



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO GEOMÉTRICO PARA EL TRAZO DE LA  
SUPERCARRETERA OAXACA – TUXTEPEC (175D)**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO GEOMÁTICO**

**P R E S E N T A:  
PEDRO ALBERTO PÉREZ BARROSO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. ADOLFO REYES PIZANO**



**MÉXICO, D.F. OCTUBRE, 2014**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MEXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/103/2014

Señor  
**PEDRO ALBERTO PEREZ BARROSO**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ADOLFO REYES PIZANO que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA GEOMATICA

**"PROYECTO GEOMÉTRICO PARA EL TRAZO DE LA SUPERCARRETERA OAXACA - TUXTEPEC (175D)"**

- INTRODUCCIÓN**  
**I. ASPECTOS GENERALES**  
**II. ANTECEDENTES**  
**III. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LA SUPERCARRETERA**  
**IV. MATERIALES Y METODOLOGÍA**  
**V. RESULTADOS**  
**VI. CONCLUSIONES**  
**BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 6 de Agosto de 2014  
**EL PRESIDENTE DEL COMITÉ**

  
**M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ**  
JLTS/MTH



*Agradecimientos:*

*En primer lugar quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México y sobre todo a la Facultad de Ingeniería, por haber realizado mis estudios superiores en esta casa de estudios.*

*A mis padres y mi hermana quienes siempre me han mostrado su apoyo durante toda mi vida*

*A mis familiares de Oaxaca que siempre me motivaron para hacer esta tesis.*

*A mi director de tesis, el Ingeniero Adolfo Reyes Pizano, por disponer de su tiempo para aconsejarme así como para revisar esta tesis.*

*A todos mis profesores de la facultad que siempre mostraron disposición conmigo.*

*A mis compañeros de la carrera con los que siempre he contado con su apoyo.*

*Pedro Alberto Pérez Barroso*



# ÍNDICE

<b>Introducción.</b>	<b>1</b>
<b>I.- Aspectos Generales.</b>	<b>2</b>
I.1.- Estado Actual de la Carretera Federal.	2
I.2.- Objetivo.	5
I.3.- Justificación.	6
<b>II.-Antecedentes.</b>	<b>6</b>
II.1- Parámetros del Manual del Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT.	7
II.1.1.-Normas Generales de Alineamiento Horizontal.	7
II.1.2.-Normas Generales de Alineamiento Vertical.	9
II.1.3.-Normas Generales de Alineamiento Horizontal y Vertical.	10
II.2.- Generalidades del Proyecto.	12
II.2.1- El Usuario.	12
II.2.2- Visión del Conductor.	12
A) Agudeza Visual.	12
B) Movimiento del Ojo.	12
C) Visión Periférica.	13
D) Visión en condiciones de deslumbramiento.	14
E) Percepción del espacio.	14
F) Altura del ojo.	15
II.2.3.- Clasificación de Carreteras.	15
II.2.4.- Tiempo de Reacción del Conductor.	16
II.2.5.- El Vehículo.	16
II.2.5.- Características geométricas de los vehículos y de operación.	17
II.2.6.- Tránsito.	18
II.2.7.- Velocidad.	19
II.2.8.- Velocidad de Proyecto.	20



<b>III.- Elementos Geométricos de la Supercarretera.</b>	<b>21</b>
III.1- Área de Estudio.	21
III.1.1.- Geomorfología.	22
III.1.2.- Geología.	23
III.1.3.- Hidrología.	24
III.1.4.- Vegetación.	25
III.1.5.- Climatología.	26
III.2.- Ancho de carril y acotamientos.	27
III.3.- Alineamiento horizontal.	27
III.3.1.- Tangentes.	28
III.3.2.- Curva circular simple.	28
III.3.3.- Curva compuesta.	31
III.3.4.- Curva espiral (Clotoide o Espiral de Euler).	32
III.3.5.- Visibilidad en curvas horizontales.	34
III.3.6.- Grado máximo de Curvatura.	36
III.4.- Alineamiento vertical.	37
III.4.1.- Tangentes.	37
III.4.2.- Pendientes y velocidad máxima.	37
III.4.2.- Curvas verticales.	38
III.5.- Secciones Transversales de Carreteras.	42
III.5.1.- Corona.	43
a) Rasante.	43
b) Pendiente transversal.	43
1.- Bombeo.	43
2.- Sobreelevación.	44
3.- Transición del bombeo a la sobreelevación.	45
c) Calzada.	46



d) Acotamientos.	48
III.5.2.- Subcorona.	48
a) Subrasante.	49
b) Pendiente transversal.	49
c) Ancho de la subcorona.	49
III.5.3.- Cunetas y Contracunetas.	51
a) Cunetas.	51
b) Contracunetas.	52
III.5.4.- Taludes.	52
III.5.5.- Partes complementarias.	52
a) Guarniciones y bordillos.	53
b) Banquetas.	54
c) Fajas separadoras y camellones.	54
III.5.6.- Derecho de vía.	55
<b>IV.- Materiales y Metodología.</b>	<b>55</b>
IV.1.- Adquisición de Información.	55
IV.2.- Localización del Trazo en el Terreno.	56
IV.3.- Índice de cartas topográficas utilizadas.	56
IV.4.- Procesamiento de las Cartas Topográficas.	57
IV.5.- Obtención de Curvas de Nivel a partir del Modelo Digital de Elevación.	60
IV.6.- Proceso general del dibujo del trazo de la supercarretera en AutoCAD.	62
IV.6.1.- Colocación del alineamiento horizontal en el trazo.	65
IV.6.2.- Colocación del alineamiento vertical del trazo.	66
IV.6.3.- Colocación de las secciones transversales del trazo.	70



<b>V.- Resultados</b>	<b>73</b>
V.1.- Observación del Trazo en AutCAD.	74
V.2.- Observación del Trazo en Google Earth.	80
V.3 Presentación de Mapa Temático del Proyecto de Trazo.	88
<b>VI.- Conclusiones.</b>	<b>89</b>
<b>VII.- Bibliografía.</b>	<b>90</b>

### Índice de Figuras:

Figura 1: Sierra Norte de Oaxaca (<http://oaxaca.quadratin.com.mx/www/wp-content/uploads/2013/08/71706.jpg>).

Figura 1.1: Carretera Federal 175 cerca del poblado El Punto, Oaxaca (Google Street View).

Figura 1.3: Carretera Federal 175 cerca de Santa María Jaltianguis, Oaxaca (Google Street View).

Figura 1.4: Carretera Federal 175 cerca del la comunidad Puerta del Sol, Oaxaca (Google Street View).

Figura 1.5: Carretera Federal 175 cercano a Cerro Pelón, Oaxaca (Google Street View).

Figura 1.6: Carretera Federal 175 cercano a Valle Nacional, Oaxaca (Google Street View).

Figura 1.7: Vista general de la carretera federal 175 entre Ixtlán de Juárez y Cerro Pelón, Oaxaca (Google Earth).

Figura 2.1: Adaptabilidad a los cambios de luz (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 2.2: Claisificación de los vehículos por características geométricas y de operación (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 2.3: Relación entre la velocidad de marcha y de proyecto (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 3.1: Zona de estudio en el estado de Oaxaca para la realización de la supercarretera.



Figura 3.2: Mapa de Relieve de la Zona de Estudio.

Figura 3.3: Mapa Geológico de la Zona de Estudio.

Figura 3.4: Mapa Hidrológico de la Zona de Estudio.

Figura 3.5: Mapa de Vegetación de la Zona de Estudio.

Figura 3.6: Mapa Climatológico de la Zona de Estudio.

Figura 3.7: División de carril y acotamientos de la supercarretera.

Figura 3.8: Elementos de la Curva Circular Simple (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 3.9: Triángulo rectángulo O-PI-PT.

Figura 3.10: Triángulo rectángulo O-PC-PSC.

Figura 3.11: Elementos geométricos en espirales (Wolf Paul R. Ghilani Charles. Topografía. Alfaomega, undécima edición. México, 2008).

Figura 3.12: Ángulos de deflexión en una espiral (Wolf Paul R. Ghilani Charles. Topografía. Alfaomega, undécima edición. México, 2008).

Figura 3.13: Alcance visual o visibilidad horizontal en una curva horizontal. (Wolf Paul R. Ghilani Charles. Topografía. Alfaomega, undécima edición. México, 2008).

Figura 3.14: Curvatura y deflexión máximas para que las espirales de transición no se traslapen (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 3.15: Relación de Pendiente.

Figura 3.16: Relación de pendiente para un triángulo rectángulo con cateto opuesto de 20 metros.

Figura 3.17: Curva vertical en columpio (Anderson James M, Mikhail Edward M. Introducción a la Topografía. McGraw Hill, primera edición. México 1988).

Figura 3.18: Curva vertical en cresta (Anderson James M, Mikhail Edward M. Introducción a la Topografía. McGraw Hill, primera edición. México 1988).





Figura 3.19: Sección transversal típica en una tangente del alineamiento horizontal (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 3.20: Transición de la sección en tangente a la sección en curva girando sobre el eje de la corona (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 3.21: Ampliaciones en curvas de alineamiento horizontal (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 3.22: Ensanche de la Subcorona, cuando no hay necesidad de cuneta provisional (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 3.23: Ensanche de la Subcorona, cuando el espesor de pavimento y/o pendiente transversal tienen valores altos (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 3.24: Cuneta provisional (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 3.25: Tipos de Guarniciones (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 3.26: Bordillo (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Figura 4.1: Vista del modelo digital de elevación con la carretera federal 175 (Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), INEGI).

Figura 4.2: Condensación de la información de las cartas topográficas y corte del modelo digital de elevación.

Figura 4.3: Relieve de las cartas topográficas en tercera dimensión (ArcScene 10).

Figura 4.4: Clasificación de las curvas de nivel en curvas maestras y secundarias (ArcMap 10).

Figura 4.5: Curvas maestras (azul) y secundarias (café) en AutoCAD, georreferenciadas en proyección UTM zona 14 (AutoCAD 2010).

Figura 4.6: Zona arqueológica de Yagul con vista hacia los Valles Centrales de Oaxaca (Tomada en la Zona Arqueológica de Yagul, municipio de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca, julio 2014).

Figura 4.7: Vista general de las montañas que definen la frontera natural entre los Valles Centrales y la Sierra Norte (Tomada en la Zona Arqueológica de Yagul, Municipio de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca, julio 2014).



Figura 4.8: Vista general de la zona del inicio del trazo de la supecarretera y al fondo los cerros que delimitan los Valles Centrales de la Sierra Norte (Tomada en la Zona Arqueológica de Yagul, Municipio de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca, julio 2014).

Figura 4.9: Primeros trazos rudimentarios en colores rojo, amarillo y azul oscuro para la colocación definitiva del alineamiento horizontal (AutoCAD2010).

Figura 4.10: Parámetro introducidos en el modulo de curvas horizontales de CivilCAD.

Figura 4.11: Ejemplo de colocación de curvas horizontales en un trazo (AutoCAD 2010).

Figura 4.12: Ejemplo de colocación de curvas horizontales sobre las curvas de nivel (AutoCAD 2010).

Figura 4.13: Corte del modelo digital de elevación a partir del buffer del alineamiento horizontal (ArcMap 2010).

Figura 4.14: Conversión de los pixeles de modelo digital de elevación a puntos vectoriales (ArcMap 2010).

Figura 4.15: Vista del alineamiento horizontal con los puntos de elevación a la izquierda y vista del alineamiento horizontal con la triangulación correspondiente (AutoCAD 2010).

Figura 4.16: Obtención del eje de proyecto, con estaciones a cada 20 metros y secciones transversales con un ancho de 13 metros (AutoCAD 2010).

Figura 4.17: Vista del perfil del proyecto geométrico de carretera con su respectiva retícula (AutoCAD 2010).

Figura 4.18: Tabla de control de pendientes para la colocación del alineamiento vertical.

Figura 4.19: Muestra del alineamiento horizontal en morado sobre el perfil en amarillo (AutoCAD 2010).

Figura 4.20: Conversión del alineamiento vertical a perfil de proyecto (AutoCAD 2010).

Figura 4.21: Ventana Secciones y Volúmenes de CivilCAD.

Figura 4.22: Ventana Definir de la ventana Secciones y Volúmenes.



Figura 4.23: Ventana Editar Capas de la Ventana Definir.

Figura 4.24: Ventana Cunetas de la ventana Secciones y Volúmenes.

Figura 4.25: Perfil del terreno (amarillo) y alineamiento vertical (rojo) con etiqueta de pendientes e inflexión de curvas verticales (AutoCAD 2010).

Figura 4.26: Ejemplo de sección transversal. (AutoCAD 2010).

Figura 5.1: Vista general del inicio del alineamiento horizontal cerca de la intersección a la carretera federal número 190 (AutoCAD 2010).

Figura 5.2: Vista general del Alineamiento Horizontal pasando el poblado de Santa Catarina Albarradas Oaxaca, con dirección a Tuxtepec (AutoCAD 2010).

Figura 5.3: Vista general del alineamiento horizontal cercano al poblado de Santo Domingo Xagacia, Oaxaca con dirección a Tuxtepec (AutoCAD 2010).

Figura 5.4: Vista general del alineamiento horizontal pasando el poblado de Santiago Zochila, Oaxaca con dirección a Tuxtepec (AutoCAD 2010).

Figura 5.5: Vista General del Alineamiento horizontal sobre el Río Cajonos en donde se observa la división de carriles y acotamientos (AutoCAD 2010).

Figura 5.6: Vista General del Alineamiento horizontal sobre el Río Cajonos muy cercano a la Llanura Costera del Golfo (AutoCAD).

Figura 5.7 (izquierda): Vista del alineamiento horizontal sobre el río cajonos con dirección a Tuxtepec (AutoCAD 2010).

Figura 5.8 (derecha): Vista del alineamiento horizontal sobre el río cajonos con dirección a Tuxtepec con túnel y puente atravesando las montañas de la Sierra Juárez. (AutoCAD 2010).

Figura 5.9: Vista general del inicio del alineamiento vertical con cortes y terraplenes sobre el terreno (AutoCAD 2010).

Figura 5.10: Vista general del alineamiento vertical con cortes y terraplenes sobre el terreno (AutoCAD 2010).

Figura 5.11: Vista general del alineamiento vertical con cortes y terraplenes sobre el terreno entrando a la Sierra Juárez (AutoCAD 2010).



Figura 5.12: Vista general del alineamiento vertical con puente en la Sierra Juárez (AutoCAD 2010).

Figura 5.13: Vista general del alineamiento vertical con puente en la Sierra Juárez (AutoCAD 2010).

Figura 5.14: Vista general del alineamiento vertical con túnel en la Sierra Juárez (AutoCAD 2010).

Figura 5.15: Vista general del alineamiento vertical con túnel y puente en la Sierra Juárez (AutoCAD 2010).

Figura 5.16: Vista general del alineamiento vertical en el final de la zona montañosa y el inicio de la Llanura Costera del Golfo (AutoCAD 2010).

Figura 5.17: Vista general del alineamiento vertical en la Llanura Costera del Golfo, cercano a Tuxtepec (AutoCAD 2010).

Figura 5.18: Vista General de Algunas Secciones Transversales Tanto en Corte como en Terraplén (AutoCAD 2010).

Figura 5.19: Inicio de la supercarretera en las cercanías de la localidad de Tlacolula y la Zona Arqueológica de Yagul (Google Earth).

Figura 5.20: Observación se la supercarretera subiendo al cerro para poder entrar a la Sierra Juárez (Google Earth).

Figura 5.21: Observación de la supercarretera abandonando los Valles Centrales para entrar a la Sierra Juárez (Google Earth).

Figura 5.22: Observación de la supercarretera atravesando la Sierra Juárez con algunos puentes (Google Earth).

Figura 5.23: Observación de la supercarretera en la Sierra Juárez cercano al poblado de San Pablo Yaganiza, Oaxaca (Google Earth).

Figura 5.24: Observación de la supercarretera surcando un barranco de la Sierra Juárez (Google Earth).

Figura 5.25: Observación de la supercarretera paralela al río Cajonos con algunos de sus puentes (Google Earth).

Figura 5.26: Observación de la supercarretera paralela al río Cajonos llegando a la parte más baja (Google Earth).



Figura 5.27: Observación de la supercarretera paralela al río Cajonos llegando a la parte más baja (Google Earth).

Figura 5.28: Observación de la supercarretera saliendo de la Sierra Juárez y entrando a la Llanura Costera del Golfo, cercano a la localidad de Ayotzintepec, Oaxaca (Google Earth).

Figura 5.29: Observación de la misma zona de la supercarretera saliendo de la Sierra Juárez y entrando a la Llanura Costera del Golfo.

Figura 5.30: Observación de la supercarretera atravesando al Río Cajonos (Google Earth).

Figura 5.31: Observación de la carretera en el lomerío adjunto a la Llanura Costera del Golfo, la parte más recta de la vía (Google Earth).

Figura 5.32: Observación de la supercarretera en la Llanura Costera del Golfo, cerca del destino final (Google Earth).

Figura 5.33: Vista de la súpercarretera llegando al destino final en la Llanura Costera del Golfo(Google Earth).

Figura 5.34: Mapa de relieve en donde se observan la carretera federal 175 en morado y el proyecto geométrico de carretera en rojo.



## **Índice de Tablas:**

Tabla 2.1: Identificación de letreros (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Tabla 2.2: Clasificación de carreteras en función del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) (Recomendaciones de Actualización de Algunos Elementos del Proyecto Geométricos de Carreteras).

Tabla 2.3: Respuesta a diferentes estímulos (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Tabla 2.4: Relación entre la velocidad de marcha y de proyecto (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Tabla 3.1: Pendientes máximas para cada tipo de terreno con respecto a la velocidad de proyecto (Proyecto Geométrico de Carreteras).

Tabla 3.2: Tabla de distancia horizontal de recorrido entre altura y pendiente.

Tabla 3.3: Bombeo de la Corona (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Tabla 3.4: Grados máximos de curvatura (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

## Introducción:

Las ciudades de Oaxaca y Tuxtepec son las ciudades más importantes del estado de Oaxaca y la distancia lineal entre estas ciudades es de aproximadamente 130 kilómetros, desafortunadamente estando en el siglo XXI, la comunicación terrestre entre ambas ciudades es bastante deficiente, ya que las ciudades de Oaxaca y Tuxtepec se encuentran en zonas geográficas muy diferentes; mientras la ciudad de Oaxaca se encuentran en la región de los valles centrales del mismo nombre, los cuales son un conjunto de valles localizados en Medio de la Sierra Madre del Sur, la ciudad de Tuxtepec se encuentra localizado en la Llanura costera del Golfo, una vasta zona de llanuras que se encuentran contiguas al golfo de México.

La deficiencia de comunicación terrestre entre estas dos ciudades se debe principalmente a la existencia de la Sierra Juárez (figura 1), también conocida como la sierra norte de Oaxaca, un conjunto de montañas cuyas más altas cumbres superan los 3000 m.s.n.m.



Figura 1: Sierra Norte de Oaxaca (<http://oaxaca.quadratin.com.mx/www/wp-content/uploads/2013/08/71706.jpg>).

Es la existencia de esta zona lo que mantiene virtualmente “aislada” no solo a la ciudad de Tuxtepec, sino a toda la región del Papaloapan del resto del Estado de Oaxaca; es por ello que esta región se siente más identificada con el estado de Veracruz, que es contiguo a la región, que a Oaxaca, ya que la Sierra Juárez separa físicamente al Papaloapan de las otra regiones de la entidad.

Aunque sí existe una carretera que une las ciudades de Oaxaca y Tuxtepec, la carretera federal 175, esta carretera es bastante curvada, ya que al atravesar la Sierra Juárez esta vía terrestre se encuentra

sumamente condicionado a su topografía, además de que los cambios de altura son considerables. Durante el trayecto, se viaja desde una altura de aproximadamente 1500 m.s.n.m altura aproximada de los Valles Centrales de Oaxaca, su sube hasta una altura de más de 3000 m.s.n.m en la parte más alta de la carretera y posteriormente se baja hasta una altura de sólo 31 m.s.n.m que es donde se encuentra la ciudad de Tuxtepec.

Es por esto que se propone en esta tesis, realizar un proyecto geométrico para la realización de una supercarretera que una estas dos ciudades pues ya que no solo terminaría con el histórico aislamiento de la región del Papaloapan del resto de Oaxaca, sino que traería grandes beneficios económicos pues ya que se crearían nuevas rutas comerciales terrestres por donde transportar cargas y con la construcción de la Autopista Oaxaca-Costa, que unirá Oaxaca con el Océano Pacífico, se unirán las costas del Golfo de México y del Pacífico con un eficiente sistemas de autopistas a través de Oaxaca.

## I.- Aspectos Generales

### I.1.- Estado Actual de la Carretera Federal:

Se puede decir que el estado actual de la carretera es regular, aunque hay partes en las cuales la carretera tiene una buena pavimentación y señalizaciones principalmente en los primeros kilómetros; existen partes de la carretera que no cuentan con mantenimiento y de hecho se observa bastante erosión, principalmente por lluvias que se dan en la zona colindante a la Llanura Costera del Golfo.

En el sexenio federal anterior se empezó a dar mantenimiento a los primeros kilómetros de la carretera entre la ciudad de Oaxaca hasta el poblado de Santa María Jaltianguis (adelante de Ixtlán de Juárez) en esta parte la carretera tiene una buena pavimentación, buena señalización y los carriles están bien marcados.

Figura 1.1: Carretera Federal 175 cerca del poblado El Punto, Oaxaca (Google Street View).

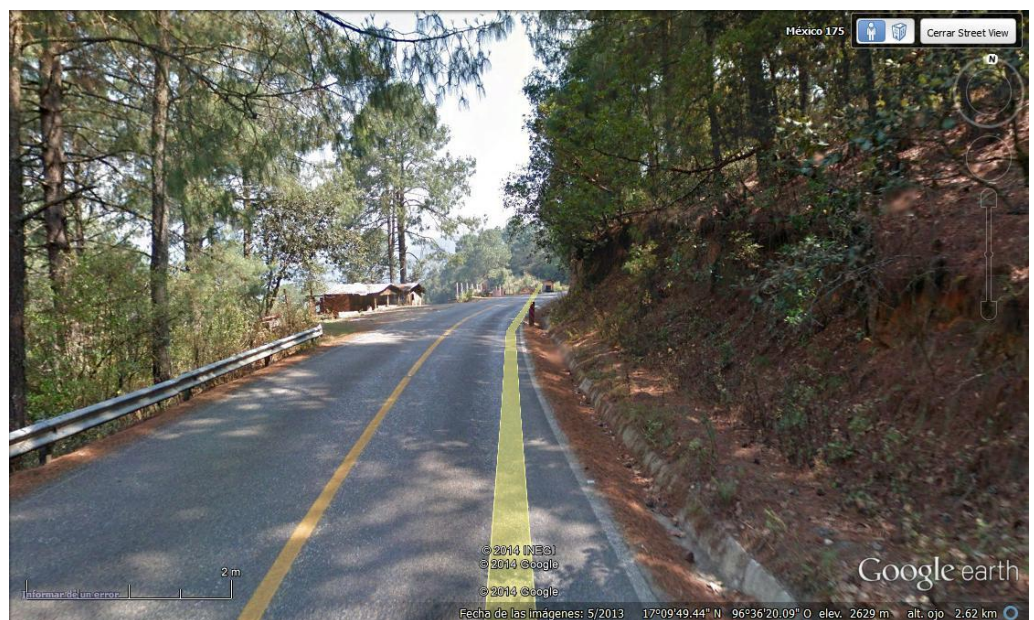






Figura 1.2: Carretera Federal 175 cerca de Ixtlán de Juárez, Oaxaca (Google Street View).

Desafortunadamente este mantenimiento no fue constante en toda la carretera ya que conforme uno se aleja de Santa María Jaltianguis con destino a Tuxtepec, la carretera se va agrietando y las líneas de los carriles se empiezan a difuminar aunque las señalizaciones aún son constantes.



Figura 1.3: Carretera Federal 175 cerca de Santa María Jaltianguis, Oaxaca (Google Street View).



Figura 1.4: Carretera Federal 175 cerca de la comunidad Puerta del Sol, Oaxaca (Google Street View)

Pasando la parte más alta de la carretera (Cerro Pelón) la carretera vuelve a estar en buenas condiciones, aunque solo por un tramo ya que varios kilómetros después desaparecen las líneas de carriles casi hasta llegar al poblado de Valle Nacional. Esta parte de la carretera tiene una gran pendiente, ya que la vía federal tiene un desnivel de más de 2500 metros en aproximadamente 45 kilómetros lo que no lo hace muy seguro.



*Figura 1.5: Carretera Federal 175 cercano a Cerro Pelón, Oaxaca (Google Street View).*



*Figura 1.6: Carretera Federal 175 cercano a Valle Nacional, Oaxaca (Google Street View).*

Por último hay que recalcar que esta carretera es bastante angosta y que no posee acotaciones en ninguna de sus laterales, como se puede observa en las imágenes anteriores; lo que da como resultado una carretera de bajo nivel de velocidad y tomando en cuenta que por la topografía del terreno es una carretera muy curvada, disminuye aún más la velocidad y da como resultado una velocidad de recorrido no mayor de 40 km/h en la zona montañosa y de 60 km/h en la zona plana. El recorrido de esta carretera desde la ciudad de Oaxaca hasta la ciudad de Tuxtepec es de 219.8 km y se recorre en más de cinco horas.



*Figura 1.7: Vista general de la carretera federal 175 entre Ixtlán de Juárez y Cerro Pelón, Oaxaca (Google Earth).*

### I.3.- Objetivo:

Diseñar y realizar un trazo para una Supercarretera que una las ciudades de Oaxaca y Tuxtepec de una manera rápida y segura y sobre todo que reduzca considerablemente el tiempo de recorrido entre estas dos ciudades, siguiendo los parámetros de diseño establecidos para la realización de carreteras y autopistas.

#### I.4.- Justificación:

La región del Papaloapan es la región económicamente más dinámica de Oaxaca, pues ya que en esta zona existen grandes zonas agrícolas y ganaderas así como zonas industriales, sobre todo estas últimas son prácticamente inexistentes en el resto del estado; además que en esta zona existe una gran actividad comercial debido a todas las actividades antes mencionada, sin embargo la gran mayoría de su comercio lo realiza con Veracruz u otras zonas de la república, particularmente con la región del Golfo de México por las razones geográficas que se han explicado con anterioridad. Es por esto que la realización de una supercarretera que una las ciudades de Oaxaca y Tuxtepec terminaría con el aislamiento histórico de la región del Papaloapan con el resto de Oaxaca y se podría incrementar el comercio de esta región así como toda la región sureste de la república pues ya que se tendrían nuevas rutas comerciales y turísticas y con las construcciones de las autopistas Oaxaca-Costa y Oaxaca-Istmo; el estado de Oaxaca se convertiría en un nuevo nudo de comunicaciones terrestre al convertirse en la principal unión terrestre del Golfo de México al Océano Pacífico.

Por último la construcción de la supercarretera Oaxaca -Tuxtepec puede ser incluido en el Plan Nacional de Desarrollo del Gobierno Federal, pues ya que en este sexenio se pretende construir nuevas vías de comunicación terrestre y por lo tanto este proyecto geométrico de trazo puede ser una buena propuesta.

#### II.- Antecedentes:

La carretera federal Oaxaca-Tuxtepec fue mandada a ser realizado por el gobernador de Oaxaca Alfonso Pérez Gasca (1956 – 1962) ya que él tenía un gran interés por la región del Papaloapan, sin embargo, esta carretera solamente se realizó en terracería, por lo que fue pavimentada años después.

Esta carretera es conocida por sus bellos paisajes así como la gran curvatura que posee, pues ya que las curvas de la carretera hacen que sea difícil manejar a más de 40 km/h, esa es una de las principales razones de tanto tiempo de recorrido a pesar de la relativa corta distancia.

La carretera federal 175 que une las ciudades de Oaxaca y Tuxtepec recorre íntegramente la Sierra Juárez, considerada una de las 12 regiones más biodiversas del mundo según la World Wildlife Fund, conocido por sus siglas como WWF, ya que en esta zona existen desde Selvas Húmedas en las partes más bajas de la sierra a bosque de coníferas en las cumbres de la sierra pasando por el bosque Mesófilo de montaña y otros ecosistemas de relevancia.

Como se mencionó anteriormente, el proyecto geométrico de la supercarretera seguirá los lineamientos de diseño correspondientes al tipo de camino que se pretende diseñar por lo que gran parte de la información provendrá del Manual de Proyecto Geométrico de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

## II.1- Parámetros del Manual del Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT:

Dentro de las especificaciones del manual se entiende por ruta como la franja de terreno de ancho variable entre dos puntos obligatorios, dentro de la cual es factible hacer la localización de un camino.

Para la realización del trazo de carretera, se determina que por la configuración del terreno (en este caso corresponde a un terreno de tipo montañoso) se sugiere que el trazo se realice a través de un procedimiento fotogramétrico electrónico, ya que éste es el más económico.

El manual menciona que un trazo óptimo es aquel que se adapta económicamente a la topografía del terreno. Sin embargo la selección de una línea y su adaptabilidad al terreno dependen de los criterios adoptados. Estos criterios dependen también del tipo y volumen de tránsito previstos para su construcción.

Por consiguiente, una vez que se ha establecido la vía y se fijaron las especificaciones que regirán el proyecto geométrico, se deben buscar una serie de alineamientos que se adapten al terreno, tanto planimétrica como altimétricamente y que cumplan con dichos requisitos.

Todos estos factores y otros similares que se pudieran establecer, influyen en la determinación de los alineamientos horizontal y vertical de un camino, los cuales dependen mutuamente entre sí, por lo que deben guardar una relación que permita la construcción con el menor movimiento de tierra posible y con el mejor balance entre los volúmenes que se produzcan tanto de excavación como de terraplén

**II.1.1.-Normas Generales de Alineamiento Horizontal:** El manual de proyecto geométrico señala algunas normas generales para el alineamiento horizontal como se señala 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 direcciona 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.

**II.1.2.-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 topografía de la zona que se atraviesa, pero también existen otros factores que deben considerarse. El manual señala algunas normas generales para el alineamiento vertical, aquí se señalarán algunos de los más relevantes como los siguientes:

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 es regulada generalmente, por el drenaje. En terrenos de lomeríos se adoptan subrasantes onduladas, las cuales conviene tanto en razón de la operación de los vehículos como por la economía del costo. En terrenos montañosos como es el caso, la subrasante es controlada estrechamente por las restricciones y condiciones de la topografía.
2. Una subrasante suave con cambios graduales es consiente con el tipo de camino y el carácter del terreno; a esta clase de proyecto debe dársele preferencia, el lugar de uno con numerosos quiebres y pendientes en longitudes cortas. Los valores de diseño son la pendiente máxima y la longitud crítica, pero la manera en que éstos se aplican y adaptan al terreno formando una línea continua, determina la adaptabilidad y la apariencia del producto terminado.
3. Deben evitarse vados formados por curvas verticales muy cortas, pues el perfil resultante se presta a que las condiciones de seguridad y estética sean muy pobres.
4. Dos curvas verticales sucesivas y en la misma dirección separadas por una tangente vertical corta, deben ser evitadas, particularmente en columpios donde la vista completa de ambas curvas verticales no es agradable. Este efecto es muy notable en caminos divididos con aberturas espaciadas en la faja separadora central.
5. Un perfil escalonado es preferible a una sola pendiente sostenida, porque permite aprovechar el aumento de velocidad previo al ascenso y el correspondiente impulso, pero evidentemente, sólo puede adaptarse tal sistema para vencer desniveles pequeños o cuando no hay limitaciones en el desarrollo horizontal.
6. Cuando la magnitud del desnivel a vencer o la limitación del desarrollo motiva largas pendientes uniformes, de acuerdo a las características previsibles del tránsito, puede convenir adoptar un carril adicional en la sección transversal.

7. Cuando se trate de salvar pendientes apreciables, bien con pendientes escalonadas o largas pendientes uniformes, deberá procurarse disponer las pendientes más fuertes al comenzar al ascenso.
8. Donde las intersecciones a nivel ocurren en tramos de camino con pendientes de moderadas a fuertes, es deseable reducir la pendiente a través de intersección; este cambio en el perfil es benéfico para todos los vehículos que den vuelta.

*“Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Cuarta reimpresión, México 1991, páginas 59 y 60.”*

**II.1.3.-Normas Generales de Alineamiento Horizontal y Vertical:** Como se mencionó anteriormente, los alineamientos horizontal y vertical no deben ser considerados independientes en el proyecto, puesto que se complementarán el uno al otro. Si uno de los dos alineamientos presenta partes pobremente proyectadas, éstas influyen de forma negativa tanto en el resto de ese alineamiento como en el otro.

Si se supone que la localización general ha sido resuelta y que el problema restante es obtener un proyecto armónico entre los dos alineamientos y que obtenido éste, el camino resulta una vía económica, agradable y segura, se tendrá que la velocidad de proyecto adquiere mayor importancia, puesto que en el cálculo es el parámetro que logra el equilibrio adecuado.

Las combinaciones adecuadas de los alineamientos horizontal y vertical se logran por medio de estudios de ingeniería así como de las siguientes normas generales:

1. La curvatura y la pendiente deben estar balanceadas. La tangentes o las curvas horizontales suaves en combinación con pendientes fuertes o largas, o bien una curvatura horizontal excesiva con pendientes suaves, corresponden a diseños pobres. Un diseño apropiado es aquel que combina ambos alineamientos ofreciendo lo máximo en seguridad, capacidad, velocidad, facilidad y uniformidad en la operación, además de una apariencia agradable dentro de los límites prácticos del terreno y del área atravesada.
2. La curvatura vertical sobrepuesta a la curvatura horizontal o viceversa da como resultado una vía más agradable a la vista, pero debe ser analizada tomando en cuenta el tránsito. Cambios sucesivos en el perfil que no están en combinación con la curvatura horizontal, pueden tener



como consecuencia una serie de jorobas visibles al conductor por alguna distancia. Sin embargo, en algunas ocasiones la combinación de los alineamientos horizontal y vertical pueden también resultar peligrosa bajo ciertas condiciones, tal como se discuten enseguida.

3. No deben proyectarse curvas horizontales forzadas en o cerca de una cima, o de una curva vertical en una cresta pronunciada. Esta condición es peligrosa porque el conductor no puede percibir el cambio en el alineamiento horizontal, especialmente en la noche, porque las luces de los coches alumbran adelante hacia el espacio y en línea recta. El peligro puede anularse si la curvatura horizontal se impone a la vertical, por ejemplo construyendo una curva horizontal más larga que la curva vertical. También puede lograrse usando valores de proyecto mayores que los mínimos
4. No deben proyectarse curvas horizontales forzadas en o cerca del punto bajo de una curva vertical en columpio, porque el camino da la impresión de estar cortado. Cuando la curva horizontal es muy suave, presenta una apariencia de distorsión indeseable. Muchas veces las velocidades de otros vehículos especialmente la de los camiones, son altas al final de las pendientes y pueden conducir a operaciones erráticas especialmente durante la noche.
5. En caminos de dos carriles, la necesidad de tramos para rebasar con seguridad a intervalos frecuentes y en un porcentaje apreciable de la longitud de camino, influyen en la combinación de ambos alineamientos. En este caso es necesario proporcionar suficientes tangentes largas, para asegurar la distancia de visibilidad de rebase.
6. En las intersecciones donde la distancia de visibilidad a lo largo de ambos caminos sea importante y los vehículos tengan que disminuir su velocidad o parar, la curvatura horizontal y el perfil deben proyectarse lo más suave posible.
7. En caminos divididos se pueden emplear diferentes combinaciones de alineamiento horizontal y vertical para cada sentido de circulación, si la anchura de la faja separadora lo permite.

