



# UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727 – 15  
a la Universidad Nacional Autónoma de México.

## Escuela de Ingeniería Civil

### PROPUESTA DE PROYECTO GEOMÉTRICO PARA EL CAMINO “LA HUIZACHERA”, DEL KM 0+000 AL KM 1+380 EN EL MUNICIPIO DE URUAPAN, MICHOACÁN.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

**Ramiro Molina Godínez**

**Asesor: Ing. Anastacio Blanco Simiano.**

Uruapan, Michoacán, a 27 de Septiembre del 2021.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# ÍNDICE

Introducción.	1
Antecedentes.	1
Planteamiento del problema.	3
Objetivos.	3
Pregunta de investigación.	4
Justificación.	4
Marco de referencia.	5
 <b>Capítulo 1.- Vías terrestres.</b>	
1.1. Antecedentes de las vías terrestres	6
1.1.1. Historia de los caminos	8
1.2. Infraestructura	9
1.3. Caminos	10
1.3.1. Tipos de caminos	11
1.3.2. Clasificación	14
1.4. Velocidad	17
1.4.1. Velocidad de proyecto.	18

1.4.2. Medición de velocidad	19
1.4.2.1. Métodos	20
1.5. Tránsito	20
1.5.1. Tipo de tránsito	21
1.5.2. Volumen de tránsito	21
1.5.3. Densidad de tráfico	22
1.5.4. Aforos vehiculares	23
1.5.4.1. Métodos de aforo	24
1.5.4.2. Estaciones de aforo	27
1.6. Capacidad de un camino	28
1.7. Derecho de vía	28
1.8. Elementos de las secciones transversales de los caminos	29
1.8.1. Carriles de circulación.	30
1.8.2. Pendientes transversales de las carreteras	31
1.8.3. Acotamientos.	32
1.8.4. Guarniciones.	32
1.9. Drenaje en carreteras	34
1.9.1. Clasificación de drenajes	35

1.9.2. Drenaje longitudinal . . . . .	36
1.9.2.1. Bordillos . . . . .	37
1.9.2.2. Cunetas y contracunetas. . . . .	37
1.9.2.3. Lavaderos . . . . .	39
1.9.3. Drenaje transversal . . . . .	40
1.9.3.1. Alcantarillas. . . . .	41

**Capítulo 2.- Proyecto geométrico.**

2.1. Proyecto. . . . .	42
2.2. Planeación general . . . . .	43
2.3. Anteproyecto . . . . .	44
2.4. Proyecto. . . . .	48
2.4.1. Elementos básicos para el proyecto. . . . .	48
2.4.1.1. Usuario de la vía . . . . .	49
2.4.1.1.1. Visión del usuario. . . . .	49
2.4.1.2. Tiempo de reacción. . . . .	50
2.4.1.3. Vehículo de proyecto. . . . .	51
2.4.1.4. Cargas de proyecto . . . . .	55

2.5. Distancia de visibilidad.	57
2.5.1. Distancia de visibilidad de parada.	57
2.5.2. Distancia de visibilidad de rebase.	60
2.6. Alineamiento de carretera	64
2.6.1. Trazo preliminar	64
2.6.2. Alineamiento horizontal	66
2.6.2.1. Tangentes	68
2.6.2.2. Curvas simples	69
2.6.2.3. Curvas en espiral	73
2.6.2.4 Sobre elevación	77
2.6.2.5. Sobre ancho.	78
2.6.3. Alineamiento vertical.	79
2.6.3.1. Tangentes	80
2.6.3.2. Curvas verticales	82

### **Capítulo 3.- Resumen de macro y micro localización.**

3.1. Generalidades	87
3.1.1 Objetivos.	88

3.1.2. Proyecto	88
3.2. Resumen ejecutivo	88
3.3. Entorno geográfico	89
3.3.1. Macro y micro localización.	92
3.3.2. Geología local	94
3.3.3. Hidrología local.	95
3.3.4. Uso de suelo local.	96
3.4. Informe fotográfico	97
3.4.1. Problemática	101
3.4.2. Estado físico actual	102
3.5. Alternativas de solución.	104
3.6. Proceso de análisis	105

#### **Capítulo 4.- Metodología.**

4.1. Método empleado.	106
4.1.1. Método matemático	107
4.2. Enfoque de la investigación	108
4.2.1. Alcance de la investigación.	108

4.3. Diseño de la investigación . . . . .	109
4.4. Instrumentos de recopilación de datos. . . . .	111

**Capítulo 5.- Cálculos, análisis e interpretación de resultados.**

5.1. Aforo vehicular . . . . .	113
5.1.1. Volumen promedio horario . . . . .	116
5.1.2. Volumen horario de máxima demanda. . . . .	116
5.1.3. Tránsito promedio diario . . . . .	117
5.2. Topografía . . . . .	118
5.3. Alineamiento horizontal . . . . .	119
5.4. Alineamiento vertical . . . . .	136
5.5. Obras de drenaje . . . . .	143
<b>Conclusiones . . . . .</b>	<b>157</b>
<b>Bibliografía . . . . .</b>	<b>159</b>

**Anexos**

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes.**

Parte importante para el desarrollo de una sociedad son las vías de comunicación, dentro de ellas se pueden clasificar en; Aéreas, Marítimas y terrestres, centrándonos en estas últimas como una de las más importantes dentro de una nación, estado o localidad. Es por ello que necesitan un buen diseño, ya que de esto dependerán muchos factores que pueden ser clave para el buen funcionamiento de dicha carretera.

Las carreteras tienen que cumplir determinada función, de esto depende la configuración del terreno, y las características propias del mismo lugar, se tiene que diseñar y proyectar de manera coherente y sobre todo cumplir con un grado razonable de seguridad.

Al acudir a la Biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C se encontraron 13 tesis relacionadas con proyecto geométrico algunas son mencionadas a continuación, la tesis elaborada por Dorian Vladimir Hernández Báez (2008) con el título: “Alternativas de proyecto geométrico en la denominada “Curva del Diablo”, carretera Carapan-Playa Azul km 65+000 al 66+160”, teniendo como objetivo revisar el proyecto geométrico del tramo mencionado , llego a la conclusión de que tiene un grado de curvatura mayor al permitido por lo que la carretera no es totalmente segura, la SCT recomienda para camino tipo “C” una velocidad de 60 km/hr, con un grado de curvatura menor de  $11^\circ$ , actualmente la curva tiene un grave error, siendo el grado de curvatura de  $11^\circ 43' 52.2''$ .

De igual forma otra tesis elaborada por Omar Medina Martínez en 2011 titulada: “Diseño de proyecto geométrico de la carretera “El Capulín” del tramo km 0+000 al km 2+740 en el municipio de Zitácuaro, Michoacán” cuyo objetivo fue diseñar el tramo mencionado “El Capulin”, llegando a la conclusión de haber cumplido satisfactoriamente los objetivos planteados desde el principio.

Así mismo la tesis “Diseño de proyecto geométrico para el tramo carretero del camino viejo a la Hidroeléctrica de la CFE, Uruapan Michoacán.” Elaborada por Omar Jerzain Vargas Martínez en el 2012, teniendo como objetivo diseñar el proyecto para el camino viejo a la hidroeléctrica CFE, llegando a la conclusión de haber cumplido satisfactoriamente los objetivos generales.

Continuando, fue en 1925 cuando el gobierno mexicano inicio la construcción de carreteras, gracias al financiamiento del recurso federal, se construyó la primera carretera pavimentada para ligar la Ciudad de México con el entonces Puebla y cuya finalidad era Veracruz. A la par, se crea la Comisión Nacional de Caminos ahora conocida como la SCT.

Entre 1930 y 1940 se construyeron 8,500 km más a la red carretera, teniendo en total 10,000 km, formando parte estratégica para una parte del país iniciando su desarrollo. En 1947 se vio la necesidad de crear y desarrollar caminos vecinales, de esta manera, adentrándose en las comunidades rurales para así empezar con su desarrollo.

Entre 1940 y 1970 se añaden 26,630 km para terminar en 1970 con una longitud total de 71,520 km, incluidas carreteras federales, estatales de cuota y vecinales.

## **Planteamiento del problema.**

Las carreteras forman parte importante para el desarrollo de una región en específico, es por eso que se necesita un buen diseño, el más óptimo ya que dependerán muchos factores cruciales para el correcto funcionamiento de esta, ahora bien, debe preguntarse ¿Cuál es el mejor diseño de una carretera?, se tiene que considerar muchas cosas al respecto, número de vehículos, características del terreno principalmente, realizar el proyecto con una visión a futuro, ¿Quién? y ¿Para qué? Van a utilizar esta carretera, un buen diseño es sinónimo de seguridad, claro, siempre y cuando respeten las indicaciones del proyecto, es por eso que en la presente investigación se busca el buen diseño para garantizar el correcto funcionamiento, a veces el problema se presenta a la hora de realizar la obra, la tiene que realizar un experto en materia igual que el buen diseño.

## **Objetivo.**

Diseñar una propuesta de rasante para el proyecto geométrico así como las obras de drenaje cumpliendo con las normas y características de la SCT, obteniendo un proyecto seguro, teniendo como objetivos particulares:

- 1.- Definir que es una vía terrestre.
- 2.- Definir la clasificación de las vías terrestres.
- 3.- Obtener el aforo vehicular del tramo en estudio.
- 4.- Definir los diferentes tipos de drenaje que tiene una vía terrestre.

5.- Identificar cuantos puntos de inflexión hay en el proyecto.

6.- Establecer que es un proyecto geométrico.

### **Pregunta de investigación.**

A continuación, y de acuerdo con los objetivos particulares, se presentará el siguiente estudio con el objeto de satisfacer en su totalidad los objetivos el cual tiene como pregunta: Geométricamente, ¿cuál es la mejor alternativa para proyectar la rasante para el tramo carretero de La Huizachera del km 0+000 al 1+380?

