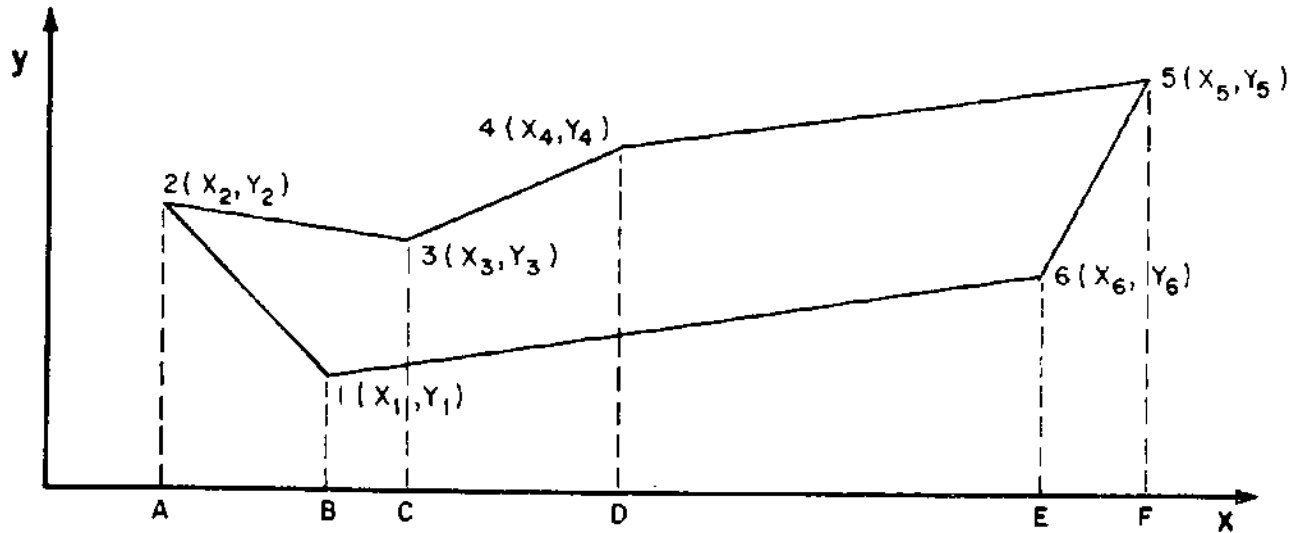


Figura 3.26. Determinación de áreas, Método analítico.

Método gráfico.

Consiste en dividir las secciones en segmentos de igual longitud (figura 3.27) y considerando la figura, en que el terraplén quedan dos triángulos y el resto trapezios, definiendo de manera particular cada una de las áreas se llega a :

$$A = s(a + b + c + d + e + \dots)$$

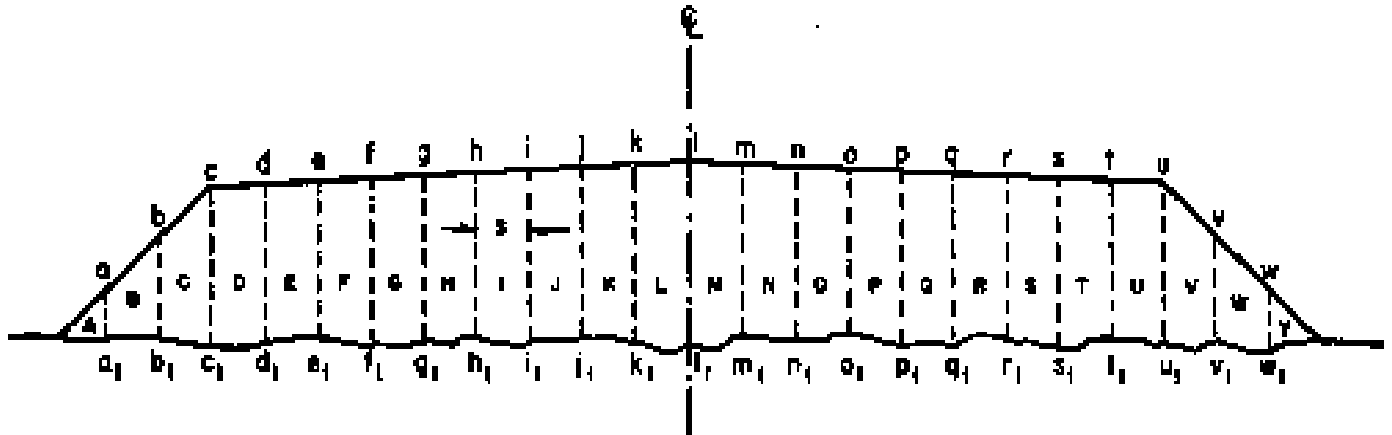


Figura 3.27. Presentación esquemática del método gráfico para determinación áreas en secciones transversales.

Método del planímetro.

Este método se basa en la utilización de un planímetro para medir partes o todas las secciones. Este ha resultado uno de los métodos más prácticos.

Método sistemas CAD (Dibujo Asistido por Computadora).

Este método ha cobrado sumo interés y en la actualidad es uno de los más usados.

En si no representa un método, solo se basa en dibujar las secciones en un programa de dibujo asistido por Computadora que con funciones predefinidas obtienen el área de la sección:

3.8.3) CÁLCULO DE VOLÚMENES.

Una vez que se han determinado las áreas de las secciones de construcción, se procede al cálculo de volúmenes geométricos. Para ello es necesario suponer que el camino está formado por una serie de prismoides tanto en corte como en terraplén.

Cada uno de estos prismoides está limitado en sus extremos por dos superficies paralelas verticales representadas por las secciones de construcción y lateralmente por los planos de los taludes, de la subcorona y del terreno natural, como se aprecia en la figura 3.28.

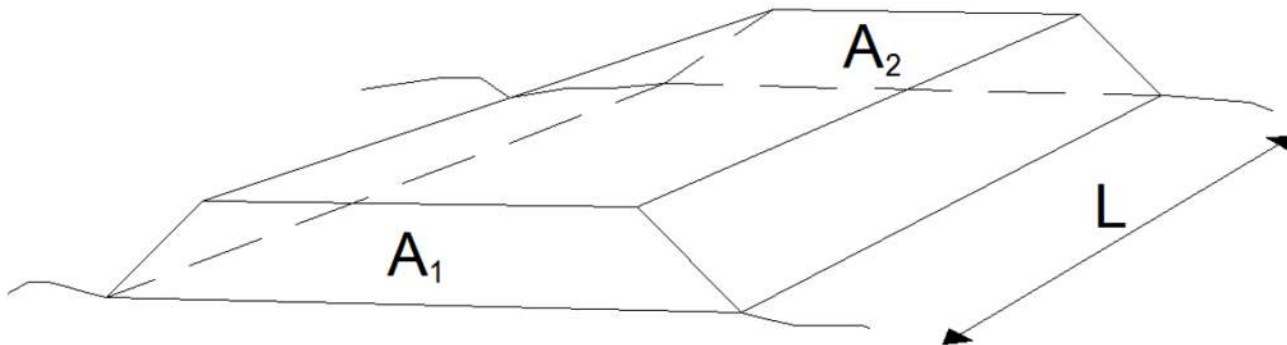


Figura 3.28. Volumen de un prismoide.

La siguiente formula conocida como de las áreas medias, permite calcular el volumen entre dos secciones transversales conocidas y que por su simplicidad es muy útil para el cálculo de las secciones de construcción:

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

Dónde:

A_1 = Área de la sección de construcción.

A_2 = Área de la sección de construcción dos.

L = Distancia entre las secciones 1 y 2.

V = Volumen del prismoide entre 1 y 2.

En forma simplificada, la ecuación indica que el volumen se obtiene a partir del promedio de las áreas multiplicando por la longitud que existe entre esas secciones.

Para minimizar errores se recomienda establecer secciones a cada 20 metros.

Coeficientes de variación volumétrica.

El material ya sea de corte o de préstamo empleado en la formación de los terraplenes, experimentan un cambio de volumen al pasar de su estado natural (corte) a formar parte del terraplén, siendo esencial el conocimiento de este cambio para la correcta determinación de los volúmenes y movimientos de tierra correspondientes.

Se le llama Coeficiente de Variación Volumétrica (C_{vv}) a la relación que existe entre el peso volumétrico del material en su estado natural y el peso volumétrico que ese mismo tiene al formar parte del terraplén.

$$C_{vv} = \frac{\gamma_{corte}}{\gamma_{terr}}$$

Cuando $C_{vv} > 1$; 1 m³ de terraplén puede construirse con un volumen menor del corte.

$C_{vv} < 1$; en caso contrario.

$C_{vv}=1$ el mismo volumen de corte es el que se utiliza en terraplén.

3.9) CALCULO DE LA CURVA MASA Y MOVIMIENTO DE TERRACERÍAS

El movimiento de tierras es uno de los factores de mayor importancia en la construcción de un camino y, dentro de este aspecto, el concepto principal para la formulación de costos, tanto en el proyecto como en la ejecución de la obra, es el acarreo del material.

Resulta indispensable constar con un medio que permita calcular lo más aproximadamente posible los acarreos. El procedimiento generalmente empleado para determinar los volúmenes de materiales y sus acarreos es el diagrama de masas o también conocida como curva masa.

Definición de la curva masa (diagrama de masas).

La curva masa es un diagrama dibujado gráficamente en ejes cartesianos, en donde las ordenadas representan los volúmenes acumulativos de las terracerías y en las abscisas en cadenamiento respectivo.

Ordenada de la curva masa.

La ordenada de la curva masa en una estación determinada es la suma algebraica de los volúmenes de terraplén y de corte, estos últimos afectados por su coeficiente de variabilidad volumétrica, considerados los volúmenes desde un origen hasta esa estación. Se establece que los volúmenes de corte son positivos y los de terraplén negativos.

Estas ordenadas se utilizan para dibujar el diagrama de masas en un sistema de coordenadas rectangulares.

3.9.1) PROPIEDADES DE LA CURVA MASA

Las principales propiedades del diagrama de masas son las siguientes:

1. El diagrama asciende, cuando en el sentido del cadenamiento predominan los volúmenes de corte sobre los de terraplén y descendente en caso contrario.
2. Cuando en un tramo ascendente predominan los volúmenes de corte, se llega a un punto del diagrama en el cual empiezan a predominar los volúmenes de terraplén, cuando ocurre esto se le denomina un máximo y cuando es inversamente que en un tramo descendente que predominan los terraplenes y se llega a un punto donde predominan los cortes esto es un mínimo.
3. La diferencia entre las ordenadas de la curva masa en dos puntos cualesquiera expresan un volumen X.
4. Se dibuja una línea horizontal de tal forma que corte en dos puntos consecutivos el diagrama de masas, se podría decir que el tramo comprendido entre ellos serían iguales los volúmenes de corte y de terraplén; por consiguiente se considera un tramo compensado. La distancia entre los dos puntos se llama abertura de diagrama y es la distancia máxima de acarreo para llevar el material de corte al terraplén.
5. Si se tiene un tramo compensado, el contorno cerrado que origina el diagrama de masas y la línea compensadora queda arriba, el sentido del acarreo es hacia delante, inversamente cuando el contorno cerrado queda debajo de la compensadora, el sentido del acarreo es hacia atrás.

6. Las áreas de los contornos cerrados que se encuentran entre el diagrama y la compensadora representan los acarreo.

Para llegar a obtener el diagrama de la curva masa de un tramo de estudio, se sigue un procedimiento, en el que es indispensable llegar a realizar previamente algunas actividades como lo son las siguientes:

3.9.2) PROCEDIMIENTO PARA EL PROYECTO Y DIBUJO DE LA CURVA MASA

El procedimiento 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 terraplén.
- 3.- Se dibujan las secciones transversales topográficas (secciones de construcción).
- 4.- En las secciones de construcción 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 por cualquiera de los métodos ya conocidos.
- 6.- Se calculan los volúmenes abundando los cortes o haciendo la reducción de los terraplenes, según el tipo de material y método escogido.
- 7.- se suman algebraicamente los volúmenes de corte y terraplén.
- 8.- Se dibuja la curva con los valores anteriores.

Dibujo de la curva masa.

Se dibuja la curva masa con las ordenadas en el sentido vertical y las ábsidas en el sentido horizontal utilizando el mismo dibujo del perfil.

Cuando esta dibujada la curva se traza la compensadora que es una línea horizontal que corta la curva en varios puntos.

En términos generales, la línea de compensación queda 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, este es aquel cuya suma del importe de las excavaciones incluyendo préstamos, más el valor de los sobreacarreos del menor costo, siempre y cuando se refiera a un perfil aceptable.