*“Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Cuarta reimpresión, México 1991, páginas 60 y 61.”*

## II.2: Generalidades del proyecto:

El proyecto geométrico de un camino debe estar basado en ciertas características físicas del individuo como son el usuario del camino, los vehículos así como el camino mismo.

**II.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.

**II.2.2.-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.

**A) 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 gradualmente.

**B) 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.

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

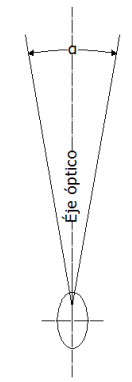


Tabla 2.1: Identificación de letreros (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Dado que el movimiento del ojo no es instantáneo, el usuario requiere de un tiempo para ver de forma continua el cambio de aspecto de camino y de las condiciones de tránsito; por ejemplo mientras un conductor tiene fijos los ojos hacia la derecha de una intersección, puede necesitar hasta un segundo para mover los ojos hacia la izquierda y regresarlos hacia el lado derecho.

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.

**C) 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.

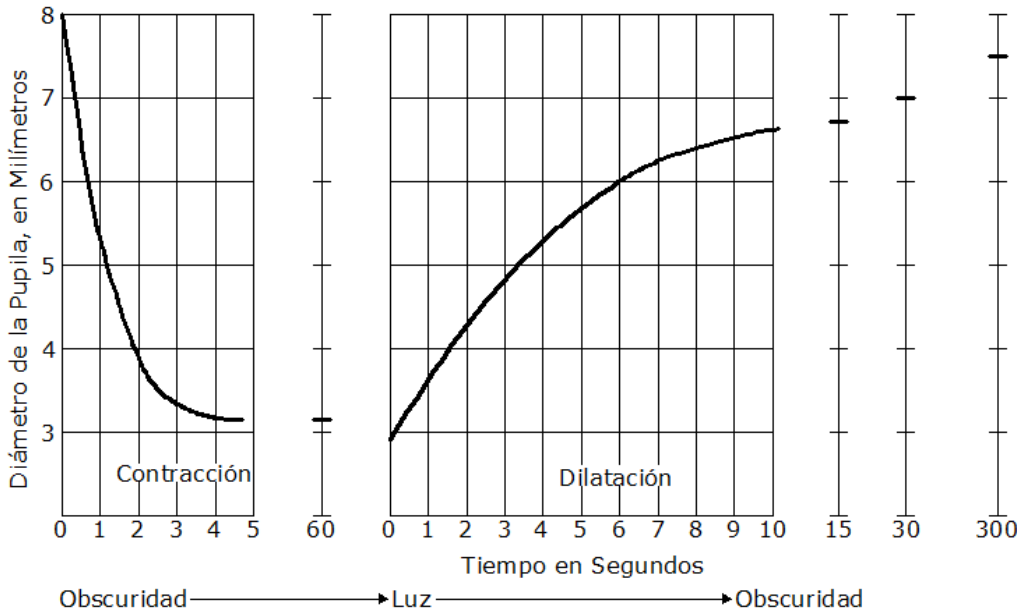


Figura 2.1: Adaptabilidad a los cambios de luz (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

**D) 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 oscuridad es una función de la retina. Al pasar de la oscuridad a la luz, el ojo se adapta por sí mismo mucho más rápido que cuando pasa de luz a la oscuridad.

**E) 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.

F) 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.

**II.2.3.- Clasificación de Carreteras:** La clasificación de carreteras dentro del proyecto geométrico está basado en función del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), por lo tanto las carreteras se clasifican en:

Tipo	Valor TDPA
A4	5000 a 20000 vehículos
A2	3000 a 5000 vehículos
B	1500 a 3000 vehículos
C	500 a 1500 vehículos
D	100 a 500 vehículos
E	Hasta 100 vehículos

*Tabla 2.2: Clasificación de carreteras en función del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) (Recomendaciones de Actualización de Algunos Elementos del Proyecto Geométricos de Carreteras).*

El Reglamento de Pesos y Dimensiones señala que actualmente existen cinco tipos de carreteras las cuales se mencionan tal cual como viene en el reglamento.

- **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 genera la autorice la SCT, y que su tránsito se confine 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.
- **Carreteras Tipo D.** Red alimentadora.- Son vías que atendiendo a sus características geométricas y estructurales, principalmente prestan servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con la red secundaria.

*“Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal. México, 2006. Páginas 9 y 10”*

Para este caso se ha decidido que el tipo de camino sea del tipo A2, que es la nomenclatura para las supercarreteras, ya que las carreteras del tipo A2, son las que contienen dos carriles.

**II.2.4.- Tiempo de reacción del conductor:** Se define como 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. Idealmente esta respuesta del conductor requiere de un tiempo para percepción, entendimiento, emoción y voluntad. Por lo que mientras más compleja viene a ser una situación, el conductor debe disponer del tiempo suficiente para hacer una evaluación apropiada de todos los factores que Intervienen. El tiempo requerido para esta acción, puede variar desde medio segundo para situaciones simples, hasta tres o cuatro segundos para situaciones más compleja.

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

*Tabla 2.3: Respuesta a diferentes estímulos (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).*

**II.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.

**II.2.6.- 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.


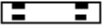


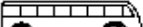













TIPO DE VEHÍCULO	NUM. DE EJES	ESQUEMAS		SÍMBOLO	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE CAMIONES	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE VEHÍCULOS		
		PERFIL	PLANTA					
VEHÍCULOS LIGEROS	AUTOMÓVILES			Ad	—	46	58	
	CAMIONETAS			Ac		12		
VEHÍCULOS PESADOS	AUTOBUSES			B	—	12	42	
	CAMIONES			C2	73	100		30
				C3	13			
				T2-S1	7			
			T2-S2	7				
			T3-S2	7				
			T2-S1-S2					
	OTRAS COMBINACIONES							
VEHÍCULOS ESPECIALES	CAMIONES Y/O REMOLQUES ESPECIALES	VARIABLE		En n = variable	VARIABLE			
	MAQUINARIA AGRÍCOLA							
	BICICLETAS Y MOTOCICLETAS							
	OTROS							

Figura 2.2: Clasificación de los vehículos por características geométricas y de operación (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

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.

**II.2.7.- 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, del 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 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



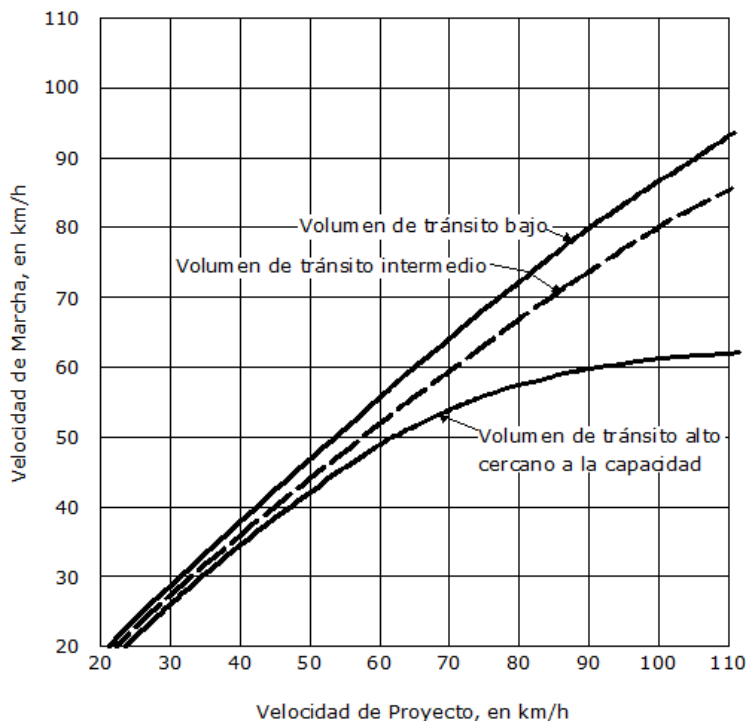
determinar el tránsito representativo de cada dato así como datos obtenidos de las estaciones de peaje.

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 CAPUFE.

**II.2.8.- 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.

Figura 2.3: Relación entre la velocidad de marcha y de proyecto (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Velocidad de Proyecto en Km/h	Velocidad de Marcha, en Km/ h		
	Volumen de Tránsito Largo Bajo	Volumen de Tránsito Largo Intermedio	Volumen de Tránsito Largo Alto
25	24	23	22
30	28	27	26
40	37	35	34
50	46	44	42
60	55	51	48
70	63	59	53
80	71	66	57
90	79	73	59
100	86	79	60
110	92	85	61

Tabla 2.4: Relación entre la velocidad de marcha y de proyecto (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

**II.2.9.- Velocidad de proyecto:** Es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables.

La selección de la velocidad de proyecto está influida principalmente por la configuración topográfica del terreno, el tipo de camino, los volúmenes de tránsito y el uso de tierra. Un camino en terreno plano o lomerío suave justifica una velocidad de proyecto mayor que la correspondiente a la de un camino en terreno montañoso. Un camino que cruce una región poco habitada justifica una velocidad de proyecto mayor que otro situado en una región poblada. Los conductores no ajustan sus velocidades a la importancia del camino, sino a las limitaciones físicas o de volúmenes de tránsito que se presentes.

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

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

Dada la topografía de México, se pueden establecer, como límites para la velocidad de proyecto, 30 km/h y 110 km/h. Asimismo, la variación recomendada para la velocidad de proyecto de diferentes caminos, debe estar basada en incrementos de 10 km/h. El uso de incrementos de 10 km/h en la velocidad de proyecto, no excluye el uso de valores intermedios para propósitos de control de tránsito, tales como aviso de velocidad en los diferentes tramos.

Como el tipo de vía de esta tesis es una vía del tipo A2, la velocidad de proyecto estará entre los 90 km/h y 110 km/h.

### III.- Elementos Geométricos de la Supercarretera.

#### III.1.- Área de estudio:

El área de estudio corresponde al estado de Oaxaca en su porción centro y norte. Dentro del estudio se observará con detalle la orografía de tres zonas geográficas del Estado, los Valles Centrales que es donde se asienta la ciudad de Oaxaca y punto de inicio de la Supercarretera, la Sierra Juárez que es donde se encuentra la gran mayoría del trayecto y por último la Llanura Costera Del Golfo, que es la zona con topografía más sencilla de las tres zonas estudiadas. El área de estudio se centrará principalmente en la Sierra Juárez, principal complicación para el trazo de la autopista pues esta zona es de difícil orografía

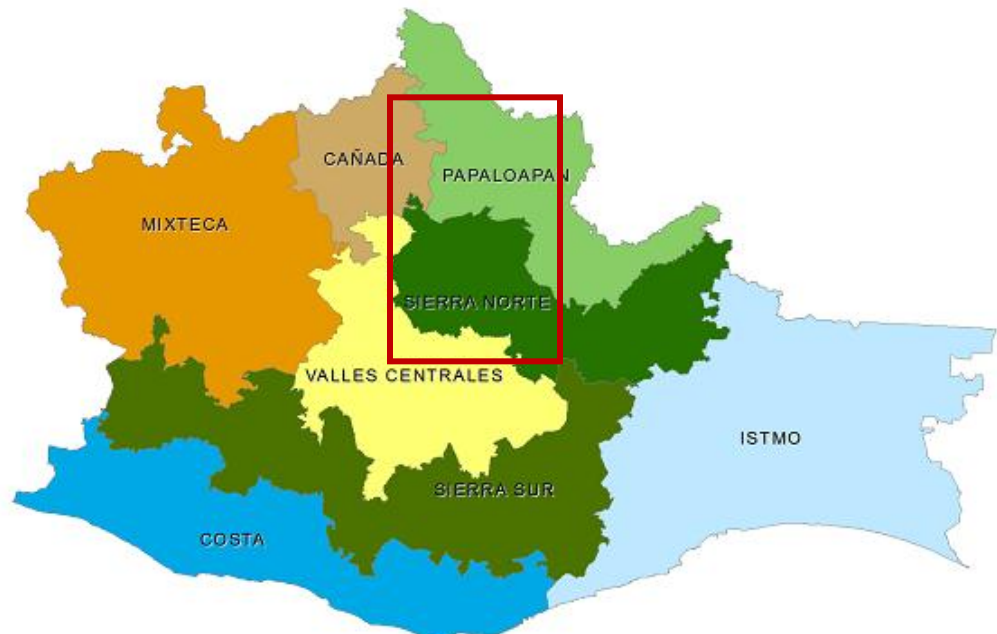
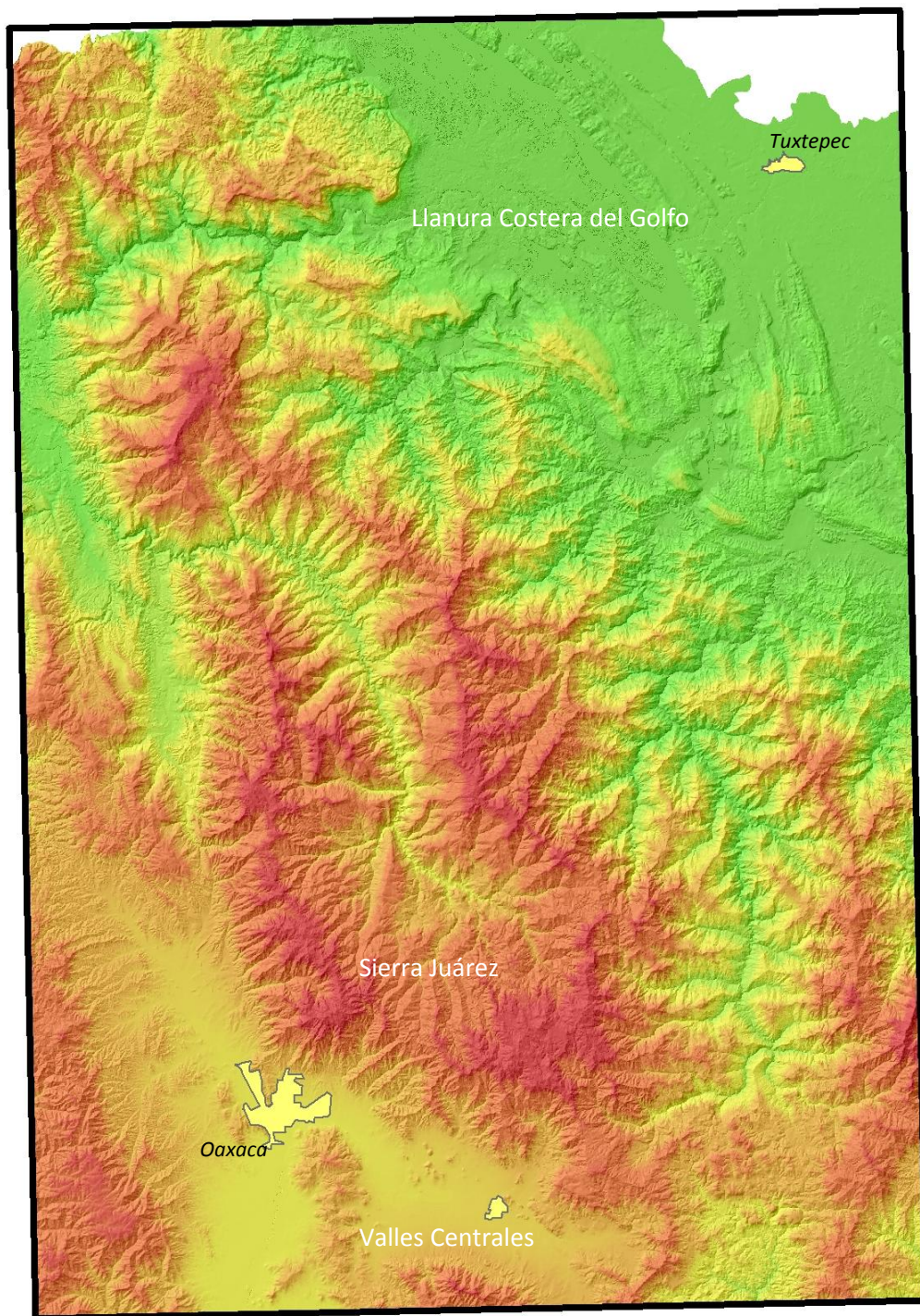


Figura 3.1: Zona de estudio en el estado de Oaxaca para la realización de la supercarretera.

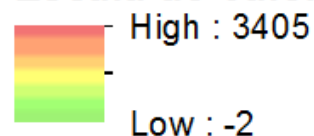
### III.1.1.- Geomorfología



## Simbología

### Altura Relieve

### Escala de Valores



Observando el relieve de la zona de estudio se puede observar que es una zona topográficamente compleja y se observan tres zonas diferenciadas, la zona de los Valles Centrales en la parte de debajo de la zona de estudio, la Sierra Norte o también llamada Sierra Juárez en la parte de en medio y por último la Llanura Costera del Golfo en la parte de arriba.

Como se mencionó anteriormente, se observa cómo la Sierra Norte divide

*Figura 3.2: Mapa de Relieve de la Zona de Estudio.*

claramente a los Valles Centrales de la Llanura Costera y esto genera una zona de aislamiento entre ambas regiones, generando que la comunicación terrestre entre ambas regiones sea deficiente, tomando en cuenta que estas regiones se encuentran dentro de la misma entidad federativa.

### III.1.2.- Geología

## Simbología

### Tipo de Rocas Clasificación

- Ignea Extrusiva
- Ignea Intrusiva
- Metamórfica
- N/A
- Sedimentaria

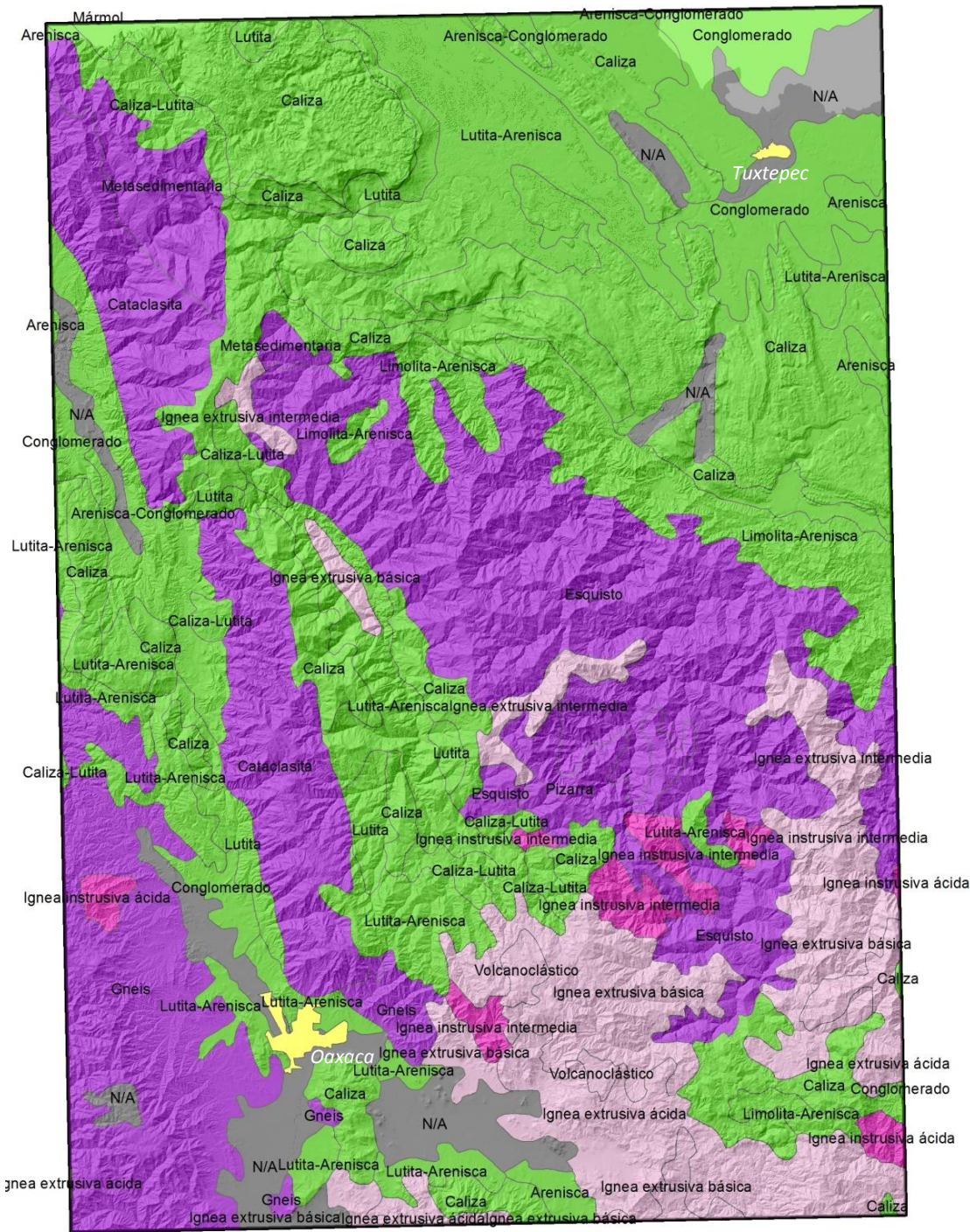


Figura 3.3: Mapa Geológico de la Zona de Estudio.

Observando el mapa de las rocas se puede observar que existe una predominancia de rocas sedimentarias y rocas metamórficas en el área de estudio mientras que las rocas ígneas son menos predominantes, entre las rocas sedimentarias se encuentra bastante caliza, areniscas y algunas zonas de conglomerado mientras de las rocas metamórficas hay gran

predominancia de esquisto, seguido de gneiss, cataclasita, pizarra y metasedimentaria.

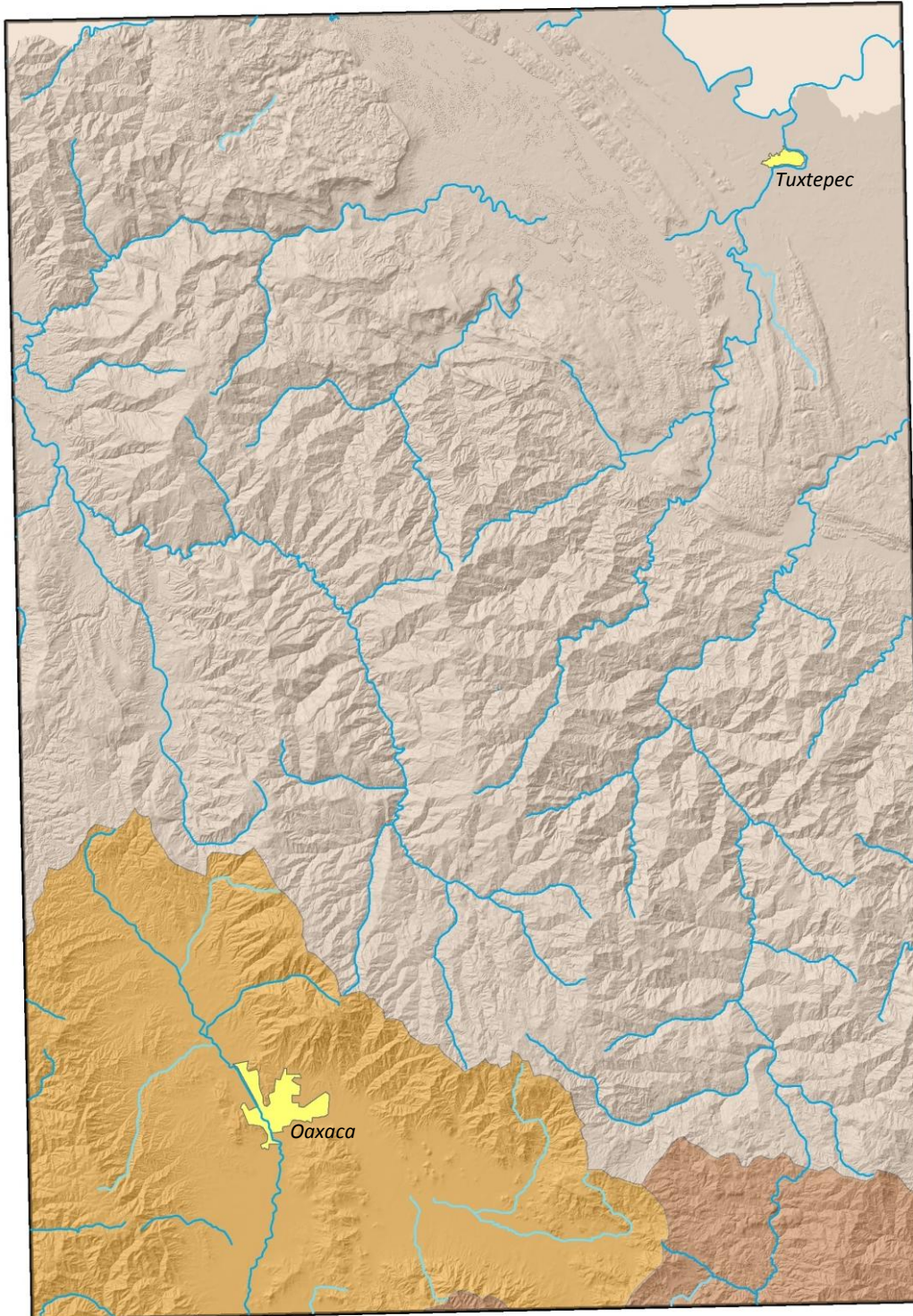
III.1.3.- Hidrología

**Simbología**

**Cuencas**

**Nombre Cuenca**

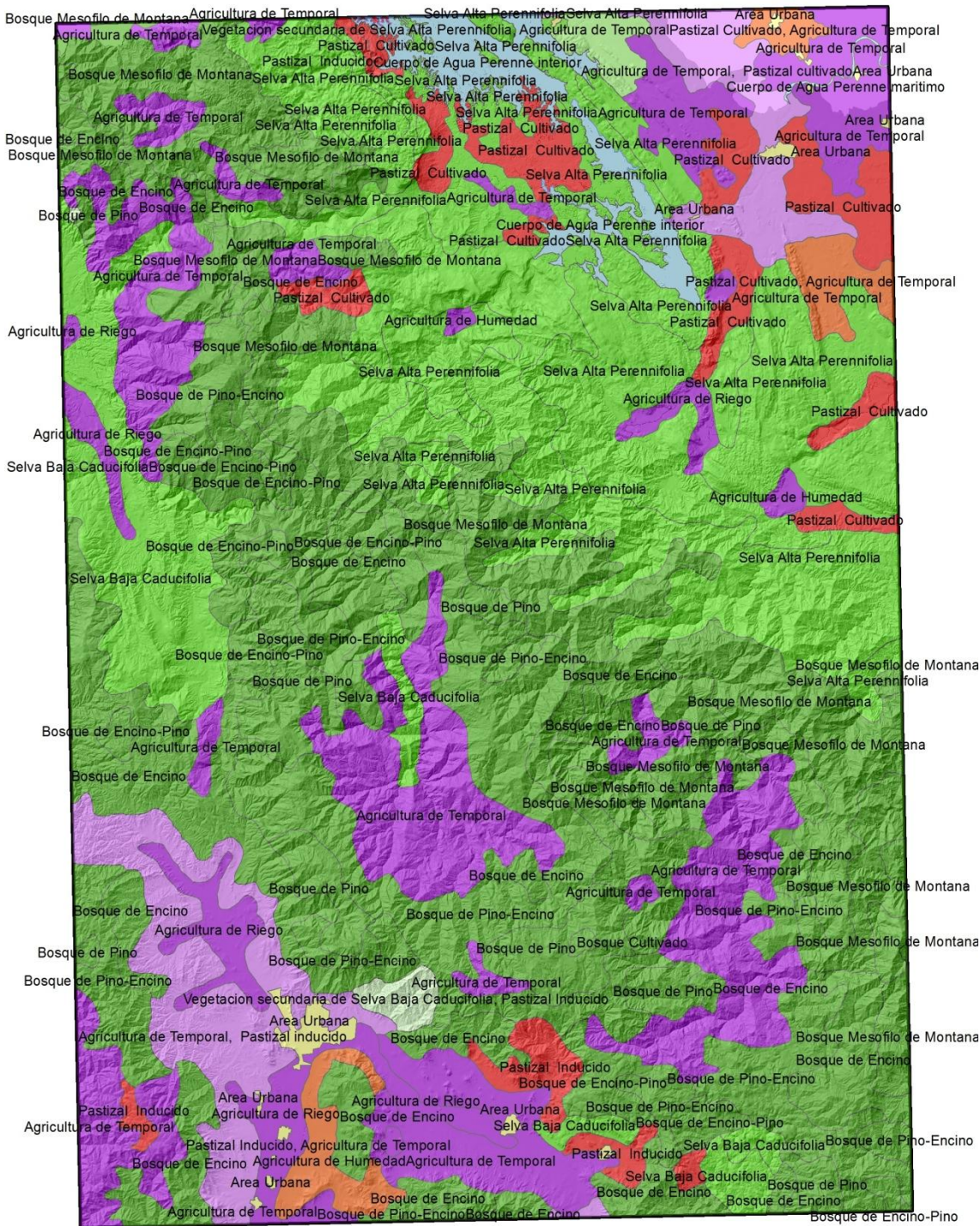
- Río Papaloapan
- Río Tehuantepec
- Río Verde-Atoyac



Observando la hidrología de la zona de estudio se pueden observar que ésta se encuentra dividido en tres cuencas hidrográficas siendo la más predominante la cuenca del Río Papaloapan, la cual a su vez es la segunda cuenca más importante del territorio nacional, mientras que en la parte de abajo se observan las cuencas del Río Verde-Atoyac y de menor área la cuenca del Río Tehuantepec; ambas cuencas desembocan en el Océano Pacífico mientras que la cuenca del Papaloapan desemboca en el golfo de México.

Figura 3.4: Mapa Hidrológico de la Zona de Estudio.

### III.1.4.- Vegetación



### Simbología

#### Tipo de Vegetación

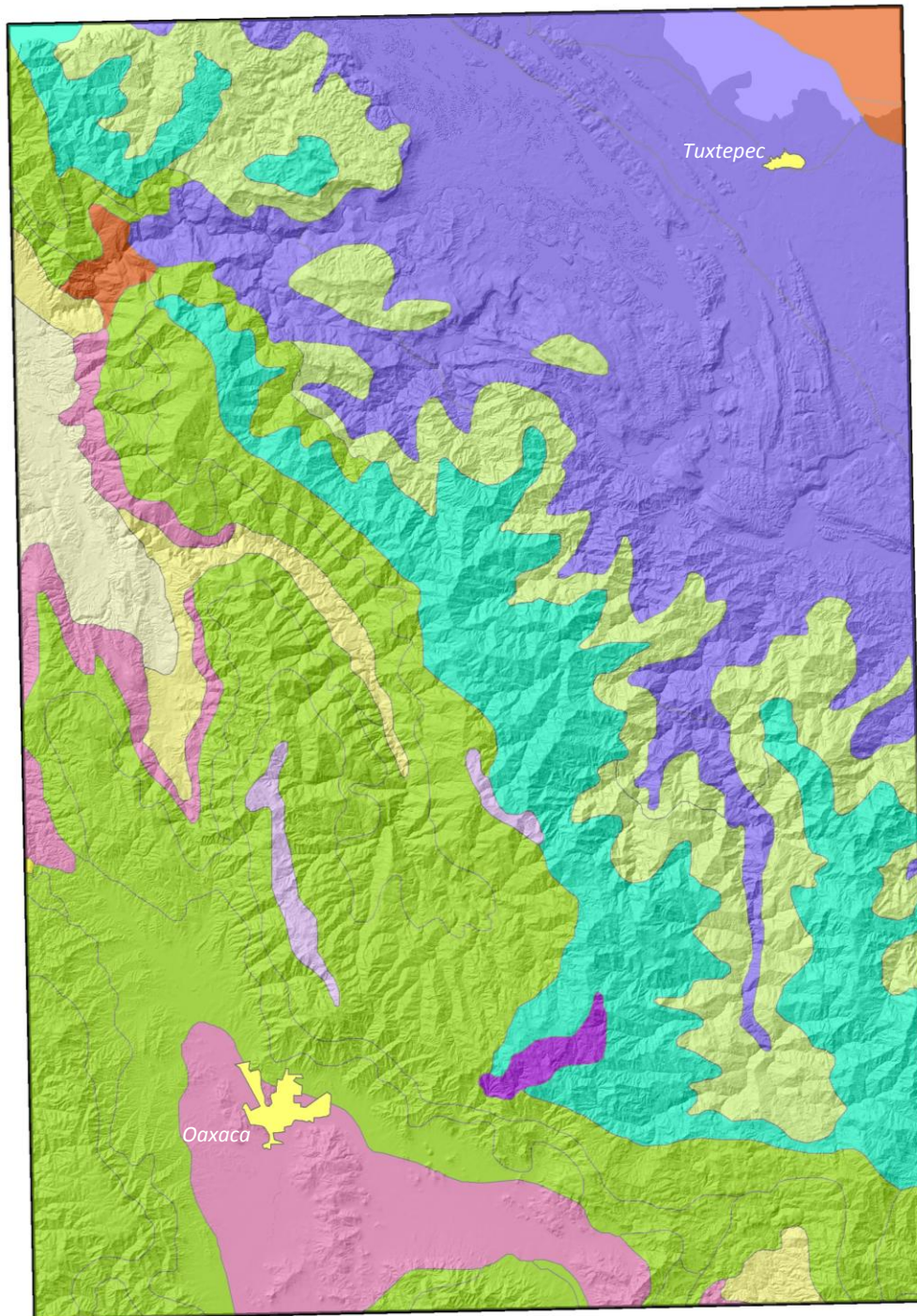
- Vegetación**
- AREA AGRICOLA
  - AREA AGRICOLA-PASTIZAL
  - AREA AGRICOLA-SELVA
  - AREA URBANA
  - BOSQUE
  - CUERPO DE AGUA
  - PASTIZAL
  - PASTIZAL-AREA AGRICOLA
  - SELVA
  - SELVA-AREA AGRICOLA
  - SELVA-PASTIZAL

Observando la vegetación dentro de la zona de estudio podemos observar que existe una gran predominancia de bosques y selvas entre los cuales se encuentran los bosques de color verde oscuro entre las cuales se encuentran bosques de pino y encino; las selvas de color verde

Figura 3.5: Mapa de Vegetación de la Zona de Estudio.

claro entre las cuales se encuentran la selva baja caducifolia y la selva alta perennifolia en la parte de arriba de la zona de la zona de estudio, así también se observa que las zonas agrícolas y pastizales son contiguas a las ciudades de Oaxaca y Tuxtepec, los cuales se muestran de colores rojos y morados.

III.1.5.- Climatología.



**Simbología**

**Tipo de Clima**

**Clasificación**

- Cálido Húmedo
- Cálido Subhúmedo
- Frío
- Seco muy Cálido
- Semicálido Húmedo
- Semifrío Subhúmedo
- Semiseco Semicálido
- Semiseco Templado
- Semiseco muy Cálido
- Templado Húmedo
- Templado Subhúmedo

Observando el mapa climatológico de la zona de estudio podemos observar que existe una gran predominancia de climas cálidos y templados y en menor medida climas semisecos. Entre los climas cálidos el más predominante es el clima cálido húmedo, de color azul morado y donde se encuentra localizada la ciudad de Tuxtepec. Entre

Figura 3.6: Mapa Climatológico de la Zona de Estudio.

los climas templados el más predominante es el clima templado subhúmedo con predominancia en zonas montañosas de la zona de estudio y por último entre los climas semisecos, el más predominante es el clima semiseco semicálido, el cual es el tipo de clima en donde se encuentra la ciudad de Oaxaca.