### **Justificación.**

Con la presente investigación se tiene como objeto dar solución al problema planteado, así mismo resolver el problema de la mejor manera posible, de igual forma llegar a una conclusión que satisfaga los propósitos propuestos. La ingeniería civil se beneficiará, pues a su vez existirá otro estudio sobre esta área ayudando a resolver correctamente un problema desde una perspectiva ingenieril.

La escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don vasco también será beneficiada, pues este proyecto lo podrán consultar futuras generaciones interesadas en el tema, puede ser para investigar o comparar futuros proyectos o futuras investigaciones, si en algún momento este proyecto se llegara a realizar sin duda alguna se beneficiarían muchas personas que habitan en esta zona o sobre el camino de La Huizachera, pues existiendo una carretera acondicionada para la configuración

del terreno los servicios públicos podrían cubrir en su mayoría esta zona, ya que mucha de la gente que habita en este lugar les resulta difícil el traslado en vehículo y por consecuencia se trasladan caminando.

### **Marco de referencia.**

El proyecto se ubica en la ciudad de Uruapan, Michoacán, que es uno de los 113 municipios del estado de Michoacán. Uruapan es el segundo municipio más poblado del estado. La ciudad está situada en el centro-occidente, según INEGI tiene una extensión territorial de 954.17 km<sup>2</sup> y una población de 315,350 habitantes.

La ciudad de Uruapan se encuentra a una altura promedio de 1620 msnm, se encuentra inmerso en el eje neo volcánico transversal, cuyos cerros son; La Charanda, La Cruz, Jicalan y Magdalena, su principal corriente es la del Rio Cupatitzio que nace dentro del municipio y corre de norte a sur.

En la zona oriente de la ciudad se encuentra el área de estudio, la cual se encuentra en una zona Semi-Urbana el proyecto abarca esta zona y una zona totalmente Rural, el camino se encuentra paralelo a un río de aguas negras, el uso del suelo principalmente es agrícola, utilizado para la producción de aguacate.

# **CAPÍTULO 1**

## **VIAS TERRESTRES**

Una vía terrestre es un espacio público, pensado y construido para que transiten los vehículos, gracias a los medios de comunicación a través del agua, tierra y aire ha sido posible el desarrollo socio-económico a lo largo de la historia las vías terrestres en general forman un papel muy importante dentro de una sociedad, gracias a ellas permitió llegar a lugares nunca antes conocidos, lugares rurales lejos de la mancha urbana y poco a poco empezar a desarrollarse gracias a las actividades que se realizaban en estas zonas, ganadería y agricultura principalmente.

En este capítulo se abordarán temas relacionados con las carreteras principalmente, desde su historia y todos los aspectos generales que implican estas obras terrestres.

### **1.1. Antecedentes de los caminos.**

La rueda se inventó hace 5350 años aproximadamente, este revolucionario invento trajo consigo bastantes facilidades que en esa época parecían casi imposible, gracias a excavaciones e investigaciones se cree que hace 3000 años existían vehículos de dos ruedas y cuatro ruedas labrados en madera, es perceptible que los habitantes de estas zonas tenían la necesidad de transportar sus cultivos para poder realizar alguna venta o trueque en las ciudades vecinas y que mejor manera que llevándola en una carreta.

Los primeros constructores de caminos consideraron las ventajas y desventajas que en ese entonces tenían los terrenos y observaron la necesidad de adaptarlos, cortando material en lomeríos y colocando material en lugares accidentados.

Según [www.vialidadytransportes.com](http://www.vialidadytransportes.com) (2004) La carretera más antigua se considera que es la Carretera Real Persa, empezaba en Susa, cerca del golfo Pérsico torcía hacia el noroeste de Arbela y de allí hacia el oeste a través de Nínive a Harran, un centro importante de enlace de caravanas y carreteras. Las carreteras más modernas unían palacios y ciudades en babilonia, estas estaban construidas con ladrillo cocido y piedra unidos por mortero bituminoso.

Los primeros que construyeron científicamente carreteras fueron los romanos, se le llamó calzada debido a la utilización de piedra caliza, estas técnicas trascendieron los siguientes 2000 años, una de las características de los romanos fue la construcción de calzadas rectilíneas de un punto a otro sin importar como se presentaba el terreno, si era pantanoso, lagos o barrancas. Es importante saber que los romanos fueron unos de los primeros en utilizar pilotes para cimentar, eran unos troncos de madera que se incrustaban en el terreno de esta manera no podrían tener una falla en sus calzadas.

En el siglo XII se despierta un interés por los viajes terrestres es la época en que se restaura la ruta comercial entre Europa y China a través de Asia Central, posteriormente en Europa los monasterios y señores feudales empezaron a cobrar en algunos puentes y tramos de calzadas, sin embargo al bajo mantenimiento que se tenían las calzadas empezaron a deteriorarse, llegando a ser intransitables.

Durante los siglos XV y XVI la pavimentación de calles se hace popular y posteriormente a la creación de vehículos, más sin embargo continúan en muy mal estado las calzadas, en 1775 fue nombrado Inspector general de Ponts et Chaussees, Preparo una memoria en donde codifica la construcción de carreteras reduciendo por capas de piedra partida

### **1.1.1 Historia de los caminos**

Según Crespo Villalaz (2004) los principales medios de transporte durante las épocas pasadas se desarrollaron prácticamente en el mar o ríos, esto debido a la facilidad que estos medios se podían transportar, es por ello que muchas de las ciudades antiguas se asentaron cerca de ríos, mares o lagos. Debido a las condiciones en que se encontraban estas ciudades les resultaba difícil la construcción de caminos para vehículos de tracción animal.

El gran imperio romano debido a su poder fue uno de los principales fundadores y restauradores de caminos, sin embargo en el año 476 fue derrotado el emperador Rómulo, y por consecuencia la desaparición casi por completo de caminos inclusive los vehículos desaparecieron por completo.

Fue hasta el siglo XVIII cuando los caminos empezaron a tomar una importancia considerable y a reconstruir los caminos olvidados ya que debido al incremento considerable de la población optaron por alejarse de las orillas de los ríos para adentrarse hacia los bosques o selvas según Crespo Villalaz (2004).

A comienzos del siglo XIX con la aparición del ferrocarril se creía la vaga idea de que los caminos pasarían de estar de un primer a un segundo orden menciona Crespo Villalaz (2004), sin embargo, estaban equivocados, pues debido al difícil acceso del ferrocarril y el constante desarrollo de los autos y de las nuevas tecnologías para la construcción de las carreteras con asfalto, se pensó ahora que el ferrocarril era un gasto innecesario debido a su elevado costo de mantenimiento y construcción de vías férreas, posteriormente con el alza de los precios resultaba más caro transportar la mercancía por automóviles ya que se encareció el combustible, el mantenimiento, y el desarrollo de obras públicas resultó un tanto difícil, fue en este punto cuando se llegó a un equilibrio transportando por medio de los ferrocarriles mercancía que no se tenía que sobre transportar mucho después de su destino y por las carreteras la mercancía que se entregaría y distribuirla lejos de la zona de descarga del ferrocarril.

## **1.2. Infraestructura.**

La infraestructura juega papel importante para el crecimiento de un país," Son aquellas obras que por lo general están a cargo del gobierno y contribuyen al desarrollo" (Olivera;1996:13), las obras de infraestructura se dividen en ;irrigación, instalación de energía eléctrica, suministro, captación y alcantarillado, estas obras civiles son las más importantes, pues de esto depende el desarrollo de un poblado, las vías terrestres juegan un papel muy importante, pues según Olivera (1996) las vías terrestres son la infraestructura de la infraestructura pues esto se debe a que una vez construido un camino se facilita el suministro de los servicios anteriormente mencionados.

La construcción de una carretera puede resultar un tanto costosa, todo esto depende de las condiciones del terreno, es por ello que al realizar un proyecto se tiene que tomar las opciones más eficaces y analizar el factor costo-beneficio. Una carretera puede ser un punto estratégico dentro de cualquier parte del país, teniendo como un beneficio el traslado de mercancías de un punto a otro, lo cual tiene ventajas sobre algunas otras vías de comunicación, vías férreas y transporte aéreo, por medio de los trenes se transporta mucha mercancía el problema es el difícil acceso en algunas zonas, mientras que el transporte aéreo por otra parte resulta ser caros, pero sin embargo de los más rápidos.

### **1.3. Caminos.**

Las carreteras o caminos son parte importante en la vida diaria pues por ella se transita días con día, se consideran como la “adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para las cuales ha sido acondicionada”. (Crespo Villalaz; 2004:1)

Según Crespo Villalaz (2004), los caminos se refieren a la zona rural donde muchas de las veces se adaptan a las veredas hechas por los habitantes de dicha zona y por lo tanto no tienen un proyecto lo más adecuado, mientras que una carretera se refiere a los caminos con características modernas donde se realizó un estudio previo considerando todas las características propias de un proyecto y cumpliendo las

normas, estos caminos también llamados alimentadores son destinados al movimiento de un gran número de personas.

De acuerdo con Crespo Villalaz (2004), los proyectos de caminos deben evitarse hasta donde sea lo más económicamente posible, pues es una de las obras donde se requiere mucho recurso para realizarse. Es por eso que no sólo es necesario tener un buen proyecto, lo más ideal es que la persona que lo lleve a cabo sea una persona experta en el campo.

### **1.3.1. Tipos de camino.**

Como anteriormente se menciona los caminos son parte importante para el desarrollo de una nación, para esto se clasifican en diferentes tipos de acuerdo a su utilidad según Olivera (1996).

Caminos de integración nacional: Los caminos de integración nacional son todos aquellos que principalmente unen el territorio de un país, principalmente estos caminos se realizaron para unir la capital del país con las capitales de las cabeceras municipales, posteriormente la unión entre los municipios. Las carreteras costeras y fronterizas forman parte de esta clasificación de acuerdo con Olivera (1996).