3.9.2.1) OBJETIVOS

Los objetivos fundamentales que se buscan al proyectar la curva masa son los siguientes:

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

1.- Compensar los 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.

2.- Sentido de los movimientos

Los cortes que en la curva masa queda arriba de la línea de compensación se mueven hacia adelante y los cortes que se quedan debajo de la línea de compensación se mueven hacia atrás.

3.- Acarreo libre

Es la distancia a la que se hace el movimiento de un volumen sin requerir de trabajos elaborados o en el caso de contratos sin llegar a un pago adicional, actualmente en México está fijado para una longitud no mayor de 20 metros.

4.- Sobre acarreo

Es el transporte de los materiales a una distancia mayor a la del acarreo libre y se obtiene multiplicando el volumen a mover por la distancia que hay del centro de gravedad del corte al centro de gravedad del terraplén; de acuerdo a la distancia que se tenga que mover se puede hacer con camión o maquinaria.

5.- Préstamos y desperdicios.

a) Préstamo lateral.- La diferencia que se necesite para formar un terraplén al no compensarlo con un corte requerirá de un volumen adicional, denominado préstamo que se obtendrá de la parte lateral del camino.

b) Préstamo de banco.- Se presenta en las mismas condiciones que el anterior solo que por la calidad del material o por no encontrarlo sobre el camino se utilizara de un lugar especial según convenga, por lo general este acarreo se realiza con camiones.

3.9.2.2) OBSERVACIONES PARTICULARES

- A.** Para cualquier caso el cuerpo de terraplén, deberá compactarse al 90 % ó bandearse según se de el caso; las capas de transición y subrasante deberán compactarse al 95 % y 100 % respectivamente; Estos grados de compactación son con respecto a la prueba AASHTO estándar.
- B.** Para todos los casos y cuando no se indique otra cosa, en el Terreno Natural después de haberse efectuado el despalme correspondiente, el piso descubierto se compactará al 90 % del peso volumétrico seco máximo (PVSM), en una profundidad mínima de 0.20 m. ó bandearse según se de el caso.
- C.** Material que por las características que presenta, no debe utilizarse ni para la construcción del cuerpo de terraplén.

- D.** Material que por las características que presenta, solo podrá utilizarse para la formación del cuerpo de terraplén, mismo que deberá compactarse al 90 % de su PVSM o bandearse según sea el caso.
- E.** Material que por las características que presenta, puede utilizarse en la formación del cuerpo de terraplén y la capa de transición.
- F.** Material que por las características que presenta, puede utilizarse en la formación del cuerpo de terraplén, capa de transición y capa subrasante.
- G.** En terraplenes formados con este material, se deberá construir capa de transición de 0.20 m. de espesor, cuando la altura de estos sea menor de 0.80 m. y cuando sea mayor, dicha capa será de 0.50 m.; y en ambos casos se proyectará capa Subrasante de 0.30 m. de espesor. Y para la formación de la subrasante se deberán eliminar las partículas de material mayores de 7.6 cm de diámetro (3”).
- H.** En terraplenes contruidos en este material, se deberá proyectar capa de transición de 0.20 m. de espesor como mínimo y capa subrasante de 0.30 m. compactadas al 90% y 95% respectivamente, las cuales se construirán con material de préstamo del banco más cercano.
- I.** En cortes formados en este material, la cama de corte, se deberá compactar al 90% de su PVSM, en una profundidad mínima de 0.20 m. y se deberá proyectar capa subrasante de 0.30 m. de espesor, compactándola al 95%, con material procedente del banco más cercano.
- J.** En este tramo se deberá proyectar en cortes y terraplenes bajos, capa de transición de 0.50 m. de espesor, como mínimo y capa subrasante de 0.30 m.; en caso de ser necesario se deberán abrir cajas de profundidad suficiente para alojar las capas citadas; ambas capas se proyectarán con préstamo del banco más cercano.
- K.** En cortes, se deberán escarificar los 0.15 m. superiores y acamellonar; la superficie descubierta, se deberá compactar al 95 % de su PVSM respectivo en un espesor mínimo de 0.15 m. con lo que quedará formada la 1ra. Capa subrasante, con el material acamellonado se construirá la 2da. Capa subrasante, misma que deberá compactarse también al 95 % de su PVSM.

- L.** En cortes formados en este material, se deberá proyectar capa de transición y capa Subrasante de 0.20 m. y 0.30 m. respectivamente, compactando al 95 y 100 %; ambas capas se construirán con material de préstamo del banco más cercano.
- M.** En cortes formados en este material, se escarificarán los primeros 0.30 m., a partir del nivel superior de subrasante, se acamellonará el material producto del escarificado y se compactará la superficie descubierta al 95 %, hasta una profundidad de 0.20 m. Posteriormente, con el material acamellonado se formará la capa subrasante de 0.30 m. de espesor. Para la formación de la capa subrasante se deberán eliminar las partículas de material mayores de 7.6 cm de diámetro (3”).
- N.** En el caso de cortes y terraplenes contruidos en este material, se deberá proyectar capa de transición y capa Subrasante de 0.20 m. y 0.30 m. respectivamente, compactando al 95 y 100 %; ambas capas se construirán con material de préstamo del banco más cercano.

3.9.3) COMPENSACIÓN DE VOLUMENES DE CORTE Y TERRAPLEN.

Si en un diagrama de masas se dibuja una línea horizontal en tal forma que lo corte en dos puntos consecutivos ya sea cima o columpio, éstos tendrán la misma ordenada, y por consecuencia, los volúmenes de corte y los volúmenes de terraplén serán iguales en el tramo comprendido entre ellos, o sea que ambos puntos son los extremos de un tramo compensado.

A la línea horizontal dibujada se llama compensadora, y a la distancia entre los dos puntos se le llama abertura del diagrama, siendo la distancia máxima de acarreo al llevar el material del corte al terraplén.

Para determinar todos estos movimientos de terracerías y obtener un costo mínimo, el diagrama de masas es el instrumento con el que cuenta el proyectista.

Cuando en un tramo compensado el contorno cerrado que origina el diagrama de masas y la compensadora WW' queda arriba de ésta, el sentido del acarreo es hacia delante; contrariamente, cuando el contorno cerrado queda debajo de la compensadora, el sentido del movimiento es hacia atrás.

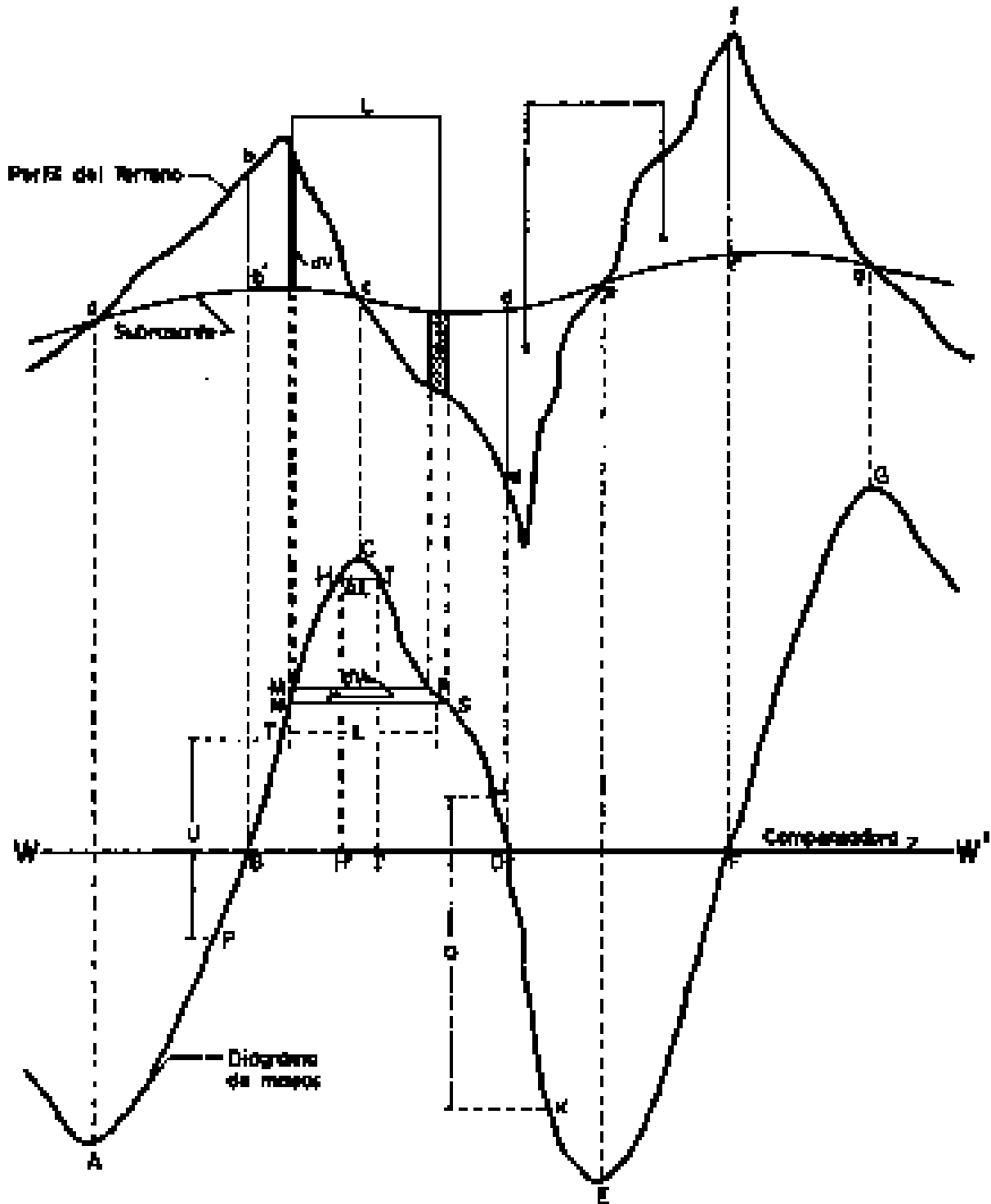


Figura 3.29. Línea compensadora de volúmenes de corte y terraplén.

3.9.4) ACARREOS

Consiste en el transporte del material producto de corte o de préstamos, a lugares fijados para construir un terraplén o depositar un desperdicio. La SCT clasifica los acarreos de acuerdo con la distancia que hay entre el centro de gravedad de la excavación y el centro de gravedad del terraplén a construir, o del sitio donde el desperdicio se va a depositar, en:

a) Acarreo Libre. Es el que se efectúa dentro de una distancia de 20 metros.

b) Sobreacarreo: Se expresa en:

M3 – Estación, cuando no pase de 100 metros, la distancia del centro de gravedad del corte al centro de gravedad del terraplén con la resta del acarreo.

M3 – Hectómetro, a partir de 100 metros, de distancia y menos de 500 metros.

M3 – Hectómetro adicional, cuando la distancia de sobre acarreo varía entre los 500 y 2000 metros.

M3 – Kilómetro, cuando la distancia entre los centros de gravedad excede los 2000 metros y se mide en kilómetros completos.

Determinación del acarreo libre:

Se corre horizontalmente la distancia de acarreo libre 20 metros, de tal manera que toque dos puntos de la curva, la diferencia de la ordenada de la horizontal al punto más alto o más bajo de la curva, es el volumen.

Determinación del sobre acarreo:

Se traza una línea en la parte media de la línea horizontal compensadora y la línea horizontal de acarreo libre.

La diferencia de ábsidas X – B será la distancia a la que hay que restarle el acarreo libre para obtener la distancia media de sobre acarreo convertida en estaciones y aproximada al décimo.

El volumen se obtendrá restando la ordenada de la línea compensadora A –B a la de la línea de acarreo libre a-b.

3.9.5) POSICIÓN ECONOMICA DE LA COMPENSADORA

En un tramo, la compensadora que corta el mayor número de veces el diagrama de masas y que produce los movimientos de terracerías más económicos, recibe el nombre de compensadora general.

Es conveniente obtener una sola compensadora general para un tramo de gran longitud, sin embargo, la economía buscada obliga la mayor parte de las veces a que la compensadora no sea línea continua, sino que debe interrumpirse en varios puntos para reiniciarlos en otros situados arriba o debajo de la anterior, lo que origina tramos que no están compensados longitudinalmente cuyos volúmenes son la diferencia de las ordenadas de las compensadoras.

Lo que se pretende con la compensadora económica es obtener los movimientos de tierra a un costo mínimo, haciendo intervenir las condiciones especiales que se presentan en los extremos de la compensadora, como préstamos y desperdicios.