## II.2.- Ancho de Carril y Acotamientos

El carril está definido como la franja longitudinal de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos en un sentido, el ancho más conveniente para vías importantes, como la que se pretende realizar en este tesis debe ser de un máximo de 3.6 metros de longitud, ya que anchos de carril menor a los tres metros contribuyen a un mayor riesgo de accidentes.

En el caso del acotamiento, éste está definido como las fajas contiguas a los carriles de circulación de la carretera y tienen varias funcionalidades como son mejor visibilidad en curvas, seguridad al usuario si éste requiere estacionarse en la carretera entre otros.

La combinación de carriles y acotamiento da como resultado la calzada de la carretera, tema del que se hablará más adelante.

Como se explicó anteriormente, la supercarretera será del tipo A2, lo que da como resultado un ancho total de 12 metros, teniendo dos carriles, uno por cada sentido de 3.5 metros y acotamiento contiguos a los carriles de 2.5 metros como se observa en la figura de abajo.

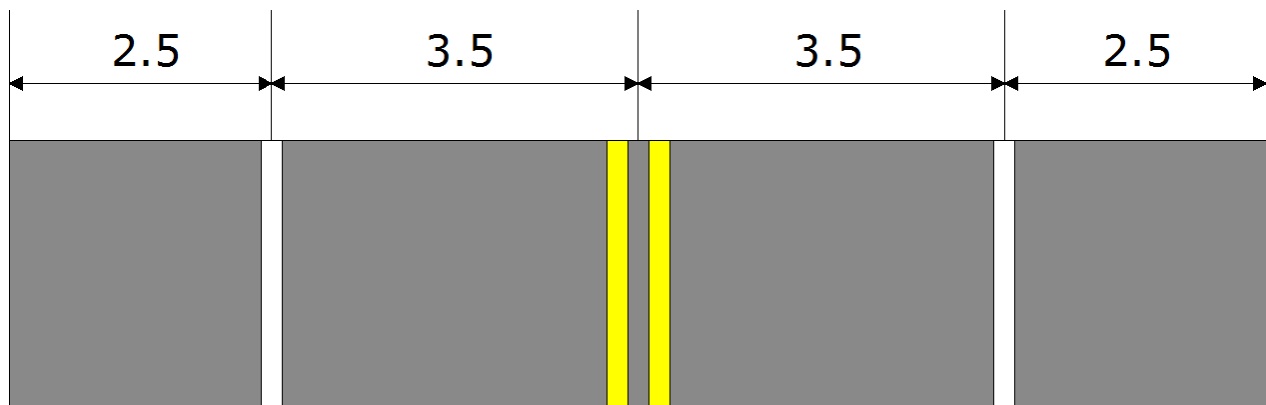


Figura 3.7: División de carril y acotamientos de la supercarretera.

## II.3.- Alineamiento Horizontal:

El alineamiento horizontal puede definirse como la proyección del eje del camino sobre un plano horizontal y se integra por varios elementos entre los cuales se encuentran las tangentes, las curvas simples, las curvas compuestas y las espirales de Euler, también llamadas clotoides.

### II.3.1.- 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.

### II.3.2.- Curvas circulares simples:

Se definen como la curva que une dos tangentes y tiene las siguientes características y componentes.

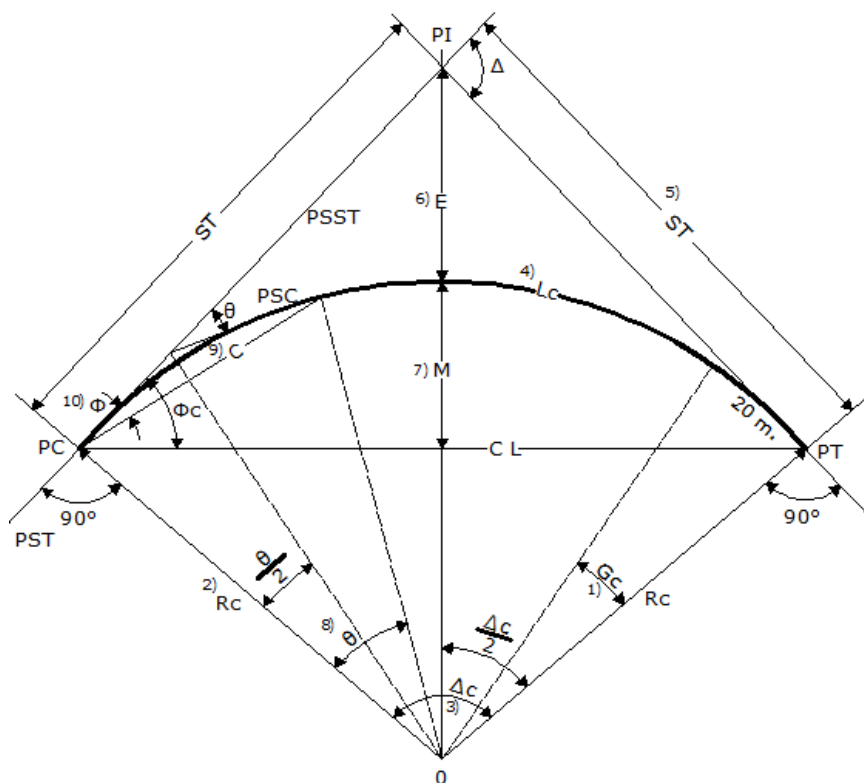


Figura 3.8: Elementos de la Curva Circular Simple (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

1) 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:

$$\frac{G_c}{20m} = \frac{360^\circ}{2\pi R_c} \text{ despejando } G_c \rightarrow G_c = \frac{1145.915}{R_c} \text{ (grados)}$$

El grado máximo de curvatura es aquel que permite a un vehículo recorrer con seguridad la curva con sobreelevación máxima a la velocidad de proyecto.

2) 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.

$$R_c = \frac{1145.915}{G_c} \text{ (metros)}$$

3) Ángulo central ( $\Delta_c$ ): 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.

4) Longitud de curva ( $l_c$ ): 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:

$$\frac{l_c}{\Delta} = \frac{20m}{G_c} \text{ despejando } l_c \rightarrow l_c = \frac{20m\Delta}{G_c} \text{ (metros)}$$

Donde  $\Delta$  se refiere a la deflexión

5) 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 3.9) se obtiene.

$$ST = R_c \tan \frac{\Delta_c}{2} \text{ (metros)}$$

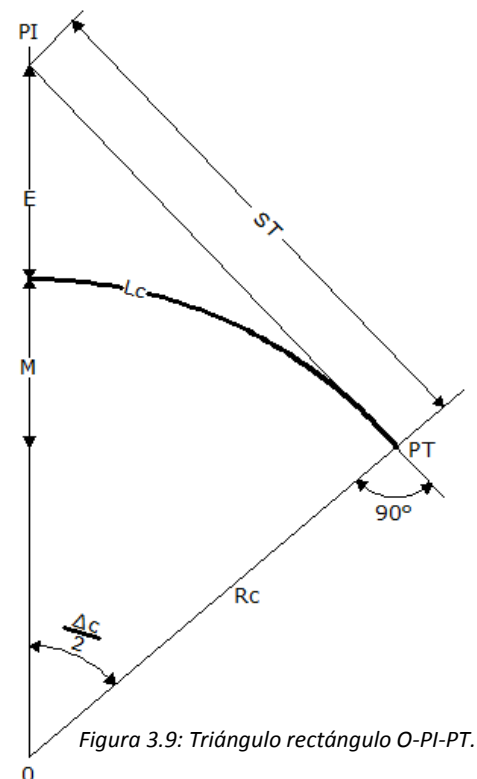


Figura 3.9: Triángulo rectángulo O-PI-PT.

6) Externa (E): Se define como la distancia mínima entre el PI y la curva, se obtiene a partir del triángulo O-PI-PT (figura 3.9) con la siguiente fórmula.

$$E = R_c \left( \sec \frac{\Delta_c}{2} - 1 \right) \text{ (metros)}$$

7) Ordenada media (M): Se define como la longitud de la flecha en el punto medio de la curva. A partir del triángulo O-PI-PT (figura 3.9) se puede obtener este valor.

$$M = R_c - R_c \cos \frac{\Delta_c}{2} \text{ (metros)}$$

8) Deflexión para cualquier punto de la curva ( $\theta$ ): Se define como el ángulo entre la prolongación de la tangente en PC y la tangente en el punto considerado y se representa con la letra griega theta. Se obtiene con la siguiente relación.

$$\frac{\theta}{l} = \frac{G_c}{20m} \text{ despejando } \theta \rightarrow \theta = \frac{G_c l}{20m} \text{ (grados)}$$

9) 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 (figura 3.10) se puede formular la ecuación para obtener la cuerda y la cuerda larga.

$$C = 2R_c \sin \frac{\theta}{2} \text{ (metros)}$$

Y para la cuerda larga su fórmula es:

$$CL = 2R_c \sin \frac{\Delta_c}{2} \text{ (metros)}$$

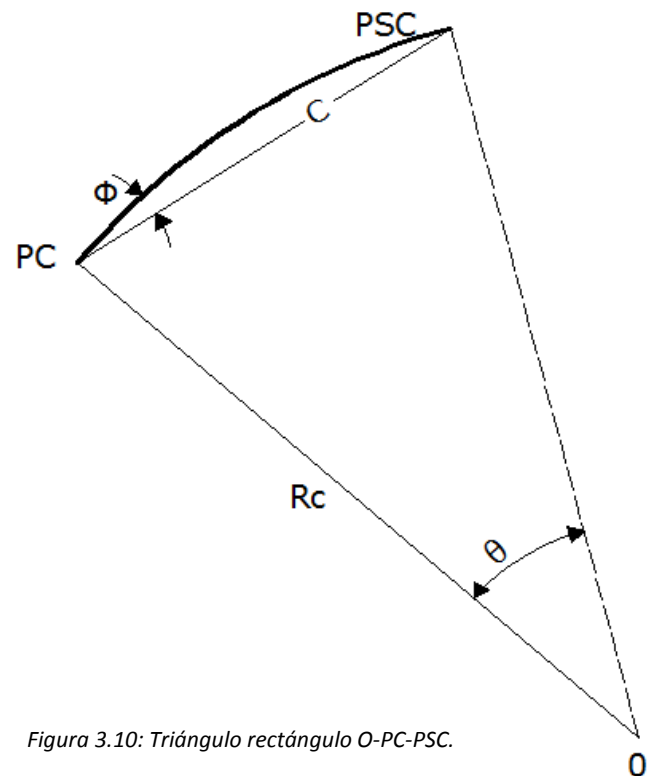


Figura 3.10: Triángulo rectángulo O-PC-PSC.

10) Ángulo de la cuerda ( $\Phi$ ): 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.

$$\Phi = \frac{\theta}{2} \text{ (grados)}$$

Si se toma en cuenta la fórmula del ángulo de deflexión  $\theta$ , se tiene lo siguiente

$$\theta = \frac{G_c l}{20m} \text{ sustituyendo } \rightarrow \Phi = \frac{1}{2} * \frac{G_c l}{20m} \rightarrow \therefore \Phi = \frac{G_c l}{40m} \text{ (grados)}$$

Y para la cuerda larga la fórmula del ángulo es:

$$\Phi_c = \frac{G_c l_c}{40m} \text{ (grados)}$$

### II.3.3.- Curvas 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.

### II.3.4.- Curvas espirales (Clotoide o Espiral de Euler):

Las curvas espirales, también conocidas como espirales de Euler o Clotoides para construcción de carreteras y vías férreas, se utilizan como curvas de transición entre las tangentes y con una curva circular para así disminuir el cambio brusco de dirección que pudiera ocurrir en los puntos de tangencia.

Las forma en que las espirales que conectan las tangentes con la curva circular se muestra en la figura 3.11 y a partir de las propiedades geométricas tanto de la clotoide como de la curva circular, se pueden obtener fórmulas para poder calcular tanto las curvaturas de las clotoides así como los puntos donde la clotoide se interseca con la curva circular con el radio de circular y grado de curvatura de la curva horizontal.

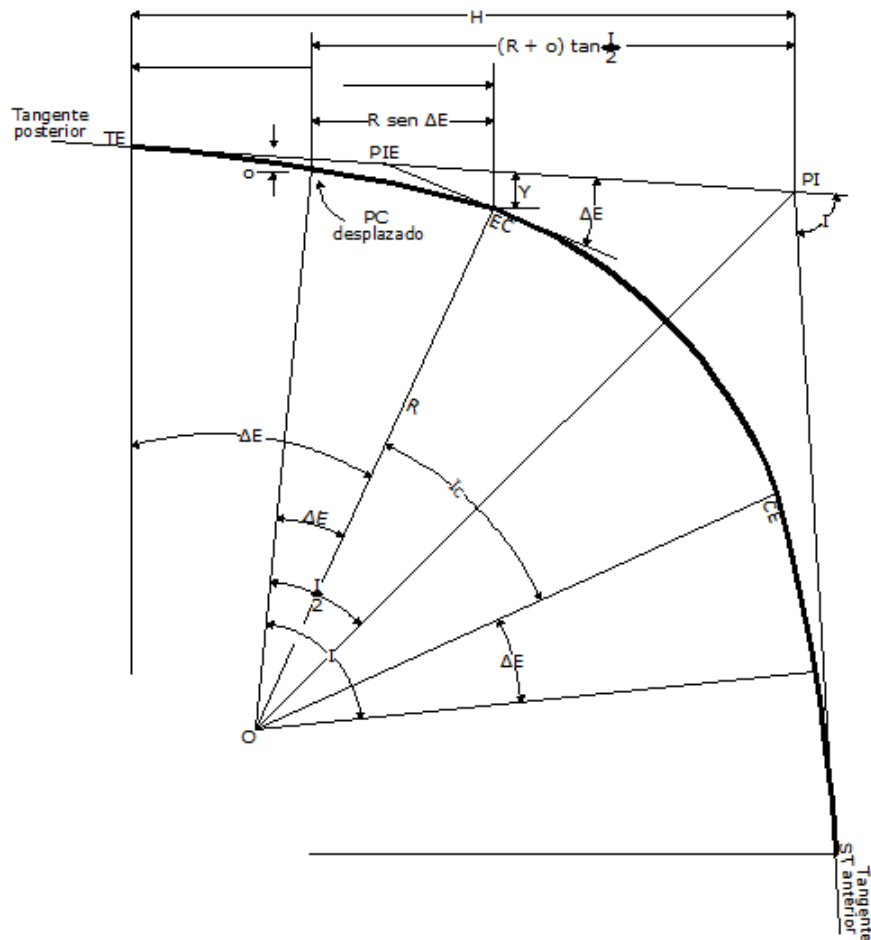


Figura 3.11: Elementos geométricos en espirales (Wolf Paul R. Ghilani Charles. Topografía. Alfaomega, undécima edición. México, 2008).

a) Partes de la curva de transición: La clotoide empieza en el punto TE (tangente a espiral) y termina en el punto EC (espiral a curva). La curva circular empieza en el punto EC y termina hasta el punto CE (curva a espiral) y por último, la espiral de salida termina en el punto ET (espiral a tangente). En este caso cabe resaltar que las curvas espirales son geoméricamente idénticas.

b) Longitud de la clotoide ( $L_E$ ): La longitud de la clotoide es la distancia medida sobre el arco entre los puntos TE al punto EC y del punto CE al punto ET. Su fórmula para obtener la longitud es la siguiente.

$$L_E = \frac{1}{C} \frac{V^3}{R_c} \text{ (metros) } \quad \text{ecuación (1)}$$

Donde V se refiere a la velocidad de entrada de la curva,  $R_c$  se refiere al radio de la curva circular y C se refiere al coeficiente de la aceleración centrífuga.

c) Punto de intersección de la espiral (PIE): Se define como el punto resultante de la intersección entre la tangente posterior y una línea tangente tanto a la espiral de entrada y el punto EC. El ángulo formado entre los puntos PIE y CE forma el ángulo de la espiral  $\Delta_E$ .

d) Ángulo de la espiral ( $\Delta_E$ ): El ángulo de deflexión se define como el ángulo que toma la espiral en el punto EC, La fórmula para obtener el ángulo de la espiral es.

$$\Delta_E = L_E \frac{G}{2} \text{ (grados) } \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde G es igual al grado de curvatura de la curva circular.

e) Ángulo de la espiral en cualquier punto ( $\Delta_p$ ): Se define como el ángulo variable de la espiral en su recorrido hacia la curva circular, se debe toma en cuenta la propiedad de la clotoide en la cual su radio cambia de forma uniforme, desde el infinito en el punto TE hasta el mismo radio circular de la curva circular simple. Por lo tanto se infiere que el radio de curvatura tiene un valor de  $0^\circ$  en su inicio y adopta el mismo radio de curvatura de la curva circular en el punto de intersección.

$$\Delta_p = \left( \frac{L_p}{L_E} \right)^2 \Delta_E \text{ (grados) } \quad \text{ecuación (3)}$$

Donde  $L_p$  es igual a la distancia en la espiral desde el punto de inicio hasta el punto P.

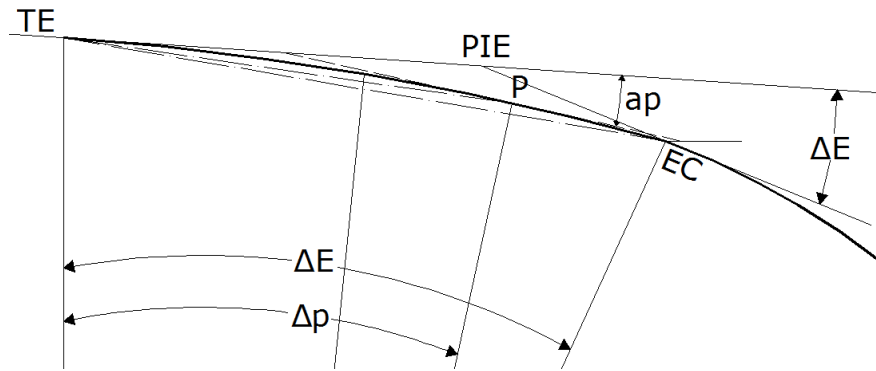


Figura 3.12: Ángulos de deflexión en una espiral (Wolf Paul R. Ghilani Charles. Topografía. Alfaomega, undécima edición. México, 2008).

f) Ángulo de deflexión ( $\alpha_p$ ): Se define como el ángulo medido desde el punto TE a cualquier punto de la espiral P. Su fórmula para calcular este ángulo es se puede obtener a partir de la figura 3.12

$$\alpha_p = \left(\frac{L_p}{L}\right)^2 \frac{\Delta_E}{3} \text{ (grados) ecuación (4)}$$

g) Coordenadas de cualquier punto sobre la clotoide (EC): Para poder conocer las coordenadas X y Y del punto EC que se encuentra sobre la clotoide y cuyo origen del sistema de coordenadas se encuentra en el punto TE, las fórmulas son la siguientes.

$$X = L_p \left( 1 - \frac{\Delta_p^2}{10} + \frac{\Delta_p^4}{216} - \frac{\Delta_p^6}{9360} + \frac{\Delta_p^8}{685440} \right) \quad Y = L_p \left( \frac{\Delta_p}{3} - \frac{\Delta_p^3}{42} + \frac{\Delta_p^5}{1320} - \frac{\Delta_p^7}{75600} + \frac{\Delta_p^8}{6894720} \right)$$

Donde  $\Delta_p$  se encuentra expresado en radianes y  $L_p$  es la distancia de cadenamamiento desde el punto TE hasta el punto EC.

**II.3.5.- 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. Sin embargo, se puede formular una ecuación en la que se pueda determinar el alcance visual de para una curva horizontal con la siguiente ilustración:



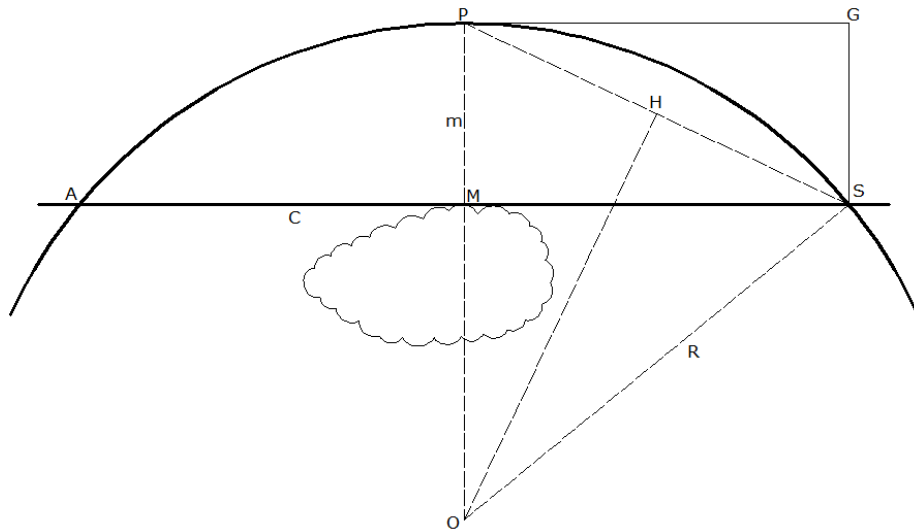


Figura 3.13: Alcance visual o visibilidad horizontal en una curva horizontal. (Wolf Paul R. Ghilani Charles. Topografía. Alfaomega, undécima edición. México, 2008).

Se observa que la distancia visual con la que se puede librar un obstáculo es la cuerda AS, definida con la letra C y que el despeje o libramiento necesario es la ordenada media de la curva circular (m). Por lo tanto, a partir de los triángulos SPG y SOH se puede determinar la distancia que se requiere para poder librar un obstáculo circulando una curva circular.

$$\frac{m}{SP} = \frac{SP/2}{R} \text{ despejando } m \rightarrow m = \frac{SP^2}{2R}$$

Si se toma en cuenta que el valor de la ordenada media es pequeña con respecto al valor del radio de curvatura y que la línea SP es igual al valor de la mitad de la cuerda C, entonces se tiene que.

$$\text{Si } SP = \frac{C}{2} \text{ entonces } \rightarrow m = \frac{(C/2)^2}{2R} \text{ reacomodando } \rightarrow m = \frac{C^2}{8R}$$

$$\text{Despejando } C \rightarrow C^2 = 8Rm \therefore \rightarrow C = \sqrt{8Rm}$$

Esta fórmula se puede calcular si se conoce el valor de la ordenada media midiéndolo desde la curva hasta donde se encuentra la obstrucción.

Si este cálculo revela que existe una restricción en la distancia visual, entonces hay dos opciones, la primera de ellas es que se quite el obstáculo y la segunda es que ponga un señalamiento de límite de velocidad en el área.

**II.3.6.- Grado máximo de curvatura:** Para las curvas horizontales, el grado de curvatura máximo con las que se puede manejar viene en la tabla de abajo el cual viene con respecto a la velocidad máxima de proyecto, esto con dos finalidades, la primera de ellas es que se pueda recorrer la curva con la velocidad de proyecto y no sea necesario disminuir la velocidad y la segunda es que las curvas de transición no se traslapen con la curva horizontal.

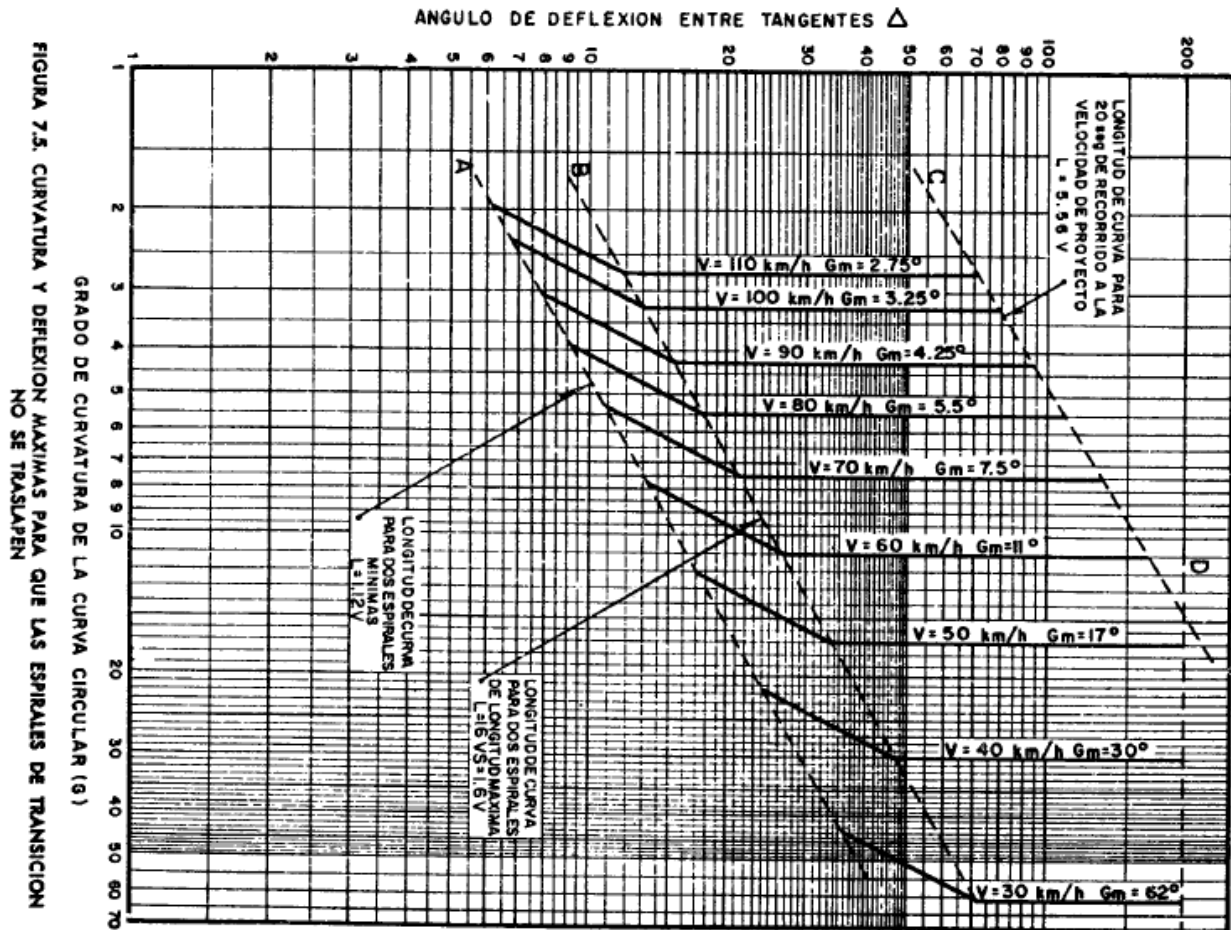


Figura 3.14: Curvatura y deflexión máximas para que las espirales de transición no se traslapen (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Esto significa que para la zona montañosa de la carretera, no se podría utilizar un grado de curvatura mayor a 4.25 grados y que en la zona plana, el grado de curvatura máximo sería de 2.75. Aunque los grados de curvatura mostrados aquí son los válidos para el proyecto de trazo, posiblemente sea complicado respetar el grado máximo de curvatura en la zona montañosa debido a lo accidentado del terreno ya que como se especifica en las normas generales del alineamiento horizontal, la topografía condiciona muy especialmente los radios de curvatura y la velocidad de proyecto.

## II.4- Alineamiento vertical:

Se define como la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona, por lo que al eje de la subcorona en el alineamiento vertical se llama subrasante.

**II.4.1.- Tangentes verticales:** 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 y la pendiente de la tangente se define como la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma recta.

**III.4.2.- Pendientes y velocidad máxima** Desde el punto de vista del volumen de servicio y de la capacidad, el principal criterio para evaluar las pendientes, es su efecto en las características de operación de camiones y autobuses. El efecto que tienen los camiones en un tramo largo de autopista, es diferente del efecto sobre una pendiente específica dentro de ese tramo.

Tipo de Terreno	Porcentaje de Pendiente Máxima para Diversas Velocidades de Proyecto a Km/h						
	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h	110 km/h
Plano	6 %	5 %	4 %	4 %	3 %	3 %	3 %
Lomerío	7 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	4 %
Moderado	9 %	8 %	7 %	7 %	6 %	5 %	5 %

Tabla 3.1: Pendientes máximas para cada tipo de terreno con respecto a la velocidad de proyecto (Proyecto Geométrico de Carreteras).

Dado que el terreno es de tipo montañoso en su mayoría del recorrido, la velocidad de proyecto será de máximo 90 km/h, de 100 km /h al salir de la zona montañosa entrando a la Llanura Costera del Golfo y de 110 km/h en las inmediaciones de Tuxtepec, al tratarse de una zona muy plana. Por lo que la pendiente máxima utilizada para la zona montañoso será de 6%, de 4% saliendo de la zona montañoso y de 3% en la zona más plana.

Los porcentajes de pendiente se obtienen a partir de una relación triangular de altura con respecto al desplazamiento, así, una pendiente de 6% significa que para una distancia de 100 metros, se puede subir o bajar 6 metros.

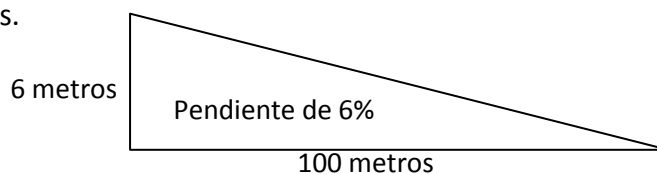


Figura 3.15: Relación de Pendiente.

Si se toma en cuenta que tenemos curvas de nivel con separación de 20 metros, el cual es una diferencia de altura que se encuentra comúnmente en cartas topográficas; se necesita una relación de triángulos para determinar cuánta distancia se puede recorrer entre curva y curva respetando las pendientes del proyecto.

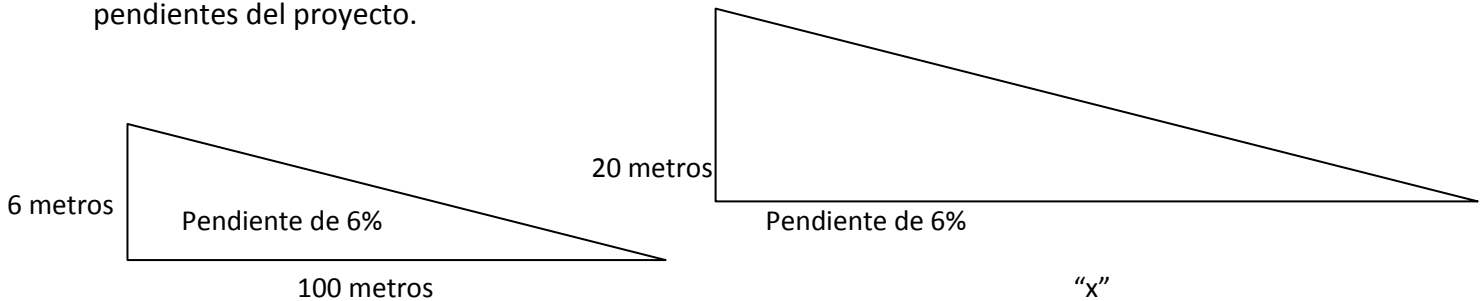


Figura 3.16: Relación de pendiente para un triángulo rectángulo con cateto opuesto de 20 metros.

Por triángulos semejantes se puede obtener la distancia horizontal para un triángulo de 20 metros de altura con una pendiente de 6 es igual a 333.333 metros.

$$\frac{100m}{6m} = \frac{x}{20m} \rightarrow x = \frac{20m * 100m}{6m} \rightarrow \therefore x = 333.333 \text{ metros.}$$

A partir de triángulos semejantes, se puede obtener las distancias que se puede recorrer entre curva y curva de nivel, respetando las pendientes permitidas por el Manual de Proyecto Geométrico.

Pendiente /Altura	10 metros	20 metros	40 metros
6%	166.667	333.333	666.666
5%	200.000	400.000	800.000
4%	250.000	500.000	1000.000
3%	333.333	666.667	1333.333
2%	500.000	1000.000	2000.000
1%	1000.000	2000.000	4000.000

Tabla 3.2: Tabla de distancia horizontal de recorrido entre altura y pendiente.

### II.4.3.- Curvas verticales

Con el propósito de que no exista algún cambio brusco en la dirección vertical de los vehículos transitando por carreteras, los segmentos adyacentes de diferentes pendientes se conectan a través de una curva en el plano vertical, el cual se denomina curva vertical. Por lo general, este tipo de curva es el segmento de una parábola, ya que ésta se adapta bien al cambio gradual de dirección y permite un rápido cálculo de las elevaciones sobre la curva.

### Curva vertical en columpio.

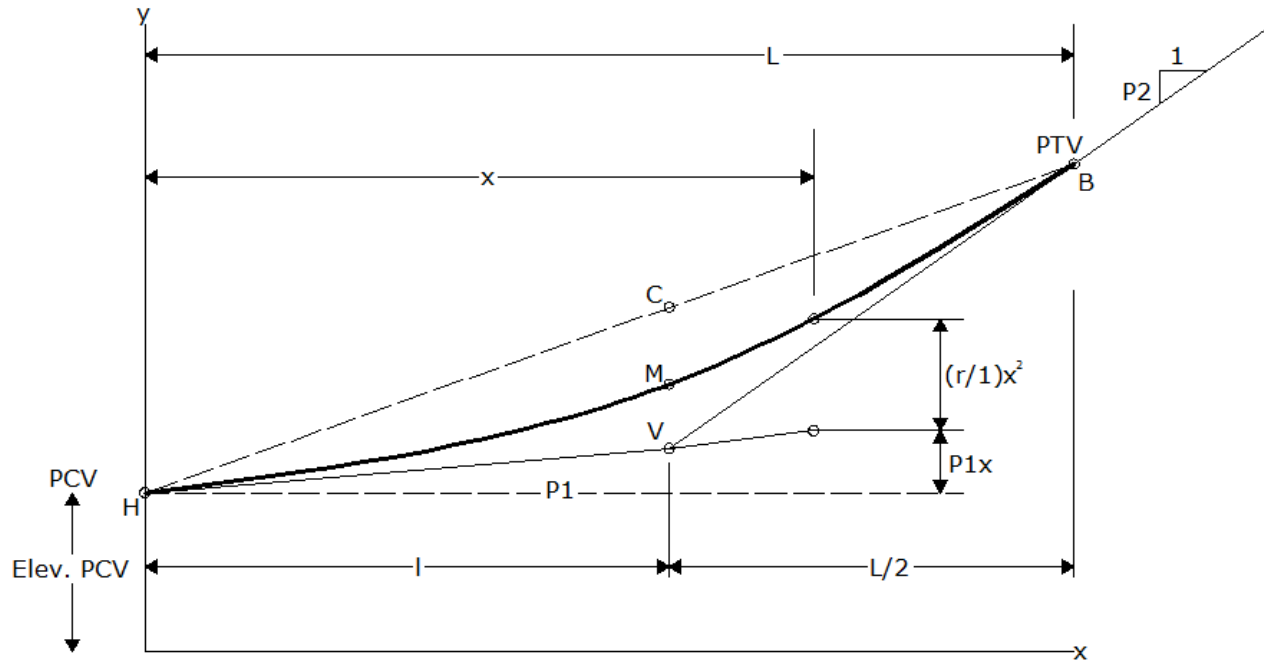


Figura 3.17: Curva vertical en columpio (Anderson James M, Mikhail Edward M. *Introducción a la Topografía*. McGraw Hill, primera edición. México 1988).