Caminos de tipo social: Como menciona Olivera (1996), estos caminos son los que unen a las principales ciudades o municipios con la población en donde de alguna manera se encuentra marginada por la falta de comunicación, incluyendo servicios como la luz, drenaje, la estructura de estos caminos está formada por una corona de

4 m y con una capa de mejoramiento compactada y en algunas ocasiones con un aglutinante para así poder transitar el resto del año.



Imagen 1.1. Camino tipo social.

Fuente: [www.Google.com](http://www.Google.com)

Caminos para el desarrollo: Estos caminos son construidos estratégicamente, teniendo como objetivo unir poblados en donde las actividades económicas son muy importantes, esto puede ser agricultura, ganadería, industria, turismo, la estructura de estas carreteras requieren previamente un diseño y se reviste con asfalto, su ancho de corona puede ser de 7 a 11 m, su circulación es en dos direcciones según Olivera (1996).



Imagen 1.2. Carretera para el desarrollo.

Fuente: [www.Google.com](http://www.Google.com)

Caminos entre zonas desarrolladas: Estos caminos forman parte importante dentro de cualquier país, pues son los que unen de manera rápida las zonas donde existe un mayor desarrollo, su finalidad es mejorar el tránsito y comunicar puntos de manera rápida y directa según Olivera (1995), en México se le denomina autopistas y tienen una cuota, para realizar estos caminos es necesario un buen diseño y sin duda alguna un excelente estudio previo de la cantidad de tránsito, pues de esto dependerán muchos factores, pueden ser de dos, cuatro, seis o más carriles dependiendo los vehículos que circulen.



Imagen 1.3. Autopista de 4 carriles.

Fuente: [www.Google.com](http://www.Google.com)

### **1.3.2. Clasificación**

Algo muy importante dentro de los caminos es la clasificación, pues de ello dependen factores críticos cuando se pretende diseñar una carretera, la clasificación de un camino se considera por su transitabilidad, administrativa y técnico oficial según Crespo Villalaz (2004), dentro de la clasificación se consideran aspectos importantes que servirán posteriormente para realizar algún proyecto o algún estudio relacionado con la carretera que se desea estudiar o diseñar, pues se consideran aspectos de tipo cuantitativo como el número de vehículos que circulan y así mismo la velocidad permitida.

Dentro de la clasificación administrativa no se consideran aspectos importantes como el número de vehículos que van a transitar por ella o la velocidad con la que van

a circular, sólo es quien la administra así como su mantenimiento, dentro de esta clasificación quien toma un papel importante es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), pues esta dependencia se encarga de gestionar, realizar y cuidar gran parte de las carreteras que existen en México.

Otra forma de clasificación es por su transitabilidad, se enfoca principalmente en las condiciones que presenta el camino de acuerdo con Crespo Villalaz (2004).

- **Terracerías:** Se refiere a terracerías cuando un camino se encuentra a nivel sub-rasante y aun no recibe ningún tipo de mantenimiento o mejoramiento, es decir está totalmente de tierra y puede que en época de lluvias resulte difícil el transitar por esa zona.
- **Revestidos:** Cuando en un camino se coloca material granular total o parcialmente permitiendo su circulación todo el año.
- **Pavimentados:** Es un camino que se encuentra terminado en su totalidad, con un previo proyecto y un terminado de concreto o asfalto.



Imagen 1.4 Representación de caminos

Fuente: Vías de comunicación, Crespo Villalaz, 2004.

De acuerdo con Crespo Villalaz (2004) La clasificación administrativa es la siguiente:

- Federal: Son las carreteras gestionadas íntegramente por la federación, por lo tanto su mantenimiento queda a disposición de ella.
- Estatales: Estos caminos son gracias a la cooperación de la federación y el estado, aportando cada quien el 50% del recurso necesario, estas carreteras quedan a cargo de la Junta Local de Caminos.
- Vecinales o Rurales: Estas carreteras las construyen entre la federación, el estado y los vecinos beneficiarios, aportando cada quien un tercio de su valor total, y la conservación se realiza por medio de la Junta Local de Caminos.
- De Cuota: Se dan a cargo de una dependencia fiscal descentralizada, denominada caminos y puentes federales, recuperando la inversión por medio de cuotas o peajes a lo largo de la carretera.
- Concesionadas: Son construidas por particulares y a su cargo por un número de años para recuperar la inversión.

La siguiente clasificación se llama técnico oficial, si se requiere hacer un proyecto esta es la que nos va ser de utilidad, ya se observa en esta clasificación en la cantidad de vehículos así como su velocidad aproximada.

- Tipo Especial: Para tránsito promedio diario anual a 3,000 equivalente un tránsito horario anual de 360 vehículos, para este tipo de caminos se tiene que hacer un estudio especial, pudiendo tener corona de dos o cuatro carriles.

- Tipo A: Para un tránsito promedio diario anual de 1,500 a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario de 180 a 360 vehículos/hora.
- Tipo B: Para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500, equivalente a un tránsito horario de 60 a 180 vehículos/hora.
- Tipo C: Para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario de 6 a 60 vehículos/hora.

Una de las consideraciones que se debe considerar es el tránsito en ambas direcciones, así como el 50% de vehículos pesados van a transitar diariamente.

#### **1.4. Velocidad.**

La velocidad es uno de los factores más importantes a considerar en un proyecto, de esto depende la seguridad y el diseño principalmente, “velocidad como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo, o sea, una relación de movimiento que queda expresarla, para velocidad constante, por formula:  $V=d/t$ ”. (Crespo Villalaz; 2004:4)

La velocidad con la que se puede mover un vehículo depende principalmente de la topografía del terreno, pues las condiciones que se presenten en sitio junto con la clasificación del lugar determinaran la velocidad de operación.

Existen 4 tipos de velocidad los cuales son:

- Velocidad de proyecto: es la velocidad máxima permitida sin poner en riesgo la integridad de quien transita sobre la carretera.

- Velocidad de operación: es la máxima velocidad por la cual los vehículos pueden desplazarse sobre un tramo bajo las condiciones favorables del camino.
- Velocidad de punto: es la máxima velocidad alcanzada en un punto determinado de un tramo, tal como una tangente con una pequeña pendiente por ejemplo.
- Velocidad global: es la división de la distancia recorrida entre el vehículo de viaje incluyendo las demoras, ya sean por cuestiones ajenas del camino, el clima por ejemplo, si incluir retrasos fuera de camino, gasolineras, restaurantes y recreación. Esto quiere decir, es el promedio de la velocidad mantenida durante un recorrido en un cierto periodo de tiempo.

#### **1.4.1. Velocidad de proyecto.**

Uno de los factores más importantes que se deben considerar para realizar un proyecto geométrico es la velocidad, la seguridad está ligada principalmente con este factor, para esto se establecen límites máximos de velocidad que no sobrepasan los parámetros establecidos asegurando un buen diseño y cumpliendo las normas de seguridad marcadas por la SCT.

“La velocidad de proyecto o velocidad directriz es aquella velocidad que ha sido escogida para gobernar y correlacionar las características y el proyecto geométrico de un camino en su aspecto operacional.” (Crespo; 2004: 6)

La velocidad de un proyecto es primordial para determinar las características geométricas de un camino, los cálculos correspondientes están correlacionados principalmente con la velocidad, la SCT presenta una tabla donde recomienda las velocidades dependiendo del tipo de camino y la topografía.

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

Tabla 1.1. Velocidades de proyecto recomendadas por la SCT.

Fuente: Vías de comunicación, Crespo Villalaz, 2004.

#### **1.4.1. Medición de velocidad.**

Es importante saber la velocidad por la que se transita una carretera, esto principalmente puede resultar de manera experimental para en un futuro tener otros criterios de construcción o simplemente desarrollar nuevas tecnologías en los vehículos de uso diario, también es importante saber la velocidad ya que de esto depende gran parte los accidentes de tránsito.

#### **1.4.1.1. Métodos.**

A continuación se presentarán algunos métodos usados para medir la velocidad en un punto:

- Método del cronómetro: es el más antiguo y más económico de los tres métodos, para esto se requiere un cronómetro y un tramo de pavimento previamente marcado, la distancia puede variar de 30 hasta 100 metros, para esto cuando el vehículo pasa por la primer marca el cronómetro empieza a contar, cuando atraviesa la segunda marca se para, la velocidad simplemente es la distancia recorrida entre el tiempo.
- Método del radar: es un aparato conectado a la batería de un auto, emite ondas de alta frecuencia, lo cual rebotan en el vehículo que se aproxima, el regreso de la onda está registrado en el aparato donde de acuerdo a la intensidad calcula la velocidad.

#### **1.5. Tránsito.**

El tránsito vehicular es un fenómeno causado por la cantidad de vehículos que circulan por una vía, un parámetro importante a considerar cuando se realiza un proyecto geométrico, depende la cantidad de vehículos la correcta proyección de un camino, ya que si en algún momento se considera menos tránsito de lo habitual o sencillamente no se considera se presentara un problema a futuro, pues la

funcionabilidad de la carretera no va ser la adecuada, será un proyecto deficiente sin cumplir su objetivo en específico.

Actualmente existen muchos proyectos de cierta manera críticos en este aspecto, pues transitan más vehículos de lo previsto o vehículos no aptos para el tipo de camino, lo cual trae consigo grandes consecuencias, una de ellas la aparición de baches por ejemplo.

#### **1.5.1. Tipo de tránsito.**

De acuerdo con Crespo Villalaz (2004), la clase de vehículo que transite por algún camino dependerá del tipo de camino que se trate, puede ser que en un lugar turístico la mayoría de carros recorrerán el camino serán de tipo familiar, por otra parte a diferencia de un camino en alguna zona minera , los vehículos que transitaran serán de carga, mayores o menores tonelajes, inclusive son vehículos fuera de carretera, pues por lo general una carretera no está diseñada para soportar las cargas producidas por estos.