La fijación de esta compensadora se puede obtener de las siguientes maneras:

- 1) Procedimiento grafico (tanteos)
- 2) Procedimiento matemático (función de precios de acarreos)

3.9.5.1) PROCEDIMIENTO GRAFICO

Este procedimiento consiste en a “ojo” la posición de la compensadora en donde la suma de los movimientos hacia adelante sea igual a la suma de los movimientos hacia atrás. Esto se logra subiendo o bajando la compensadora hasta encontrar la posición en que nos iguale el producto de ambos movimientos, es decir, suma de movimientos hacia adelante igual a suma de movimientos hacia atrás (que la suma de distancias de B,D,F se igualen a los de A, C, E).

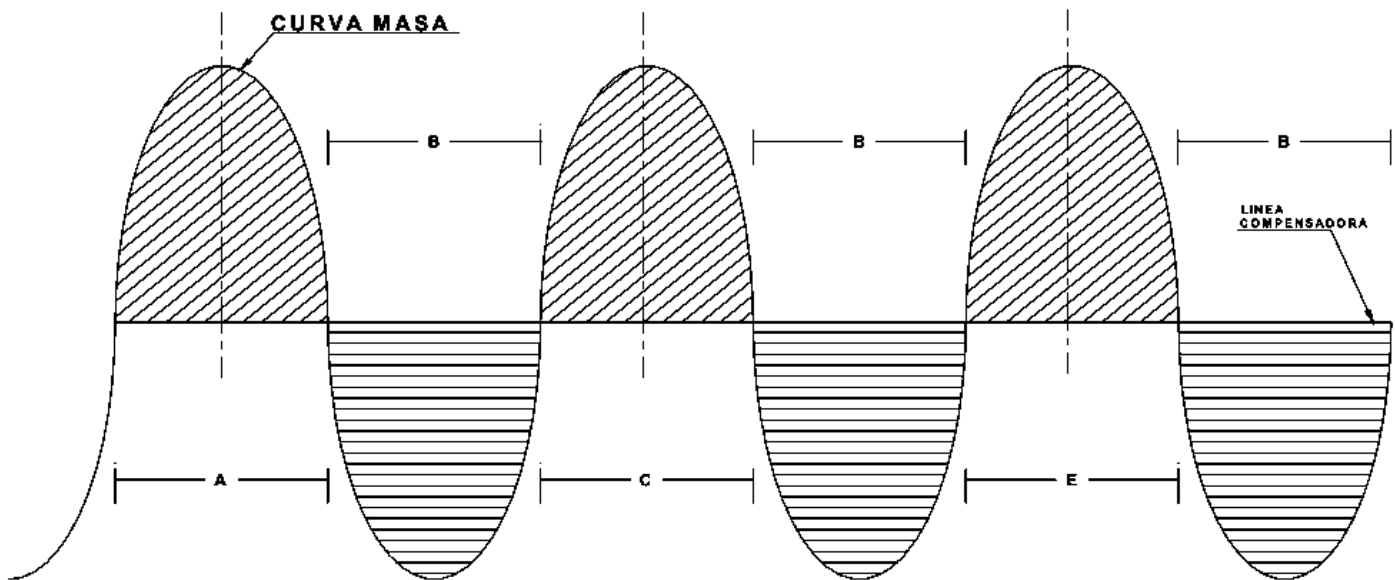


Figura 3.30. Procedimiento grafico de fijación de la línea compensadora

3.9.5.2) PROCEDIMIENTO MATEMATICO

Para este procedimiento, el estudio de la compensación longitudinal se presenta 4 casos, dependiendo de la ubicación de la compensadora general.

- 1) La compensadora puede quedar ubicada entre préstamos.
- 2) Entre préstamos y desperdicios.
- 3) Entre desperdicios.
- 4) Entre desperdicios y préstamos.

En la figura siguiente se pueden identificar la ubicación exacta de estos 4 casos. En la figura se tiene las compensadoras generales AA', BB', CC' y DD', que no forman una sola línea continua. La compensadora BB' origina un préstamo entre ellas y la AA' por estar localizada debajo de ésta. La compensadora CC' ocasiona un desperdicio entre ella y la BB' por estar arriba de ella así como la compensadora DD' origina otro desperdicio por estar arriba de la CC'.

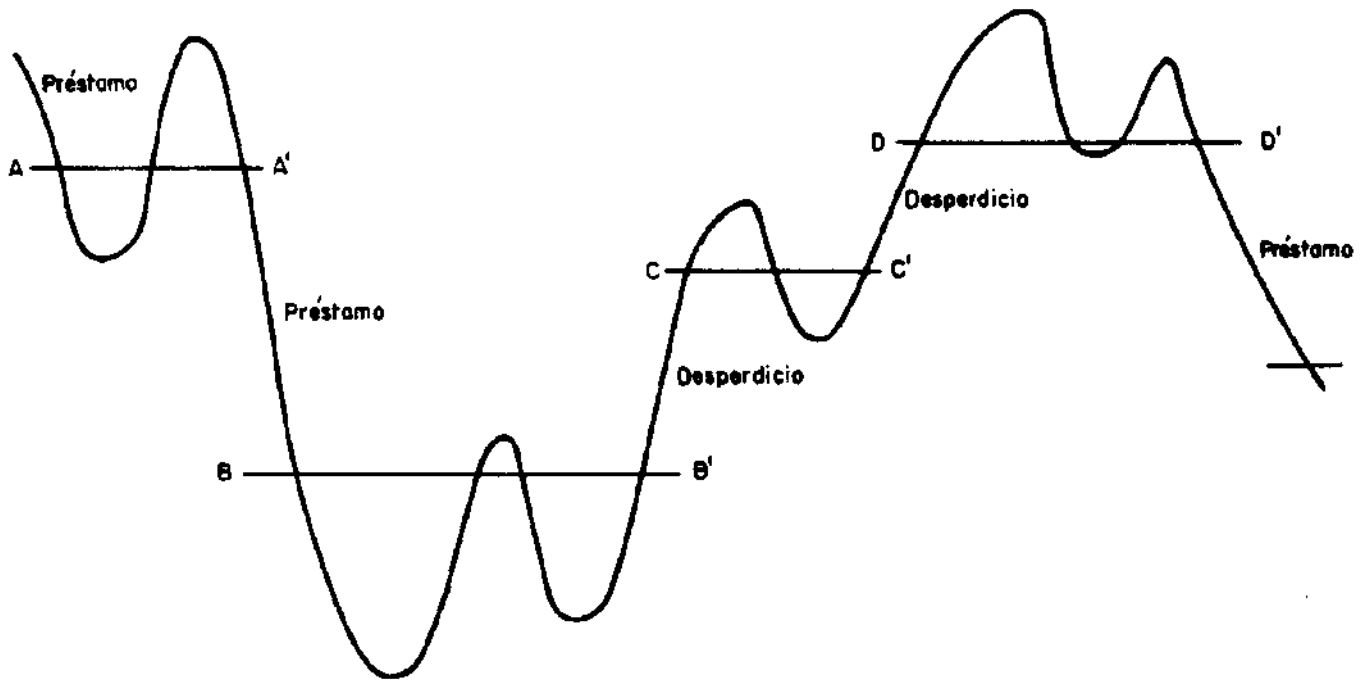


Figura 3.31. Préstamos y desperdicios.

La compensadora económica se determina en función de los precios unitarios vigentes para acarreos y para excavación en préstamos, de las aberturas del diagrama medidas sobre la compensadora en estudio y de los coeficientes de variabilidad volumétrica de los materiales.

4. ESTUDIOS GEOTECNICOS

Es importante realizar estudios de vialidad que permitan establecer prioridades y recursos para la elaboración de un nuevo proyecto, por lo tanto se requiere realizar los estudios preliminares por ello la empresa encargada del proyecto solicito la realización de un estudio geotécnico para el proyecto ejecutivo: “construcción del camino: el cuate-barranquillas, perteneciente al municipio de Tancítaro en el estado de Michoacán”.

El kilometraje a estudiar en un primer tramo, está dado desde el inicio del km 0+000 para terminar en el km 4+743.

4.1) OBJETIVOS DEL ESTUDIO.

El objetivo principal del presente estudio es proporcionar la información de tipo geotécnica necesaria para la realización del proyecto de terracerías para el camino contemplado.

El presente trabajo muestra la descripción de la estratigrafía del terreno natural a lo largo del eje de trazo; las cedulas con las características litológicas y estratigráficas de los bancos para terracerías y pavimentos, los ensayos de laboratorio, las recomendaciones y conclusiones del estudio.

4.2) CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.

El proyecto contempla la construcción de un camino tipo “d”, con un tránsito promedio anual de 250 vehículos, una pendiente máxima del 12% y con un total de 4.743 km. de longitud.

4.3) RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO.

Los trabajos de campo se iniciaron con un recorrido a pie desde donde inicia el tramo hasta donde termina, con la finalidad de observar los taludes existentes así como los bancos de préstamo de los cuales se podrá obtener materiales para la construcción de terracerías y de pavimentos.

4.4) EXPLORACIÓN Y MUESTREO.

La exploración geotécnica se realizó mediante la excavación de pozos a cielo abierto, los cuales se realizaron a cada 500 metros como lo indica la normatividad, al término de las exploraciones, se procedió a levantar el perfil estratigráfico basándose en una clasificación visual y al tacto.

A continuación se muestra la relación de los pozos muestreados.

PCA NO.	LADO.	KILOMETRO.
1	IZQUIERDO	0+000
2	CENTRO	0+500
3	DERECHO	1+000
4	IZQUIERDO	1+500
5	CENTRO	2+000
6	DERECHO	2+500
7	IZQUIERDO	3+000
8	CENTRO	3+500
9	DERECHO	4+000
10	IZQUIERDO	4+500

Figura 4.1. Numero de Pozos a cielo abierto

Cabe señalar que el muestreo realizado fue de tipo alterado en todos los pca (pozos a cielo abierto) y no se encontró nivel de aguas freáticas ni escurrimientos laterales.

En el anexo A, se muestra la ubicación particular de cada uno de los sondeos realizados y los espesores de cada estrato.

4.5) CROQUIS DE LOCALIZACIÓN DE LOS SONDEOS.

Tramo: El Cuate-Barranquillas del km. 0+000 al km. 4+743

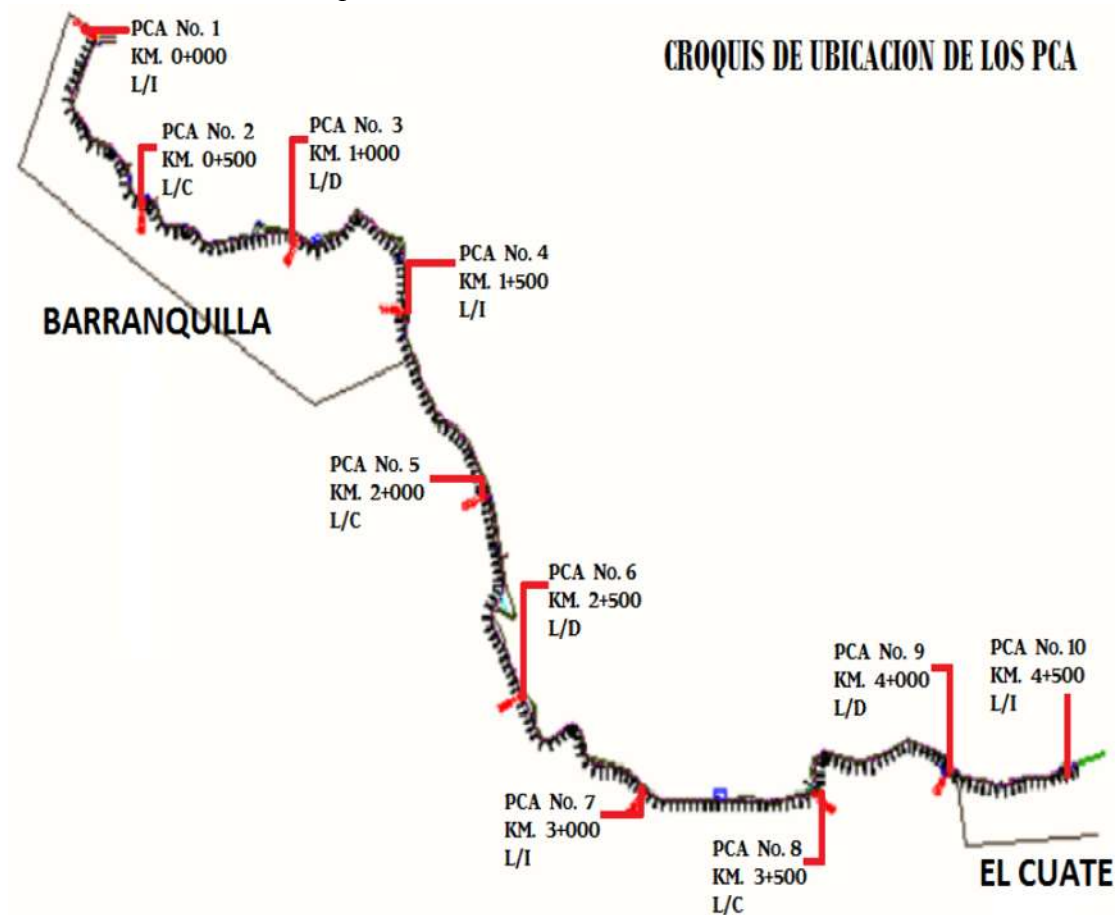


Figura 4.2. Localización particular de cada PCA

4.6) PRUEBAS DE LABORATORIO.