### Curva vertical en cresta

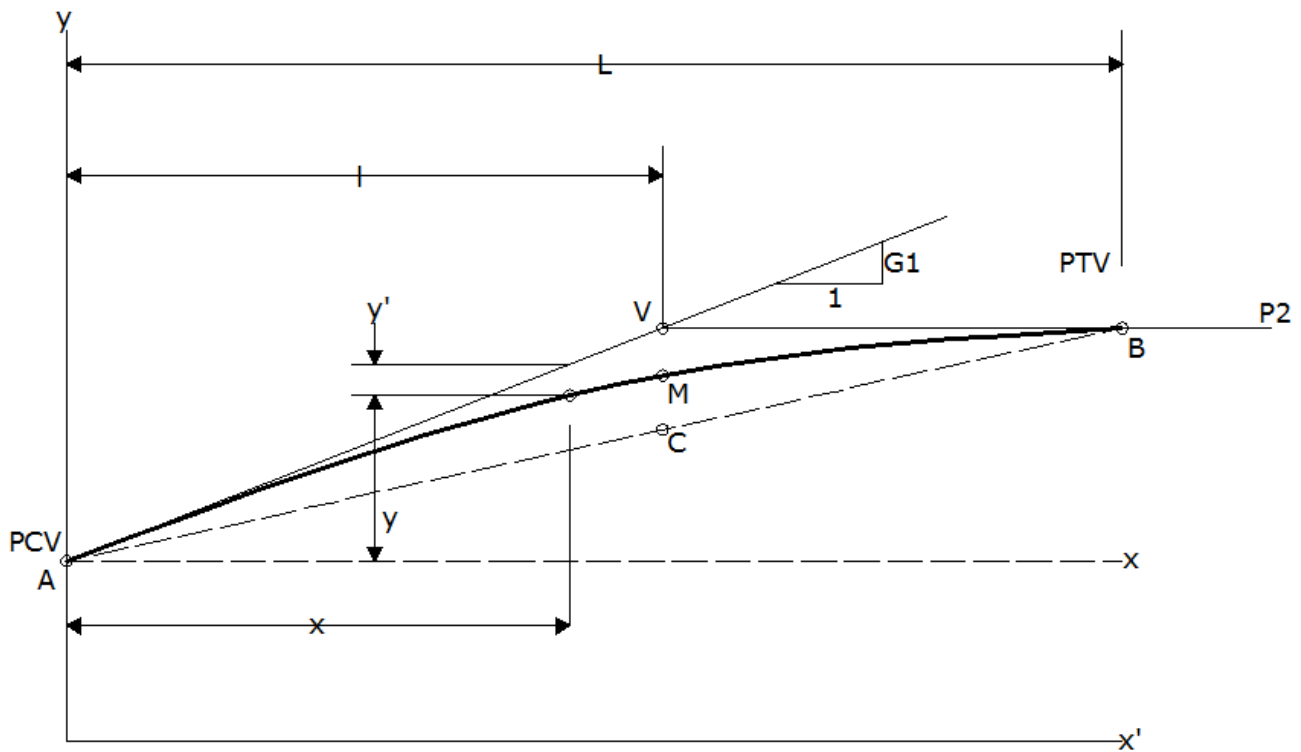


Figura 3.18: Curva vertical en cresta (Anderson James M, Mikhail Edward M. *Introducción a la Topografía*. McGraw Hill, primera edición. México 1988).

En ambas curvas verticales, tanto en columpio como en cresta empiezan en el punto A y es también donde se encuentra el punto PCV (principio curva vertical), el punto en donde se intersecan las tangentes verticales se denomina V y por último el final de la curva se define en el punto PTV (principio tangente vertical).

La longitud de la curva está definida por los puntos A y B de las figuras 3.17 y 3.18 y se encuentra representado por la letra L y esta se mide de forma horizontal.

Los puntos  $P_1$  y  $P_2$  de las figuras 3.17 y 3.18 representan a las dos pendientes en la dirección del cadenamiento sobre la tangentes verticales que van de los segmentos AV y VB.

El diseño de las curvas verticales tanto en cresta como en columpio se encuentra en función de varias variables entre las cuales se encuentran a la diferencia algebraica de la diferencia de las pendientes. La distancia de visibilidad de parada o rebase, al que a su vez se encuentra en función de la velocidad de proyecto, altura de visión del conductor así como el drenaje.

Como se mencionó anteriormente, la curva vertical se le da el tratamiento de una curva parabólica por lo que a partir de ese hecho se puede formular la ecuación parabólica para las curvas verticales.

### **Deducción de la ecuación parabólica.**

Se considera la curva parabólica plana que pasa por los puntos A y B con respecto al eje “y” y a su vez que pasa por el punto PCV, mientras que el eje x corresponde al plano de referencia.

L es la longitud de la curva vertical medido de forma horizontal

La pendiente en el punto PCV equivale al valor  $P_1$  y la pendiente en PTV es  $P_2$ . Para las figuras 3.17 y 3.18.

Si el cambio de pendiente en una curva parabólica se considera constante, entonces la segunda derivada de y con respecto de x es constante, resumiendo.

$$1) \frac{d^2y}{d^2x} = r \rightarrow \forall r = \text{constante}$$

Si se integra la ecuación diferencial se obtiene la siguiente.

$$2) \frac{d^2y}{d^2x} = r \text{ ó } y'' = r, \quad \text{integrando se tiene que } \int \frac{d^2y}{d^2x} dx \rightarrow \int r dx = rx + C \quad \therefore \frac{dy}{dx} = rx + C$$

Cuando se agregan las condiciones iniciales ( $m = \frac{dy}{dx}$ )

$$3) X = 0, m = P_1 \quad X = L, m = P_2$$

Se puede sustituir en la ecuación.

$$4) \frac{dy}{dx} = rx + C \rightarrow \text{condición 1: } P_1 = 0 + C, \text{ condición 2: } \rightarrow P_2 = Lr + C$$

$$5) \therefore P_2 = Lr + P_1, \quad \text{despejando } r \rightarrow r = \frac{P_2 - P_1}{L}$$

Agregando el valor de "r" en la primera integración (paso 5).

$$6) \frac{dy}{dx} = \left(\frac{P_2 - P_1}{L}\right)x + P_1$$

Por último, integrando la ecuación diferencial se puede obtener el valor de y.

$$7) \int \frac{dy}{dx} dx = \int \left(\frac{P_2 - P_1}{L}\right)x + P_1 dx \text{ integrando } \rightarrow y = \left(\frac{P_2 - P_1}{L}\right)\frac{x^2}{2} + P_1x + C$$

Con las condiciones iniciales  $x=0$ ,  $y = \text{elevación PCV}$  se tiene que

$$8) PCV = \left(\frac{P_2 - P_1}{L}\right)\frac{0}{2} + P_1 \cdot 0 + C \rightarrow \therefore C = \text{elevación PCV entonces}$$

$$9) y = \left(\frac{P_2 - P_1}{L}\right)\frac{x^2}{2} + P_1x + \text{elevación PCV} \quad \rightarrow \therefore y = \frac{rx^2}{2} + P_1x + \text{elev. PCV}$$

El cual da como resultado, la ecuación de la parábola que pasa por los puntos A y B y se puede utilizar para poder calcular las elevaciones sobre la curva, siempre y cuando se conozcan los valores de pendientes  $P_1$  y  $P_2$ , la longitud  $L$  y la elevación del punto PCV.

El punto donde la curva vertical es más alta o más baja es de gran interés ya que sirve para el diseño del drenaje, si a partir de la premisa de que la pendiente en este punto es igual a cero, entonces sustituyendo en la ecuación de la primera derivada.

$$1) \frac{dy}{dx} = rx + C \rightarrow \text{si } \frac{dy}{dx} = 0 \text{ y } C = P_1 \text{ entonces } \rightarrow rx + P_1 = 0, \text{ sustituyendo } x \rightarrow 2)$$

$$2) x = -\frac{P_1}{r}, \quad \text{si } r = \frac{P_2 - P_1}{L} \text{ entonces } \rightarrow x = -\frac{P_1}{\left(\frac{P_2 - P_1}{L}\right)} \text{ simplificando } \rightarrow x = \frac{P_1 L}{P_1 - P_2}$$

### II.5.- Secciones Transversales de Carreteras:

La sección transversal de la carretera se define como el corte vertical normal al alineamiento horizontal y permite definir las dimensiones y la disposición de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente a cada una de las secciones y su relación con el terreno natural. *En esta tesis no se profundizará mucho en las cuestiones geológicas y geotécnicas que implican las secciones transversales de carreteras, ya que en este caso se consideran que son los profesionistas en las áreas antes mencionadas los encargados de analizar y resolver estos temas.*

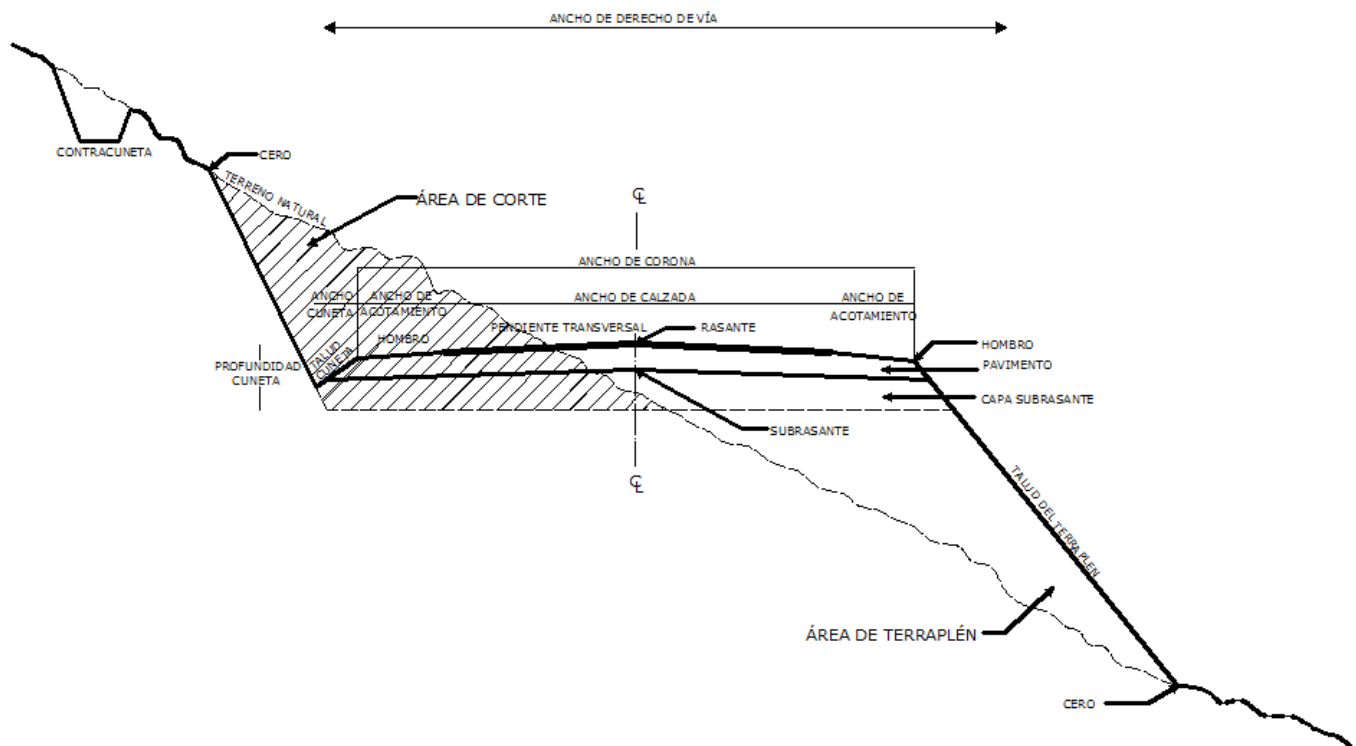


Figura 3.19: Sección transversal típica en una tangente del alineamiento horizontal (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).



Los elementos que definen las partes de la sección transversal son: corona, subcorona, cunetas, contracunetas, taludes y partes complementarias.

**II.5.1 Corona:** Se define como la superficie del camino terminado que queda entre las aristas superiores de los taludes del terraplén y/o las inferiores de las cunetas. Se representa con una línea en la sección transversal. La corona a su vez en rasante, pendiente transversal, calzada y acotamientos.

A) Rasante: Se define como la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino. Ésta se representa como un punto en la sección transversal sobre el terreno natural.

B) Pendiente transversal: Se define como la pendiente que se le da a la corona normal a su eje. La pendiente transversal a su vez tiene tres casos.

1.- Bombeo: Se define como la pendiente que se da a la corona en cada una de las tangentes del alineamiento horizontal en los dos lados de la rasante para evitar la acumulación del agua sobre el camino. Un bombeo adecuado es aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la pendiente mínima, al fin de que el conductor no sienta inseguridad ni sensaciones de incomodidad.

TIPOS DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO		Pendient %
Muy buena	Superficie de concreto hidráulico o asfáltico, tendido con extendedoras mecánicas	1% a 2%
Buena	Superficie de mezcla asfáltica tendida con motoconformadoras. Carpeta de riesgos	1.5% a 3%
Regular o Mala	Superficie de tierra o grave.	2% a 4%

Tabla 3.3: Bombeo de la Corona (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

En la tabla se arriba indican las pendientes de bombeo sugeridos para cada tipo de camino. Si la corona se pavimentará con concreto hidráulico, entonces el bombeo será de 1% a 2%, en el caso de que la corona sea pavimentada con asfalto, entonces el bombeo tendrá una pendiente de 1.5% a 3%, esto se decidirá con estudios de la zona por donde se construya la supercarretera ya que buena parte del trazo pasará por zonas de clima cálido húmedo.

2.- Sobreelevación: Se define como la pendiente que se le da de la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar de forma parcial el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo cuando transita por curvas horizontales.

La fórmula para poder calcular la sobreelevación necesaria para transitar una curva horizontal es la siguiente:

$$S = 0.00785 \frac{V^2}{R} - \mu \text{ (metros)}$$

Donde:

S = Sobreelevación, en valor absoluto

R = Radio de curvatura, en metros.

V = Velocidad del Vehículo, en km/h

$\mu$  = Coeficiente de fricción lateral

Con la expresión anterior se puede calcular la sobreelevación necesaria para que un vehículo no se deslice cuando transita por una curva con una velocidad dada, sin embargo existen parámetros como la operación y mantenimiento de carreteras que hacen que sea necesario fijar una sobreelevación máxima. De 12% para aquellos lugares donde no hay heladas y donde hay poco tránsito de vehículos, de 10% para aquellos lugares donde no hay heladas pero hay un gran porcentaje de vehículos pesados De 8% para zonas donde hay heladas y por último de 6% para zonas urbanas.

Con la sobreelevación máxima fijada, el grado máximo de curvatura se define con la siguiente ecuación:

$$G_{max} = \frac{146000 (\mu + S_{max})}{V^2} \text{ (grados)}$$

Substituyendo los valores en la ecuación se puede determinar el grado máximo de curvatura los cuales vienen ejemplificados en la tabla de abajo.

Velocidad de proyecto	Coeficiente de fricción lateral	Grado máximo calculado para sobreelevación de:				Valores para proyecto							
						B = 0.12		B = 0.10		B = 0.08		B = 0.06	
		0.12	0.10	0.08	0.06	G	R	G	R	G	R	G	R
30	0.280	61.64	58.40	55.16	55.16	65	17.63	62	18.48	58	19.76	55	20.83
40	0.230	30.11	28.29	26.46	26.46	32	35.81	30	38.20	28	40.93	26	44.07
50	0.190	16.94	15.77	14.60	14.60	18	63.66	17	67.41	16	71.62	15	76.39
60	0.165	10.75	9.94	9.12	9.12	12	95.49	11	104.17	10	114.59	9	127.32
70	0.150	7.45	6.85	6.26	6.26	8	143.24	7.5	152.79	7	163.70	6.5	183.34
80	0.140	5.48	5.02	4.56	4.56	6	190.99	5.5	208.35	5	229.18	4.5	254.65
90	0.135	4.24	3.88	3.51	3.51	4.5	259.65	4.25	246.10	4	286.48	3.5	327.40
100	0.130	3.36	3.07	2.77	2.77	3.5	327.40	3.25	352.59	3	381.97	2.75	416.69
110	0.125	2.72	2.47	2.23	2.23	3.0	381.97	2.75	416.89	2.5	458.37	2.25	509.29

Tabla 3.4: Grados máximos de curvatura (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

3.- Transición del bombeo a la sobreelevación: En el alineamiento horizontal, cuando se pasa de una tangente a otra por medio de una curva, es necesario cambiar la pendiente de la corona, desde el bombeo hasta la sobreelevación correspondiente a la curva y este cambio se hace gradualmente en toda la curva.

Para poder pasar del bombeo a la sobreelevación, se tienen tres procedimientos. El primero consiste en girar la sección sobre el eje de la corona; el segundo consiste en girar la sección sobre la orilla interior de la corona y la tercer consiste en girar la sección sobre la orilla exterior de la corona. De los tres mencionados el primero es el más conveniente, ya que requiere de una menor longitud de transición y los desniveles relativos de los hombros son uniformes; mientras que los otros dos métodos tienen desventajas y por lo tanto sólo se utilizan es casos especiales.

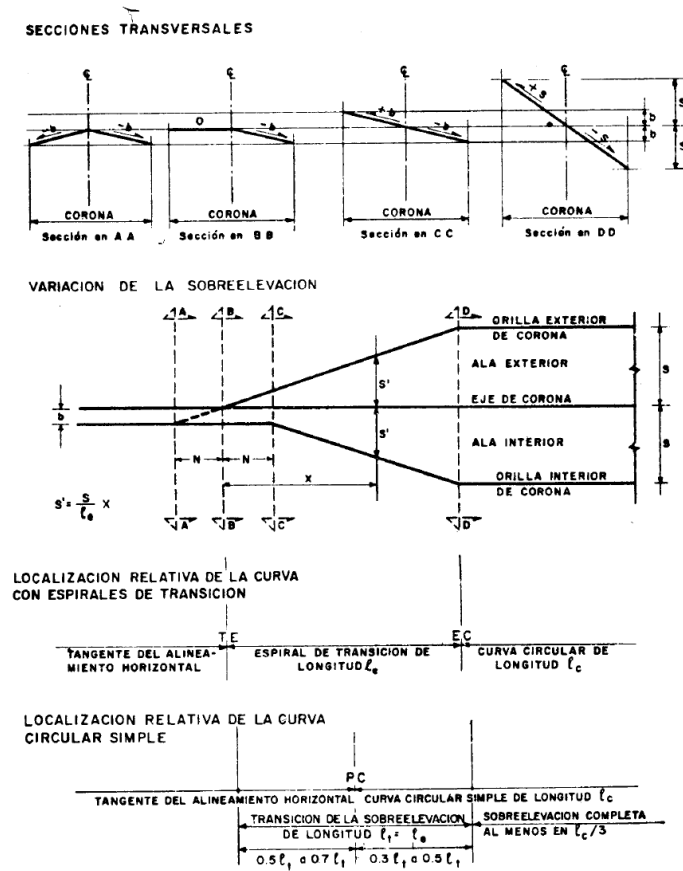


Figura 3.20: Transición de la sección en tangente a la sección en curva girando sobre el eje de la corona (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

C) Calzada: Se define como la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles.

El ancho de calzada es variable en el camino y éste depende de la localización de la sección en el alineamiento horizontal y en casos especiales en el vertical. Este concepto se refiere al ancho en tangente del alineamiento horizontal.

1.- Ancho de calzada en tangente: El ancho de calzada en tangente se determina primeramente estableciendo el nivel de servicio deseado con las previsiones, con este dato y con los estudios económicos correspondientes, se puede determinar el ancho y números de carriles, con el propósito de que el volumen de tránsito no exceda al volumen de servicio prefijado.

En las tangentes de alineamiento vertical con fuerte pendiente longitudinal, puede ser necesario ampliar la calzada mediante un carril adicional para que vehículos pesados puedan transitar en él.

2.- Ancho de calzada en curvas de alineamiento horizontal: Cuando un conductor circula por una curva horizontal, ocupa un ancho de calzada mayor a la establecida y por lo tanto experimenta cierta dificultad para mantenerse dentro del carril, en este caso se necesita un ancho mayor de calzada con respecto al ancho en tangente. A esta ampliación de ancho de calzada se llama ampliación y se le debe dar tanto a la calzada como a la corona.

Para caminos de dos carriles, como es el caso de este proyecto, el ancho de calzada en curvas ( $a_c$ ) se calcula sumando al ancho definido entre la distancia entre huellas externas ( $U$ ) de dos vehículos que circular en la curva mas la distancia libre lateral ( $C$ ) entre los vehículos circulantes y la orilla de la calzada, también se suma el sobrancho ( $F_a$ ) y un ancho adicional ( $Z$ ) que toma en cuenta la dificultad de maniobrar en la curva.  $a_c = 2U + 2C + F_a + Z$

En la figura 3.21 se muestra la forma en la que intervienen cada uno de los elementos antes mencionados para poder calcular la ampliación de la calzada en curva.

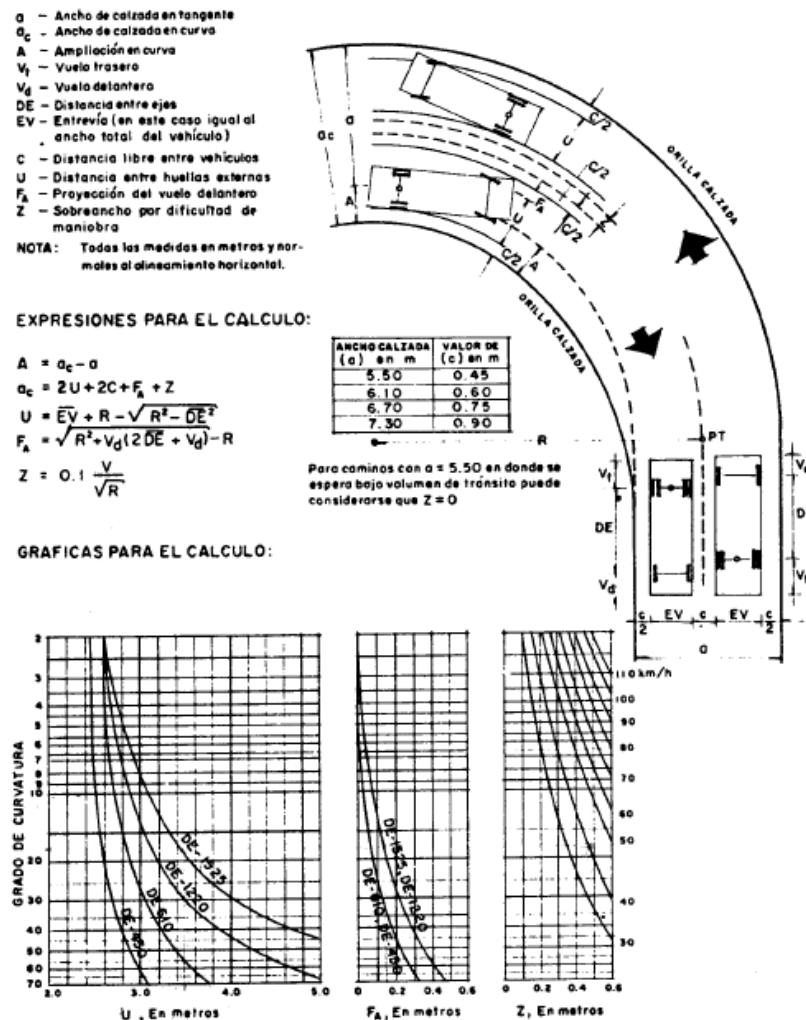


Figura 3.21: Ampliaciones en curvas de alineamiento horizontal (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Al valor de ancho de calzada, se calcula Un ancho promedio de 40 centímetros.

D) Acotamientos: Se refieren a las franjas continuas a la calzada, comprendidas entre sus límites y líneas definidas por los hombros del camino y tienen las siguientes ventajas.

- 1.- Dar seguridad al usuario al proporcionarle un ancho adicional fuera de la calzada, en el que puede evitar accidentes o reducir su severidad así como poder estacionarse en ellos si en necesario.
- 2.- Proteger contra la humedad y posibles erosiones a la calzada, así como dar confinamiento al pavimento.
- 3.- Mejorar la visibilidad en los tramos en curva, sobre todo cuando el camino está en corte.
- 4.-Facilitar los trabajos de conservación.
- 5.- Dar mayor estética al camino,

La anchura de los acotamientos depende principalmente del volumen de tránsito y de nivel de servicio con la que el camino vaya a funcionar y el color, textura y espesor de los acotamientos dependerá de los objetivos con los que se quiera lograr con ellos y por lo tanto su pendiente transversal será la misma que la de la calzada.

**II.5.2.- Subcorona:** Se define como la superficie que limita a las terracerías y sobre la que se apoyan las capas del pavimento, En sección transversal se representa como una línea.

Las terracerías se pueden definir como el volumen de material que ha que cortar o terraplenar para formar el camino hasta la subcorona, por lo que define los espesores de corte o terraplén en cada punto de la sección.

El pavimento puede definirse como la capa o las capas de material seleccionado y/o tratado, el cual tiene como objetivo soportar cargas inducidas por el tránsito y repartirlas de manera que los esfuerzos que se transmiten a la capa de terracerías adjuntas a la subcorona no le cause deformaciones perjudiciales, al mismo tiempo, el pavimento proporciona una superficie de rodadura adecuadas al tránsito. El pavimento está formado por la sub-base, la base y la carpeta que es la que define la calzada del camino.

Los elementos que definen a la subcorona son la subrasante, la pendiente transversal y el ancho.

A) Subrasante; Se define como la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona y en la sección transversal se representa como un punto cuya diferencia de elevación con la rasante está determinada por el espesor del pavimento y cuyo desnivel con el respecto al terreno natural, por lo tanto, sirve para determinar el espesor de corte o terraplén.

B) Pendiente transversal: La pendiente transversal de la subcorona es la misma que la de la corona.

C) Ancho de la subcorona: Se define como la distancia horizontal comprendida entre los puntos de intersección de la subcorona con los taludes del terraplén, cuneta o corte. El ancho de la subcorona está en función del ancho de la corona y del ensamble.

La fórmula para calcular el ancho ( $A_s$ ) de la subcorona se muestra a continuación:

$$A_s = C + e_1 + e_2 + A \text{ (metros)}$$

Donde:

$A_s$  = Ancho de la subcorona, en metros.

$C$  = Ancho de la corona en tangente, en metros

$e_1$  y  $e_2$  = Ensanche a cada lado del camino, en metros

$A$  = Ampliación de la calzada en la sección considerada, en metros.

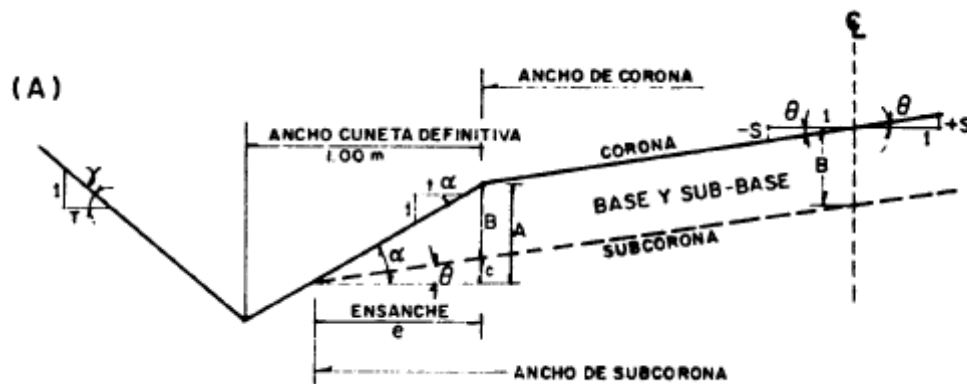


Figura 3.22: Ensanche de la Subcorona, cuando no hay necesidad de cuneta provisional (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

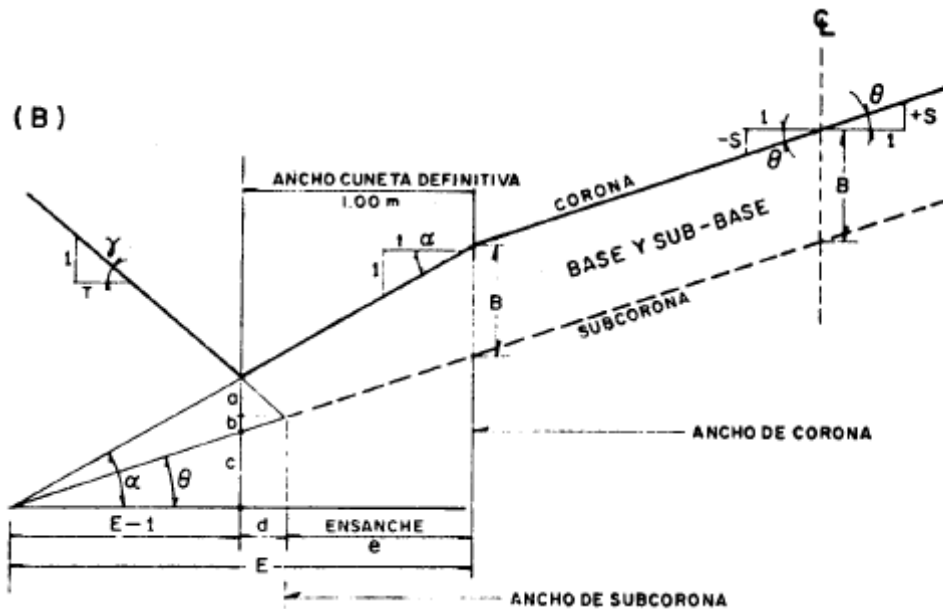


Figura 3.23: Ensanche de la Subcorona, cuando el espesor de pavimento y/o pendiente transversal tienen valores altos (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Cuando el camino se encuentra en corte y se proyecta una cuneta provisional, el hombro de la subcorona queda en la misma vertical que el de la corona y por lo tanto el ensanche es nulo; pero cuando el camino se van a pavimentar de forma inmediata después de construir las terracerías y no existe necesidad de construir una cuneta provisional, entonces la cuneta definitiva quedará formada con el material de la base y sub-base y por el talud del corte. Para este caso, el ensanche de la subcorona se calcula con la siguiente fórmula.

$$e = \frac{B}{\frac{1}{t} + S} \text{ (metros)}$$

Donde:

e = Ensanche, en metros

B = Espesor de la base y sub-base, en metros.

t = Talud de la cuneta

S = sobreelevación o pendiente transversal de la corona y la subcorona, con su signo.



### II.5.3.- Cunetas y contracunetas:

Las cunetas y las contracunetas son aquellas obras de drenaje que por su naturaleza quedan englobadas en la sección transversal.

A) Cunetas: Se definen como las zanjas que se construyen en los tramos en corte a uno o ambos lados de la corona, con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes del norte.

Por lo general, la cuneta tiene una sección triangular con un ancho de 1.00 m, medido de forma horizontalmente del hombro de la corona al fondo de la cuneta; su talud generalmente es de relación de proporción 3:1, del fondo de la cuneta parte el talud del corte. La capacidad hidráulica de las cunetas puede ser calculada con los métodos establecidos y debe ser coherente con la precipitación pluvial de la zona y del área drenada.

Cuando no se pavimentan los caminos inmediatamente después de construir las terracerías es necesario proyectar una cuneta provisional para poder drenar la subcorona.

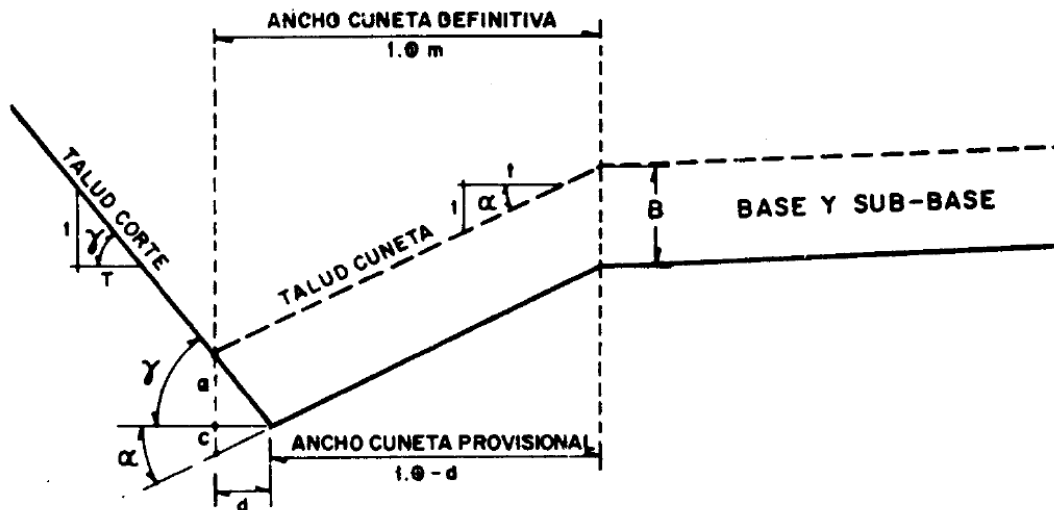


Figura 3.24: Cuneta provisional (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

El ancho de la cuneta provisional debe diferir una cantidad (d) con respecto al ancho de la cuneta definitiva, esto con la finalidad que la cuneta tenga el ancho de proyecto después de ser pavimentada o recubierta. Ecuación deducida a partir de la figura 3.24

$$d = \frac{B}{\left(\frac{1}{T} + \frac{1}{t}\right)} \text{ (metros)}$$

Donde:

$d$  = Reducción que hay que hacer al ancho de la cuneta definitiva para obtener el ancho de la cuneta provisional.

$B$  = Espesor de la basa y sub-base, en metros.

$T$  y  $t$  = Taludes del corte y de la cuneta.

La longitud de la cuneta debe estar limitada por su capacidad hidráulica ya que no se debe permitir que el agua rebase su sección y que se extienda por el acotamiento, por lo que esta longitud deberá ser limitado colocando alcantarillas de alivio o proyectando las canalizaciones convenientes.

B) Contracunetas: Las contracunetas por lo general son zanjas de sección trapezoidal que se excavan arriba de la línea de ceros de un corte, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural. Estas se construyen de forma perpendicular a la pendiente máxima del terreno con el propósito de lograr una eficiente interpretación del escurrimiento laminar. La proyección y diseño de las contracunetas tanto en dimensiones como en localización está determinado por el escurrimiento posible, por la configuración del terreno y por las características geotécnicas de los materiales que las forman, pues puede ocurrir que las contracunetas sean perjudiciales si en su longitud ocurren filtraciones que redunden en la inestabilidad de los taludes en corte.

**III.5.4.- Taludes:** Se define como la inclinación del parámetro de los cortes o de los terraplenes, expresado de forma numérica como el recíproco de la pendiente. En los caminos, también se le llama talud a la superficie que en los cortes queda comprendida entre la línea de ceros y el fondo de la cuneta mientras que en los terraplenes.

**III.5.5.- Partes complementarias:** Las partes complementarias de las secciones transversales incluyen aquellos elementos que concurren ocasionalmente y con los que se trata de mejorar la operación y conservación del camino. Las partes complementarias son las guarniciones, bordillos, banquetas y fajas separadoras.

A) Guarniciones y bordillos: Las guarniciones son unos elementos que se encuentran enterrados de forma parcial, generalmente están contruidos de concreto hidráulico y se emplean principalmente

para limitar las banquetas, camellones, isletas y delinear la orilla del pavimento. La ubicación y el tipo de guarniciones influyen en las reacciones del conductor y por lo tanto, en la seguridad y utilidad del camino.