#### **1.5.2. Volumen de tránsito.**

“Se entiende por volumen de tránsito cierta cantidad de vehículos de motor que transitan por un camino en determinado tiempo y en el mismo sentido”, (Crespo Villalaz; 2004:10). Se llama tránsito promedio diario (T.P.D) al número de vehículos que transitan un determinado lugar por un tiempo de 24 horas, se toman lecturas durante un periodo de tiempo de aproximadamente 1 año a excepciones especiales,

estos estudios principalmente es comúnmente utilizado en economía, pues este estudio muestra la cantidad de vehículos que circularon en un cierto tiempo, y así observar y analizar si la vía está siendo transitada, sin embargo no es un valor que se pueda utilizar para crear un proyecto geométrico, ya que no considera cambios significantes de volúmenes según Crespo Villalaz (2004).

Un volumen horario es la resultante de dividir la cantidad de vehículos que pasan por un determinado periodo entre periodo de tiempo, de aquí parte los volúmenes horarios máximos, este es el valor de interés para proyectar una carretera o algún diseño geométrico, pues considera valores máximos en un determinado tiempo, y gracias a eso podemos saber en que época del año y a qué hora del día es cuando existe un mayor número de vehículos y de acuerdo con esto adaptar el diseño de la mejor manera posible, y optar por la decisión más favorable.

Necesariamente otros estudios que se tiene que hacer cuando se va a realizar un proyecto en un lugar donde aún no existe algún diseño, se considera aspectos como la geografía, se realiza un estudio socio-económico y político de la región a la par de un estudio de tránsito horario máximo, según Crespo Villalaz (2004).

### **1.5.3. Densidad de tránsito.**

“La densidad es posiblemente el parámetro más importante en el tránsito, porque es la medida más directamente relacionada con la demanda de tránsito”. (<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/417/A4.pdf?sequence=4;13>)

La densidad es el número de vehículos por unidad de longitud, para saber la densidad se aplica la siguiente fórmula.

$$D = \frac{v}{s}$$

D= Densidad (veh /km/carril)

v= Razón de flujo (veh/h)

s= Velocidad promedio del viaje (km/h)

Como se mencionó la densidad es uno de los parámetros más importantes, pues influye directamente en la calidad de la circulación, si la densidad aumenta es más difícil mantener una velocidad constante.

#### **1.5.4. Aforos vehiculares.**

El aforo vehicular es el conteo de vehículos en un periodo determinado dentro de un punto de una carretera, sección de un camino o alguna intersección de interés, este estudio nos ayuda a saber sobre la circulación de una carretera, existen algunos métodos algunos más precisos que otros dependiendo de la exactitud que se pretenda obtener, las características de estudio son según Bañón (2000) son las siguientes:

- Intensidades de circulación.
- Velocidades y tiempos de recorrido de los vehículos.

- Origen, destino y objeto de los viajes realizados.
- Accidentes de circulación.

#### **1.5.4.1. Métodos de aforos.**

Existen varios métodos de aforos pero estos son los que más sobresalen de todos de acuerdo con Bañón (2000).

- Aforos manuales: La efectividad de este método es mayor que la del resto pero sin embargo es uno de los métodos más caros, consta de observar la cantidad de vehículos en un punto de interés y llevar un registro ya sea impreso o por medio de aparatos electrónicos o pulsadores, la ventaja principal es que el observador puede registrar el tipo de vehículos que pasan por la zona, ligeros pesados etc., pero el mayor inconveniente es su alto costo ya que sólo se pueden realizar aforos no menores de 24 horas.

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS Y CAMINOS VECINALES		AFORO DE CARRETERAS					ESTACION				
FECHA DEL REGISTRO		DIA DE LA SEMANA		ESTIVO DE	TIEMPO DE REGISTRO	DIAS	MESES	AÑOS	AÑO N.º	HOJA N.º /	
DATOS											
COMPONENTES		DE	A	DE	A	DE	A	DE	A	DE	A
	CARROS	A									
	BICICLETAS	B									
I MOTOS	MOTOS	1									
II VEHICULOS LIGEROS	COCHES	2									
	CAMIONETAS (4 RUEDAS)	3									
	TRACTORES AGRICOLAS	4									
III VEHICULOS PESADOS	CAMIONES SIN REMOLQUE	5									
	CAMIONES CON REMOLQUE VEHICULOS ESPECIALES	6									
	AUTOBUSES	7									

DATOS TOMADOS POR .....

Imagen 1.5. Formato para llevar un registro de aforos manuales.  
Fuente: Manual de carreteras, Luis Bañón Blázquez 2000.

- Aforos automáticos: Este método se basa en la utilización de mecanismos automáticos, cuentan y almacenan la información para su posterior utilización, entre los aforos automáticos más comunes están los neumáticos, que constan de un tubo forrado de goma que se coloca de manera transversal sobre la calzada y el detector lo forman 2 láminas metálicas que entran en contacto cada que pasa un vehículo.



Imagen 1.6. Aforo neumático.

Fuente: [www.Google.com](http://www.Google.com)

- Aforos móviles: Para este método se necesita internarse en la corriente de tránsito mediante otro vehículo para así contarlos de forma manual para después aplicar la siguiente expresión.

$$I = \frac{C + A - a}{T}$$

C= Número de vehículos que registra el aforador.

A= Número de vehículos que adelantan al aforador.

a= Número de vehículos adelantados.

T= Tiempo de control.

- Aforos fotográficos: Estos aforos se realizan por medio de fotografías aéreas estas fotografías son tomadas desde un helicóptero, pero definitivamente resulta uno de los más costosos de todos, aunque se

pueden observar otros parámetros como las densidades, velocidades e intensidades del tránsito.

#### **1.5.4.2. Estaciones de aforo.**

Para analizar correctamente las constantes vitales para un estudio de tránsito es necesario estar monitoreando en puntos estratégicos para estos se colocan estaciones de aforo, es imposible que todas las estaciones estén trabajando las 24 horas del día o los 365 días del año, de acuerdo con Bañon (2000) se clasifican en 3 tipos:

- Estaciones permanentes: Estas estaciones son de aforo continuo, por medio de un aforo automático, con esta estación se conocen los datos de todas las horas durante todo el año.
  
- Estaciones de control: Estas estaciones se subdividen en dos; Primarias y secundarias y su finalidad es conocer las variaciones que existen en un determinado lugar así como a determinada hora del día.
  - Primarias: Aforos durante toda la semana incluyendo dos días laborables, sábado y domingo, con un intervalo de repetición de uno a dos meses.
  - Secundarias: Se afora un día completo laborable cada dos meses.

- Estaciones de cobertura: Su finalidad es obtener la Intensidad Media Diaria (IMD) con un solo día de aforo no mayor a 24 horas por lo menos una vez al año.

### **1.6. Capacidad de un camino.**

Estudiar de manera específica cada variable del tránsito garantiza el buen funcionamiento de la vía, es por ello que el ingeniero civil tiene un trabajo sumamente importante dentro de la ingeniería de tránsito, pues debe determinar la capacidad práctica de un camino para los nuevos que se van a construir en los cuales se debe prever los volúmenes de tránsito que alojaran, para evitar saturación en los caminos viejos de acuerdo con lo dicho por Crespo Villalaz (2004).

“La capacidad práctica de trabajo de un camino es el volumen máximo que alcanza antes de congestionarse o antes de perder la velocidad estipulada.”(Crespo Villalaz; 2004:12)

### **1.7. Derecho de vía.**

La carretera no solo está formada por terracerías, superficie de rodamiento y obras auxiliares que ayudan al buen drenaje, un elemento importante es el derecho de vía, lo cual es la superficie de terreno de anchura variable que la fija la SCT para la conservación, construcción, ampliación y protección de la carretera, como es dominio

público le pertenece a la federación los cuales delimitan la zona ya sea con postes, malla etc.

Según tesis.uson.mx (2006) el uso de esta franja es para establecimiento de accesos, paradores, cruzamientos señalizaciones o anuncios que solicitan particulares, empresas o dependencias oficiales, todo esto lleva un trámite de por medio.

Cuando se realiza una carretera existe la posibilidad de que resulten terceras personas afectadas, es decir que su propiedad pertenece a la zona federal, cuando una persona es afectada se le tiene que pagar por su propiedad; los encargados de esta área es un departamento de derecho de vía de la secretaria de obras públicas, que se encargan de valuar y comprobar con documentos que es el dueño de la propiedad.

### **1.8. Elementos de las secciones transversales de los caminos.**

De acuerdo con Merritt, Loftin y Ricketts (2008), la configuración geométrica de la sección transversal, horizontal y vertical son las tres partes que comprenden la geometría de un camino típico, el tipo, el tamaño y el número de elementos usados en un camino están directamente relacionados con su tipo y la función correspondiente del mismo.

### 1.8.1. Carriles de circulación.

“Los carriles de circulación son esa sección de una carretera sobre la que se mueve el tráfico” (Merritt, Loftin y Ricketts; 2008: 16.2), de acuerdo a su geometría los principales parámetros que definen un carril de circulación son el número de carriles, ancho y pendientes transversales.

Los carriles suelen ser mayores de 3 metros, por lo general se utilizan de 3.5, el ancho de estos depende principalmente de la capacidad del camino, el número de carriles también depende de la capacidad del camino y características como la clasificación del camino y volumen de diseño del tráfico.