Con la finalidad de conocer las características mecánicas de los materiales que van a conformar el camino, se tomaron muestras alteradas representativas de los estratos encontrados en los sondeos, para su ensaye de laboratorio.

Las pruebas que fueron solicitadas y ejecutadas fueron:

- a) prueba de la granulometría.
- b) prueba de peso volumétrico.
- c) prueba de límites.
- d) prueba porter estándar.
- e) prueba proctor estándar.
- f) prueba del vrs.

En el anexo A, aparecen los resultados específicos de cada prueba.

4.7) BANCO DE MATERIALES.

Como parte del recorrido geotécnico efectuado en campo, se realizó un reconocimiento en toda la zona de influencia, con la finalidad de identificar los afloramientos de materiales susceptibles de ser empleados como bancos de terracerías y pavimentos.

Se visitaron y reconocieron los sitios susceptibles para su explotación como bancos de préstamo, determinando sus condiciones litológicas, grado de alteración y la potencialidad.

El resultado de las actividades anteriormente mencionadas nos arrojan como resultado que tenemos dos bancos de préstamo en cantidad y calidad necesaria para la formación de las terracerías.

Los bancos que se recomiendan para la formación de terracerías y estructura del pavimento son:

NOMBRE DEL BANCO:	UBICACION.	TIPO DE MATERIAL.	CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES.
BANCO DE ARENA DE CONDEMBARO DE LA FAMILIA BUCIO.	CAMINO RANCHO NUEVO-EL ZAPOTE KM. 5+500 DESVIACION IZQUIERDA 500 METROS.	TEZONTLE.	MATERIAL PARA REVESTIMIENTO, SUB-BASE, BASE Y CARPETA ASFALTICA.
BANCO DE MATERIALES "EL CHINO"	CARRETERA SAN JUAN NUEVO-TANCITARO KM. 0+000 DESVIACIÓN DERECHA 500 M	TEZONTLE.	MATERIAL PARA REVESTIMIENTO, SUB-BASE, Y BASE.

En el anexo B, se presentan los informes granulométricos y aparecen los resultados de las pruebas de calidad de los materiales de banco.

5. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Cuando se hacen planes para un nuevo proyecto o desarrollo que puede afectar la calidad del ambiente, se debe llevar a cabo una Evaluación de impacto ambiental (EIA), la cual es obligatoria en la mayoría de las jurisdicciones. El cumplimiento de este requerimiento se deberá realizar antes de comenzar con las actividades de construcción y estará sujeto a los diagramas de tiempo que establezca el proyecto, contando con la información técnica del mismo. El propósito de un EIA es el de identificar y pronosticar el impacto en el ambiente Biogeofísico, en la salud y bienestar humano, de las propuestas legislativas, políticas, así como de interpretar y comunicar información sobre los impactos.

La EIA ha estado evolucionando desde la época de los 70's, en esa época se ponía énfasis en los factores físicos, en particular aquellos para los cuales existían estándares y códigos, como la calidad del aire, calidad del agua, eliminación de residuos sólidos. Después de algunos años, la EIA comenzó a incluir factores socioeconómicos, como son las oportunidades de empleo, los impactos culturales, los factores recreativos, con lo cual fue posible evaluar balances entre factores socioeconómicos y ambientales.

Los elementos del EIA determinan si un proyecto pertenece al ámbito de la ley o reglamento pertinente y si es probable que el desarrollo cree un trastorno ambiental significativo, de ser así se emprende una evaluación que conduce a la elaboración de una manifestación de impacto Ambiental, que posteriormente con la autoridad correspondiente se tomara alguna decisión, que pueden ser:

- Aceptar el proyecto.
- Corregir el proyecto propuesto.
- Hacer una propuesta alternativa.
- Rechazarlo por no cumplir con las normas de Impacto Ambiental.

La manifestación de Impacto Ambiental (MIA), es el documento público resultante de la evaluación del Impacto Ambiental, es cual se redacta en formato especificado por organismos nacionales, estatales o locales. La MIA describe una acción propuesta, así como las alternativas, define los criterios que se deberán emplear para medir la trascendencia de los cambios ambientales, estima la naturaleza y magnitud de los efectos ambientales de todas las alternativas, las cuales se definen en cuatro clases:

- 1).- Físicos: Probabilidades de terreno, calidad de agua en ríos, lagos y aguas subterráneas, calidad del suelo y del aire.
- 2).- Biológicos: vegetación, vida silvestre, especies en peligro de extinción y peces.
- 3).- Socioeconómicos: Demográficos, económicos, valores y actitudes sociales.
- 4).- Culturales: tradiciones y sitios históricos.

Debido a que los motivos del estudio y levantamiento del tramo en referencia fueron con fines de conservación periódica sin modificación del trazo fuera del derecho de vía no se requirió del Estudio de Impacto Ambiental sin embargo brevemente se explican los conceptos básicos en materia ambiental.

5.1) EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente.

Los proyectos de obras y actividades de competencia federal podrán ser evaluados en el Instituto Nacional de Ecología (INE), por medio de un estudio que puede ser presentado en las siguientes modalidades:

- Informe Preventivo, si se prevee que la obra o actividad no causarán importantes impactos ambientales.
- Manifestación de Impacto Ambiental en sus modalidades: General, Intermedia y Específica. Cuando la obra o actividad causarán impactos ambientales significativos y potenciales.

5.2) TIPOS IMPACTOS

El impacto ambiental es la transformación, modificación o alteración de cualquiera de los componentes del medio ambiente (biótico, abiótico y humano), como resultado del desarrollo de un proyecto en sus diversas etapas.

Todos los efectos ambientales significativos, inclusive los beneficiosos, deben recibir atención.

Aunque el término de “impacto ambiental” se ha interpretado en el sentido negativo, muchas acciones tienen efectos positivos significativos que deben definirse y discutirse claramente (generación de empleos, beneficios sociales, entre otros).

A continuación se definen los impactos ambientales más comunes que se presentan en infraestructuras carreteras.

- a) Impacto Primario.-** Cualquier efecto en el ambiente biofísico o socioeconómico que se origina de una acción directamente relacionada con el proyecto; puede incluir efectos tales como: destrucción de ecosistemas, alteración de las características del agua subterránea, alteración o destrucción de áreas históricas, desplazamiento de domicilios y servicios, generación de empleos temporales, aumento en la generación de concentraciones de contaminantes, entre otras.
- b) Impacto Secundario.-** Cubren todos los efectos potenciales de los cambios adicionales que pudiesen ocurrir más adelante o en lugares diferentes como resultado de la implementación de una acción en particular, estos impactos pueden incluir: construcción adicional y/o desarrollo, aumento del tránsito, aumento de la demanda

recreativa y otros tipos de impactos fuera de la instalación generados por las actividades de la instalación.

- c) **Impactos a Corto Plazo y Largo Plazo.-** Los impactos pueden ser a corto o largo plazo, dependiendo de su duración. La identificación de estos impactos es importante porque el significado de cualquier impacto puede estar relacionado con su duración en el medio ambiente. La pérdida de pasto u otra vegetación herbácea corta en un área podría considerarse un impacto a corto plazo, porque el área podría revegetarse muy fácilmente en un corto tiempo, sin embargo, la pérdida de un bosque maduro se considera un impacto a largo plazo debido al tiempo necesario para reforestar el área y para que los árboles lleguen a la madurez.
- d) **Impacto Acumulativo.-** Son aquellos impactos ambientales resultantes del impacto incrementado de la acción propuesta sobre un recurso común cuando se añade a acciones pasadas, presentes y razonablemente esperadas en el futuro.
- e) **Impacto Inevitable.-** Es aquel cuyos efectos no pueden evitarse total o parcialmente, y que por lo tanto requieren de una implementación inmediata de acciones correctivas.
- f) **Impacto Reversible.-** Sus efectos en el ambiente pueden ser mitigados de forma tal, que se restablezcan las condiciones preexistentes a la realización de la acción.
- g) **Impacto Irreversible.-** Estos impactos provocan una degradación en el ambiente de tal magnitud, que rebasan la capacidad de amortiguación y repercusión de las condiciones originales.
- h) **Impacto Residual.-** Es aquel cuyos efectos persistirán en el ambiente, por lo que requiere de la aplicación de medidas de atenuación que consideren el uso de la mejor tecnología disponible.
- i) **Impacto Mitigado.-** Aquel que con medidas de mitigación (amortiguación, atenuación, control, etc.) reduce los impactos adversos de una acción propuesta sobre el medio ambiente afectado.

5.3) IMPACTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN POR ETAPAS

Se presentan las cuatro etapas, iniciando con la etapa de Pre-Construcción en la que se incluyen las actividades de proyecto y las afectaciones; la segunda etapa es la de Preparación del Sitio, que si bien forma parte de la construcción de una carretera, en las Manifestaciones de Impacto Ambiental se considera independiente; la tercera es la etapa de Construcción y la cuarta y última es la de Operación y Mantenimiento.

5.3.1) ETAPA DE PRE - CONSTRUCCIÓN

Está definida como todos los trabajos que se desarrollan hasta la entrega del proyecto ejecutivo que ha de implantarse, incluyendo la liberación del derecho de vía, es decir, se establecieron las posibles alternativas de solución (en este caso proyectos) y se hizo una selección de la mejor alternativa.

La etapa de pre – construcción contiene exclusivamente dos actividades: Proyecto y afectaciones, para las cuales se definen los posibles impactos y se presentan una serie de medidas de mitigación factibles de llevarse a cabo, a fin de minimizar aquellos que resulten adversos.

ETAPA DE PRE – CONSTRUCCIÓN

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Proyecto	Deslaves, hundimientos, deslizamientos y demás movimientos masivos en los cortes	Trazar la ruta de tal manera que se eviten las áreas inherentemente inestables Incluir la estabilidad de cortes con estructuras como paredes de concreto, albañilería seca, gaviones, etc.	Adverso
Afectaciones	Afectación a la actividad agropecuaria	No mitigable	Adverso
	Afectación a propietarios de terrenos	Compensación económica Reubicación de propietarios	Adverso, puede llegar a ser benéfico
	Inducción de migraciones y cambios en la densidad de población	No mitigable	Adverso
	Afectación sobre el uso de suelo habitacional	Compensación económica Reubicación de propietarios Modificación del trazo	Adverso, puede llegar a ser benéfico

Figura 5.1. Etapa de Pre-Construcción

5.3.2) ETAPA DE PREPARACIÓN DEL SITIO

Se refiere a las actividades que se llevan a cabo como inicio de la construcción de una carretera. Son exclusivamente dos las tareas que se incluyen dentro de esta etapa, el desmonte y despálme para preparar el terreno donde se ha de construir el camino, y los caminos de accesos que se “construyen” cuya función es la de permitir el tránsito de la maquinaria y equipo, los cuales no cumplen especificaciones técnicas y tienen la particularidad de ser temporales, es decir, que solamente se utilizan durante la construcción y una vez terminada se inhabilitan o abandonan en buena parte de los casos.

ETAPA DE PREPARACIÓN DEL SITIO

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Desmonte y despálme	Afectación de las corrientes de agua por mala disposición del material removido	Disposición del material lejano a las corrientes de agua	Adverso
	Contaminación de la corriente de agua superficial	Disposición del material lejano a las corrientes de agua Colocación de malla sobre los cuerpos de agua para evitar sólidos suspendidos Establecer presas de decantación para que los sedimentos en suspensión sean retenidos	Adverso
	Obstrucción de ríos y arroyos	Disposición del material lejano a las corrientes de agua	Adverso
	Contaminación del suelo	Evitar el uso de herbicidas o agroquímicos	Adverso

PROYECTO GEOMÉTRICO DEL CAMINO BARRANQUILLAS – EL CUATE DEL MUNICIPIO DE TANCÍTARO MICHOACÁN.