Los dos tipos más comunes de guarniciones son las verticales y las achaflanadas, las verticales tiene su parte saliente de 0.20 metros como máximo y su cara exterior ligeramente vertical, con el objetivo que los vehículos no puedan sobrepasarlas mientras que las segundas tienen la parte saliente achaflanada para que en caso de emergencia, los vehículos puedan cruzar sobre ellas con relativa facilidad.

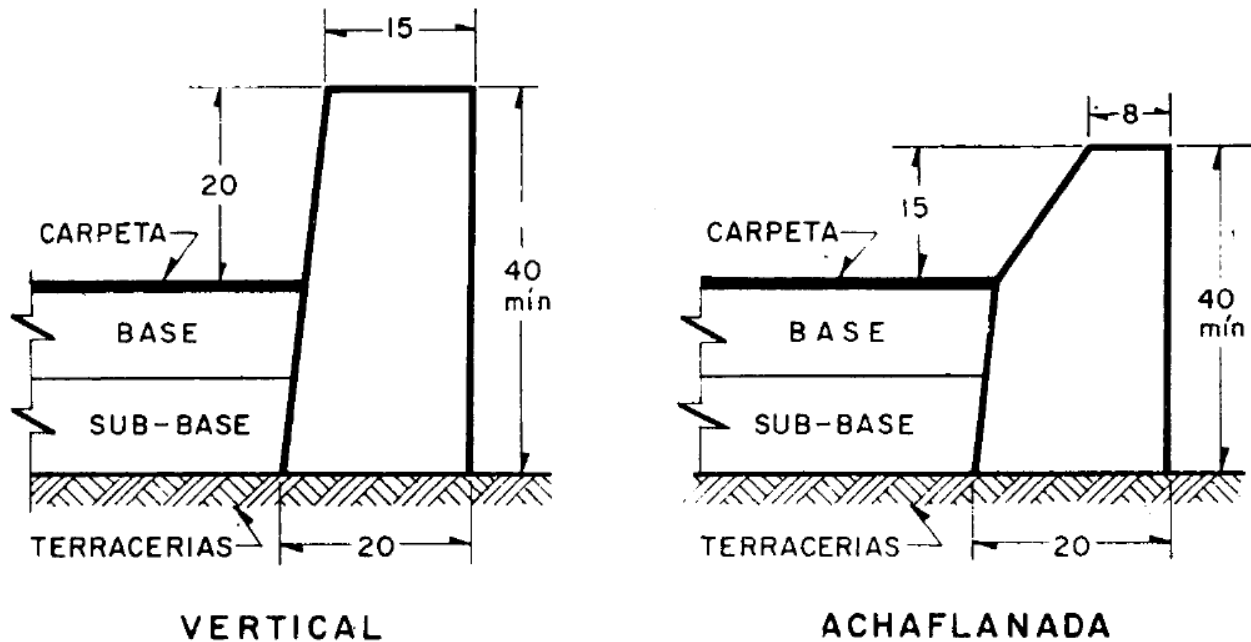


Figura 3.25: Tipos de Guarniciones (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

Los bordillos son los elementos, generalmente de concreto asfáltico, que se construyen sobre los acotamientos junto a los hombros de los terraplenes, con el propósito de encauzar el agua que escurre por la corona ya que de otro modo, causaría erosiones en el talud del terraplén.

Antes de proyectar bordillos, se debe de estudiar la erosionabilidad del talud con respecto a la precipitación pluvial que se tenga en la zona. En algunos casos no se necesitarán de colocar bordillos debido a la baja precipitación o baja eriosionabilidad del talud; tampoco será necesario colocar bordillos si es más económico reponer el material erosionado y en otras ocasiones no se recomienda poner bordillos si la pendiente del lugar es menor al uno por ciento, pues el agua escurre simplemente con el tirante hidráulico y con los bordillos se corre el riesgo de que escurra el agua.

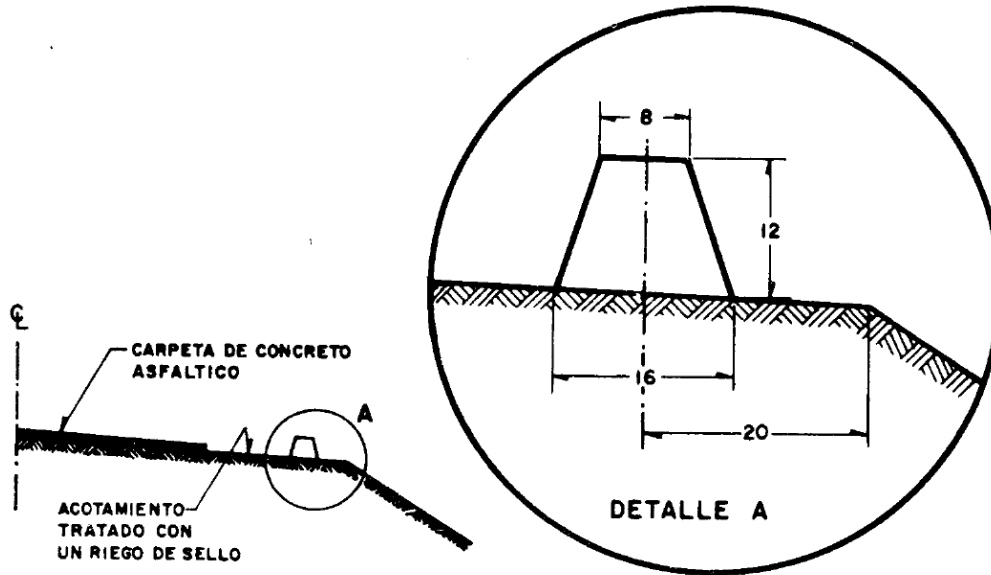


Figura 3.26: Bordillo (Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras).

B) Banquetas: Se definen como las fajas destinadas a la circulación de peatones, se ubican por encima de la corona y pueden estar en uno o ambos lados de la misma.

La justificación de las banquetas en el proyecto depende del peligro a la que estén sujetos los peatones en caso de no haberlas aunque si la circulación de peatones es eventual, entonces su construcción no es necesaria.

C) Fajas separadores y camellones: Las fajas separadores se definen como las zonas que se disponen para dividir carriles de tránsito de otros de sentido opuesto así también para dividir carriles del mismo sentido pero de diferente naturaleza. Cuando a las fajas separadoras se les construyen guarniciones laterales y se le agrega material para que tenga un nivel superior al de la calzada, entonces se convierten en camellones, su ancho depende de las necesidades del tránsito siendo su ancho mínimo de 1.20 metros.

**II.7.6 Derecho de Vía:** Se define como la faja que se requiera para la construcción, observación, protección, ampliación, conservación y en general, para el uso adecuado de esa vía además de la sección transversal de la misma vía y sus servicios auxiliares. El ancho será requerido para satisfacer esas necesidades.

Es conveniente que el ancho del derecho de vía sea uniforme, aunque a veces será necesario disponer de un mayor ancho con el propósito de alojar intersecciones, bancos de materiales, taludes de corte o terraplén y servicios auxiliares.

Cabe mencionar que todo el derecho de vía tendrá que ser adquirida como causa de utilidad pública y que se tendrán de pagar las indemnizaciones correspondientes

#### **IV.- Materiales y Metodología:**

##### **IV.1.- Adquisición de Información:**

Para la realización del trazo de la supercarretera se utilizó el manual del proyecto geométrico de la carretera, publicada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), ya que el manual contiene todas los lineamientos para la realización de carretera y autopistas en territorio nacional, por lo tanto, el manual de proyecto geométrico es la principal fuente de información para la realización del trazo (temas II y III).

Otra fuente de información muy relevante fue la utilización del Modelo Digital de Elevación versión 3.0 adquirida de la página de internet del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) cuya nueva versión tiene una resolución de 15 metros por pixel, el doble de resolución que la versión anterior (30 metros por pixel).

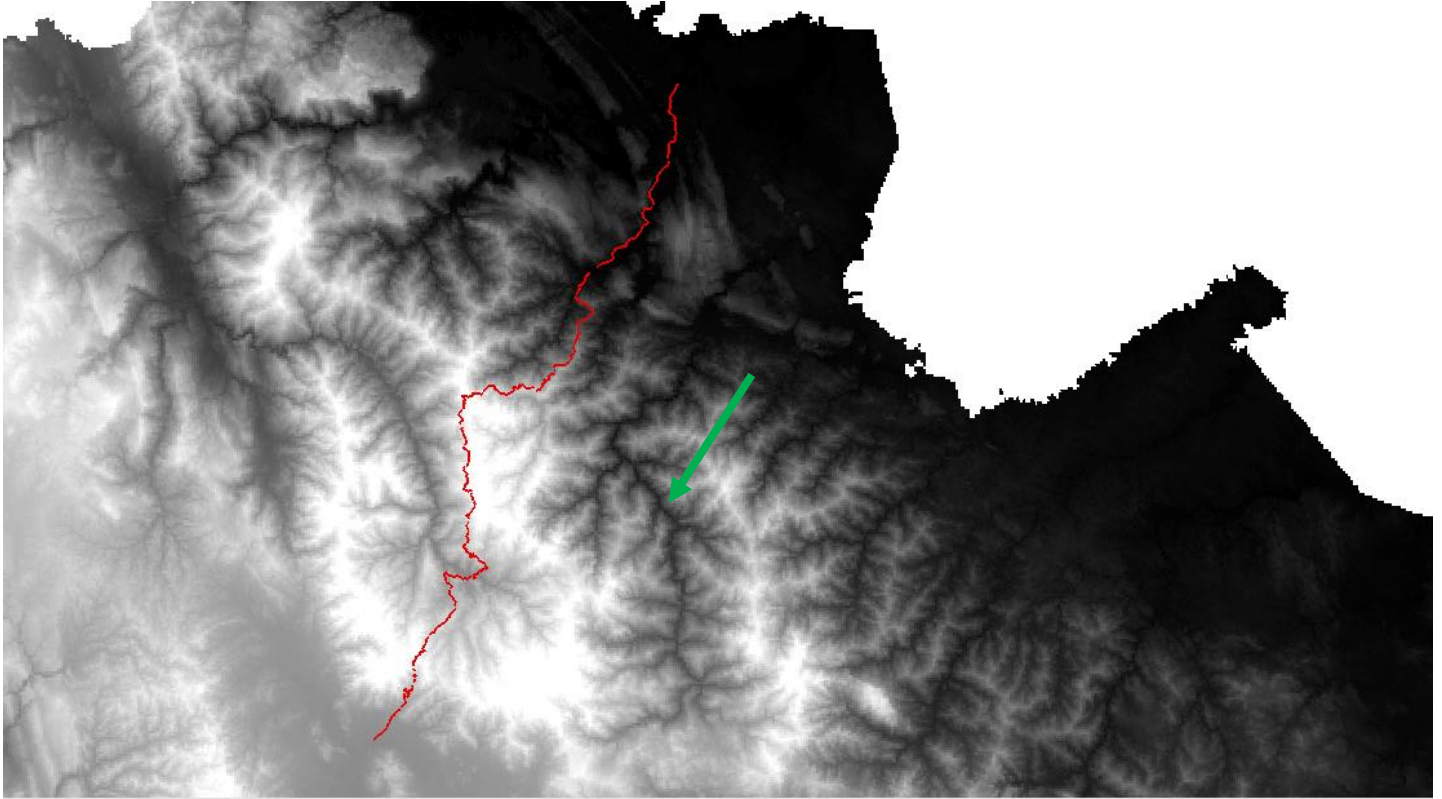
##### **IV.2.- Localización de trazo en el terreno:**

Se observó que la carretera federal tiene cambios de elevación considerables, además que gran parte de la carretera se ubica sobre el filo de las montañas (la parte más alta de éstas) por lo que lo hace poco segura y por último esta carretera tiene curvas que son muy difíciles de transitar debido a lo cerradas que son.

Sin embargo, se observa que a la derecha de la Sierra Juárez, al norte de la Villa de Mitla, existen una serie de barrancas que inician cerca de los Valles Centrales y terminan justamente en la Llanura Costera del Golfo, que es donde se encuentra la ciudad de Tuxtepec, por lo que el trazo de la supercarretera se pretende realizar sobre esa zona, ya que además de ser un lugar más directo para llegar a la Llanura, se evitarán las cambios drásticos de altura que tiene actualmente la carretera

federal. Después de ver la zona de la carretera federal 175 y el lugar donde se trazará la supercarretera, se utilizaron cartas topográficas a escala 1:50,000 que cubran toda esa zona de interés.

*Figura 4.1: Vista del modelo digital de elevación con la carretera federal 175 (Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), INEGI).*



#### IV.3.- Índice de Cartas Topográficas Utilizadas:

Las cartas topográficas a escala 1:50,000 se descargaron en formato vectorial y se obtuvieron de la misma página de internet que el modelo digital (INEGI) y para este caso se utilizaron 10 cartas topográficas que se mencionan a continuación:

E14B89: San Juan Bautista Tuxtepec.

E14D39: Villa Talea de Castro.

E14D19: San Juan Bautista Valle Nacional.

E14D47: Oaxaca de Juárez.

E14B28: San Juan Quilotpec.

E14D48: Tlaxiátlac de Cabrera.

E14B29: Ayotzintepc.

E14D49: Santa María Tlahuitoltepec.

E14D38: Santa María Ixtepeji.

E14D58: Tlacolula de Matamoros.

Estas cartas se utilizaron ya que abarcan toda la parte de la sierra Juárez en donde se encuentra la carretera libre así como el futuro trazo de la supercarretera. También estas cartas topográficas contienen partes de los valles centrales de Oaxaca y la Llanura Costera del Golfo.

#### IV.4.- Procesamiento de la Cartas Topográficas:

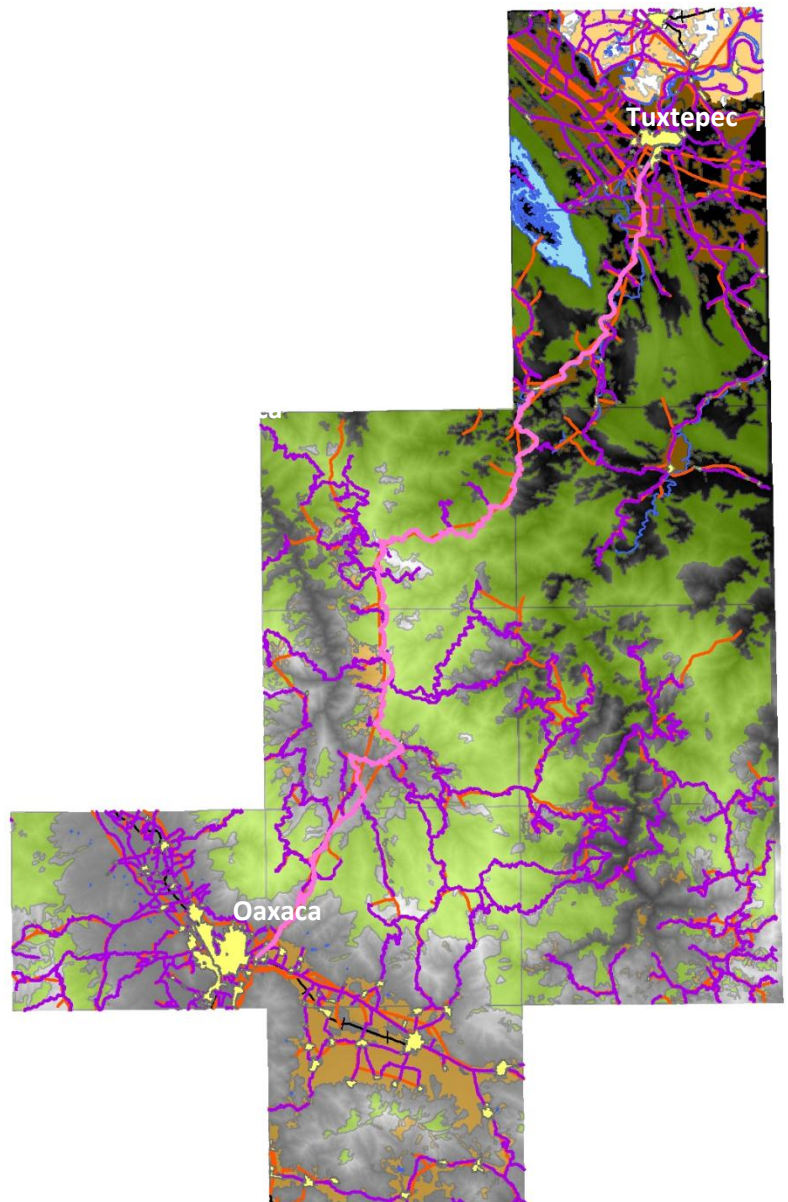
Después de obtener las cartas se utilizó el software *ArcMap* para su procesamiento. De ellas se procedió a obtener las capas de áreas urbanas, carreteras, líneas de transmisión eléctrica, vías férreas, cuerpos de agua, zonas de cultivo y áreas verdes, pues se consideran las más relevantes para este proyecto. Posteriormente dado que son diez cartas topográficas diferentes, se procedió a juntar todas estas capas en una sola.

De la capa de carreteras se separó de forma específica la carretera libre Oaxaca-Tuxtepec para diferenciarlas del resto

A partir del límite de las cartas topográficas, se creó un archivo vectorial de líneas en donde contenga los límites de las cartas y posteriormente se creó un archivo vectorial poligonal que contiene el perímetro que forman las diez cartas en conjunto, esto con la finalidad de cortar el modelo digital de elevación a la zona de estudio.

Después de cortar el modelo digital de elevación con respecto el límite de las cartas topográficas y juntando en ellas las capas condensadas, se obtuvo lo siguiente (figura 4.2).

Figura 4.2: Condensación de la información de las cartas topográficas y corte del modelo digital de elevación.



En la imagen anterior (figura 4.2), se observa todas las capas condensadas de áreas urbanas, carreteras, líneas de transmisión eléctrica, vías férreas, cuerpos de agua, zonas de cultivo y áreas verdes en donde se resaltan los puntos de unión del proyecto así como carreteras en donde se resalta la carretera federal 175.

Para una mejor visualización de la zona de estudio, se agregaron las capas de zonas urbanas, la capa de la carretera federal 175, los cuerpos de agua y sobre todo el modelo digital de elevación cortado en el software *ArcScene* de *ArcGIS*, ya que en este software, es posible apreciar toda la zona de estudio en tercera dimensión, justo lo necesario para poder observar con mejor detalle la topografía del lugar.

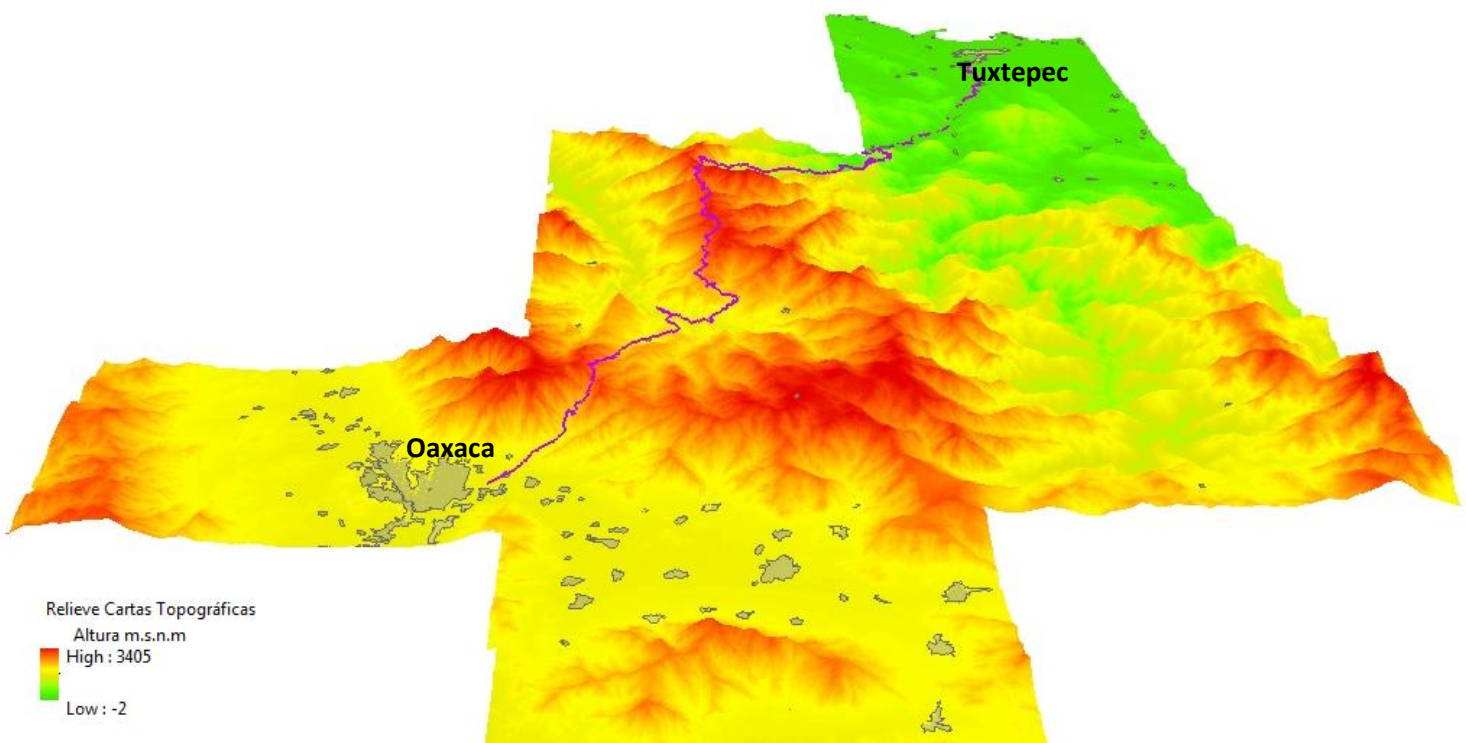


Figura 4.3: Relieve de las cartas topográficas en tercera dimensión (*ArcScene 10*).

Como se mencionó anteriormente, se observa que la carretera federal 175 tiene cambios de altura considerables, sobre todo a la mitad del camino, ya que la carretera tiene que bajar desde los 3000 m.s.n.m a solo 65 m.s.n.m que es la altura de la Llanura costera a los pies de la Sierra, en cambio, la serie de Barrancas que se encuentra a la derecha y que es en donde se pretende realizar el trazo, llegan directamente a la Llanura, por lo cual no tendría los cambios de altura que tiene actualmente la carretera. La carretera federal tiene una longitud de 219.8 kilómetros.



Para la selección de la ruta y el trazo de carretera se seguirán los alineamientos establecidos en el manual de proyecto geométrico de carreteras, en el cual establece que para establecer la ruta donde se planea realizar el trazo se tienen que ver con la ruta se obtengan las mayores ventajas económicas y sociales.

Después de observar las curvas de nivel que poseen las cartas topográficas, se observó que en algunas cartas, sobre todo aquellas que están en zonas muy montañosas y de poblaciones poco relevantes, las curvas de nivel están incompletas pues ya que faltan algunas curvas y no se sigue el patrón de curvas a cada 20 metros, por lo que mejor se decidió obtener las curvas de nivel a partir del modelo digital de elevación.

La utilización de curvas obtenidas con el modelo digital de elevación y no de las curvas de las cartas topográficas se justifica con el hecho que la página de internet del INEGI donde se puede descargar el modelo digital menciona que la elaboración de este archivo digital se realizó a partir de las curvas de nivel que contiene las cartas topográficas así como información de la red hidrográfica nacional y de información de vértices geodésicos así como imágenes satelitales de alta resolución por lo que la información del modelo digital es confiable.

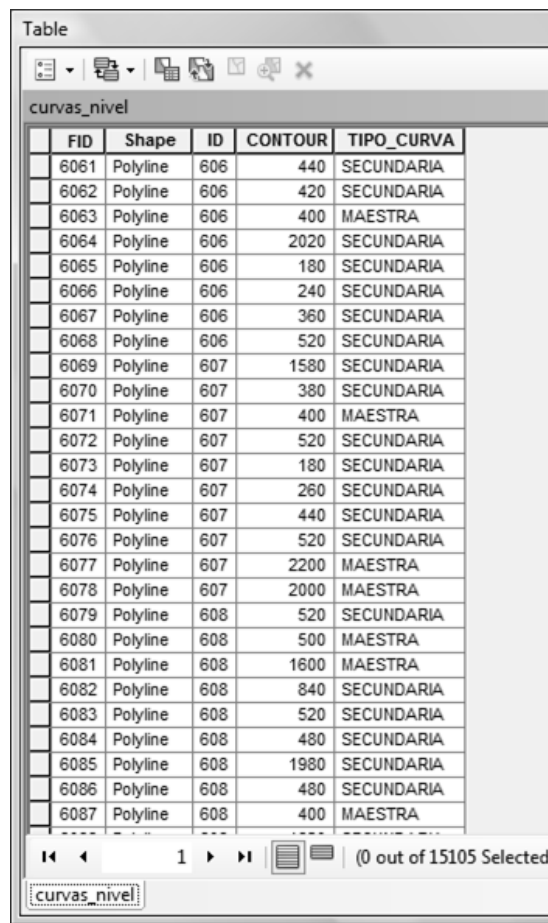
Se ha planteado a través de la tesis los criterios adecuados para establecer el proyecto geométrico de trazo, si éste se realizaba directamente en *ArcMap* y se utilizaban las herramientas de éste, o si se importaban las curvas en *AutoCAD* y se dibujaba el trazo en este software.

*ArcMap* tiene varias herramientas como costo-distancia las cuales sirven para el trazo de caminos, sin embargo al ser un proceso automatizado, no es tan fácil su control y por lo tanto sería más difícil de realizar el trazo con los parámetros del manual del proyecto geométrico de carreteras de la SCT. Por lo cual se decidió hacer el proyecto geométrico de trazo en *AutoCAD* importando las curvas de nivel a este programa pues ya que aquí los parámetros del manual para el dibujo del trazo pueden ser mejor aplicados, al tener un mayor control sobre las herramientas de dibujo.

#### IV.5.-Obtención de Curvas de Nivel a partir del Modelo Digital de Elevación:

A partir de las herramientas de procesos en tercera dimensión que existen en el apartado de *ArcToolBox* de *ArcMap*, se escogió la opción “Contour” el cual es la herramienta de *ArcMap* para obtener curvas de nivel a partir de modelos digitales de elevación. Se puso la opción que las curvas las obtuviera a cada 20 metros para seguir con el lineamientos de las cartas topográficas.

Con las curvas obtenidas en el modelo digital de elevación con *ArcMap*, se realizó una consulta tabular con este mismo software para poder separar las curvas maestras (100 m) de las curvas secundarias (20 m) Y poner la etiqueta que le corresponde en una nueva columna.



FID	Shape	ID	CONTOUR	TIPO_CURVA
6061	Polyline	606	440	SECUNDARIA
6062	Polyline	606	420	SECUNDARIA
6063	Polyline	606	400	MAESTRA
6064	Polyline	606	2020	SECUNDARIA
6065	Polyline	606	180	SECUNDARIA
6066	Polyline	606	240	SECUNDARIA
6067	Polyline	606	360	SECUNDARIA
6068	Polyline	606	520	SECUNDARIA
6069	Polyline	607	1580	SECUNDARIA
6070	Polyline	607	380	SECUNDARIA
6071	Polyline	607	400	MAESTRA
6072	Polyline	607	520	SECUNDARIA
6073	Polyline	607	180	SECUNDARIA
6074	Polyline	607	260	SECUNDARIA
6075	Polyline	607	440	SECUNDARIA
6076	Polyline	607	520	SECUNDARIA
6077	Polyline	607	2200	MAESTRA
6078	Polyline	607	2000	MAESTRA
6079	Polyline	608	520	SECUNDARIA
6080	Polyline	608	500	MAESTRA
6081	Polyline	608	1600	MAESTRA
6082	Polyline	608	840	SECUNDARIA
6083	Polyline	608	520	SECUNDARIA
6084	Polyline	608	480	SECUNDARIA
6085	Polyline	608	1980	SECUNDARIA
6086	Polyline	608	480	SECUNDARIA
6087	Polyline	608	400	MAESTRA

Figura 4.4: Clasificación de las curvas de nivel en curvas maestras y secundarias (ArcMap 10).

Posteriormente se crearon dos archivos de curvas de nivel, una que contenía todas las curvas maestras y otra que contenía las curvas secundarias. Se reproyectaron las curvas de nivel de proyección Cónica Conforme de Lambert (proyección original del modelo digital) a proyección UTM zona 14 y datum WGS84, ya que es mejor trabajar en proyección UTM debido a su mejor compatibilidad en AutoCAD

además que en esta proyección, los rumbos del trazo son verdaderos y no aproximados, esto gracias a las propiedades de la proyección

Si se importan las curvas como tal a AutoCAD, se importan curvas planas sin elevación alguno, esto no es conveniente ya que habría ocasiones en que no se sabría si las curvas muestran bajadas o subidas, por lo que cuando se importen las curvas a AutoCAD, primero deberán ser convertidas a polilíneas 3D con elevación en *ArcMap*, cuya herramienta "*Feature to 3D by attribute*" es la indicada para poder hacer este paso.

Se tuvieron problemas técnicos para convertir curvas de nivel en polilíneas 3D, ya que al ser muchas curvas en un solo archivo el software simplemente dejaba de funcionar, por lo que se decidió partir las curvas de nivel con respecto a los límites de las cartas topográficas. Como se mencionó anteriormente, los límites de las cartas topográficas se definieron en un archivo vectorial (*shapefile*) de tipo poligonal en donde cada polígono delimitaba cada una de las cartas topográficas ocupadas para este proyecto.

Después de realizar este paso se realizó un corte (*clip*) para las curvas de nivel con respecto de cada uno de los polígonos.

Este paso sólo se pudo realizar con éxito para las curvas maestras ya que para las curvas secundarias seguía siguiendo un proceso demasiado pesado, así que se decidió que sólo las curvas maestras se transformarían a curvas con nivel en tercera dimensión.

Afortunadamente, las curvas secundarias sin cortar y sin ser procesadas en tercera dimensión sí pudieron ser convertidas con éxito a un archivo *DWG* (archivo informático de dibujo) de *AutoCAD* y sin que el software dejara de funcionar. Así que se procedió a convertir las secciones de curvas maestras a curvas en tercera dimensión para posteriormente ser convertidas a *DWG*.

En este paso de conversión también se convirtieron a *DWG* los archivos de zonas urbanas, carreteras, la carretera federal 175, zonas verdes, zonas de cultivo y cuerpos de agua para que el trazo de la supercarretera tuviera esas referencias.

Por último se juntaron las curvas secundarias y los archivos de curvas maestras que fueran necesarios así como las zonas urbanas y demás parámetros para empezar el proyecto geométrico de trazo de la supercarretera.

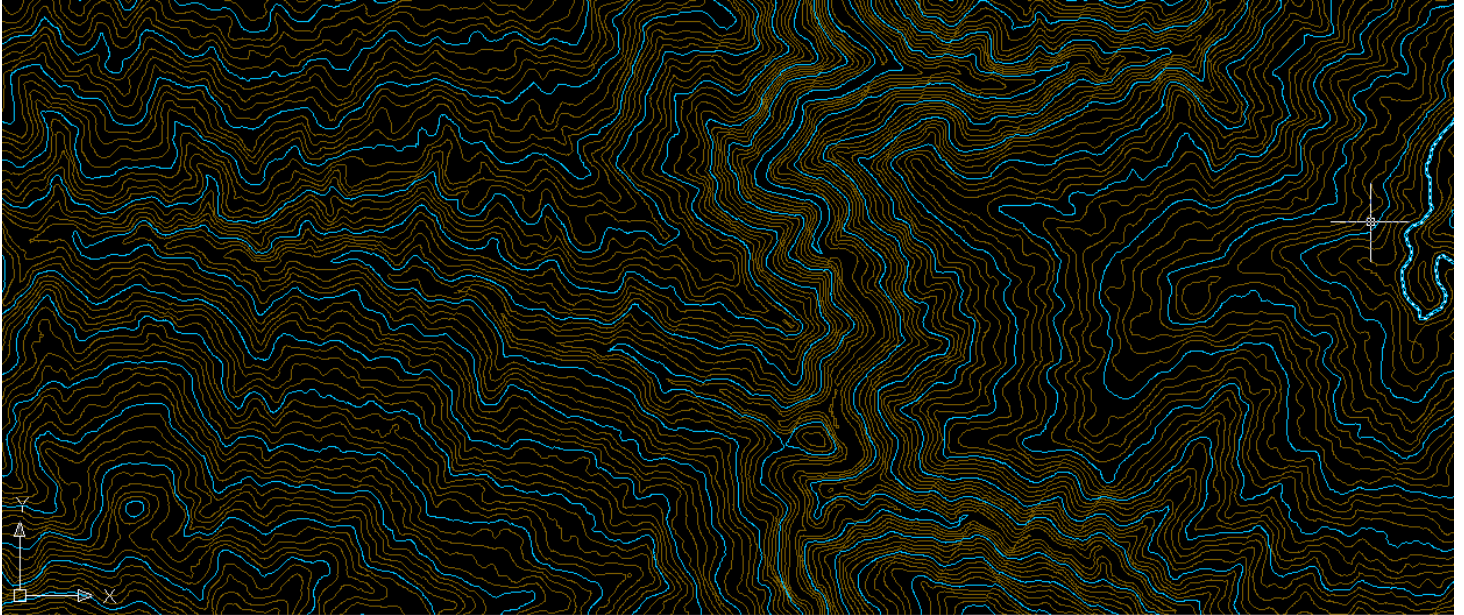


Figura 4.5: Curvas maestras (azul) y secundarias (café) en AutoCAD, georreferenciadas en proyección UTM zona 14, dátum WGS84 (AutoCAD 2010).

El archivo donde se concentran la curvas de nivel junto con todas las capas condensadas de las cartas topográficas y donde se trazará la supercarretera se llamará alineamiento horizontal.

#### IV.6.- Proceso general del dibujo del proyecto geométrico de trazo de la supercarretera en AutoCAD:

El proyecto geométrico de Trazo no iniciará como tal en la Ciudad de Oaxaca o en sus periferias, sino que iniciará como una intersección de la carretera 190 (Carretera Panamericana) conocida localmente como la carretera Cristóbal Colón o autopista Oaxaca-Mitla, ya que esta es una autopista que enlaza a Oaxaca con todas las localidades que se encuentran al este de la ciudad y por tratarse de una zona bastante plana, esta carretera es bastante accesible llegando ser incluso una autopsita de seis carriles en algunas zonas.

El proyecto de la supercarretera iniciará un poco después de llegar al poblado de Tlacolula de Matamoros, que se encuentra a menos de 30 kilómetros de la capital del estado y antes de llegar a la zona arqueológica de Yagul, el proyecto iniciará primero subiendo poco a poco los cerros que

delimitan al Valle de la Sierra Norte, tomando todo el tiempo en cuenta el límite de pendiente establecido para sí poder llegar a las zona de barrancas, siendo necesario un túnel para poder llegar hasta este lugar, ya que los cerros por sí solos no permiten llegar a esta zona con el límite de pendientes.



*Figura 4.6: Zona arqueológica de Yagul con vista hacia los Valles Centrales de Oaxaca (Tomada en la Zona Arqueológica de Yagul, municipio de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca, julio 2014).*



*Figura 4.7: Vista general de las montañas que definen la frontera natural entre los Valles Centrales y la Sierra Norte (Tomada en la Zona Arqueológica de Yagul, Municipio de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca, julio 2014).*



Figura 4.8: Vista general de la zona del inicio del trazo de la supercarretera y al fondo los cerros que delimitan los Valles Centrales de la Sierra Norte (Tomada en la Zona Arqueológica de Yagul, Municipio de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca, julio 2014).