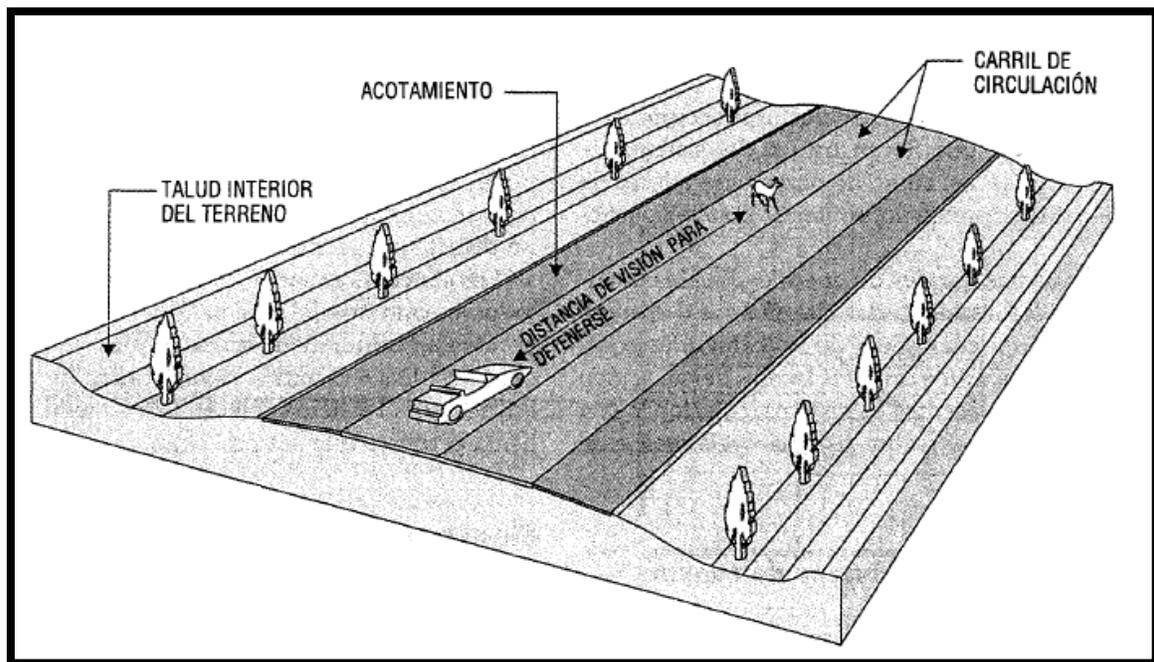


Imagen 1.7. Carretera típica de dos carriles de circulación.

Fuente: Manual del Ingeniero Civil, Merritt, Loftin y Ricketts 2008.

### **1.8.2. Pendientes transversales de las carreteras.**

Todos los caminos de dos carriles o más por norma deben tener una pendiente desde el centro o punto más alto a los bordos del camino, a esta pendiente se le conoce como bombeo del camino de acuerdo con Merritt, Loftin y Ricketts (2008).

La función principal del bombeo es la de drenar el agua depositada sobre la carretera para evitar principalmente los daños por erosión de la carpeta de pavimento, existen dos tipos de bombeo , unidireccional y de pendiente transversal, el bombeo unidireccional drena el agua con mayor lentitud pero debido a que solo se considera la pendiente en un solo sentido la obra drenaje para captar el agua que escurre por la carpeta solo se necesita de un solo lado, a diferencia del bombeo de pendiente transversal que se necesita obras de captación en ambos lados del camino, las pendientes transversales son las usadas en tangentes y la pendiente unidireccional únicamente en secciones de curvas horizontales.

La pendiente depende también del tipo de pavimento que se utilice, esto debido a la diferente fricción generada por el material, la “American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)” recomienda diferentes pendientes que van desde 1.5 % hasta 6% dependiendo principalmente de la calidad del pavimento.

En México la mayoría de los caminos asfaltados de dos carriles se dispone un bombeo de 2% es decir por cada unidad de metro se presenta un desnivel de 2 cm. Del eje del camino a los hombros correspondientes, cuando se presenta una curva el bombeo aumenta de acuerdo al sobre-elevación que se presente, el bombeo se

presenta desde el centro de la curva hasta los hombros sin tener variaciones de acuerdo con Rodríguez y Hermilo (1994).

### **1.8.3. Acotaciones.**

De acuerdo con Merritt, Loftin y Ricketts (2008), el acotamiento es aquella parte del camino que se encuentra entre el borde de la calzada por la que se transita y el borde de la guarnición, la principal función de un acotamiento es diseñar un lugar para detener y estacionar temporalmente los vehículos en caso de alguna emergencia, los acotamientos deben de soportar la abrasión ocasionada por los vehículos.

Se sugiere que los acotamientos estén cubiertos o pavimentados hasta el riego de impregnación, de esta manera se genera una sensación de mayor seguridad al usuario de la carretera, los anchos de el acotamiento pueden variar de  $1.8n$  hasta 3.5m por carril de circulación.

### **1.8.4. Guarniciones.**

Las guarniciones son estructuras que se colocan en la orilla de la carpeta asfáltica o en las banquetas, su función principal es evitar los deslizamientos de las banquetas y confinar de alguna manera la carpeta asfáltica, en los pasos a desnivel o a nivel las banquetas tienen también guarniciones y cumplen exactamente la misma función.

Las guarniciones tienen otra función la cual es la de proteger que los vehículos se salgan de la calzada y dañen las guarniciones o ellos mismos sufran daños, de una manera indirecta las guarniciones ayudan a canalizar el agua ya que por medio de la pendiente que se tenga en la calzada dirigen el agua hacia los extremos lo cual ayudan a canalizar de alguna manera el agua escurrida llevándola a los drenajes cunetas según Rodríguez y Hermilo (1994).

De acuerdo con Merritt, Loftin y Ricketts (2008), las guarniciones se clasifican de dos tipos:

- *Parapetos*: por lo general este tipo de guarniciones se utiliza a lo largo de las caras de muros o túneles así como carreteras donde la velocidad no es muy alta de igual manera el volumen de vehículos, la finalidad de este tipo de guarniciones es la de prevenir y limitar que el vehículo se salga de la calzada, la altura varía de 6" a 9",
- *Guarniciones factibles de subirse*: este tipo de guarniciones se diseñan con la finalidad de que los vehículos puedan atravesar de un lado al otro por encima de la guarnición, en caso de emergencia o cualquier situación especial, se recomienda que no sean mayores de 4", y necesitan tener un buen señalamiento para evitar accidentes.

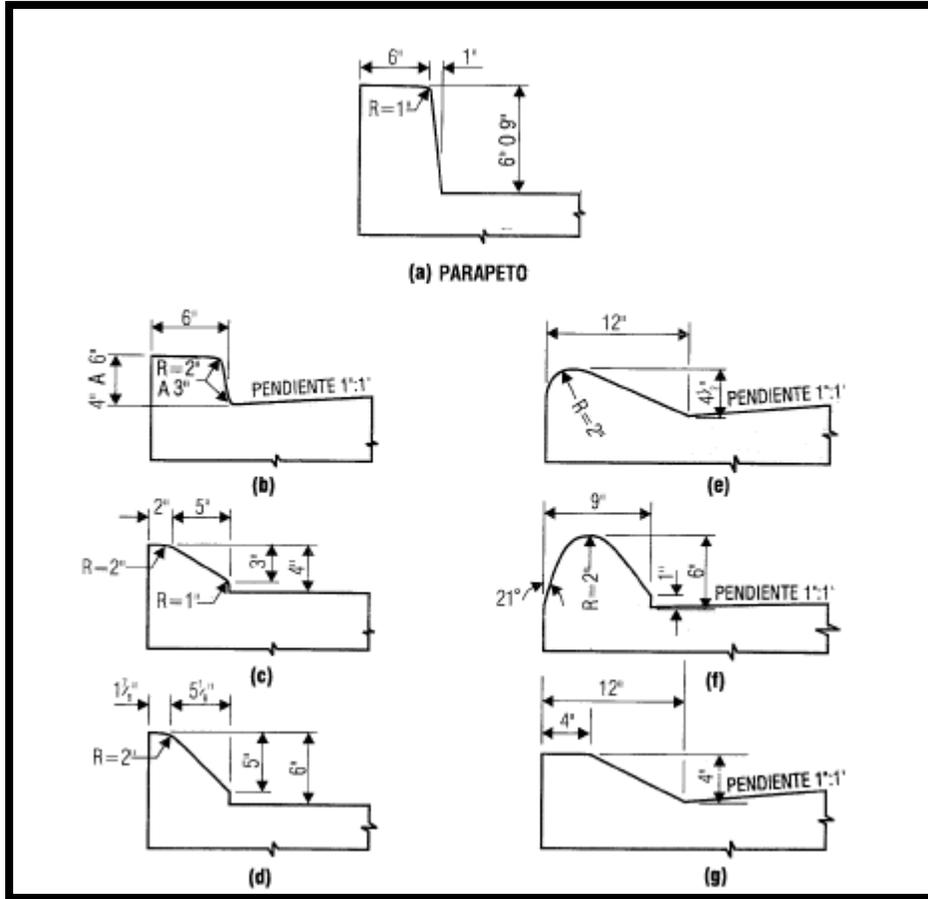


Imagen 1.8. Diferentes tipos de guarniciones.

Fuente: Manual del Ingeniero Civil, Merritt, Loftin y Ricketts 2008.

### 1.9. Drenaje en carreteras.

El agua en uno de los principales problemas dentro de las obras civiles, es un factor con lo que los ingenieros civiles tienen que lidiar, en la realización de una carretera es de suma importancia la consideración de las obras de drenajes, principalmente son de dos tipos, superficiales y subterráneos.

“se define sistema de drenaje de una vía como el dispositivo específicamente diseñado para la recepción, canalización y evacuación de las aguas que puedan

afectar directamente a las características funcionales de cualquier elemento integrante de la carretera”. (Bañón; 18,2:2000)

De acuerdo con Rodríguez y Hermilo (1994) dentro de los drenajes de las carreteras los más espectaculares son las grandes obras transversales como lo son los puentes o las alcantarillas, son los encargados del paso de las grandes cantidades de agua, arroyos o ríos, para un buen diseño de una obra como la mencionada se deben considerar su diseño a un futuro y se debe de prever los grandes volúmenes de agua que pueden pasar en un cierto tiempo o periodo, ya que de no ser así se expone la obra a una gran posibilidad de fallar en algún momento dado, esto es decir en alguna venida máxima ya que son cíclicas y cada cierto tiempo se repiten, para esto se necesita tener un historial hídrico con las lluvias que se han presentado a lo largo de algunos años.