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Desmonte y despalme	Erosión	Inducir vegetación en las áreas aledañas a los desmontes y despalmes para detener la erosión Reutilización de la capa orgánica sobre el derecho de vía, una vez terminada la construcción de la carretera Programar las obras en época de estiaje para evitar la erosión hídrica	Adverso
	Modificación de la topografía	No mitigable	Adverso
	Contaminación del aire por humos	Evitar la quema de la vegetación Acatamiento a la norma oficial mexicana NOM-CCAT-007-ECOL-1993 ¹ para unidades que utilizan diesel como combustible	Adverso
	Cambios en el microclima	Los efectos pueden minimizarse estableciendo vegetación, al concluir las obras, en camellones y a ambos lados de los cuerpos	Adverso
	Ruido	No mitigable	Adverso
	Remoción de la capa de suelo fértil	Realizar un programa de rescate de flora, previo al desmonte, especialmente la que sea de utilidad en la región Reutilización del material para posteriores actividades como arroje de taludes, reforestación, etc.	Deberá prestarse especial cuidado en el manejo del material seco, ya que su acumulación puede contribuir a los incendios forestales
	Afectación del hábitat de fauna silvestre	No mitigable	Adverso
ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Desmonte y despalme	Perturbación y desplazamiento de la fauna silvestre	Evitar los trabajos en época de reproducción, sobre todo en casos de especies en peligro de extinción o de alto valor para la región Evitar la caza furtiva Realizar el desmonte de manera paulatina para permitir el desplazamiento de la fauna	Adverso
	Modificación del paisaje	No mitigable	Adverso
	Generación de empleos		Benéfico
	Incremento en el consumo de bienes y servicios locales		Benéfico, aunque puede ser adverso si hay escasez
Caminos de acceso ²	Remoción de la capa vegetal	Recolección y conservación de la capa vegetal, que será utilizado en la revegetación de estos caminos, previa escarificación	Adverso

Figura 5.2. Etapa de preparación del sitio

5.3.3) ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

En esta etapa se consideraron las siguientes actividades:

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Campamentos y oficinas de campo	Contaminación de las corrientes superficiales de agua	Instalación de sanitarios portátiles, incluyendo el tratamiento de aguas residuales y eliminación de químicos En caso de existir una población cercana se deberá conectar al drenaje municipal Vigilar que no existan vertimientos de aguas residuales, desechos de obra, ni fecalismo en ríos, arroyos o canales de riego El agua de lavado de los trabajadores se debe captar en tambos o bien en el sistema de drenaje municipal	Adverso
	Extracción de agua	Proporcionar agua potable a los trabajadores, evitando la toma indiscriminada de diferentes fuentes de abastecimiento superficial o subterráneo	Adverso

PROYECTO GEOMÉTRICO DEL CAMINO BARRANQUILLAS – EL CUATE DEL MUNICIPIO DE TANCÍTARO MICHOACÁN.

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Campamentos y oficinas de campo	Contaminación del suelo	Se colocarán botes para el almacenamiento de los residuos sólidos, vigilando su transportación periódica al basurero municipal Al término de la obra se deberá limpiar el terreno y adicionar una capa de tierra vegetal producto del desmonte y despalme	Adverso
	Contaminación del aire	Evitar las fogatas	Adverso Esta práctica implica un riesgo
	Contaminación del aire provocado por los motores de las plantas generadoras de luz	Que los motores a Diesel o gasolina cumplan con las normas correspondientes.	Adverso
Excavación y nivelación	Drenaje superficial	Colocación de malla sobre los cuerpos de agua para evitar sólidos suspendidos Establecer presas de decantación para que los sedimentos en suspensión sean retenidos	Adverso
	Incremento en la erosión de los suelos	Programar las obras en época de estiaje para evitar la erosión hídrica	Adverso
	Afectación de suelo e hidrología	Definir los lugares donde será depositado el material no empleado, cuidando la no-afectación de corrientes de agua superficiales y zonas de alta productividad agrícola Reutilización del material no empleado para posteriores actividades	Adverso
	Contaminación del aire	Humedecer la superficie a excavar para evitar partículas suspendidas	Adverso
ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Excavación y nivelación	Riesgo de accidentes	Colocación de extinguidores en sitios visibles y de fácil acceso Contar con un botiquín de emergencias y tener identificado el hospital más cercano, así como la ruta de acceso más corta y segura Establecer un sistema de seguridad en las zonas de mayor tránsito, para evitar el paso de personas ajenas a la zona de trabajo	Adverso
	Generación de empleos		Benéfico
Obras de drenaje y subdrenaje	Incorporación de estructuras y elementos ajenos al terreno natural	No mitigable	Adverso
	Generación de empleos		Benéfico
	Socavación	Emplear materiales no susceptibles a la erosión en la parte baja de los puentes Colocar cimentaciones de roca Usar dissipadores de energía (zampeado o muros) a la salida de la tubería	Adverso
	Afectación a la fauna	Consultar y atender las recomendaciones de especialistas sobre hábitat de peces y su importancia	Adverso
ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Cortes y terraplenes	Reducción de agua superficial o subterránea	Deberán localizarse previamente las fuentes de suministro de agua para la formación de terraplenes, además de obtener los permisos correspondientes de la Comisión Nacional del Agua	Adverso
	Modificación de las tasas de infiltración de mantos de agua subterránea	No mitigable	Adverso Pudiera resultar en un impacto positivo
	Modificación de las corrientes y caudales por la modificación del drenaje natural	Suavizar pendientes de cortes y terraplenes	Adverso
	Modificación de la calidad del suelo, por contaminación con residuos sólidos, material de construcción y residuos peligrosos	Evitar la disposición sobre el suelo de los residuos sólidos orgánicos producto de la ingesta y desechos de los trabajadores, colocando tambos para depósito de la basura Recolectar los materiales de construcción Recolectar los materiales con aceite en recipientes de acuerdo al reglamento de residuos peligrosos	Adverso

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Cortes y terraplenes	Inestabilidad de taludes	Realizar estudio específico en cada caso para definir la solución adecuada, entre las que se pueden considerar: Suavizar las pendientes de los cortes y terraplenes, y cubrir posteriormente con suelo fértil procurando aprovechar el que se removió durante el despalme En cortes con problemas de estabilidad, donde no haya suelo capaz de sostener vegetación, proteger con malla y concreto lanzado para contener el material fragmentado En cortes con alturas superiores a 10 metros utilizar bermas para aumentar la estabilidad del talud Para taludes rocosos inestables se podrá colocar malla metálica galvanizada, anclada y colocar hidrosiembra; aumentar el ancho de los acotamientos para recepción de los desprendimientos o bien colocar muros de contención Colocar redes metálicas, drenes y cunetas en la cabeza del talud Usar filtros (agregados porosos o geotextiles) para controlar los deslizamientos	Adverso
ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Cortes y terraplenes	Erosión eólica e hídrica por degradación y desaparición de la cubierta vegetal	Promover un programa de rescate de vegetación que incluya el retiro de especies, su preservación durante el traslado, la resiembra y la supervisión y mantenimiento de las acciones Suavizar las pendientes de los cortes y terraplenes, y cubrir posteriormente con suelo fértil procurando aprovechar el que se removió durante el despalme Cortar el flujo de escorrentía antes de que el agua adquiera suficiente velocidad para iniciar el proceso erosivo, se deberán construir terrazas o bermas Impermeabilizar la parte alta de los taludes Revestir de roca el talud, colocando una capa filtrante (geotextil o mezcla de grava y arena) debajo del enrocado	Adverso
	Generación de empleos		Adverso
Explotación de bancos de material	Eliminación de la cubierta vegetal	En la etapa de abandono se deberá restituir el suelo	Adverso
	Disminución del recurso suelo	No mitigable	Adverso
	Modificación de los drenajes naturales	No mitigable	Adverso
	Disminución de la productividad agrícola en la zona de influencia por la deposición de polvo	Utilizar vehículos cubiertos y manejar los materiales húmedos Establecer procedimientos adecuados en el manejo de los materiales para evitar emisiones fugitivas de polvo	Adverso

Figura 5.3. Etapa de construcción

PROYECTO GEOMÉTRICO DEL CAMINO BARRANQUILLAS – EL CUATE DEL MUNICIPIO DE TANCÍTARO MICHOACÁN.

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Operación de maquinaria y equipo	Contaminación del suelo y subsuelo por derrame de combustible	Vigilar periódicamente que el sistema de combustible no tenga fugas En caso de requerirse almacenamiento temporal de combustible (recarga a maquinaria durante la jornada de trabajo), este deberá estar en tambo de 200 litros, alejado de corrientes superficiales y con el señalamiento adecuado a fin de evitar manejos imprudenciales	Adverso
	Generación de empleos		Benéfico
Plantas de asfalto, concreto, trituradoras, talleres y patios de servicio	Calidad del agua	No colocar las instalaciones temporales dentro del área de drenaje natural Colocar los materiales de desecho lejos de las corrientes superficiales y cubrirlos Instalación de sanitarios portátiles, incluyendo el tratamiento de aguas residuales y eliminación de químicos. En caso de existir una población cercana se deberá conectar al drenaje municipal El agua de lavado de los trabajadores se debe captar en tambo o bien en el sistema de drenaje municipal	Adverso
	Generación de polvos	Las bandas transportadoras y las tolvas deberán cubrirse con lonas Para el transporte de materiales se deberán cubrir los camiones con lonas y de ser posible transportar los materiales húmedos Colocación de telas plásticas antipolvos alrededor de la planta en las cercas que delimitan el área	Adverso Antes de ubicar la planta de asfalto, estudiar el régimen de vientos
ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Plantas de asfalto, concreto, trituradoras, talleres y patios de servicio	Riesgos de accidentes	En caso de requerir explosivos, su almacenamiento deberá ubicarse lejos de estas instalaciones Colocación de extinguidores en sitios visibles y de fácil acceso Contar con un botiquín de emergencias y tener identificado el hospital más cercano, así como la ruta de acceso más corta y segura Establecer un sistema de seguridad en las zonas de mayor tránsito, para evitar el paso de personas ajenas a la zona de trabajo	Adverso
	Generación de empleos		Benéfico
Pavimentación	Afectación al microclima	No mitigable	Adverso
	Pérdida de la utilización del suelo	No mitigable	Adverso
	Contaminación de la calidad de agua	Situar la subrasante por lo menos a 1.5 metros por encima de la capa freática Colocar parapetos para retener los sedimentos durante la construcción Utilizar balsas de decantación	Adverso
	Cambios en los patrones de escurrimientos de aguas superficiales	Contar con un buen proyecto de drenaje y subdrenaje	Adverso
	Afectación al suelo	La disposición de los sobrantes de la mezcla asfáltica deberá recogerse y, en camiones de volteo, retornarse a la planta de asfalto para su reciclado o disposición definitiva	Adverso
	Reducción de la infiltración	No mitigable	Adverso
	Generación de empleos		Benéfico

Figura 5.4. Etapa de construcción

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Puentes y pasos vehiculares	Modificación de cauces	Contar con un buen proyecto hidrológico Evitar el desvío de las corrientes superficiales (si es posible construir vados)	Adverso
	Interrupción temporal de corrientes	Procurar que estas obras se realicen en épocas de estiaje	Adverso
	Calidad del agua	Evitar arrojar desechos en las corrientes superficiales producto de la construcción	Adverso
	Generación de empleos		Benéfico
Obras complementarias	Modificación del drenaje natural	Colocar las obras complementarias de drenaje (cunetas, lavaderos, bordillos, etc.) en lugares adecuados	Adverso
	Incremento a la erosión	Reforestar las zonas donde se haya modificado el drenaje superficial a fin de reducir la erosión	Adverso
	Desplazamiento de fauna	Hacer un estudio de la movilidad de la fauna silvestre, así como zonas de pastoreo para colocar pasos inferiores que permitan un adecuado desplazamiento	Adverso
	Generación de empleos		Benéfico
Manejo y disposición de residuos de obra	Contaminación del suelo y subsuelo	Establecer bancos de tiro que no interfieran con las corrientes superficiales de agua, con las zonas de recarga de acuíferos y en zonas de baja productividad agropecuaria	Adverso
	Deterioro del paisaje	Contar con un programa de restauración en bancos de tiro a fin de buscar la reutilización del suelo	Adverso
Señalamiento	Deterioro del paisaje	Evitar señalamientos adicionales en el derecho de vía	Adverso
	Reducción de la visibilidad	Plantar arbustos para destacar las curvas Plantar arbustos en isletas y desviaciones para resaltar las entradas y salidas	Adverso
ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Señalamiento	Generación de empleos		Benéfico
Servicios adicionales al usuario	Generación de empleos		Benéfico Creación de paradores, este tipo de instalaciones deberán procurar adaptarse al paisaje de la zona
	Invasión del derecho de vía	Controlar los asentamientos y cambios en el uso de suelo dentro del derecho de vía	Adverso

Figura 5.5. Etapa de construcción

5.3.4) ETAPA DE CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

La buena conservación es esencial en los caminos. Una vez ejecutado un proyecto apropiado, el mantenimiento de debe incluir los siguientes tipos para que la carretera funcione de acuerdo al diseño: Preventivo, rutinario, correctivo y reconstrucción.