Una vez llegando a la zona de barrancas, el proyecto geométrico de trazo irá bordeando las montañas de la Sierra Juárez y donde la topografía de las montañas dificulte que el trazo siga siendo más o menos recto, se propondrá la construcción de un puente o un túnel para atravesar zonas donde las curvas puedan rebasar el parámetro de curvatura, donde curvas que puedan ser demasiado pequeñas o donde se esté dando demasiada vueltas a las montañas.

Cuando se salga de la zona de curvas, se llegará al poblado de Ayotzintepec, y de allí hasta Tuxtepec el proyecto geométrico de trazo tendrá pendientes mínimas por lo que el camino será bastante recto hasta llegar a la intersección con la carretera federal 175 que es donde terminará el proyecto.

Para el proyecto geométrico de trazo de la supercarretera y con la ayuda del modelo digital de elevación, se trazó una línea guía en *ArcMap* muy rudimentaria (color rosa) que servirá principalmente para dar una orientación general a todo el proyecto. Esta línea también se importó al archivo del alineamiento horizontal.

Después de haber agregado esta capa se empezaron a dibujar trazos rudimentarios por donde pasará el trazo definitivo procurando todo el tiempo respetando la pendiente máxima y grados de curvatura y

tomando en cuenta por dónde será mejor la colocación del trazo definitivo, cada uno de estos trazos rudimentarios se hicieron en polilínea plana y después de terminar estos trazos se unió en una sola polilínea; cada una de estas líneas se guardó en una capa.

El tercer trazo rudimentario (color azul oscuro) se tomó como el bueno y a partir de éste se empezó a realizar el trazo auxiliándose del software *CivilCAD*.

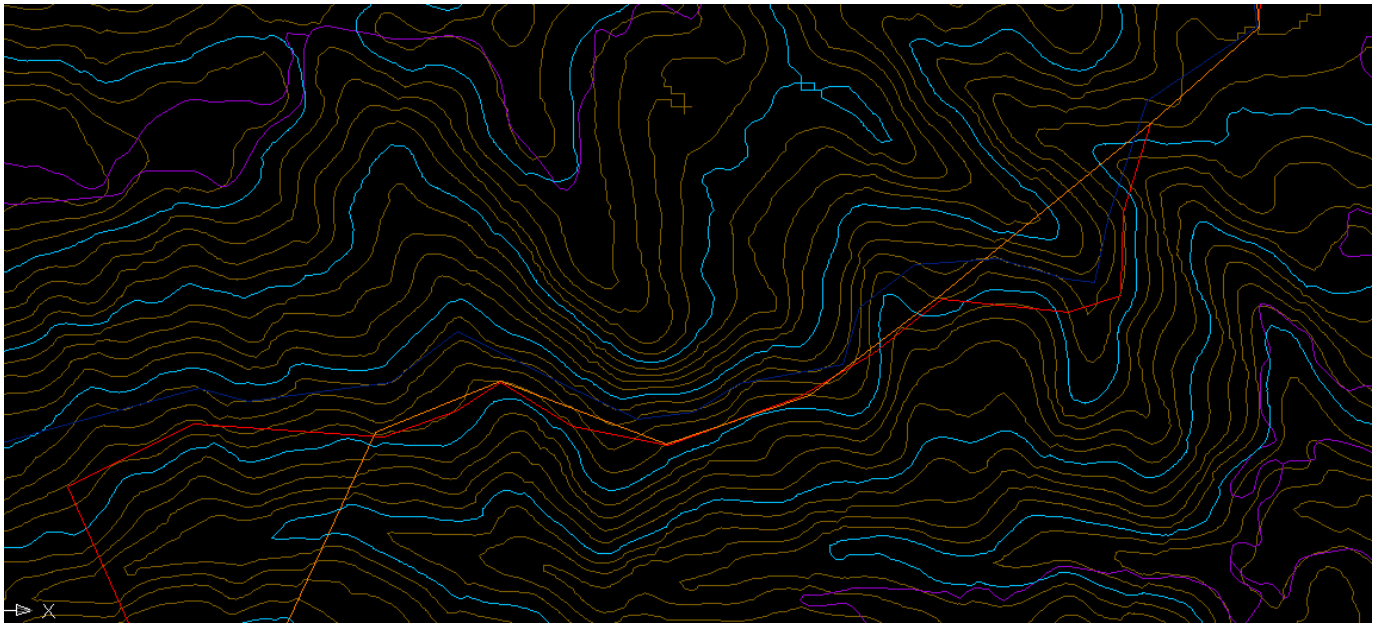


Figura 4.9: Primeros trazos rudimentarios en colores rojo, amarillo y azul oscuro para la colocación definitiva del alineamiento horizontal (AutoCAD2010).

**IV.6.1.- Colocación del alineamiento horizontal en el trazo:** Para la realización del alineamiento horizontal se utilizó el programa *CivilCAD*, ya que éste tiene los herramientas necesarias para dibujar las curvas horizontales en el complemento “Carreteras SCT” además que éste ya tiene los parámetros de curvas horizontales del manual de proyecto geométrico. Para que el programa que realiza las curvas horizontales no mencione que no se tiene la suficiente distancia para poder realizar las curvas horizontales se debe tener como mínimo una subtangente de 110 metros. Como se explicó con anterioridad, esta supercarretera tendrá los alineamientos de una carretera del tipo A2.

Tipo de camino:

Datos calculados por reglamento

V=50-110km/h	Sc=6.3%	Le=50.4m
Gcmax=4°15'0"	Ac=40cm	N=16.04m

Velocidad de proyecto(km/h):

Grado de curvatura Gc:  °  '  "

(Gc mínimo = 1°47'29.28")

Figura 4.10: Parámetro introducidos en el modulo de curvas horizontales de *CivilCAD*.

Los datos calculados por el reglamento son los siguientes:

V = velocidad máxima.

Ac = Ancho de calzada en curva.

GcMax = Grado máxima de curvatura.

Le = Longitud de espiral de entrada y salida.

Sc= Pendiente de sobreelevación de la curva.

N = Longitud de arcos de la espiral.

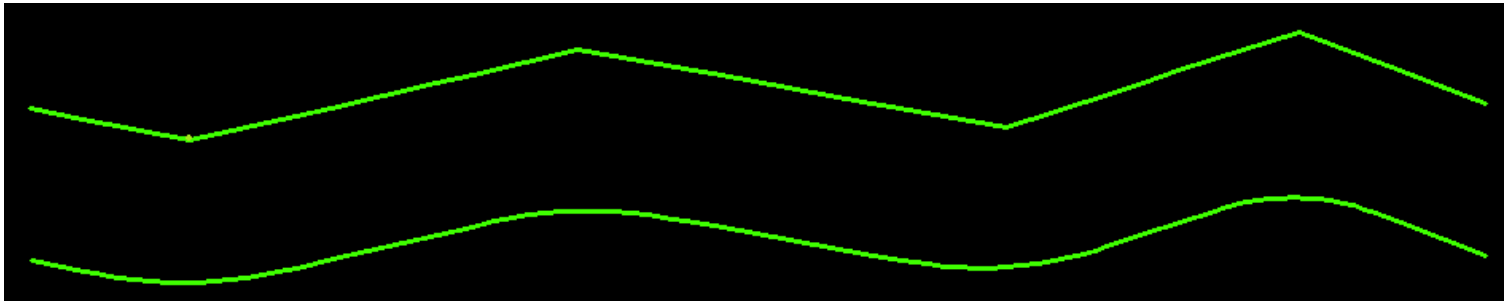


Figura 4.11: Ejemplo de colocación de curvas horizontales en un trazo (AutoCAD 2010).

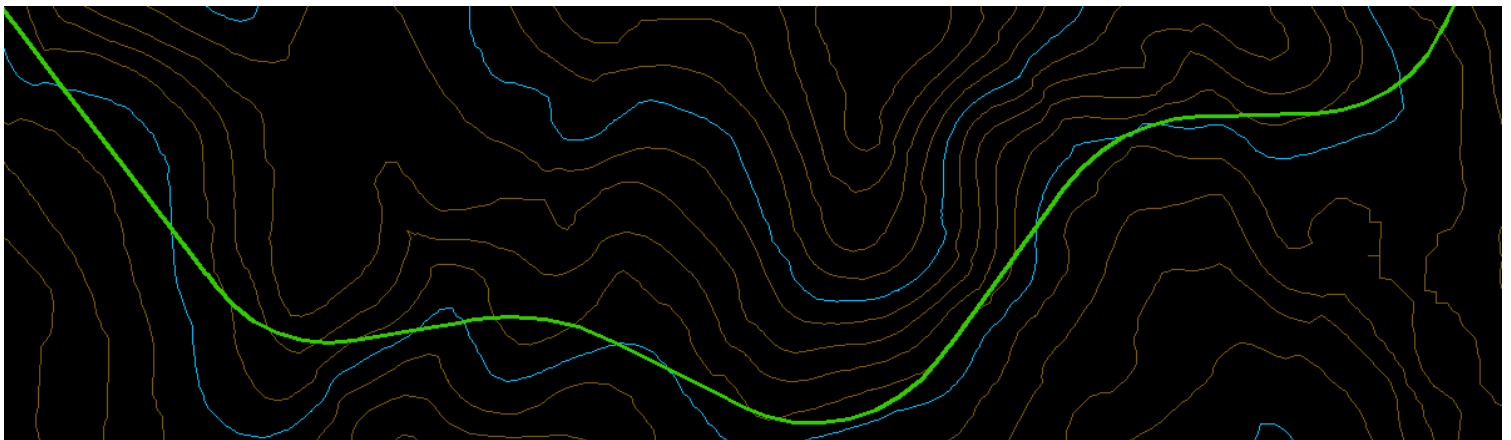


Figura 4.12: Ejemplo de colocación de curvas horizontales sobre las curvas de nivel (AutoCAD 2010).

**IV.6.2- Obtención del alineamiento vertical del trazo:** Una vez colocado el alineamiento horizontal se procede a obtener el alineamiento vertical y para poder obtenerlo se hizo necesario usar los programas *ArcMap* y *AutoCAD*.

Después de unir todo el alineamiento horizontal se procede a unirlo en una sola polilínea plana para después poder ser exportado a *ArcMap*, al abrirlo en este programa, se procede a obtener un “buffer” (polígono de ancho definido por el usuario que rodea a un objeto de interés) con un ancho de 50 a cada uno de los lados de la polilínea, suficiente para proceder con el alineamiento vertical y con este polígono obtenido se procede a cortar el modelo digital de elevación.



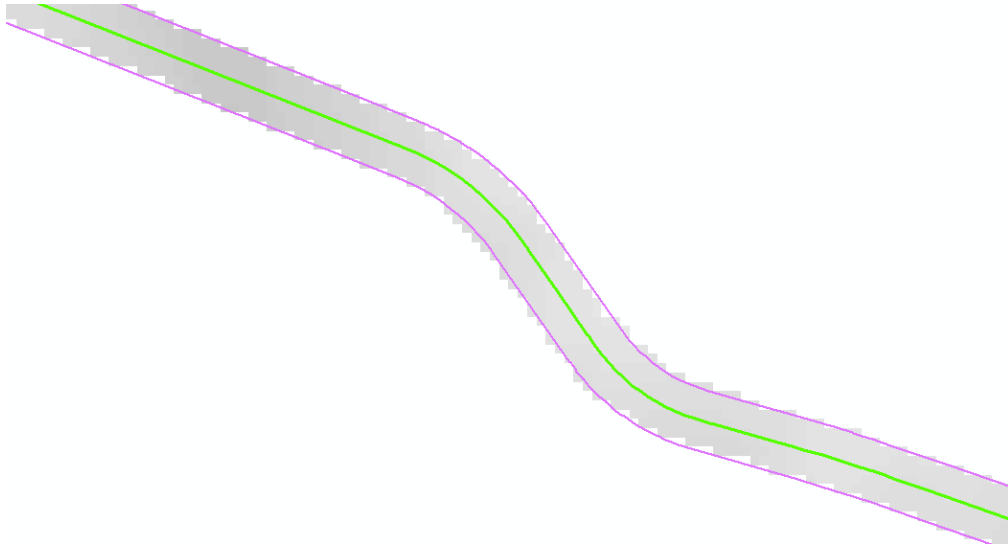


Figura 4.13: Corte del modelo digital de elevación a partir del buffer del alineamiento horizontal (ArcMap 2010).

Una vez recortado el modelo digital exclusivamente para el trazo, se procede a convertir los píxeles de este archivo a puntos y posteriormente a esos puntos agregarles la coordenada z con el mismo procedimiento con el que se le dio altura a las curvas maestras en 3D. Los puntos se encuentran en proyección UTM zona 14.

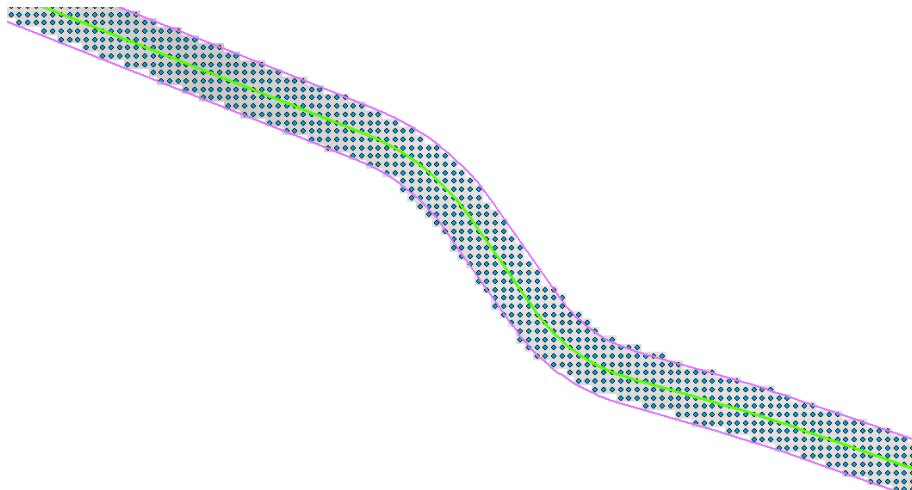


Figura 4.14: Conversión de los píxeles de modelo digital de elevación a puntos vectoriales (ArcMap 2010).

Después de obtener estos puntos se procedió a importarlos a *AutoCAD*, una vez que se importan y antes de que se obtengan las triangulaciones, se deben convertir los puntos a puntos reconocidos por *CivilCAD*, ya que si no se realiza este proceso, el programa no procesa los puntos. Este paso se realiza con el comando “convertir” que se encuentra en el apartado “puntos” del menú general de *CivilCAD*.

Una vez reconvertidos los puntos se procede a obtener las triangulaciones para empezar a obtener el alineamiento vertical.

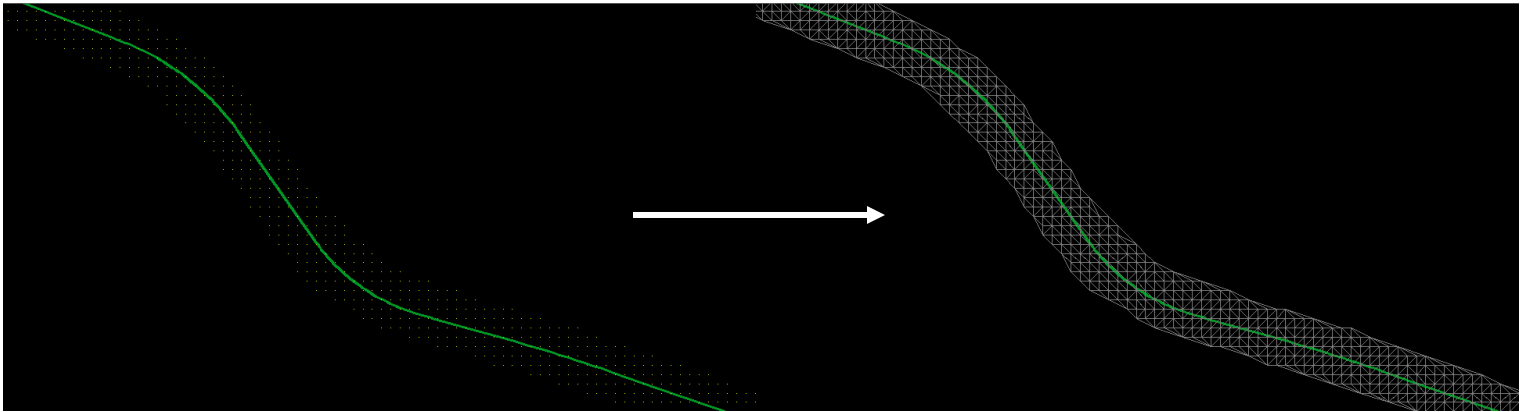


Figura 4.15: Vista del alineamiento horizontal con los puntos de elevación a la izquierda y vista del alineamiento horizontal con la triangulación correspondiente (AutoCAD 2010).

Con las triangulaciones ya obtenidas, se procedió a volver el alineamiento horizontal en un eje de proyecto, con estaciones a cada 20 metros y secciones transversales de 13 metros de ancho, esto con el objetivo de tener el perfil del trazo y también la longitud total de la supercarretera dando un total de 212.68 kilómetros.

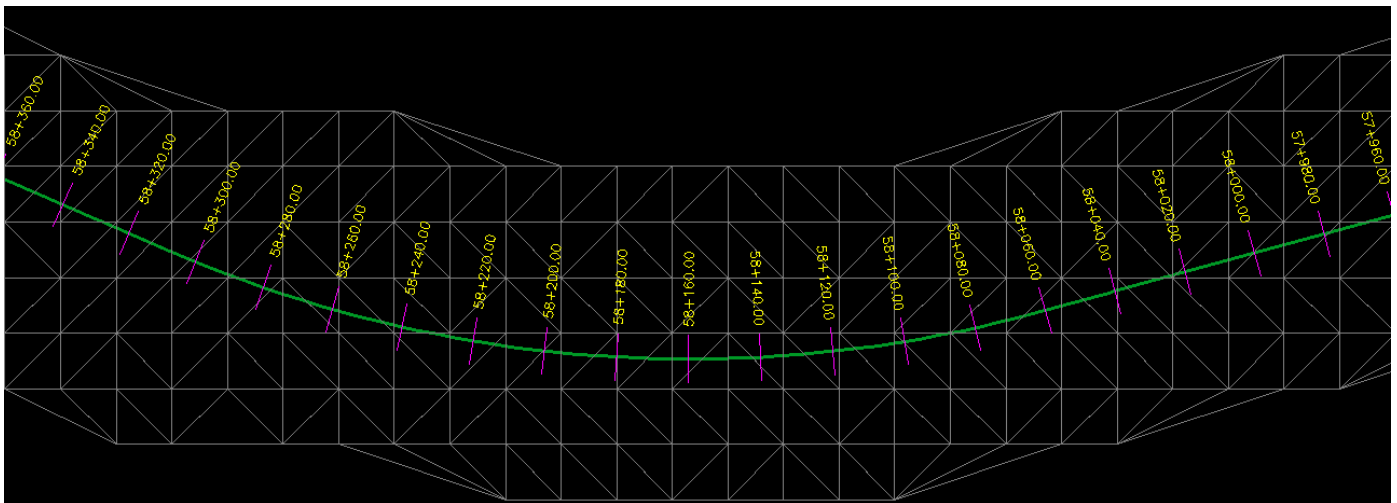


Figura 4.16: Obtención del eje de proyecto, con estaciones a cada 20 metros y secciones transversales con un ancho de 13 metros (AutoCAD 2010).

Se tuvieron nuevamente problemas técnicos pues el programa no fue capaz de obtener todo el perfil del proyecto geométrico de trazo, ya que al ser de una longitud considerable éste dejaba de funcionar, así que para resolver este caso se procedió a cortar el alineamiento horizontal en diferentes partes ya que sólo así *CivilCAD* podía obtener los perfiles; aunque antes de juntar todos los perfiles para obtener

el perfil final, se verificó que cada inició y final de perfil tuvieran la misma cota, esto fue posible obteniendo la retícula de cada uno de los perfiles y después de verificar que las cotas de inicio y final de cada una de los perfiles era exactamente el mismo se juntaron todos los perfiles para obtener el perfil del trazo.

Después de obtener el perfil del trazo se obtuvo la retícula del perfil, un proceso que tomó alrededor de dos horas y para tener un mejor control al momento de colocar el alineamiento horizontal, se resaltaron con rojo las líneas horizontales que marcan cotas a cada 100 metros y las líneas horizontales que marcaban distancia horizontal a cada 1000 metros. Tanto las líneas horizontales como verticales de la retícula tienen una separación de 20 metros.

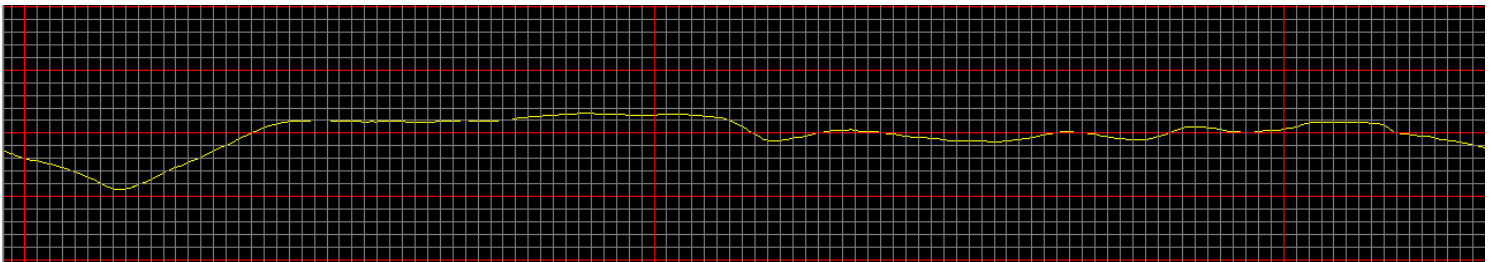


Figura 4.17: Vista del perfil del proyecto geométrico de carretera con su respectiva retícula (AutoCAD 2010).

Ahora que ya se tiene el perfil y su correspondiente retícula se procede a colocar el alineamiento vertical, para este caso se debe obtener un buen control de la pendiente ya que en caso contrario se puede meter pendientes mayor al parámetro y no darse uno cuenta. Así que se hizo una tabla de pendientes, desde una pendiente de 6 hasta pendiente de 1 y la distancia para bajar o subir 20 metros de altura.

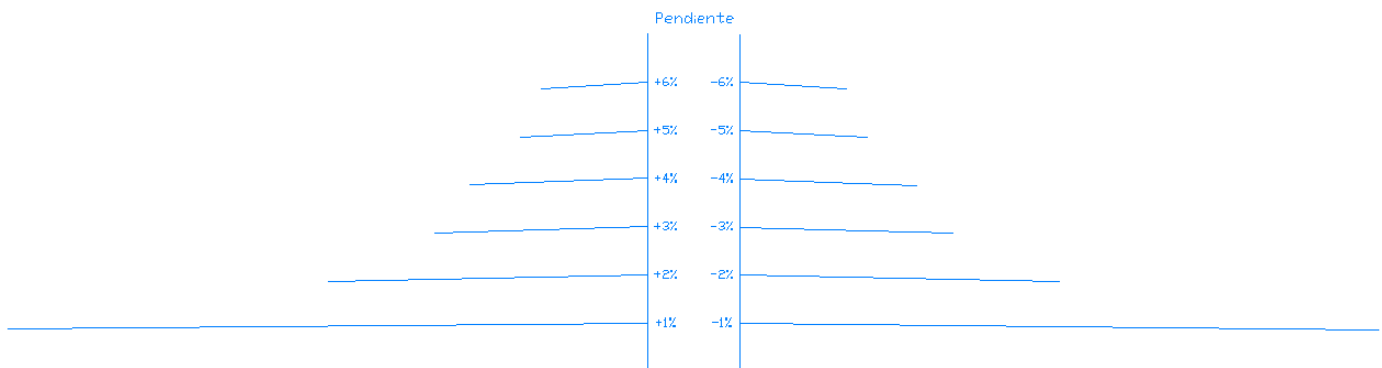


Figura 4.18: Tabla de control de pendientes para la colocación del alineamiento vertical.

A partir de esta tabla de pendientes, se empezó a construir el alineamiento vertical y así se tiene pleno control de las pendientes.

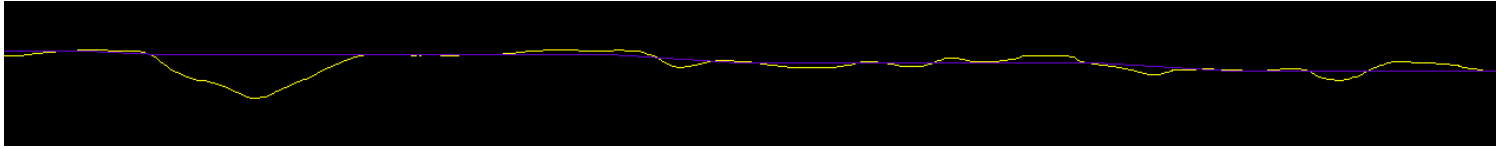


Figura 4.19: Muestra del alineamiento horizontal en morado sobre el perfil en amarillo (AutoCAD 2010).

Como se menciona en los parámetros del alineamiento horizontal y vertical en el manual de proyecto geométrico que se encuentran en el inciso II.1.3 de esta tesis, se menciona que cuando se dibuje el alineamiento horizontal, se debe estar en sincronía con el alineamiento vertical para que se logre un buen equilibrio en ambos alineamientos.

Una vez colocado el trazo del alineamiento vertical se empezó a colocar las curvas verticales en donde exista algún cambio de pendiente con el programa *CivilCAD* con el módulo curvas verticales en el apartado de carreteras SCT. Teniendo como principales parámetros la velocidad proyecto y el parámetro K (distancia horizontal entre pendiente).

**IV.6.3.- Colocación de las secciones transversales del trazo:** Una vez colocados los alineamientos horizontal y transversal del proyecto geométrico de trazo, se procede a obtener las secciones transversales a través del siguiente procedimiento.

Lo primero que se debe de hacer es convertir el alineamiento vertical en un perfil de proyecto, el cual se logra en la opción “*convertir*” en la sección de perfil de proyecto del submenú de perfil.



Figura 4.20: Conversión del alineamiento vertical a perfil de proyecto (AutoCAD 2010).

Después de convertir al alineamiento vertical en perfil de proyecto, se procede definir las secciones transversales a través de la opción “*secciones y volúmenes*” ubicado en el submenú de secciones del menú general de altimetría.

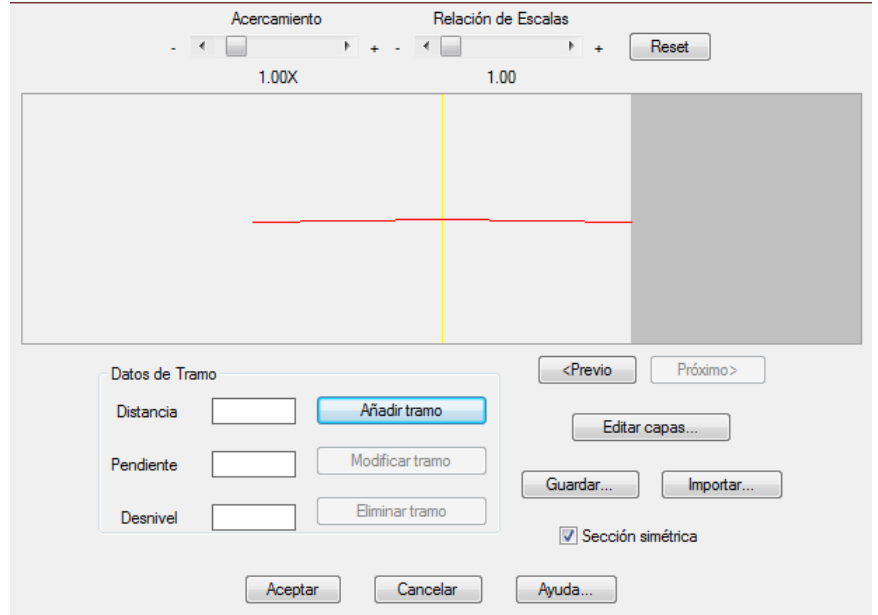


Figura 4.21: Ventana Secciones y Volúmenes de CivilCAD.

Figura 4.22: Ventana Definir de la ventana Secciones y Volúmenes.

En el botón “definir” es donde se da la forma a la corona de la sección transversal. Para este caso, daremos una distancia de carril de seis metros en donde contendrá el ancho de carril y el acotamiento y posteriormente se definirá un bombeo de -2%, que es una pendiente suficiente para los alineamientos del manual, el programa nos da una desnivel automático de -0.12%.

Después de que no salga la corona como en la figura 6.x se procede a dar clic en el botón “editar capa” en el cual se define el ancho de la carpeta asfáltica.

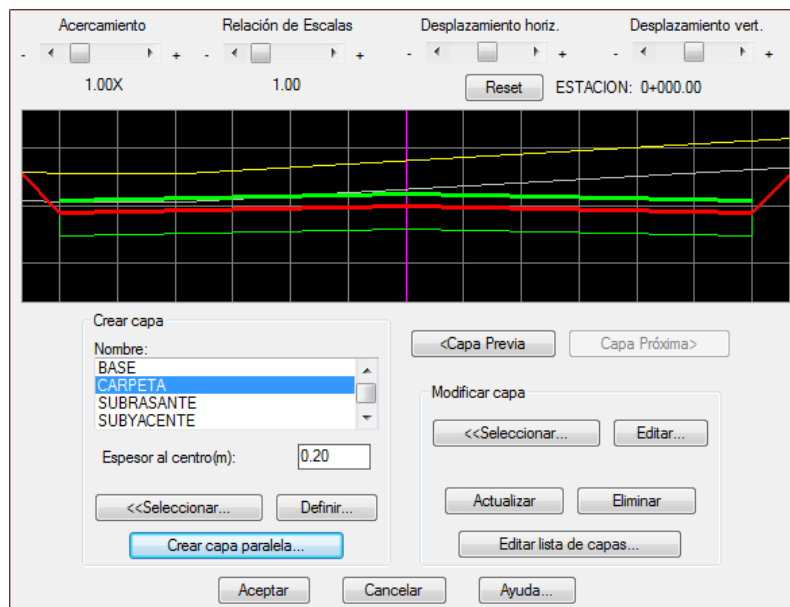


Figura 4.23: Ventana Editar Capas de la Ventana Definir.

Primero en la parte que dice nombre se busca la capa subyacente y se le define un espesor de 40 centímetros y en la capa carpeta se define un espesor de 0.20, en ambos casos se debe definir una capa paralela. Cabe resaltar que en el manual de proyecto geométrico no existe alguna especificación del ancho de carpeta en la construcción de autopistas por lo que se dio este grosor observando los anchos de carpetas de autopistas ya existentes dentro del territorio nacional.

Después de dar clic en el botón aceptar desaparece la opción de datos de sección y se vuelve al menú de la opción volúmenes y secciones, ahora solo falta por definir las cunetas de las secciones transversales.

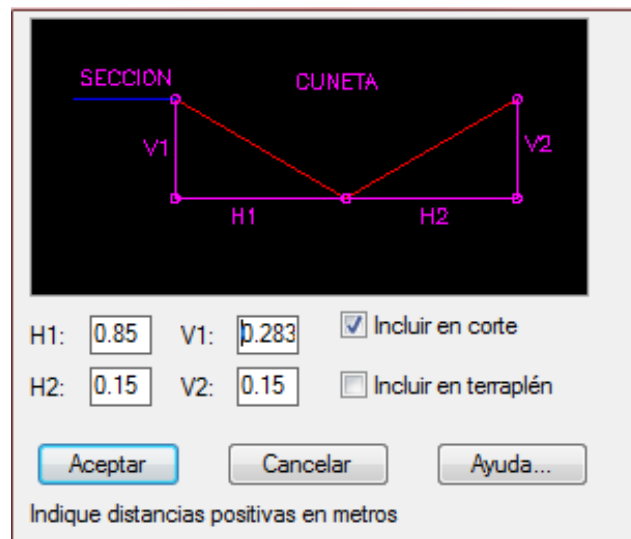


Figura 4.24: Ventana Cunetas de la ventana Secciones y Volúmenes.

En este caso se deben de cumplir con los alineamientos del manual de proyecto geométrico teniendo una proporción de 3:1 en el talud de la cuneta y un ancho total de 1 metro.

Después de aceptar las especificaciones de las cunetas se dejan las escalas de las secciones como están por default (escalas 1:100) y por último se da clic en aceptar para que *CivilCAD* empiece a obtener las secciones transversales del proyecto geométrico de trazo.

En el perfil del proyecto geométrico del trazo se puede observar que se han anotado el valor de las pendientes del alineamiento vertical así como los puntos de inflexión de las curvas verticales y en las secciones transversales se observan las partes que complementan a las secciones transversales en cada una de las estaciones del proyecto geométrico de trazo.

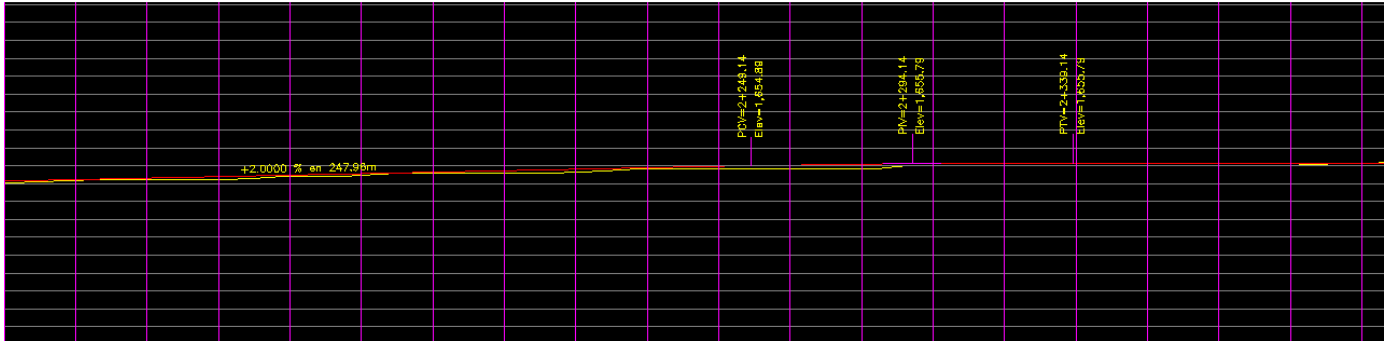


Figura 4.25: Perfil del terreno (amarillo) y alineamiento vertical (rojo) con etiqueta de pendientes e inflexión de curvas verticales (AutoCAD 2010).