### **1.9.1. Clasificación de los drenajes.**

En base a lo dicho anteriormente los drenajes son superficiales y profundos. A continuación se especifica cada uno, según Bañón (2000):

- Drenaje superficial: Este tipo de drenaje es uno de los más importantes ya que es el encargado de la recolección de aguas pluviales producidas por las lluvias o el deshielo según sea el caso, para la evacuación a los cauces naturales o alcantarillados, es necesario resaltar que cualquier tipo de obra complementaria como son los drenajes no se realizan necesariamente en toda la carretera o en todos los proyectos, se necesita

estudiar la topografía del terreno para así colocarlos de manera correcta sin hacer gastos innecesarios, estos se subdividen en dos tipos:

- *Longitudinales*: Son los encargados de la evacuación del agua que cae depositada sobre la carpeta asfáltica de forma paralela a la calzada, dentro de las obras de drenaje que más se emplean las principales son las cunetas, bordillos, etc.
- *Transversal*: Son los encargados de evitar la obstrucción de los causes en los pasos o barrancas que tienen de forma natural cuando se realiza una vía para evitar destrozos posteriores, dentro de las más impresionantes se encuentran los puentes y alcantarillas.
- *Drenaje profundo*: Estos drenajes su principal misión es impedir el paso del agua de los mantos acuíferos por capilaridad para dañar las capas de mejoramiento que constituyen el pavimento, dentro de estos drenajes los más comunes son drenes, dren francés, desagüe con tuberías entre algunos otros.

### **1.9.2. Drenaje longitudinal.**

A continuación se presentan las obras complementarias de drenaje longitudinal que tiene que tener una carretera según Rodríguez y Hermilo (1994).

### **1.9.2.1. Bordillos**

Así como las guarniciones los bordillos son estructuras que se colocan en la parte exterior de la calzada, a diferencia de las guarniciones los bordillos se colocan en las carreteras o autopistas, de acuerdo con Rodríguez y Hermilo (1994), estas estructuras solo se colocan en la parte tangente de la carretera y forman una pequeña barrera para conducir el agua hacia los lavaderos, en México se utilizan los bordillos en sección trapecial, de concreto hidráulico o asfáltico, los bordillos no deben ser mayores a 25 cm , ya que son diferentes factores los que se originan a raíz de la altura, puede ser que los usuarios originen una sensación psicológica de confianza, y como consecuencia puede resultar que se estacionen en las acotaciones o transiten por encima de esta estructura, lo cual puede ser devastador ocasionando un accidente, y por otra parte puede que la puerta de los vehículos no pueda abrir debido a la altura.

### **1.9.2.2. Cunetas y Contra cunetas.**

Las cunetas es una de las obras complementarias de drenaje más importantes en una vía terrestre, el papel principal es evacuar el agua que cae sobre la calzada de la manera más rápida y lo mejor posible evitando posibles daños de a taludes y propiamente a la estructura del pavimento, estas estructuras se colocan sobre las secciones de corte.

“Las cunetas son canales que se adosan a los lados de la corona de la vía terrestre, en el lado del corte en secciones de tal naturaleza; en cortes en balcón hay

entonces cuneta en un solo lado y en cortes en cajón, en los dos” (Rodríguez y Hermilo; 1994:245)

Las cunetas se forman de secciones trapeziales o triangulares, revestidas de concreto en su mayoría con una pendiente mínima del 0.5%, la sección triangular en la forma más común que se utiliza en México, la cual tiene una altura aproximada de 30 cm y 1 m de ancho, con un talud 3:1, o 4:1 según sea el caso.

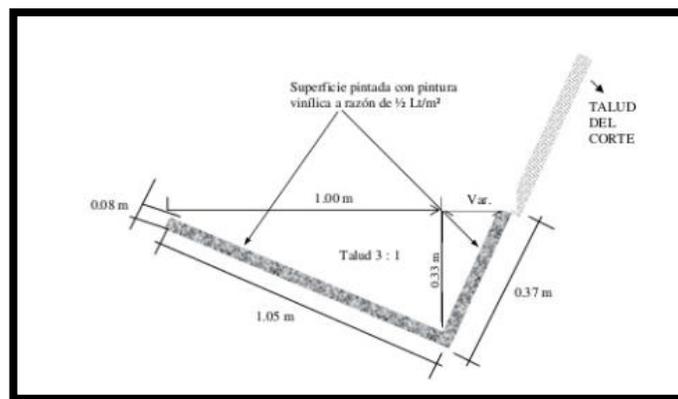


Imagen1.10. Sección de cuneta.

Fuente: Normas de la SCT.

“Se denomina contra cunetas a los canales, excavados en el terreno natural o formados con pequeños bordos, que se localizan aguas arriba de los taludes de los cortes” (Rodríguez y Hermilo; 1994:252), se localizan en zonas elevadas de un talud a una distancia de 8 a 10 m del centro de la corona, su principal función es la de evitar que el talud se erosione y se saturen las cunetas, el agua captada por las contra cunetas se conduce hasta cañadas o cuerpos de agua para seguir con su cauce natural.

### **1.9.2.3. Lavaderos**

Los taludes tiene que ser lo suficiente seguros en una vía terrestre, ya que si llegan a sufrir alguna falla pueden poner en peligro a los usuarios que utilizan la vía terrestre, los lavaderos tienen una función importante para evitar que los taludes sufran problemas principalmente de erosión, “los lavaderos son canales que se conectan con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes, con la misión de conducir el agua hasta lugares alejados de los terraplenes” (Rodríguez y Hermilo; 1994:237).

Estas estructuras se utilizan únicamente en terraplenes , canalizando el agua para conducirla a un lugar donde sea inofensiva para toda la estructura, terraplén y pavimento, en muchos casos los terraplenes cuentan con una pendiente muy fuerte y esto origina que, la velocidad que toma el agua cuando desciende por esta estructura puede dañarla, para evitar este problema se reviste con concreto y para disipar la energía cinética del agua se coloca mampostería con rugosidad o el escalonamiento en todo el lavadero, de esta manera se amortigua la energía producida por el gasto que conduce la estructura hasta depositarlo en las cunetas o en algún lugar donde no resulte dañino para toda la estructura según Rodríguez y Hermilo (1995).

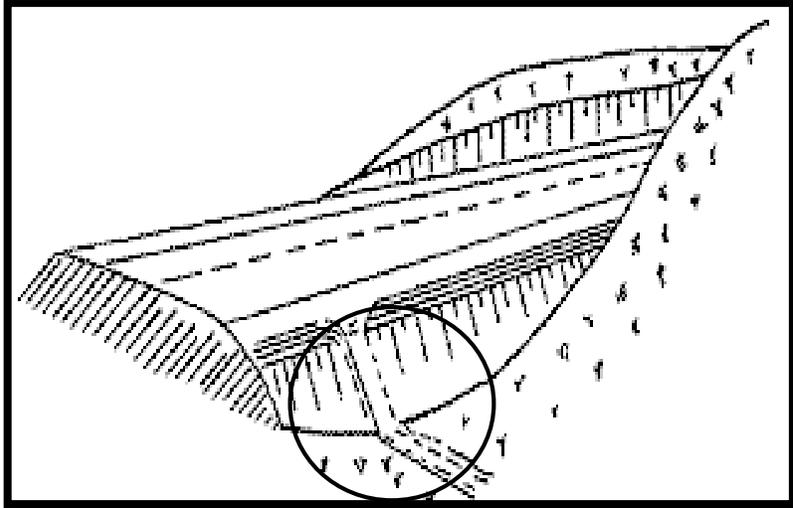


Imagen 1.11. Lavadero.

Fuente: [www.Google.com](http://www.Google.com)

### 1.9.3 Drenaje transversal

Cuando se prevé diseñar una carretera se necesitan tomar muchos factores en cuenta, uno de los principales son ubicar los cauces naturales que toman lugar en el área de proyecto para así dar paso rápido al agua de un lado a otro, es necesario tomar en cuenta el gasto máximo que podría ocurrir en una venida máxima, es por eso que se necesita diseñar de la mejor manera para evitar los problemas que posteriormente se pueden presentar, otra característica importante de los drenajes transversales es que son en algunos casos especiales son obras de los más impresionantes se clasifican de acuerdo a la longitud que tenga respectivamente , Alcantarillas o Puentes.

### 1.9.3.1. Alcantarillas

Las alcantarillas son elementos estructurales encargados de permitir el paso del agua de un afluente sin dañar la estructura y con la capacidad suficiente para permitir que el gasto pase sin ningún problema, de no ser así se empiezan a generar represas y esto tiene una gran consecuencia ya que inundara zonas o dañara la estructura del pavimento.

La función de las alcantarillas es conducir el agua de las partes más baja del terreno por medio de obras de mampostería, tubo, bóvedas, losas sobre estribos y cajones. Una alcantarilla tiene muros de contención que sirven para retener el terreno y canalizar el agua con un ángulo de  $30^\circ$  respecto al eje longitudinal.

En el interior de la alcantarilla es necesario proteger el suelo contra el desgaste ocasionado por acción del agua por esa razón se coloca un zampeado el cual sirve como protección para evitar desgaste y socavación en la estructura de la alcantarilla, por lo general el zampeado se coloca en la entrada de la estructura.