En esta etapa se consideraron dos actividades fundamentales:

- Conservación
- Tránsito vehicular

Para la conservación se analizaron los trabajos que llevan a cabo como son:

Bacheo, limpieza y desazolve de cunetas, riego de sello, chapeo, limpieza y reparación de señalamiento vertical, pintura de marcas de pavimento, etc.

En la operación se estudiaron los impactos que produce la circulación, tales como contaminación del aire, ruido, basura que arrojan a la carretera, accidentes, entre otros.

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Tránsito vehicular	Contaminación del aire	Establecer un programa de reforestación a fin de compensar la contaminación por emisiones de humo	Adverso
	Contaminación de ruido	Colocar barreras vegetales (vía reforestación) En casos específicos deberá analizarse la necesidad de construir barreras con materiales absorbentes de ruido, pudiendo utilizarse el excedente de la excavación para formar barreras en zonas urbanas Reducir límites de velocidad de operación en zonas urbanas Desviar el tránsito pesado en horario nocturno en zonas urbanas	Adverso
ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Mantenimiento Conservación	Contaminación del agua superficial y subterránea y desequilibrio ecológico ⁹	Establecer un programa de limpieza y desazolve de cunetas ⁹ Retirar escombros ⁹ Control del manejo de combustibles y lubricantes y derivados de asfalto por personal técnico especializado para evitar fugas ⁹ Construir obras de drenaje necesarias para mantener el patrón hidrológico superficial ⁹ Inspeccionar las condiciones de cables, vigas, cimientos, etc. de puentes al menos cada dos años Limpiar arbustos en el canal, inspeccionar pintura, y tapar grietas	Adverso
	Contaminación del aire ⁹	Reforestar los claros y partes altas con flora nativa de la región ⁹ Cubrir con lona los materiales transportados en fase húmeda ⁹	
	Generación de empleo ⁸		Benéfico
	Riesgo de accidentes ⁹	Contar con los dispositivos de señalamiento adecuados y hasta donde sea posible hacerlo en las horas de menor tránsito vehicular, limitando la longitud al mínimo operativo ⁹	Adverso

Figura 5.6. Etapa de conservación y operación.

OBSERVACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1) OBSERVACIONES PARTICULARES.

- a) En todos los casos, el cuerpo de terraplén, se compactara al 95% o se bandeara según sea el caso; las capas de subrasante se compactaran al 100%; los grados de compactación indicados son con respecto a la prueba proctor o porter dependiendo de la granulometría del material, por lo que quedara a juicio del laboratorio de control de calidad o supervisión aplicar la prueba que corresponda.
- b) En todos los casos, cuando no se indique otra cosa, el terreno natural, después de haberse efectuado el despalme o corte correspondiente, el piso descubierto deberá compactarse al 90% de su pvsm en una profundidad mínima de 0.20 m.; o bandearse según sea el caso.
- c) Material que por sus características, no debe utilizarse en construcción del cuerpo del terraplén.
- d) En cortes formados en este material, la cama de corte, se deberá compactar al 90% de su pvsm, en una profundidad mínima de 0.20 m y se deberá proyectar capa subrasante de 0.30 m de espesor, compactándola al 100% con material procedente del banco más cercano.
- e) En este tramo se deberá proyectar en cortes y terraplenes bajos, capa de subrasante de 0.30 m; en caso de ser necesario se deberán abrir cajas de profundidad suficiente para alojar las capas citadas; ambas capas se proyectaran con préstamo del banco más cercano.
- f) En cortes, la superficie descubierta, se deberá compactar al 90% de su pvsm respectivo en un espesor mínimo de 0.20 m. con lo que quedara formada la capa del terreno natural, posteriormente se incorporará el material de subrasante de 0.30 m, misma que deberá compactarse al 100% de su pvsm., la cual deberá de construirse con material de préstamo del banco más cercano.

2) OBSERVACIONES GENERALES.

- 1. La capa subrasante se deberá construir de 0.30 m. de espesor y compactarla en todos los casos el 100% del P.V.S.M. Obtenido en la prueba proctor estándar.
- 2. La estructuración del terraplén y la capa subrasante se llevará a cabo con materiales provenientes de préstamo de banco.
- 3. Con el material producto del despalme se podrá arropar los taludes de los terraplenes.
- 4. En todo el tramo tanto las cunetas como las contracunetas deberán impermeabilizarse con concreto hidráulico de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, con un espesor de 8 cm.
- 5. Los taludes del proyecto que deberán considerarse para terraplenes son los siguientes:

ALTURAS.	INCLINACIÓN.
ENTRE 0.00 Y 1.50 METROS.	1.5:1
MAYOR DE 1.50 METROS.	1.5:1

6. En todos los cortes la parte superior intemperizada de material se descopetara, dejando un talud de 1: 1.
7. El material que forme la capa subrasante, no deberá contener partículas mayores de 75 mm (3”), cuando estas existan deberán eliminarse mediante papeo.
8. Al material grueso no compactable, se le dará un tratamiento de bandeado para aumentar su acomodo; este material solo servirá para formar el cuerpo del terraplén, construyéndose por capas sensiblemente horizontales con espesor aproximadamente igual a la de los fragmentos y se dará como mínimo tres pasadas a cada punto de su superficie con tractor d-8 o similar.
9. Se recomienda que en pendientes mayores a las máximas indicadas se considere una capa de rodamiento a base de concreto hidráulico del tipo mr-45.

3) PARA OBRAS DE DRENAJE MENOR.

A continuación se hacen las siguientes recomendaciones generales para la construcción de las obras de drenaje menor para éste camino.

Todos los bajos pequeños y que no requieren obras, se encauzaran por medio de canales, hacia a las obras más cercanas haciendo los cortes y rellenos que sean necesarios no mayores de 1.00 metros.

Los muros serán de mampostería de 3ra. Clase con mortero de cemento 1:5, el despalme se efectuará en capas compactándolo hasta obtener el 95% AASHTO estándar, para ello, se podrá variar su elevación, a juicio del ingeniero residente.

Los coronamientos llevarán un chapeo de 3 cm de espesor, con mortero de cemento 1:5
En caso de muros para sostenimiento de tierras, en la zona posterior al muro se colocará una capa de 30 cm de espesor limitada en su parte inferior por la posición de tubos de barro o PVC ranurados, que se colocaran cada 3.00 m de distancia y serán de 10 cm de diámetro.

Cuando se presenten cambios en la resistencia del terreno se dispondrán juntas de construcción con objeto de independizar los asentamientos.

La ejecución de las obras, así como los materiales empleados en ellas se sujetaran en todo a las especificaciones generales set vigentes.

4) PARA OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE.

4.1) CUNETAS Y CONTRACUNETAS.

En la zonas donde existan cortes, se deberán de construir cunetas para interceptar el agua que escurre de la corona del camino y del talud del corte y conducir esta agua hacia una corriente natural transversal, esta cuneta.

Deberá tener una sección triangular con una profundidad de 33 cm., un ancho de 1 m y taludes del lado de la corona de 3:1 y del lado del corte el que corresponda según el material que se encuentre. Se propone recubrirlas con concreto hidráulico de un f'c de 150 kg/cm² con un espesor de 8 cm.

Para evitar problemas de erosión en los taludes de los cortes, en cortes con alturas mayores de 10 m se recomienda la construcción de contracunetas aguas arriba de los cerros del corte. Se propone una sección trapezoidal con 60 cm de plantilla y taludes conformados de acuerdo a la naturaleza del terreno, con una profundidad de 50 cm y revestidas con concreto hidráulico f'c de 150 kg/cm² con un espesor de 8 cm.

4.2) BORDILLOS Y LAVADEROS.

En sección en balcón y de terraplén mayores a 1.50 m de altura, se deberán de construir bordillos de concreto hidráulico, con el objetivo de conducir el agua que escurre de la corona del camino hacia los lavaderos y bajadas de agua, evitando con esto la erosión y saturación de los taludes. Los bordillos serán de sección trapezoidal con 15 cm en la base mayor y 8 cm en la base menor y una altura de 12 cm., de concreto hidráulico f'c de 150 kg/cm², con juntas de expansión por lo menos a cada 10 m y anclajes de 15 cm a cada metro a base de acero de refuerzo de 3/8".

Los lavaderos son canales que se conectan con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes con el propósito de conducir el agua que escurre por los acotamientos hasta lugares alejados de los terraplenes, donde no afecten a éstos. Serán construidos a base de concreto hidráulico con f'c de 200 kg/cm², y si son muy largos se construirán de media sección de tubo de lámina galvanizada corrugada con juntas atornilladas, en ambos casos los lavaderos deben de salir de una plantilla de concreto o de mampostería, así como deberán de rematar al final de la bajada con un dentellón de mampostería a concreto. Para los lavaderos metálicos se deberán de construir en las zonas intermedias del lavadero silletas o atranques de concreto o en su defecto de mampostería.

4.3) SUBDRENES.

Se propone la construcción de subdrenes en las zonas donde se encuentren cavidades en los suelos, fracturas y fallas en las rocas; estos serán construidos en una zanja al pie de los taludes del corte, con colocación de un tubo de concreto perforado en la parte inferior y la colocación de un material filtrante.

5) PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

Terracerías.

- a) Los trabajos de desmonte, despalme y cortes, así como la limpieza general del área por construir, se realizarán siguiendo los lineamientos indicados en el proyecto de terracerías correspondientes.
- b) En los casos de corte en cajón, una vez efectuado el despalme se abrirá caja cuyas dimensiones deberán estar debidamente indicadas en el proyecto, el piso de corte o caja deberá compactarse al 90% de su pvsm de la prueba proctor estándar en una profundidad de 0.30 m o bandearse según sea el caso.
- c) Para el caso de terraplenes se construirá el cuerpo de terraplén con una altura variable dependiendo de la rasante de proyecto y se compactará al 95% de su pvsm de la prueba proctor estándar.
- d) Finalmente la capa subrasante se construirá con un espesor de 0.30 m, debiéndose compactar el material que constituya dicha capa al 100% de su pvsm de la prueba porter estándar, con material procedente del banco más cercano.
- e) Los materiales empleados para la formación de las capas de subrasante deberán ser procedentes de bancos de préstamo y de acuerdo con lo indicado en el proyecto de terracería correspondiente.

Pavimento.

1.- Base hidráulica.

Sobre la superficie de la capa de subrasante debidamente afinada y terminada, se colocará una capa de base hidráulica de 0.20 m de espesor, compactada al 100% de su pvsm de la prueba porter estándar, con materiales procedentes de los bancos indicados para este fin en la tabla de bancos de materiales de este proyecto.

La calidad de los materiales deberá cumplir la **NORMA N-CMT-4-02-002/04** y la ejecución de los trabajos como se indica en la **NORMA N-CTR-CAR-1-04-002/03**.

2.- Barrido.

Sobre la superficie de la base hidráulica, se deberá de efectuar un barrido, dicho proceso se dará por terminado cuando se hayan eliminado las materias indeseables y perjudiciales (grumos, basura, vegetación, etc.).

3.- Riego de impregnación de la base hidráulica.

Sobre la base hidráulica debidamente afinada y terminada, superficialmente húmeda y barrida, se aplicará en todo el ancho de la sección, así como en taludes que formen el pavimento, un riego de impregnación con emulsión asfáltica de rompimiento medio o súper estable a razón de 1.0 lt/m².

El producto asfáltico (asfalto rebajado) deberá reunir las características que indica la **NORMA N-CMT-4-05-001/06** de la normatividad sct.

La calidad de los materiales deberá cumplir con la norma **N-CMT-4-05-001/06** y la ejecución de los trabajos como se indica en la norma **N-CTR-CAR-1-04-004/00**.

4.- Riego de liga para la carpeta.

Sobre la base asfáltica debidamente terminada e impregnada, se aplicara en todo el ancho de la sección un riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido, a razón de 0.60 lt/m². Aproximadamente, como lo indica la **NORMA N-CMT-4-05-001/06**.