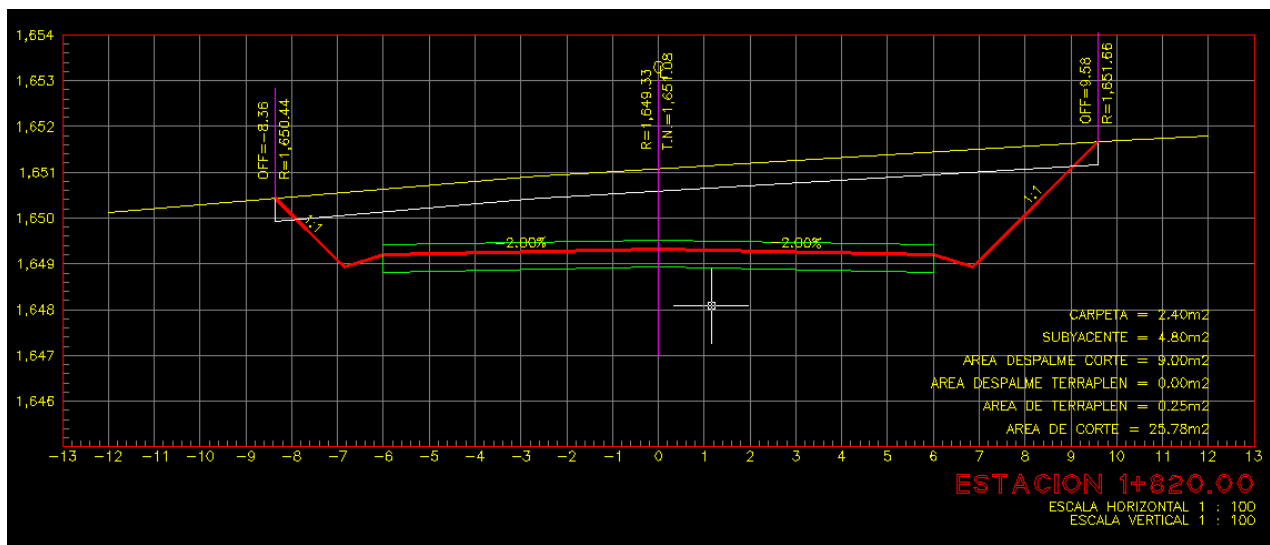


Figura 4.26: Ejemplo de sección transversal (AutoCAD 2010).

## V.- Resultados:

Después de mostrar todos los antecedentes y parámetros para el proyecto geométrico de trazo de la supercarretera, así como mostrar cómo se obtuvieron las curvas de nivel y cómo se realizó el dibujo de proyecto en *AutoCAD*, al fin se obtuvo el proyecto geométrico de trazo de supercarretera que unirá las ciudades de Oaxaca y Tuxtepec. La compleja orografía de la zona hizo que fuera muy complicado realizar un trazo recto, por lo que no está exento de curvas, sin embargo, a comparación de la carretera federal, el proyecto geométrico de trazo posee curvas bastante amplias que podrán ser transitadas con mayor seguridad, siempre que no se rebase la velocidad de proyecto.

### V.1.- Observación del Trazo en AutoCAD:

A continuación se mostrarán algunas partes tanto del alineamiento horizontal como del alineamiento vertical del proyecto geométrico de la supercarretera, en el caso del alineamiento horizontal, el trazo ya se observa con el ancho de calzada real incluyendo los carriles y sus respectivos acotamientos con su ancho a escala real.

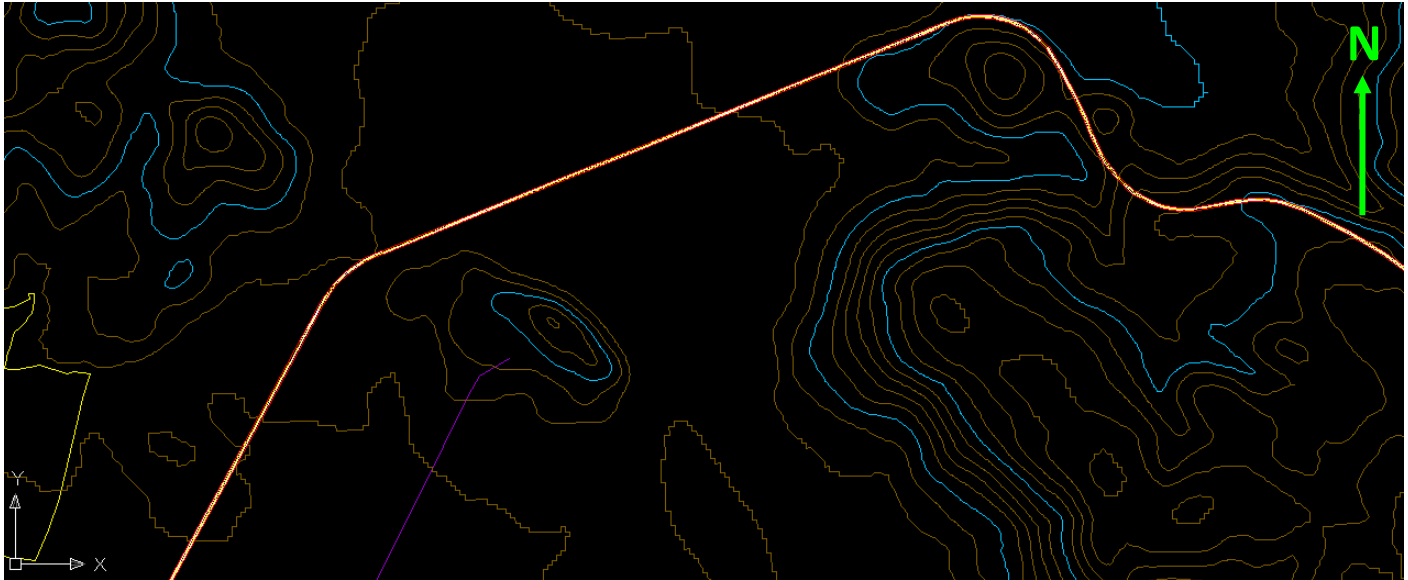


Figura 5.1: Vista general del inicio del alineamiento horizontal cerca de la intersección a la carretera federal número 190 (AutoCAD 2010).



Figura 5.2: Vista general del Alineamiento Horizontal pasando el poblado de Santa Catarina Albarradas, Oaxaca, con dirección a Tuxtepec (AutoCAD 2010).



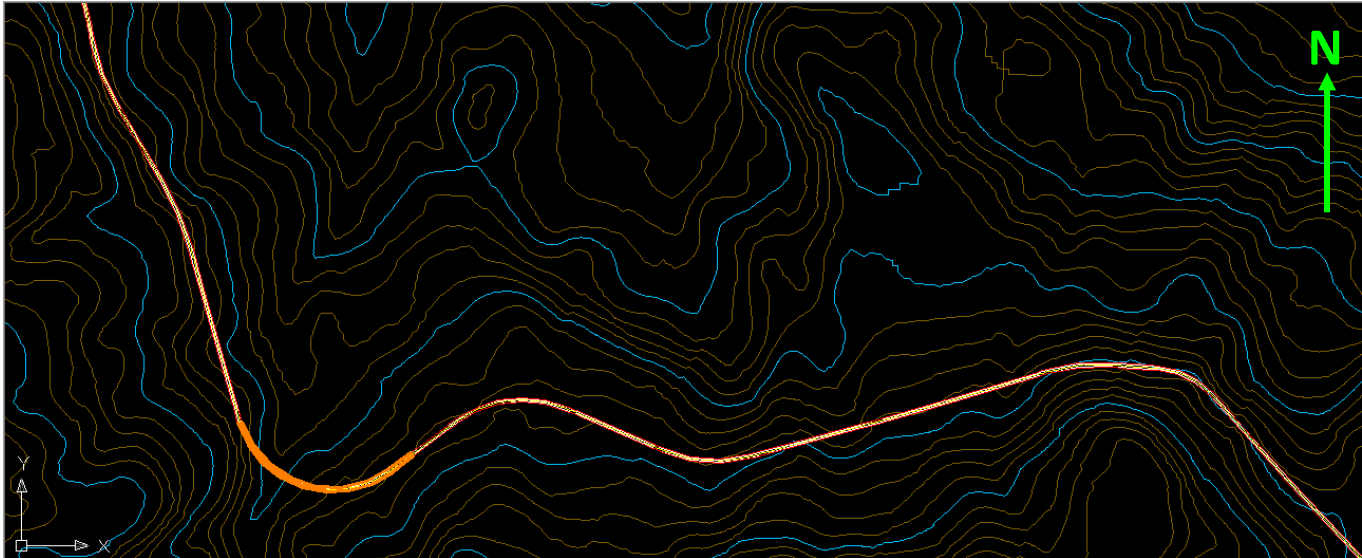


Figura 5.3: Vista general del alineamiento horizontal cercano al poblado de Santo Domingo Xagacia, Oaxaca con dirección a Tuxtepec (AutoCAD 2010).

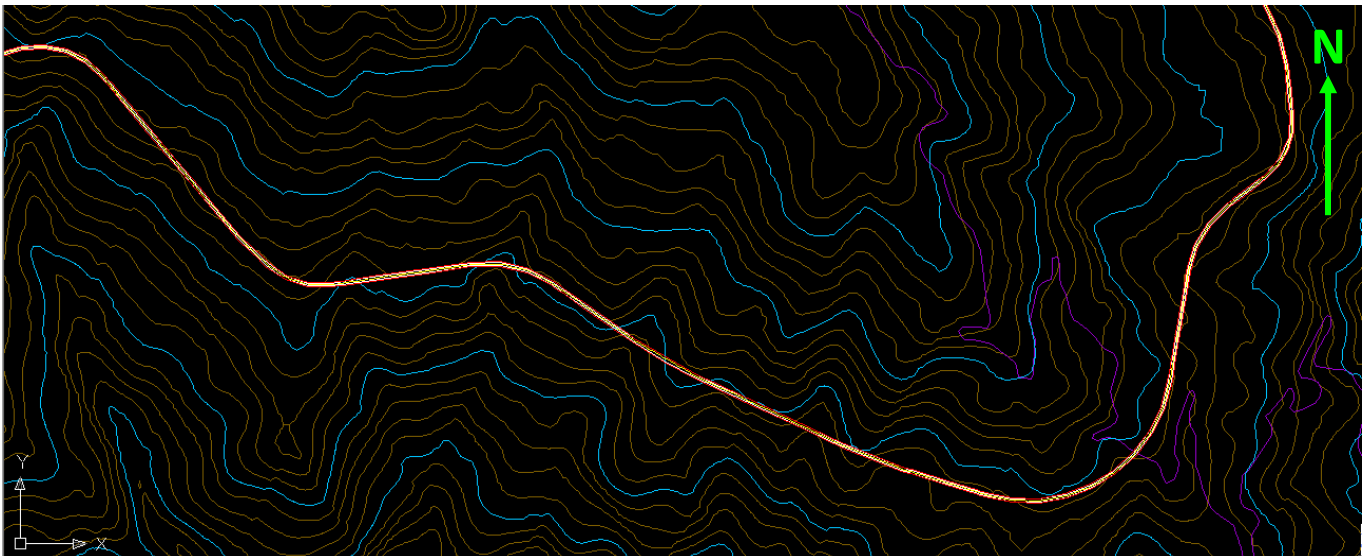


Figura 5.4: Vista general del alineamiento horizontal pasando el poblado de Santiago Zochila, Oaxaca con dirección a Tuxtepec (AutoCAD 2010).

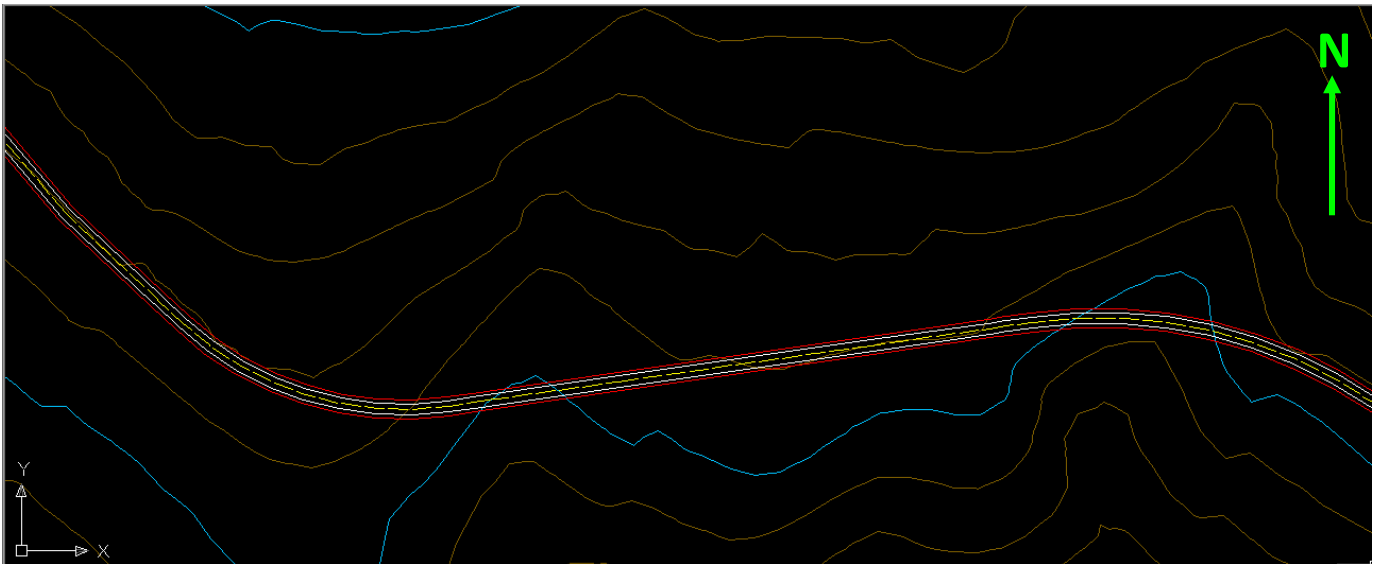


Figura 5.5: Vista General del Alineamiento horizontal sobre el Río Cajonos en donde se observa la división de carriles y acotamientos (AutoCAD 2010).

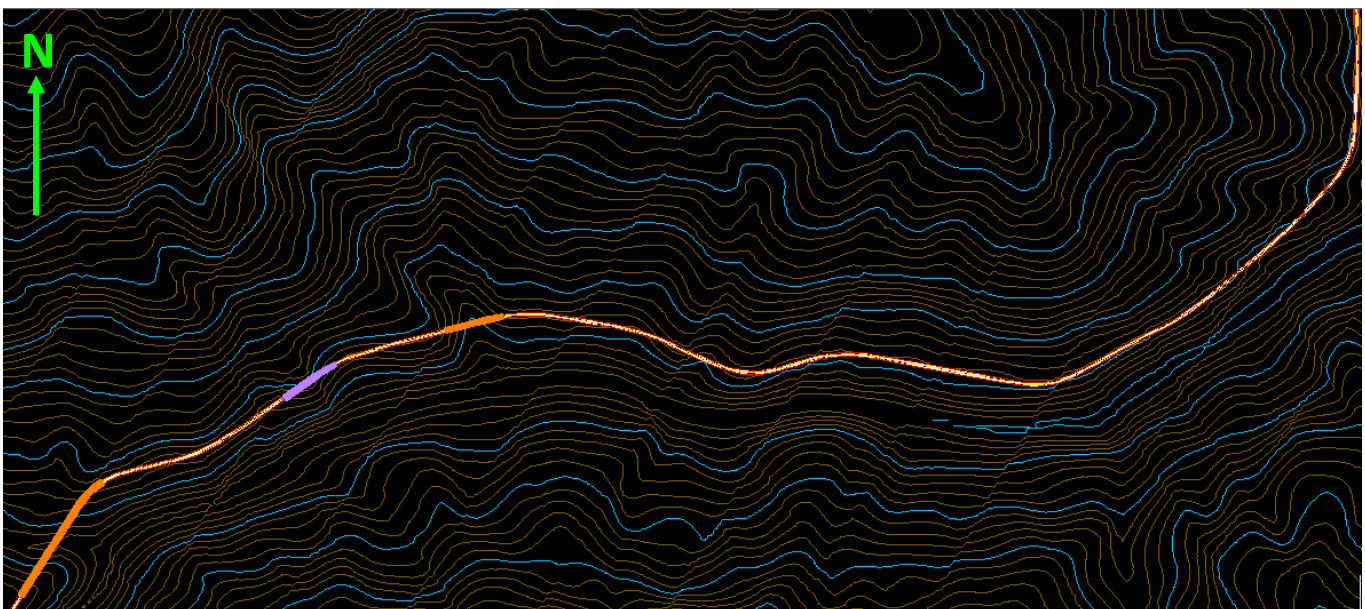


Figura 5.6: Vista General del Alineamiento horizontal sobre el Río Cajonos muy cercano a la Llanura Costera del Golfo (AutoCAD).

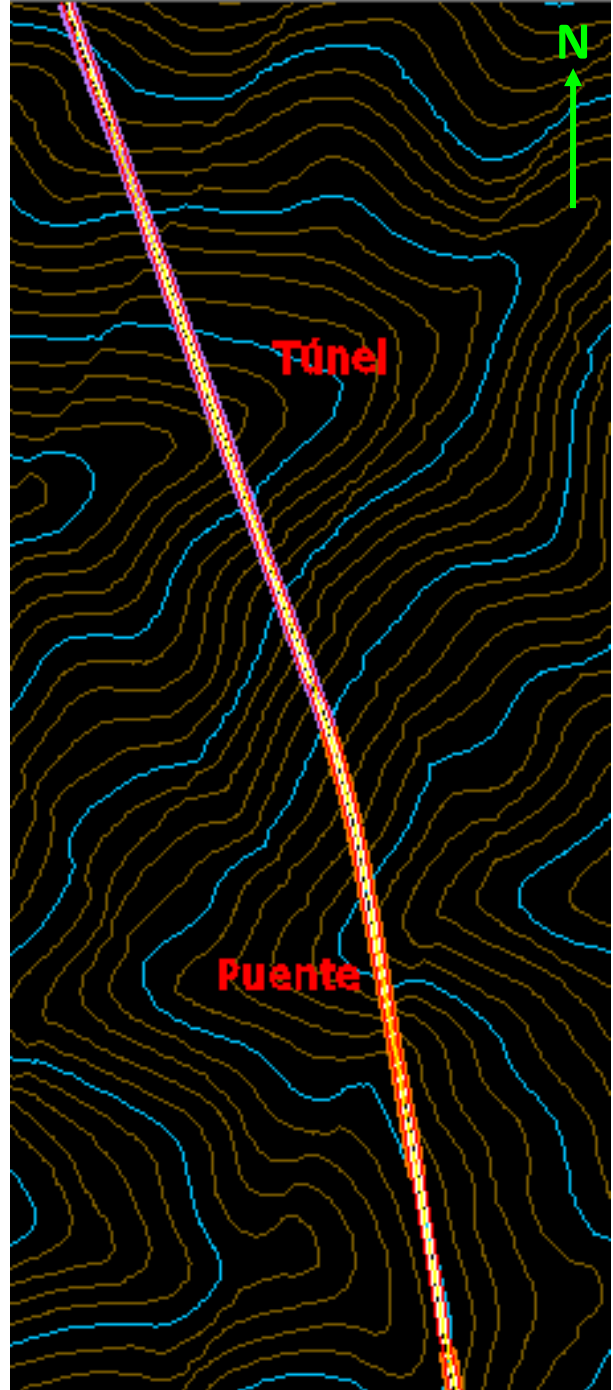
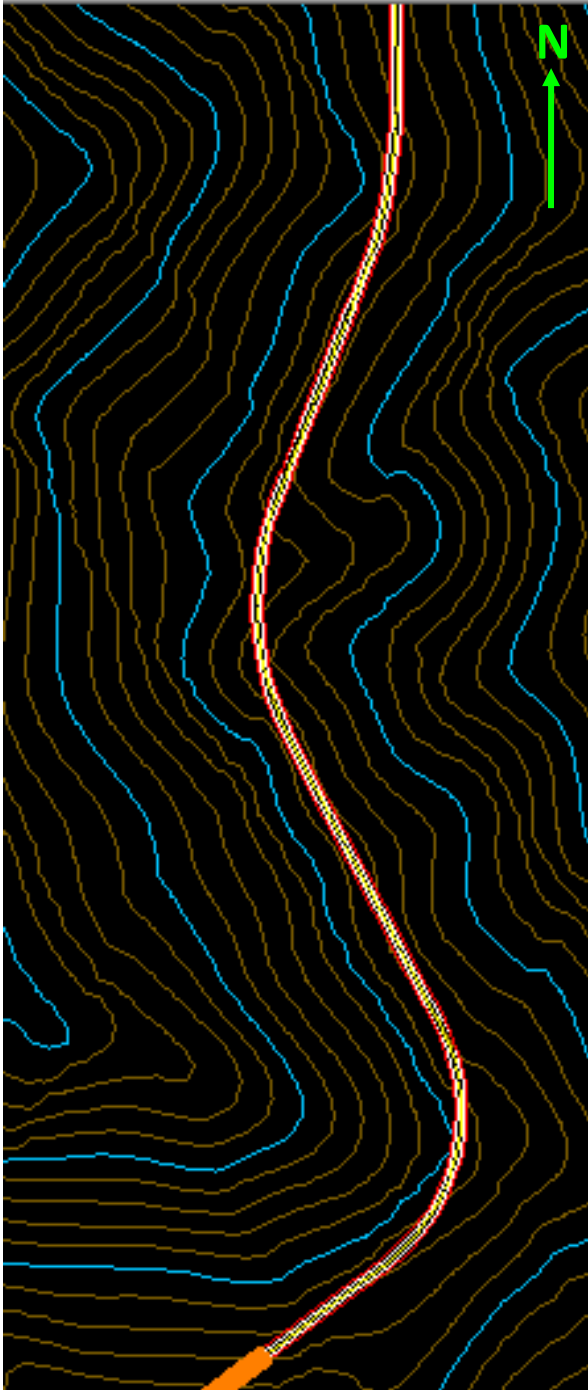


Figura 5.7 (izquierda): Vista del alineamiento horizontal sobre el río cajonos con dirección a Tuxtepec (AutoCAD 2010).

Figura 5.8 (derecha): Vista del alineamiento horizontal sobre el río cajonos con dirección a Tuxtepec con túnel y puente atravesando las montañas de la Sierra Juárez. (AutoCAD 2010).

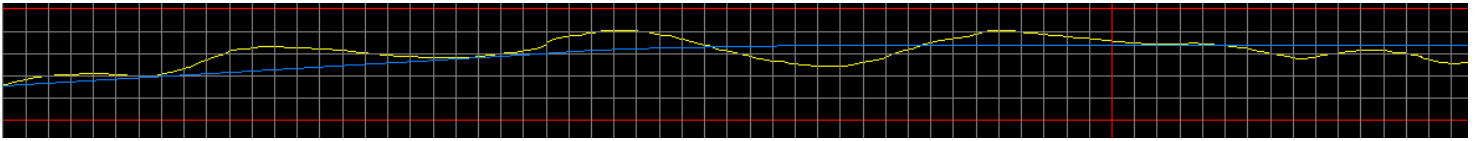


Figura 5.9: Vista general del inicio del alineamiento vertical con cortes y terraplenes sobre el terreno (AutoCAD 2010).

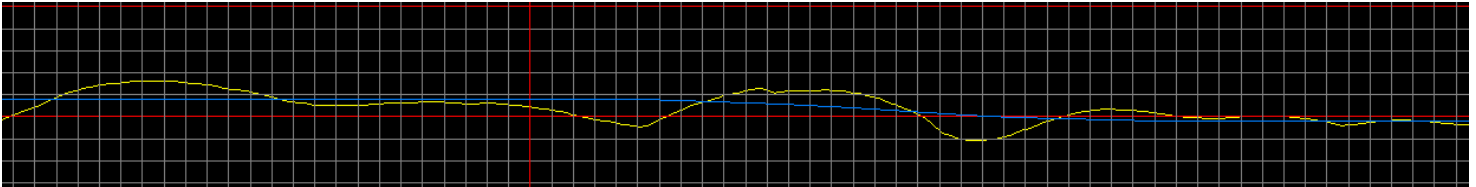


Figura 5.10: Vista general del alineamiento vertical con cortes y terraplenes sobre el terreno (AutoCAD 2010).

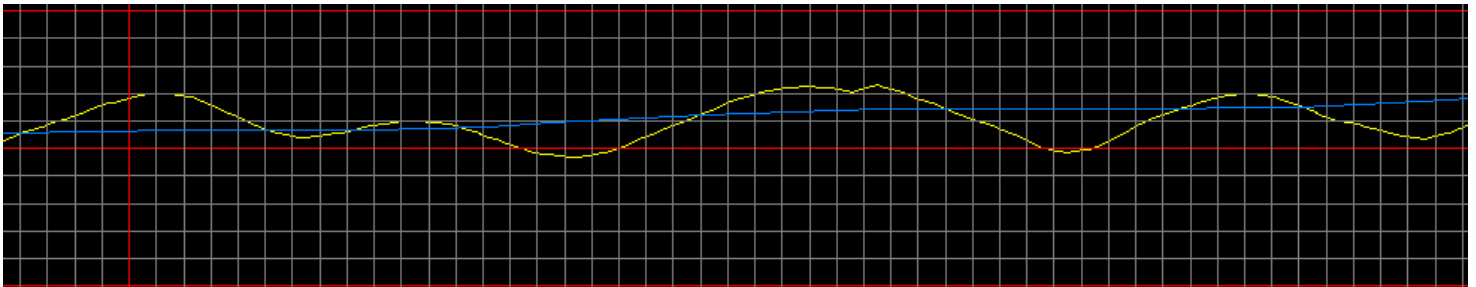


Figura 5.11: Vista general del alineamiento vertical con cortes y terraplenes sobre el terreno entrando a la Sierra Juárez (AutoCAD 2010).

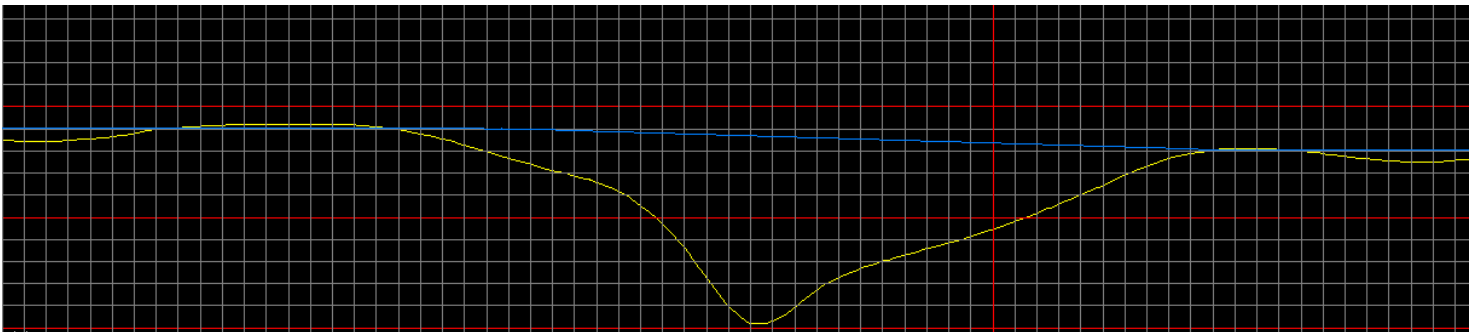


Figura 5.12: Vista general del alineamiento vertical con puente en la Sierra Juárez (AutoCAD 2010).

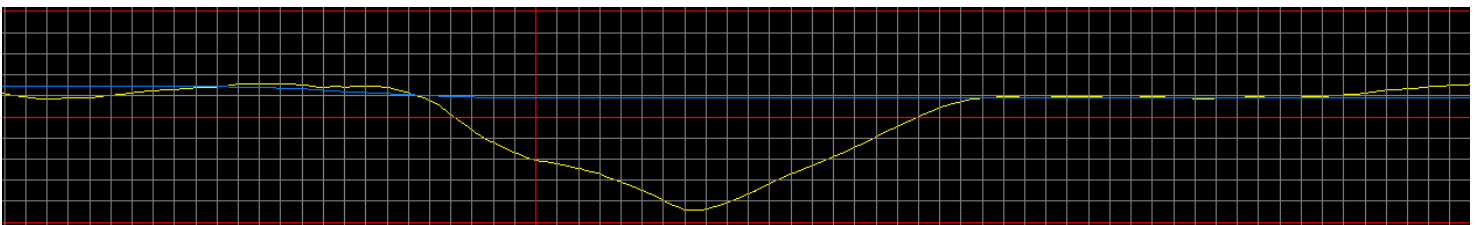


Figura 5.13: Vista general del alineamiento vertical con puente en la Sierra Juárez (AutoCAD 2010).

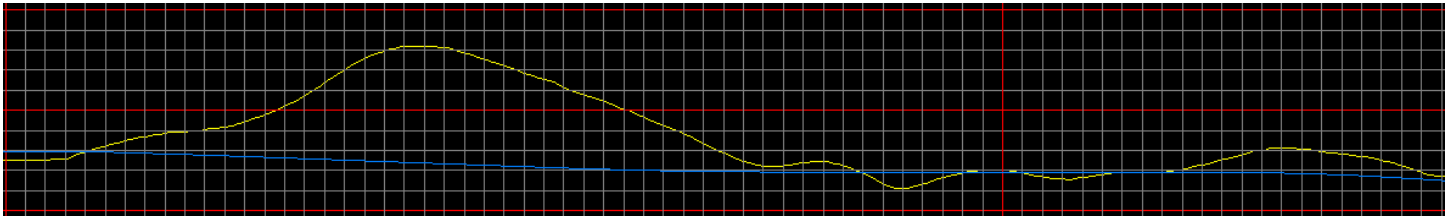


Figura 5.14: Vista general del alineamiento vertical con túnel en la Sierra Juárez (AutoCAD 2010).

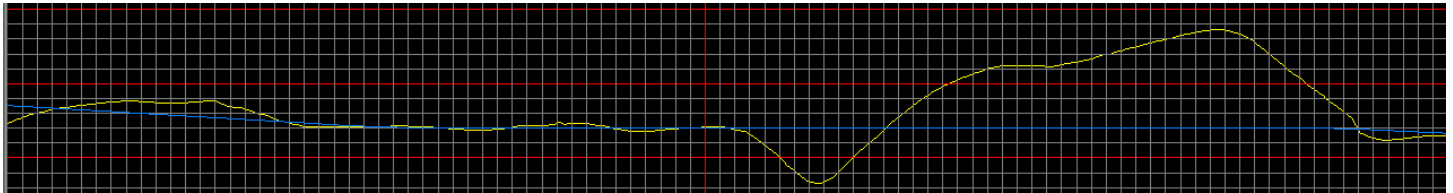


Figura 5.15: Vista general del alineamiento vertical con túnel y puente en la Sierra Juárez (AutoCAD 2010).

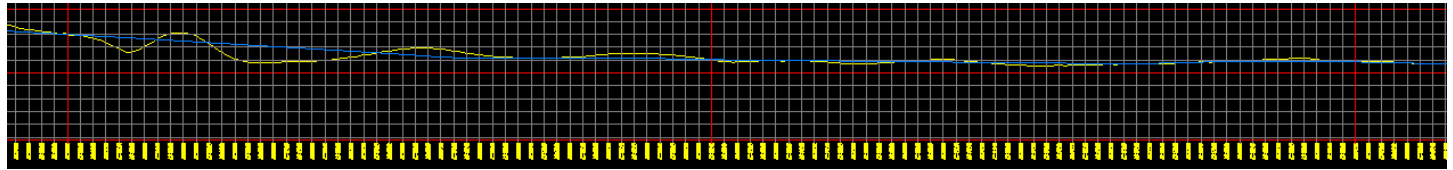


Figura 5.16: Vista general del alineamiento vertical en el final de la zona montañosa y el inicio de la Llanura Costera del Golfo (AutoCAD 2010).

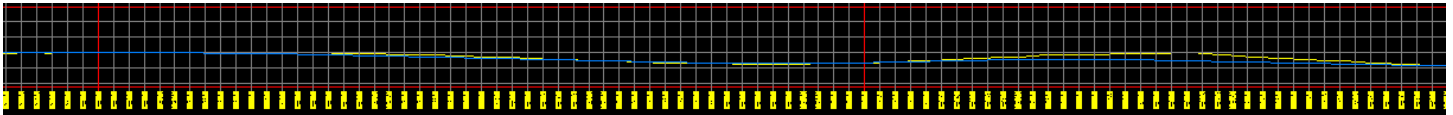


Figura 5.17: Vista general del alineamiento vertical en la Llanura Costera del Golfo, cercano a Tuxtepec (AutoCAD 2010).

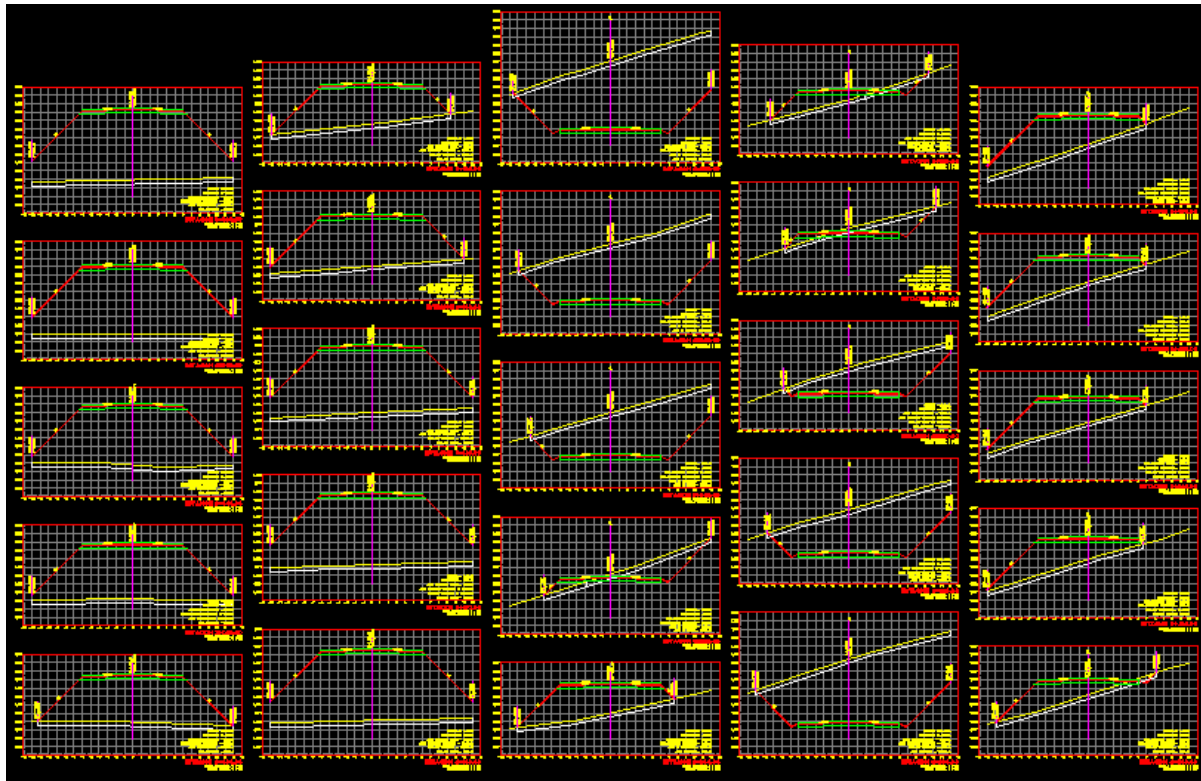


Figura 5.18: Vista General de Algunas Secciones Transversales Tanto en Corte como en Terraplén (AutoCAD 2010).

## V.2.- Observación del Trazo en Google Earth:

Para una mejor visualización del resultado, se muestra a continuación algunas partes de la supercarretera en el programa *Google Earth*. Dado que el proyecto geométrico de trazo se realizó en *AutoCAD* y este programa no es común para el usuario promedio, los archivos de trazo, puentes y túneles se convirtieron en formato KML (formato de archivo para mostrar datos geográficos) a través de *ArcGIS* (los archivos de trazo, puente y túneles fueron convertidos de un archivo vectorial a KML) para que puedan ser observados fácilmente en *Google Earth*, el cual es un programa más accesible para el usuario en general, además de que con este programa, se puede ubicar el proyecto geométrico en la zona del territorio nacional donde está ubicado, se puede ver el trazo en tercera dimensión y darse una mejor idea de cómo luciría la supercarretera sin ser construido.