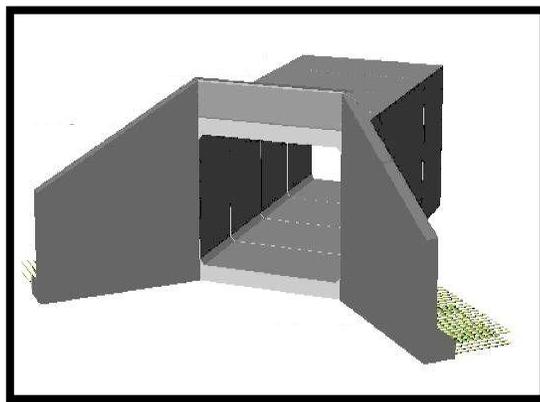


Imagen 1.12. Alcantarilla de losa de concreto.

Fuente: [www. Google.com](http://www.Google.com)

## **CAPÍTULO 2**

### **PROYECTO GEOMÉTRICO**

De acuerdo al manual de proyecto geométrico de la SCT (2016), el proyecto geométrico forma parte del proceso constructivo abarcando la ejecución de estudios de ingeniería para ordenar y dimensionar los alineamientos horizontales y verticales, satisfaciendo eficazmente la demanda de vehículos.

En el siguiente capítulo se abordaran los principales factores que se deben de considerar para realizar un proyecto geométrico, así como las consideraciones y características con las que debe contar para que sea seguro y con los requerimientos de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), se definirán principalmente el alineamiento horizontal y vertical y los parámetros que se deben tomar en cuenta para realizar un buen diseño.

#### **2.1. Proyecto.**

El proyecto es la base para realizar toda obra, el proyecto tiene toda la información necesaria para llevar a cabo de la mejor manera la ejecución, así como las dimensiones diseñadas.

Con respecto a lo dicho por Bañón (2000), cuando se realiza un proyecto de una carretera son muchos los factores que influyen, el proyectista debe tener la capacidad para proyectar el diseño de la manera que resulte más económica, aunque en ocasiones el diseño lo marcara un aspecto geográfico, político o estratégico.

Bañón (2000) clasifica los proyectos en el siguiente orden.

- *Proyectos de nuevo trazo:* son todos los proyectos que tienen como finalidad la definición de una nueva vía de comunicación.
- *Proyecto de duplicación de calzada:* estos proyectos implementan nuevas construcciones de calzadas sobre una ya existente de manera paralela para que la carretera tenga una mayor funcionalidad modificándola.
- *Proyectos de mejoras locales:* Su propósito fundamental es la adecuación de determinados puntos de la vía que plantean problemas de funcionalidad para esto se realizan modificaciones únicamente en ciertos puntos que genera conflictos.

## **2.2. Planeación general.**

De acuerdo con la SCT (2016), la planeación es el proceso mediante el cual se definen acciones para lograr un objetivo, implica diagnosticar la situación de acuerdo al proyecto , en esta etapa se consideran las determinación de las necesidades que pudiera tener el proyecto en el presente y en el futuro, para esto se realiza el estudio de viabilidad, que analiza la demanda del proyecto para justificar la necesidad de construcción , de acuerdo a las exigencias analizadas se puede determinar la mejor opción para llevar a cabo el proyecto

Cuando el proyecto se declara viable se realizan diferentes estudios previos al diseño del proyecto definitivo, algunos de los estudios se mencionan a continuación.

- *Estudio de planeamiento:* en este estudio se define un esquema del desarrollo para un determinado año, así como características, se estudian factores principalmente urbanísticos y socioeconómicos de la zona en donde se pretende construir, así como la zona que se verá afectada para tomar las medidas correspondientes.
- *Estudios técnicos previos:* estos estudios recopilan información de la zona que se afectará por la construcción, así como estudios de topografía, geología, geotecnia, pluviometría y desarrollo urbano.
- *Estudio informativo:* son documentos que definen los trazados y características propias de la carretera, esta información tiene un plazo de exposición pública para que cualquier individuo pueda interponer posibles alegaciones para si existe alguna anomalía modificar el trazo.

### **2.3. Anteproyecto.**

Para integrar un anteproyecto es necesario realizar una selección de ruta que es una de las partes más importantes del proyecto, de esta ruta depende principalmente los costos y beneficios que se cuantifican en estudios posteriores, en esta etapa se selecciona una posible ruta que satisfaga con las características que presenta el proyecto así como satisfacer con la demanda de vehículos para

posteriormente proyectar de una buena manera de acuerdo a la SCT, en la selección de ruta se involucran diversas cuestiones como acopio de datos, reconocimiento de terreno por medio de fotografías aéreas o levantamientos aéreos.

Cuando se selecciona la mejor ruta para el proyecto se integra el anteproyecto, en este se definen más a detalle los aspectos como las rutas más viables y más detalladas dentro de la ruta, características geotécnicas, hidrológicas, restricciones ambientales, arqueológicas, etc.

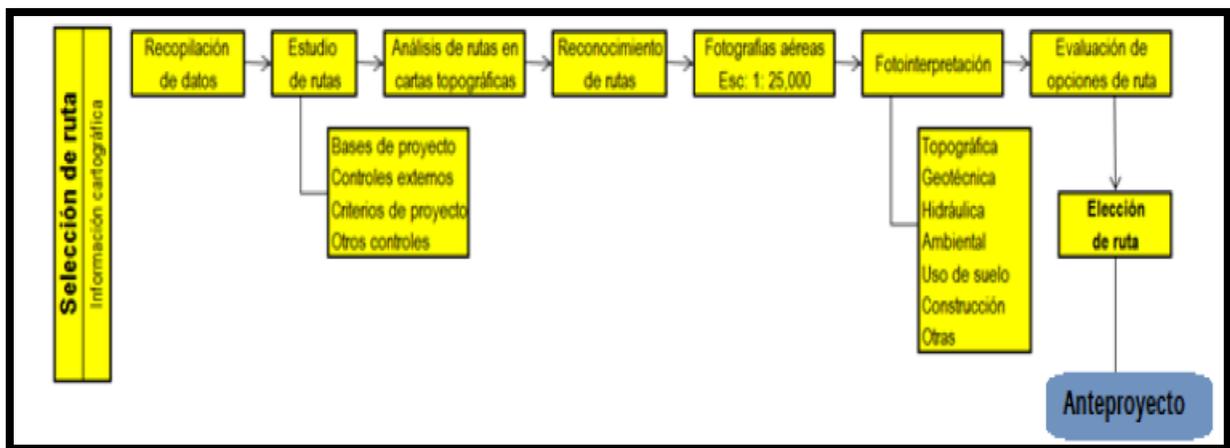


Imagen 2.1. Proceso de la selección de ruta.

Fuente: Manual de proyecto geométrico, SCT 2016.

En la imagen 2.1 se puede apreciar los aspectos a considerar para llegar al anteproyecto, es necesario realizar correctamente la selección de la ruta, de esto dependerá si el anteproyecto se realizará de la mejor manera y considerando todos los aspectos posibles que puedan influir en la elección de un proyecto adecuado.

De acuerdo con Bañón (2000), el anteproyecto es un esquema en el que se elaboran fases más elaboradas, pero no son las definitivas del proyecto final, su finalidad es analizar detalladamente las posibles variables o trazados alternativos de la vía, todo esto se realiza de acuerdo a la topografía del terreno, la disponibilidad y su aptitud geotécnica, así como el impacto ambiental que ocasionara la construcción del proyecto.

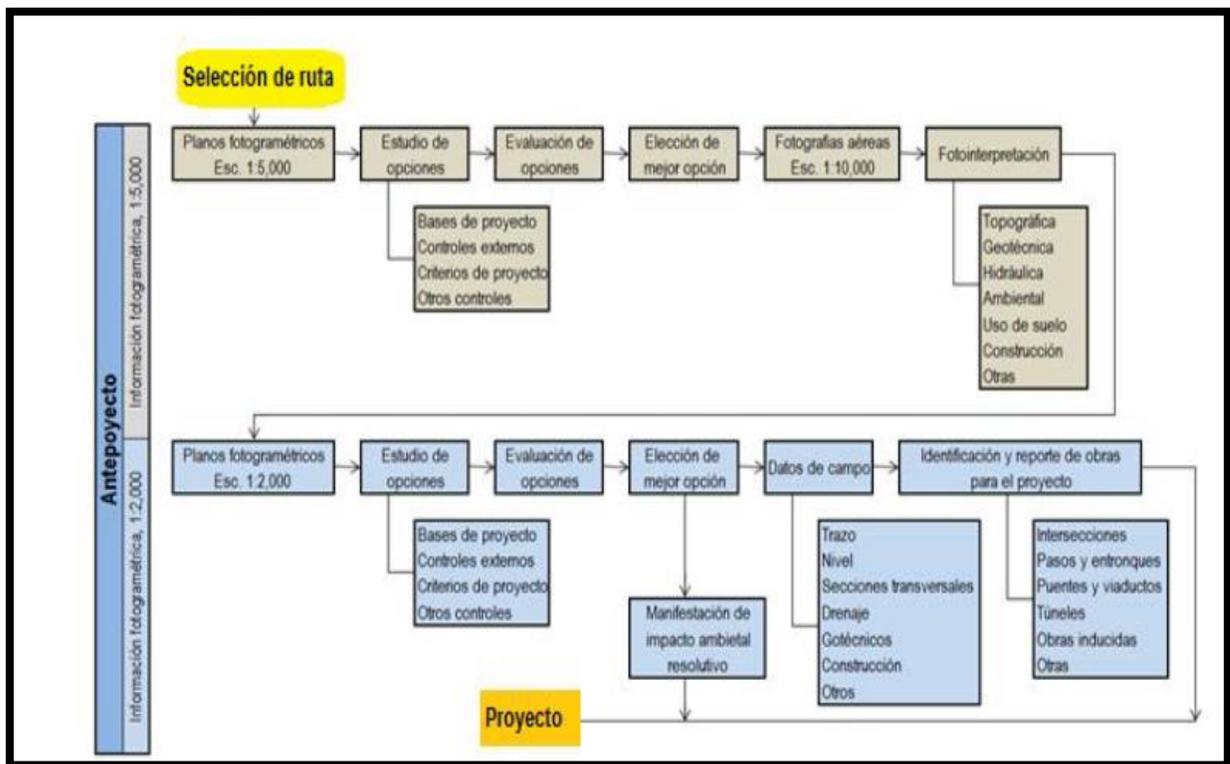


Imagen 2.2. Procesos para definir el anteproyecto.