El producto asfáltico (asfalto rebajado) deberá reunir las características que indica la **NORMA N-CMT-4-05-001/06** de la normatividad de sct.

La calidad de los materiales deberá cumplir la **NORMA N-CMT-4-05-001/06** y la ejecución de los trabajos como se indica en la **NORMA N-CTR-CAR-1-04-005/00**.

5.- Carpeta de concreto asfáltico.

Sobre la capa de base hidráulica y debidamente ligada, se construirá una carpeta de concreto asfáltico, utilizando material procedente del banco de préstamo indicando para este fin el cuadro de bancos del presente proyecto y cemento asfáltico del tipo AC-20 con una dosificación aproximada de 125 lt/m³ de material pétreo seco y suelto, la mezcla será elaborada en planta y en caliente y el tendido se efectuara compactándola al 98% de su peso volumétrico determinado en la prueba de diseño Marshall.

La calidad de los pétreos para formar la carpeta de concreto asfáltico deberá de cumplir con la **NORMA N-CMT-4-04/08** y la construcción de la carpeta se deberá de apegar a los lineamientos indicados en la **NORMA N-CTR-CAR-1-04-006/09**.

El cemento asfáltico que conforme la carpeta deberá de cumplir la **NORMA N-CMT-4-05-001/05**.

La mezcla se proyectara por el procedimiento de diseño Marshall para que cumpla con los requisitos de diseño que se indican en la columna de la intensidad de tránsito de más de 2000 vehículos diarios, como lo indica el libro M-MMP, de la normatividad sct.

Dado a que se utilizara cemento asfáltico ac-20, la mezcla deberá realizarse a una temperatura de entre 140°C y 165°C. La mezcla al momento de vaciarse en la pavimentadora, deberá tener una temperatura no menor a 135°C.

La temperatura se medirá en el camión antes de descargar en la pavimentadora. La compactación se efectuara inmediatamente después de tendida la mezcla con una temperatura no menor a los 130°C.

6.- Aditivos.

Con el objeto de mejorar la adherencia de los materiales pétreos con los productos asfálticos, se deberá de prever el empleo de aditivos, cuyo tipo y dosificación serán proporcionados por el laboratorio de control de la secretaria, después que el agregado pétreo haya sido debidamente tratado.

Los tipos de aditivos que se utilizaran en el cemento asfáltico AC-20 deberán de incorporarse en una proporción aproximada del 1% en peso, que se ajustara de acuerdo con las pruebas realizadas por el laboratorio de la secretaria.

7.- Riego de sello.

Sobre la carpeta de concreto asfáltico se deberá de colocar el riego de sello con material pétreo tipo 3-A, anterior al pétreo se aplicara en todo el ancho de la sección un riego de liga para el sello, con una emulsión asfáltica del tipo de rompimiento medio, a razón de 1.5 lt/m².

El producto asfáltico (asfalto rebajado) deberá de reunir las características que indica la **NORMA N-CMT-4-05-001/06** de la normatividad sct.

La calidad de los materiales deberá cumplir la **NORMA N-CMT-4-04/08** y la ejecución de los trabajos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el tramo estudiado se encontró que en la mayoría del tramo existe un estrato de revestimiento formado con material de banco, en el cual, su espesor es variable, tiene una estratigrafía de tipo uniforme compuesta generalmente de limos y arcillas inorgánicas de alta plasticidad.

Además de lo anterior, se recomiendan las siguientes observaciones para todo el tramo en estudio.

- 1.- Los trabajos se iniciaran con el desmonte, despalme y limpieza en general del área en donde quedara alojado la ampliación del cuerpo del camino, de acuerdo a lo indicado en este proyecto.
- 2.- El despalme se hará hasta la profundidad indicada en las tablas de datos y de la manera conveniente para eliminar el material correspondiente al primer estrato.
- 3.- Los terraplenes desplantados en un terreno con pendiente natural igual o mayor al 25%, se anclaran al terreno natural mediante escalones de liga a partir de los ceros del mismo, cada escalón tendrá un ancho mínimo de huella de 2.50 m en material tipo “a” o “b” y en material “c” el escalón tendrá un metro de huella; en ambos casos la separación de dichos escalones será de 2.00 m., medidos horizontalmente, a partir de los ceros mismos.
- 4.- En los taludes de los cortes, no se dejaran fragmentos rocosos o porciones considerables de material susceptibles de desplazarse hacia el camino.
- 5.- Con el material producto del despalme, se deberán arropar los taludes de los terraplenes.
- 6.- Se deberá propiciar la forestación de los taludes de los cortes y terraplenes con vegetación para evitar la erosión de los mismos.
- 7.- Debe evitarse que la boquilla de aguas debajo de las alcantarillas descargue sus aguas sobre el talud del terraplén construido, en estos casos la obra de drenaje se prolongara con lavaderos, hasta los ceros del terraplén.
- 8.- Cualquier ampliación de corte por requerimiento de material únicamente, debe hacerse a partir del talud de la cuneta, o bien formando una banquetta, la cual quedara debidamente drenada y de preferencia aguas abajo.
- 9.- Se recomienda que el espesor de la carpeta se considere un abundamiento del 30% al 35% como mínimo para que cuando este se coloque compactado nos queden los 5 cms de proyecto.

10.- En la zona se cuenta con bancos de préstamo con calidad y cantidad aceptable para la construcción de terracerías y pavimentos.

11.- En caso de requerir cortes mayores de 30 m, se deberán tener en cuenta todas las recomendaciones correspondientes, así como sus obras de protección.

12.- Cuando se tiendan materiales asfálticos, dependen del tipo de clima, si es muy caliente se puede trabajar con un cemento asfáltico hecho en planta, a una temperatura mayor de 110°C.

13.- En climas de tipo templado o frío se pueden recomendar emulsiones de rompimiento lento o súper estable, ya que todo queda a criterio del proyectista.

14.- Las pruebas de geotecnia representan una gran responsabilidad y son de gran importancia para tener un control de calidad de lo más adecuado.

15.- Se debe de tener gran importancia en el diseño, construcción y conservación del camino, ya que de esto depende el correcto funcionamiento del mismo.

BIBLIOGRAFIA

1. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, Secretaria de Obras Públicas México 1917.
2. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, SCT. Cuarta Reimpresión. México, 1991.
3. Manual de Proyecto Geométrico de Caminos Rurales: Secretaria de Comunicaciones y Transportes, SCT.
4. Secretaria de Comunicaciones y Transporte: “Normas de Servicios Técnicos” Proyecto Geométrico-Carreteras México, 1984.
5. Ing. Carlos Crespo Villalaz: “Vías de la comunicación caminos, ferrocarriles, Aeropuertos, puentes y Puertos” Editorial: Limusa México.
6. Fernando Olivera Bustamante: “Estructuración de Vías Terrestres” Editorial: Continental, Octava reimpresión México 2006.
7. Instituto Nacional de Vías de Colombia: “Manual de Diseño Geométrico de Carreteras”,2008.
8. Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2006.
9. Google Earth, versión 7.1.2.2019.
10. James Cárdenas Grisales: “Diseño Geométrico de Carreteras” Editorial: Ecoe. Colombia, 2002
11. Secretaria de Comunicaciones y Transporte, Instituto Mexicano del Transporte: “Recomendaciones de Actualización de Algunos Elementos del Proyecto Geométrico de Carreteras”, Publicación Técnica No. 244, Sanfandila, Qro, 2004.
12. Secretaria de Comunicaciones y Transporte: “Conceptos que Conforman el Proyecto Ejecutivo de Carreteras”, México 2012.
13. Secretaria de Comunicaciones y Transporte: “Ingeniería de Caminos Rurales, Guía de campo para mejorar las prácticas de Gestión de Caminos Rurales” 2008
14. Secretaria de Comunicaciones y Transporte: “Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT).

15. Propuesta reciente de clasificación de carreteras para el Reglamento de Pesos, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal. Dirección General de Servicios Técnicos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), México, D F (2003).
16. Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal. Diario Oficial de la Federación, 19 de octubre de 2000.
17. Mendoza D, Alberto y José E Jiménez Sánchez. Relación Peso/Potencia de los Vehículos de Carga en México. Publicación Técnica No. 26, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro. (1991).
18. <http://www.nuestro-mexico.com/Michoacan-de-Ocampo/Tancitaro/Barranquillas-Rincon-de-Barranquillas/>
19. <http://www.nuestro-mexico.com/Michoacan-de-Ocampo/Tancitaro/Areas-de-menos-de-500-habitantes/El-Cuate/>

ANEXOS

ANEXOS A

INFORME DEL LABORATORIO DEL TERRENO NATURAL.	1
---	----------

OBRA:	CAMINO: EL CUATE-BARRANQUILLAS.
TRAMO:	DEL KM. 0+000 AL KM. 4+743
UBICACIÓN:	TANCÍTARO, MICHOACAN

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA.	PCA NO.:	1	2	3
	KILOMETRO:	0+000	0+500	1+000
	ESTRATO NO.:	T/N	T/N	T/N
	PROFUNDIDAD EN M:	0.60	0.60	0.60

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL.	Tamaño Máximo	1"	4"	2½"
	% Retenido en malla de 7.500 mm.	0	3	0
	% Que pasa Malla de 4.750 mm.	88	85	90
	% Que pasa Malla de 0.380 mm.	74	71	77
	% Que pasa Malla de 0.073 mm.	62	66	68
	Limite Liquido %	93.4	95.7	67.7
	Limite Plástico	64.8	66.7	28.1
	Índice Plástico %	28.6	29.0	39.6
	Contracción Lineal %	8.5	8.7	11.3
	P.E.S. Suelto kg./m³	991	1011	984
	V.R.S. Estándar Saturado %	4.1	4.0	3.2
	Expansión %	4.2	4.3	6.6
	Clasificación Sucs.	MH	MH	CH

OBSERVACIONES:

INFORME DEL LABORATORIO DEL TERRENO NATURAL.	2
---	----------

OBRA:	CAMINO: EL CUATE-BARRANQUILLAS.
TRAMO:	DEL KM. 0+000 AL KM. 4+743
UBICACIÓN:	TANCÍTARO, MICHOACÁN

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA.	PCA NO.:	4	5	6
	KILOMETRO:	1+500	2+000	2+500
	ESTRATO NO.:	T/N	T/N	T/N
	PROFUNDIDAD EN M:	0.50	0.60	0.50

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL.	Tamaño Máximo	1"	1½"	½"
	% Retenido en malla de 7.500 mm.	0	0	0
	% Que pasa Malla de 4.750 mm.	96	94	96
	% Que pasa Malla de 0.380 mm.	86	87	88
	% Que pasa Malla de 0.073 mm.	68	71	69
	Límite Líquido %	65.4	63.7	66.7
	Límite Plástico	28.0	28.8	29.1
	Índice Plástico %	37.4	34.9	37.6
	Contracción Lineal %	11.1	10.8	11.3
	P.E.S. Suelto kg./m³	984	994	980
	V.R.S. Estándar Saturado %	3.1	3.4	3.2
	Expansión %	7.0	6.7	6.6
	Clasificación Sucs.	CH	CH	CH

OBSERVACIONES:

INFORME DEL LABORATORIO DEL TERRENO NATURAL.	3
---	----------

OBRA:	CAMINO: EL CUATE-BARRANQUILLAS.
TRAMO:	DEL KM. 0+000 AL KM. 4+743
UBICACIÓN:	TANCÍTARO, MICHOACAN

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA.	PCA NO.:	7	8	9
	KILOMETRO:	3+000	3+500	4+000
	ESTRATO NO.:	T/N	T/N	T/N
	PROFUNDIDAD EN M:	0.40	0.50	0.60

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL.	Tamaño Máximo	½"	¾"	1"
	% Retenido en malla de 7.500 mm.	0	0	0
	% Que pasa Malla de 4.750 mm.	94	95	95
	% Que pasa Malla de 0.380 mm.	86	87	86
	% Que pasa Malla de 0.073 mm.	72	74	71
	Limite Liquido %	64.6	66.5	66.7
	Limite Plástico	28.4	29.0	29.1
	Índice Plástico %	36.2	37.5	37.6
	Contracción Lineal %	10.6	11.6	11.3
	P.E.S. Suelto kg./m³	993	990	984
	V.R.S. Estándar Saturado %	3.1	3.3	3.0
	Expansión %	6.1	6.5	6.0
	Clasificación Sucs.	CH	CH	CH

OBSERVACIONES:

INFORME DEL LABORATORIO DEL TERRENO NATURAL.	4
---	----------

OBRA:	CAMINO: EL CUATE-BARRANQUILLAS.
TRAMO:	DEL KM. 0+000 AL KM. 4+743
UBICACIÓN:	TANCÍTARO, MICHOACAN

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA.	PCA NO.:	10		
	KILOMETRO:	4+500		
	ESTRATO NO.:	T/N		
	PROFUNDIDAD EN M:	0.65		

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL.	Tamaño Máximo	3"		
	% Retenido en malla de 7.500 mm.	0		
	% Que pasa Malla de 4.750 mm.	90		
	% Que pasa Malla de 0.380 mm.	80		
	% Que pasa Malla de 0.073 mm.	63		
	Limite Liquido %	61.6		
	Limite Plástico	22.7		
	Índice Plástico %	38.9		
	Contracción Lineal %	10.4		
	P.E.S. Suelto kg./m³	1016		
	V.R.S. Estándar Saturado %	3.1		
	Expansión %	6.3		
	Clasificación Sucs.	CH		

OBSERVACIONES:

ANEXOS B

En el anexo B, se presentan los informes granulométricos y aparecen los resultados de las pruebas de calidad de los materiales de banco.