La observación de la supercarretera en este Google Earth tiene como objetivo el poder apreciar dónde está ubicada la supercarretera en general, así como apreciar la localización de los puentes y túneles del mismo.



Figura 5.19: Inicio de la supercarretera en las cercanías de la localidad de Tlacolula y la Zona Arqueológica de Yagul (Google Earth).

Figura 5.20: Observación se la supercarretera subiendo al cerro para poder entrar a la Sierra Juárez (Google Earth).



Figura 5.21: Observación de la supercarretera abandonando los Valles Centrales para entrar a la Sierra Juárez (Google Earth).



Figura 5.22: Observación de la supercarretera atravesando la Sierra Juárez con algunos puentes (Google Earth).

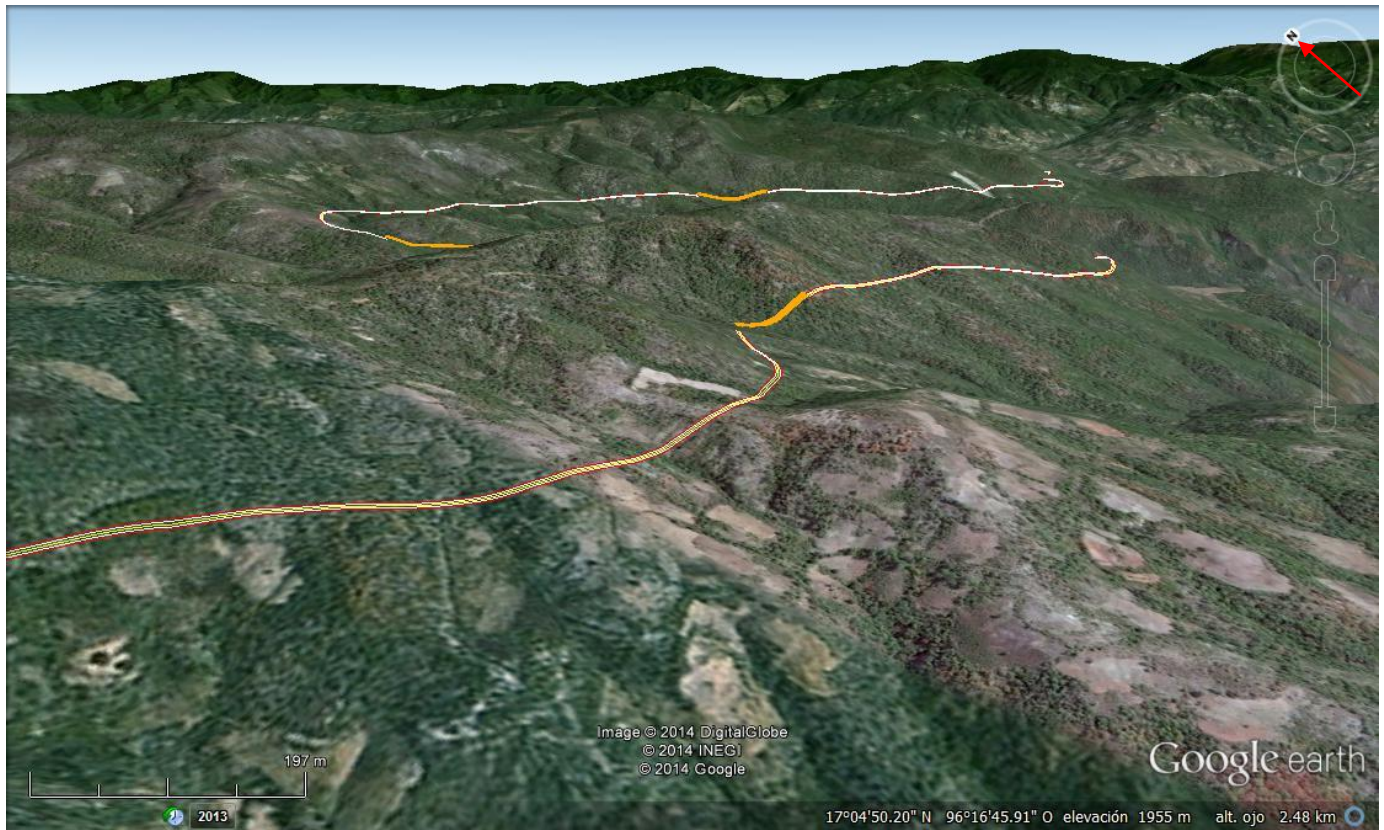


Figura 5.23: Observación de la supercarretera en la Sierra Juárez cercano al poblado de San Pablo Yaganiza, Oaxaca (Google Earth).





Figura 5.24: Observación de la supercarretera surcando un barranco de la Sierra Juárez (Google Earth).



Figura 5.25: Observación de la supercarretera paralela al río Cajonos con algunos de sus puentes (Google Earth).



Figura 5.26: Observación de la supercarretera paralela al río Cajonos llegando a la parte más baja (Google Earth).

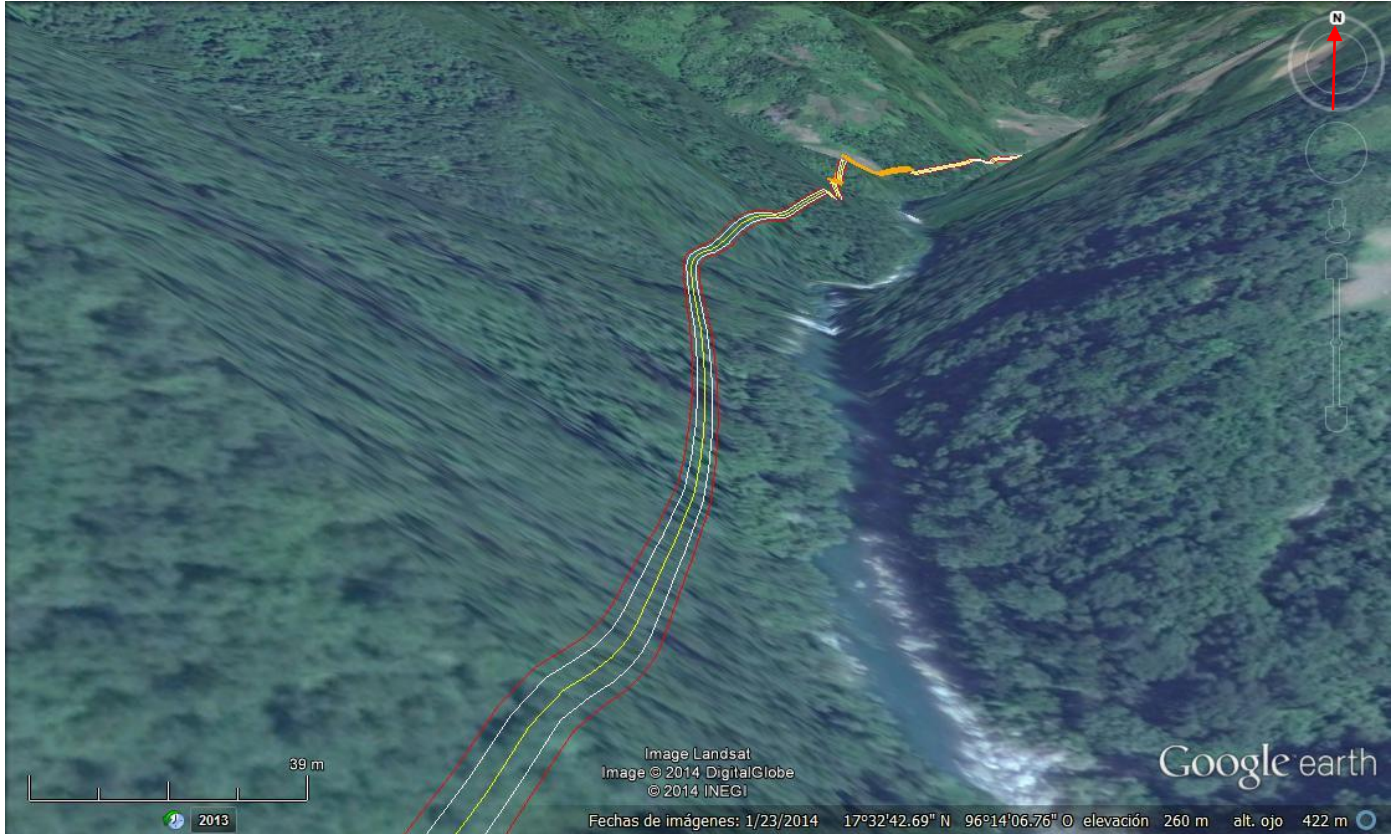


Figura 5.27: Observación de la supercarretera paralela al río Cajonos llegando a la parte más baja (Google Earth).



Figura 5.28: Observación de la supercarretera saliendo de la Sierra Juárez y entrando a la Llanura Costera del Golfo, cercano a la localidad de Ayotzintepec, Oaxaca (Google Earth).

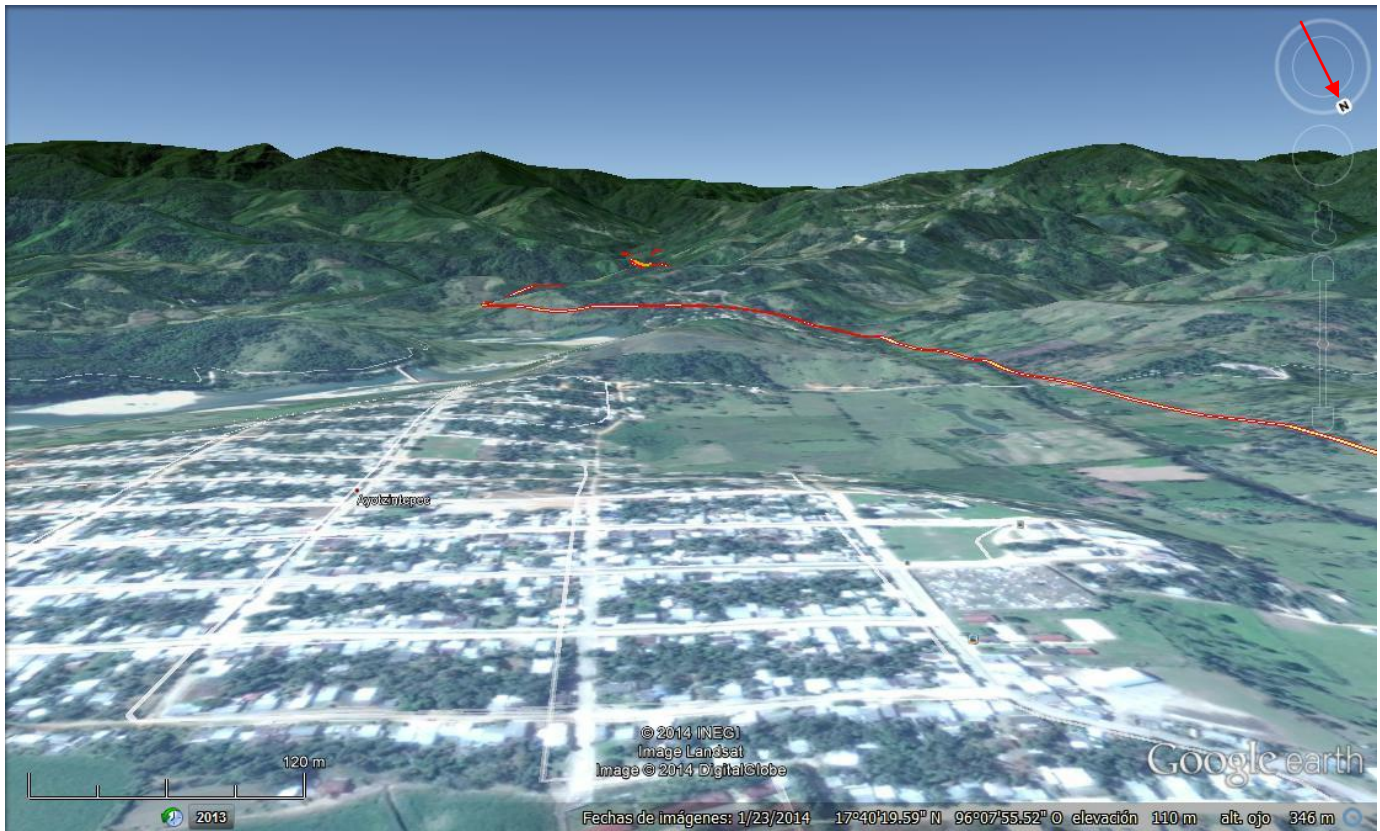


Figura 5.29: Observación de la misma zona de la supercarretera saliendo de la Sierra Juárez y entrando a la Llanura Costera del Golfo.



Figura 5.30: Observación de la supercarretera atravesando al Río Cajonos (Google Earth).

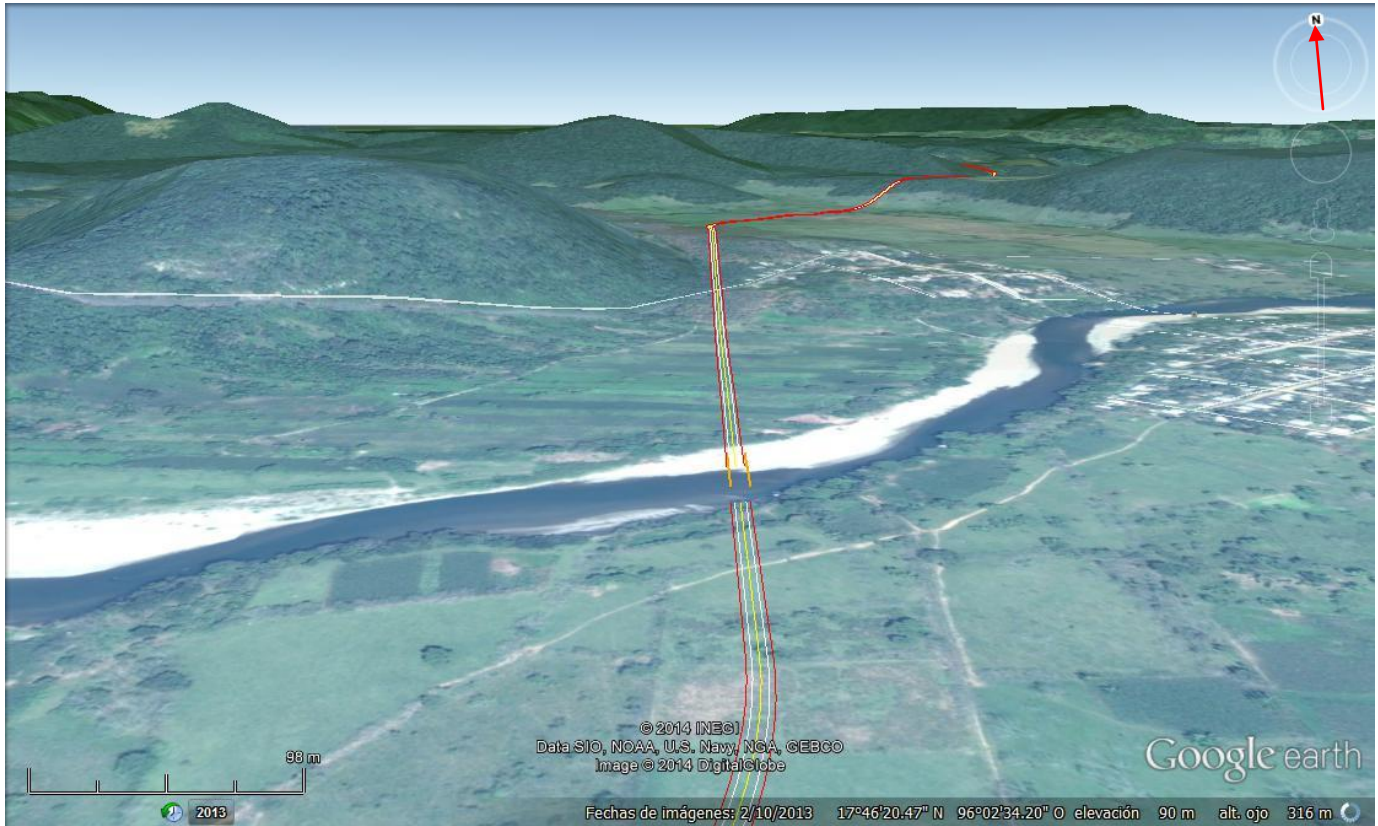


Figura 5.31: Observación de la carretera en el lomerío adjunto a la Llanura Costera del Golfo, la parte más recta de la vía (Google Earth).

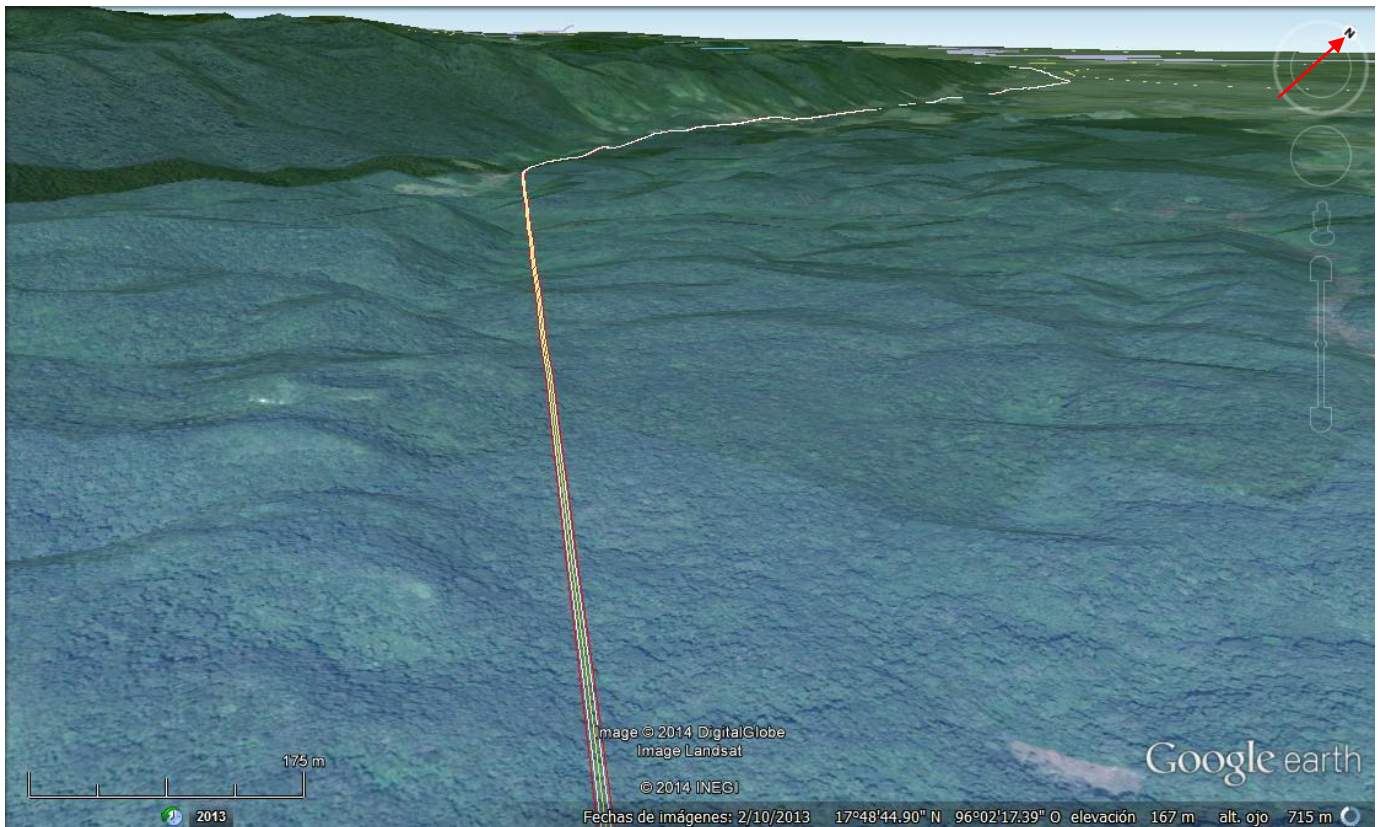


Figura 5.32: Observación de la supercarretera en la Llanura Costera del Golfo, cerca del destino final (Google Earth).

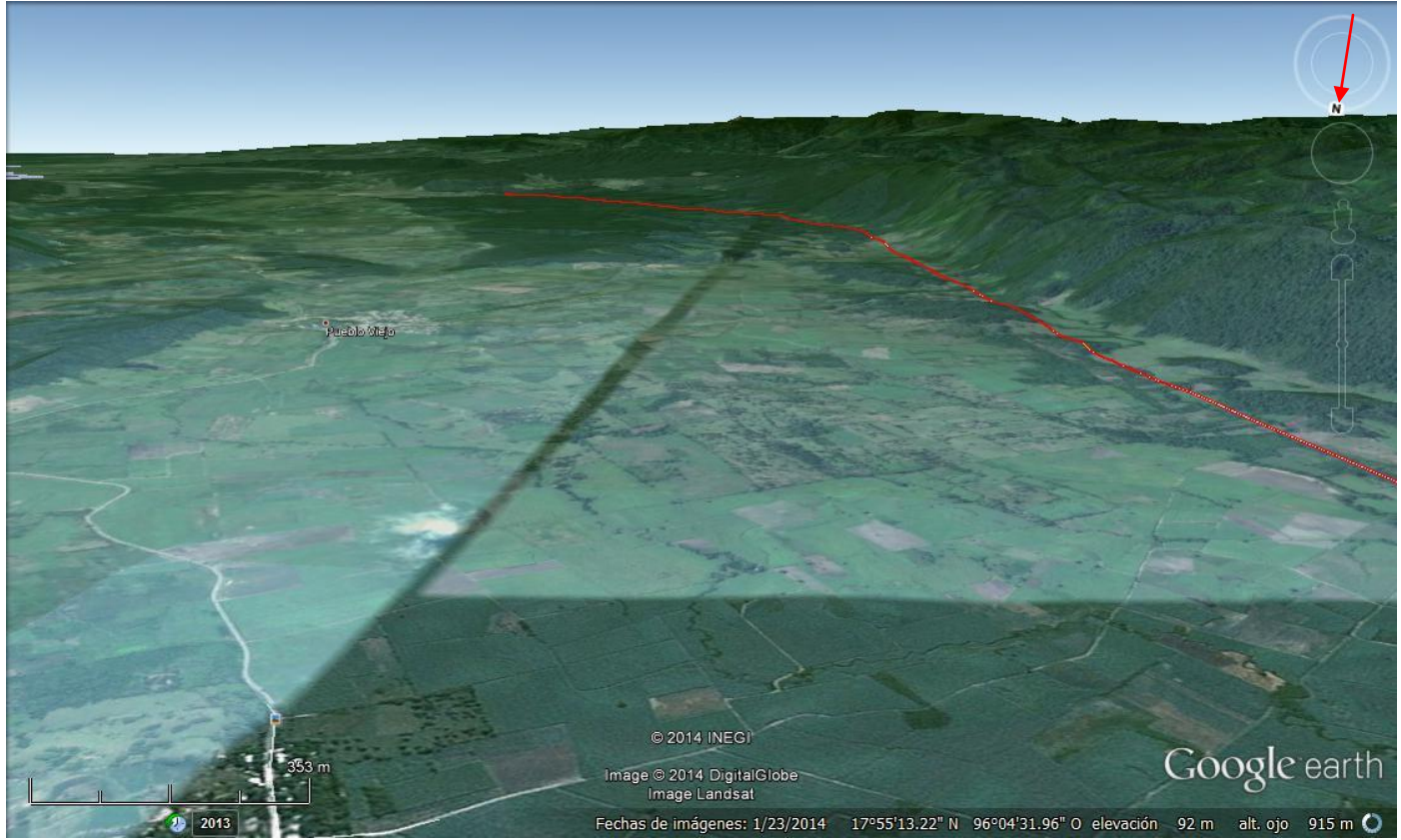
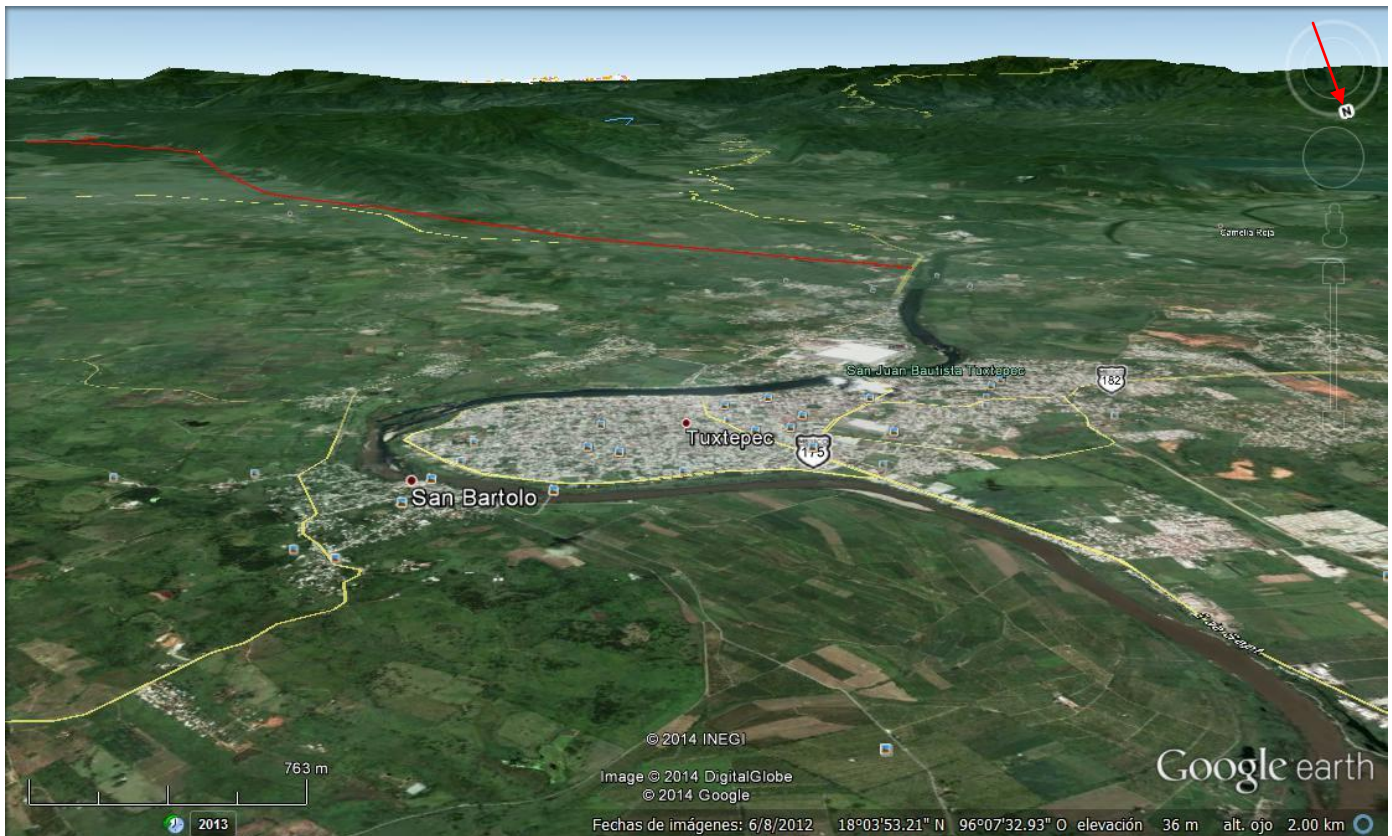


Figura 5.33: Vista de la súpercarretera llegando al destino final en la Llanura Costera del Golfo(Google Earth).



**V.3.-Presentación de Mapa Temático del Proyecto de Trazo:** Por último, se realizó un mapa en ArcGIS en donde se muestran el proyecto de trazo y la carretera federal 175 como protagonistas sobre una capa de Oaxaca donde se muestran las diferencias de altura, se agregaron también carreteras locales y las manchas urbanas de Oaxaca y Tuxtepec señaladas específicamente.

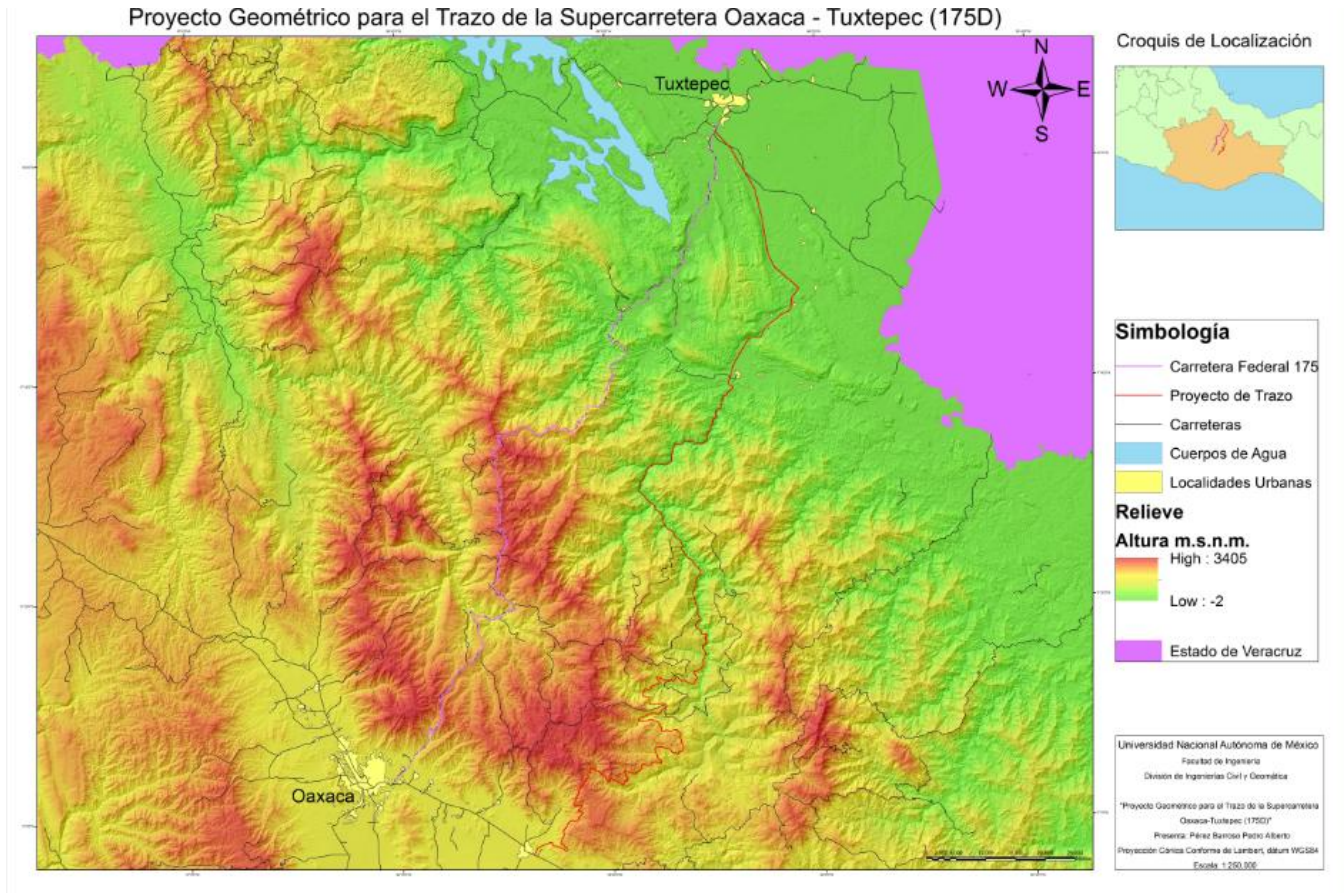


Figura 5.34: Mapa de relieve en donde se observan la carretera federal 175 en morado y el proyecto geométrico de carretera en rojo.

## VI.- Conclusiones:

Se puede concluir que se cumplió el objetivo de esta tesis y se pudo realizar el trazo para realizar la supercarretera que una a las ciudades de Oaxaca y Tuxtepec, sin embargo dada la compleja orografía de la Sierra Juárez, si se quiere tener un camino recto y cuyas curvas horizontales se mantengan dentro de los lineamiento de diseño se hace necesario la inclusión de varios puentes y túneles, por lo que su viabilidad económica y construcción requerirán de más estudios que en esta tesis ya no se contemplan. También es necesario que exista también voluntad política para realizar a cabo este tipo de infraestructuras, afortunadamente sí existe voluntad política en el estado de Oaxaca para este tipo de proyecto, pero también sería necesario que existiera voluntad política en el gobierno federal.

La construcción de carreteras y autopistas es una tarea multidisciplinaria, ya que intervienen además de ingenieros geomáticos e ingenieros civiles especialistas en geotécnica y vías terrestres, ingenieros geólogos e ingenieros geofísicos por mencionar algunas profesiones. En esta tesis se realizó la parte de la supercarretera que corresponde al ingeniero Geomático, lo que es el trazo y su georreferenciación sobre la superficie terrestre. Se concluye así con los siguientes datos.

**Longitud total de la supercarretera:** 212.676 km (161.5 km de zona montañosa y 51.176 km de zona plana)

**Número de puentes:** 65 puentes

**Número de Túneles:** 32 túneles

**Tiempo necesario para recorrer el trayecto:** 2 horas y 45 minutos. (25 minutos de la ciudad de Oaxaca al inicio del trazo y dos horas con 20 minutos para el recorrido de todo el trazo hasta Tuxtepec).

Como se mostró en el trazo de la supercarretera, éste contiene un considerable número de puentes de diferentes tamaños, el más largo mide un poco más de un kilómetro, ya que en este caso, si no se construye el puente se darían muchas vueltas a las montañas de la Sierra Juárez, por lo que en un estudio más detallado tendría que analizarse qué sería más viable económicamente. El número de túneles es menor que el de los puentes, sin embargo el más largo de ellos mide un poco más de dos kilómetros, que es para salir del valle y entrar a la sierra. Ya que en esta tesis se dio como resultado un proyecto geométrico de trazo, es posible que se llegaran a realizar modificaciones a éste por los

motivos que los ingenieros encuentren pertinente ya sean económicas, geológicas, sociales o ambientales por mencionar algunos.

Tal vez sea por esto que pocas personas se aventuran a proponer un proyecto geométrico de trazo de carretera por esta zona, por lo difícil del terreno y por lo costoso que sería construir una carretera en este lugar por eso mejor se ha decidió darle más mantenimiento como la reciente repavimentación la carretera federal 175.

## VII.- Bibliografía:

- Manual del Proyecto Geométrico para la Construcción de Carreteras. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, cuarta reimpresión, México 1991.
- Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal, México 2006.
- Mendoza Díaz, Alberto. Abarca Pérez Emilio e.t al. Recomendaciones de Actualización de Algunos Elementos del Proyecto Geométrico de Carreteras. Publicación Técnica No. 244. Sanfandilla Querétaro. México, 2004.
- Wolf Paul R. Ghilani Charles D. Topografía, Alfaomega. México 2008, undécima edición. Páginas 741-745
- Anderson James M, Mikhail Edward M. Introducción a la Topografía, McGraw Hill. México 1988, primera edición. Páginas
- **Datos históricos y económicos de Tuxtepec:**  
<http://www.tuxtepec.gob.mx/index.php?pagina=HistoriaTuxtepec>
- **Obtención del Modelo digital de Elevaciones del INEGI:**  
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>
- **Obtención de las cartas Topográficas del INEGI:**  
<http://www.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/detalle2.aspx?c=2031&upc=0&s=geo&tg=999&f=2&cl=0&pf=prod&ef=0&ct=206000000>