INFORME DE ENSAYES EN MATERIALES PARA SUBRASANTE, SUB-BASE Y BASE													
EMPRESA: JACE CONSTRUCCIONES		ENSAJE No. 001											
OBRA: CONSTRUCCION DEL CAMINO: EL CUATE-BARRANQUILLAS.		FECHA DE RECIBO 04/10/2011.											
EXPEDIENTE No. 3 1 MUESTRA: Material de banco		FECHA DE DIF. 18/10/2011.											
LOCALIZACION: BANCO DE LA FAMILIA BUCCI: TANCITARO, MICHOACÁN.													
CONTRATO:													
DATOS DEL MUESTRO	MATERIAL PARA CAPA DE	SUBRASANTE (XX)	SUB-BASE (XX)										
	DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL	MATERIAL VOLCANICO.											
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO	S/D.											
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTRO	NINGUNO											
	UBICACION DEL BANCO	Camino Rancho Nuevo-El Zapote km. 5+500 D+1 560 metros.											
<table border="1"> <tr> <td>P.E. SECO SUELTO Kg/m³</td> <td>1319</td> </tr> <tr> <td>P.E. MAXIMO Kg/m³</td> <td>1678</td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD OPTIMA %</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>TAM. MAX.</td> <td>3"</td> </tr> <tr> <td>% DISTRIBUCION EN LA MUESTRA</td> <td>9.0</td> </tr> </table>		P.E. SECO SUELTO Kg/m ³	1319	P.E. MAXIMO Kg/m ³	1678	HUMEDAD OPTIMA %	1.9	TAM. MAX.	3"	% DISTRIBUCION EN LA MUESTRA	9.0	GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA El gráfico muestra la curva de porcentaje que pasa (Y) versus tamiz (X). La curva está entre las líneas de especificación para sub-base y base.	
P.E. SECO SUELTO Kg/m ³	1319												
P.E. MAXIMO Kg/m ³	1678												
HUMEDAD OPTIMA %	1.9												
TAM. MAX.	3"												
% DISTRIBUCION EN LA MUESTRA	9.0												
COMPOSICION GRANULOMETRICA	MALLA	% RETENIDO											
	EN 75.0	0.0											
	EN 50.0	9.0											
	% QUE PASA												
	30.0	100											
	37.5	83											
	25.0	81											
	19.0	77											
	9.5	63											
	4.75	32											
	2.00	34											
	0.85	24											
	0.425	20											
	0.200	13											
	0.150	10											
0.075	1												
V.R.S. (ESTIMADO) %		104.3											
EXPANSION %		0.3											
VALOR CEMENTANTE Kg/Cm ²		3.6											
EQUIVALENTE DE ARENA %		42.3											
PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA Num. 8.5													
ABSORCION %		6.3											
DENSIDAD		1.8											
PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA Num. 0.425													
LIMITE LIQUIDO %		30.2											
LIMITE PLASTICO %		INAP											
INDICE PLASTICO %		-											
EQUIV. HUM. DE CAMPO %		1.9											
CONTRACCION LINEAL %		1.9											
CLASIFICACION SUCS.		GW-GC											
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:													

PROYECTO GEOMÉTRICO DEL CAMINO BARRANQUILLAS – EL CUATE DEL MUNICIPIO DE TANCÍTARO MICHOACÁN.

INFORME DE ENSAYES EN MATERIALES PARA SUBRASANTE, SUB-BASE Y BASE

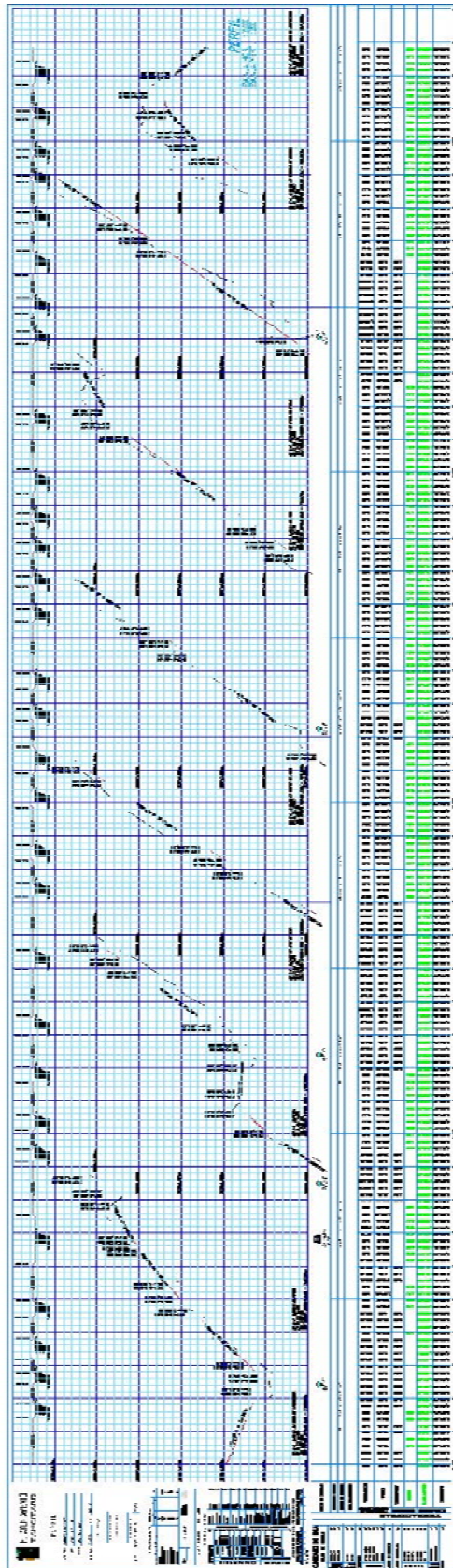
EMPRESA: JACE CONSTRUCCIONES		ENSAJE No. 002																																
OBRA: CONSTRUCCIÓN DEL CAMINO: EL CUATE-BARRANQUILLAS		FECHA DE RECIBO 04/10/2011.																																
EXPEDIENTE No. 2	1 MUESTRA Material de banco	FECHA DE ENT 18/10/2011.																																
LOCALIZACIÓN: BANCO "EL CHINO", TANCITARO, MICHOACAN.																																		
CONTRATO:																																		
DATOS DEL MUESTRO	MATERIAL PARA CARA DE: SUBRASANTE (XX) SUB-BASE (XX) BASE (XX)																																	
	DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL	MATERIAL VOLCANICO.																																
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO	SD																																
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO	NINGUNO																																
	UBICACION DEL BANCO	Carretera San Juan Nuevo-Tancitaro km. 0+000 D/D 500 metros.																																
<table border="1"> <tr> <td>P.E. SECO SUELTO E_{g/m^3}</td> <td>1281</td> </tr> <tr> <td>P.E. MAXIMO E_{g/m^3}</td> <td>1679</td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD OPTIMA %</td> <td>7.9</td> </tr> <tr> <td>TAM. MAX.</td> <td>3"</td> </tr> <tr> <td>% HUMEDAD EN LA MUESTRA</td> <td>10.0</td> </tr> </table>		P.E. SECO SUELTO E_{g/m^3}	1281	P.E. MAXIMO E_{g/m^3}	1679	HUMEDAD OPTIMA %	7.9	TAM. MAX.	3"	% HUMEDAD EN LA MUESTRA	10.0	GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA																						
P.E. SECO SUELTO E_{g/m^3}	1281																																	
P.E. MAXIMO E_{g/m^3}	1679																																	
HUMEDAD OPTIMA %	7.9																																	
TAM. MAX.	3"																																	
% HUMEDAD EN LA MUESTRA	10.0																																	
<table border="1"> <tr> <th rowspan="13">COMPOSICION GRANULOMETRICA</th> <th>MAILLA</th> <th>% RETENIDO</th> </tr> <tr> <td>EN 75.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>EN 50.0</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <th colspan="2">% QUE PASA</th> </tr> <tr> <td>30.0</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>37.5</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>25.0</td> <td>81</td> </tr> <tr> <td>19.0</td> <td>77</td> </tr> <tr> <td>9.5</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>4.75</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>2.00</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>0.85</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>0.425</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>0.200</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>0.150</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>0.075</td> <td>2</td> </tr> </table>		COMPOSICION GRANULOMETRICA	MAILLA	% RETENIDO	EN 75.0	0.0	EN 50.0	10.0	% QUE PASA		30.0	100	37.5	90	25.0	81	19.0	77	9.5	59	4.75	40	2.00	26	0.85	15	0.425	9	0.200	7	0.150	4	0.075	2
COMPOSICION GRANULOMETRICA	MAILLA		% RETENIDO																															
	EN 75.0		0.0																															
	EN 50.0		10.0																															
	% QUE PASA																																	
	30.0		100																															
	37.5		90																															
	25.0		81																															
	19.0		77																															
	9.5		59																															
	4.75		40																															
	2.00		26																															
	0.85		15																															
	0.425	9																																
0.200	7																																	
0.150	4																																	
0.075	2																																	
<table border="1"> <tr> <td>V.R.S. (ESTIMADO) %</td> <td>101</td> </tr> <tr> <td>EXPANSION %</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>VALOR CEMENTANTE E_{g/Cm^3}</td> <td>3.6</td> </tr> <tr> <td>EQUIVALENTE DE ARENA %</td> <td>43.0</td> </tr> </table>		V.R.S. (ESTIMADO) %	101	EXPANSION %	0.0	VALOR CEMENTANTE E_{g/Cm^3}	3.6	EQUIVALENTE DE ARENA %	43.0	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MAILLA NÚM. 9.5</td> </tr> <tr> <td>ABSORCION %</td> <td>5.3</td> </tr> <tr> <td>DENSIDAD</td> <td>2</td> </tr> </table>	PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MAILLA NÚM. 9.5		ABSORCION %	5.3	DENSIDAD	2																		
V.R.S. (ESTIMADO) %	101																																	
EXPANSION %	0.0																																	
VALOR CEMENTANTE E_{g/Cm^3}	3.6																																	
EQUIVALENTE DE ARENA %	43.0																																	
PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MAILLA NÚM. 9.5																																		
ABSORCION %	5.3																																	
DENSIDAD	2																																	
PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MAILLA NÚM. 0.425																																		
<table border="1"> <tr> <td>LÍMITE LÍQUIDO %</td> <td>28.9</td> </tr> <tr> <td>LÍMITE PLÁSTICO %</td> <td>INAP</td> </tr> <tr> <td>ÍNDICE PLÁSTICO %</td> <td>-</td> </tr> </table>		LÍMITE LÍQUIDO %	28.9	LÍMITE PLÁSTICO %	INAP	ÍNDICE PLÁSTICO %	-	<table border="1"> <tr> <td>EQUIV. HUM. DE CAMPO %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CONTRACCION LINEAL %</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>CLASIFICACION SUCS.</td> <td>GW</td> </tr> </table>	EQUIV. HUM. DE CAMPO %		CONTRACCION LINEAL %	0	CLASIFICACION SUCS.	GW																				
LÍMITE LÍQUIDO %	28.9																																	
LÍMITE PLÁSTICO %	INAP																																	
ÍNDICE PLÁSTICO %	-																																	
EQUIV. HUM. DE CAMPO %																																		
CONTRACCION LINEAL %	0																																	
CLASIFICACION SUCS.	GW																																	
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.																																		

PRESENTACIÓN DE PLANOS DEFINITIVOS

PLANO DE PLANTA



PLANO PERFIL



PLANO TOPOGRÁFICO