Fuente: Manual de proyecto geométrico, SCT 2016.

Según Bañón (2000), el anteproyecto se integra con los siguientes documentos:

- *Memoria*: en este documento se expresan las necesidades a satisfacer por la obra, de igual manera los factores que intervienen en el desarrollo del proyecto; sociales, ambientales y técnicos.
- *Anejos a la memoria*: en este documento se integran los documentos justificados por la memoria, así como los estudios topográficos, geológicos, geotécnicos, ambientales, y cualquier otro estudio que se considere necesario.
- *Condiciones establecidas en el estudio de impacto ambiental*: en este documento se anexan las conclusiones del estudio de impacto ambiental de la zona de proyecto, este estudio lo realiza la dependencia correspondiente (SEMARNAT).
- *Planos*: los planos se realizan a escala de 1:5000 o 1:2000, en planta y perfil, las obras de fábrica con escalas de 1:100 a 1:20, lo suficiente para que la obra quede clara.
- *Presupuesto*: en este documento se tiene que tener un precio aproximado de la valoración de las obras, para de esta manera saber la magnitud económica.
- *Posible descomposición del anteproyecto en proyectos parciales*: se analiza la posibilidad de redactar varios proyectos parciales de la vía, dividiéndola en tramos.
- *Estudio económico y de costes de explotación*: en este documento se integran la viabilidad y rentabilidad de la obra cara a su

explotación, en el caso de que sean aplicables tarifas o peajes, como en autopistas.

## **2.4. Proyecto.**

Según la SCT (2016), el proyecto es el resultado de los procesos que determinan las características, dimensiones y ordenamiento de los elementos de una carretera, el ordenamiento depende principalmente del alineamiento horizontal y vertical, al igual que las dimensiones, el proyecto debe incluir información sobre las características de la zona como la geotecnia, la geología, la hidrología, así como los volúmenes de terracerías y obras menores y complementarias de drenaje.

El proyecto debe tener todas las especificaciones de la SCT, así como los planos y los cálculos en la memoria técnica.

### **2.4.1. Elementos básicos para el proyecto.**

Para diseñar un proyecto geométrico se deben considerar diferentes factores para el buen funcionamiento de la vía, de acuerdo con la SCT (1991), el proyecto está basado en características físicas del individuo como usuario del camino, de los vehículos y del camino.

#### **2.4.1.1. Usuario de la vía.**

Es necesario considerar al usuario de la vía, debido a que es el principal individuo que utiliza las carreteras, la operación de la carretera requiere de conocer las características físicas y psicológicas de los usuarios, de lo contrario si no se considera estos factores existe la posibilidad de que la carretera no sea la mejor en cuestión de operación y seguridad para los peatones que también son usuarios, aunque en menor medida que los automovilistas.

De acuerdo con la SCT (1991), para que un individuo desempeñe bien su trabajo es necesario considerar los factores que pudieran afectar la capacidad de manejar o la posibilidad de accidentes cuando esté operando la vía.

- La tierra: su uso y actividades.
- Ambiente atmosférico: estado del tiempo y visibilidad.
- Obras viales: carreteras, ferrocarriles, puentes, terminales.
- La corriente del tránsito y sus características.

##### **2.4.1.1.1. Visión del usuario.**

La visión sin duda alguna es uno de los sentidos más importantes que tiene el ser humano, ya que este sentido es un medio en el cual el individuo obtiene información de lo que acontece a su alrededor, según la SCT (1991), muchos de los problemas operacionales y de proyecto requieren conocimiento de las características generales de la visión humana.

Es de vital importancia considerar factores cuando el usuario maneja sobre la vía considerar factores como la agudeza visual, la visión periférica, la recuperación al deslumbramiento, la percepción de los colores y la profundidad de percepción, esto quiere decir que el usuario debe de ser capaz de ubicar objetos que pudieran estar en la periferia del camino así como ver el camino en la noche con escasez de luz y condiciones de deslumbramiento, de igual forma identificar los colores de señalamientos y semáforos.

#### **2.4.1.2. Tiempo de reacción.**

Se debe considerar el tiempo de reacción como uno de los factores más importantes para el diseño de una carretera debido a que la aparición de obstáculos o situaciones externas pueden ocasionar accidentes de acuerdo con Bañòn (2000), se produce una serie de sucesos que se explican en seguida:

- *Presencia:* cuando los obstáculos aparecen inesperadamente sobre la vía de la carretera.
- *Percepción:* de manera incidental los rayos solares reflejan sobre un objeto y rebotan y llegan a la vista del conductor.
- *Transmisión:* la retina convierte y transmite los datos al cerebro.
- *Decisión:* el conductor analiza las posibles alternativas ante la situación existente, en base a datos almacenados anteriormente, para tomar su decisión.
- *Acción:* el cerebro envía impulsos por medio de los nervios motores a los músculos implicados, actúan realizando la evasión del objeto.

El tiempo de reacción depende principalmente del estado psicofísico del conductor y varía dependiendo la persona, las situaciones anteriores suceden relativamente rápidas, en un lapso de tiempo corto. El tiempo de reacción generalmente oscila entre 0.75 y 1 segundos, pero depende únicamente del usuario, si es una persona con problemas en la vista, si consumieron bebidas alcohólicas, etc. Para el diseño del proyecto carretero se utiliza un tiempo de reacción de 2 segundos.

#### **2.4.1.3. Vehículos de proyecto.**

Para realizar un proyecto geométrico es necesario conocer las diferentes condiciones que contara el proyecto, para el diseño de deben considerar las características de los vehículos, ya que los conductores son los usuarios de las carreteras, de acuerdo con la SCT (2016), depende del tipo de camino son las características físicas y operacionales que puede tener un vehículo que transite por la vía.

“El vehículo es el nexo entre el conductor que lo maneja y la vía que lo contiene” (Bañòn; 2000: 3.7), de esta manera la gran importancia de estudiar las características físicas y operacionales de los vehículos, pueden variar sus formas pesos y tamaños, Bañòn los clasifica de la siguiente manera:

- *Biciclos o motocicletas*: son vehículos de dimensiones muy reducidas y gran movilidad, su presencia en el tránsito no es de mucha trascendencia.

- *Ligeros o turismos:* son vehículos de 2 ejes destinados al transporte de personas, de mercancías ligeras no muy voluminosa, dentro de esta clasificación se encuentran vehículos como las camionetas y furgonetas, este tipo de transito es muy importante desde una perspectiva cuantitativa, ya que su participación en el transito está muy por encima de otro tipo de vehículos.
- *Pesados o camiones:* este tipo de vehículos son parte importante en el estudio del diseño, ya que sus dimensiones y pesos son de mayor magnitud que las de otro tipo de vehículos generalmente.

De acuerdo a la SCT, los vehículos se clasifican con una letra que los identifica dependiendo el tamaño y los ejes principalmente y se clasifican de acuerdo a las siguientes tablas:

Autobuses							
Nomenclatura	No. de ejes	No. de llantas	Configuración del vehículo	Clasificación funcional de la carretera y largo máximo autorizado por clase de vehículo			
				A	B	C	D
B2	2	6		14	14	14	12,5
B3	3	8 o 10		14	14	14	12,5

Tabla 2.1. Clasificación de vehículos de proyecto.

Fuente: Manual de proyecto geométrico, SCT 2016.

Camión Unitario (C)							
Nomenclatura	No. de ejes	No. de llantas	Configuración del vehículo	Clasificación funcional de la carretera y largo máximo autorizado por clase de vehículo			
				A	B	C	D
C2	2	6		14	14	14	12,5
C3	3	8 ó 10		14	14	14	12,5

Tabla 2.2. Clasificación de vehículos de proyecto.

Fuente: Manual de proyecto geométrico, SCT 2016.

Camión – Remolque (C-R)							
Nomenclatura	No. de ejes	No. de llantas	Configuración del vehículo	Clasificación funcional de la carretera y largo máximo autorizado por clase de vehículo			
				A	B	C	D
C2-R2	4	14		31	28,5	NA	NA
C3-R2	5	18		31	28,5	NA	NA
C2-R3	5	18		31	28,5	NA	NA
C3-R3	6	22		31	28,5	NA	NA

Tabla 2.3. Clasificación de vehículos de proyecto.

Fuente: Manual de proyecto geométrico, SCT 2016.

Tracto camión – Articulado (T-S)							
Nomenclatura	No. de ejes	No. de llantas	Configuración del vehículo	Clasificación funcional de la carretera y largo máximo autorizado por clase de vehículo			
				A	B	C	D
T2-S1	3	10		23,0	20,8	18,5	NA
T2-S2	4	14		23,0	20,8	18,5	NA
T2-S3	5	18		23,0	20,8	18,5	NA
T3-S1	4	14		23,0	20,0	18,5	NA
T3-S2	5	18		23,0	20,8	18,5	NA
T3-S3	6	22		23,0	20,8	18,5	NA

Tabla 2.3. Clasificación de vehículos de proyecto.

Fuente: Manual de proyecto geométrico, SCT 2016.

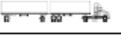
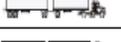
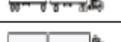
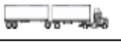
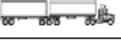
Tracto camión – Semirremolque – Remolque (T-S-R)							
Nomenclatura	No. de ejes	No. de llantas	Configuración del vehículo	Clasificación funcional de la carretera y largo máximo autorizado por clase de vehículo			
				A	B	C	D
T2-S1-R2	5	18		31,0	NA	NA	NA
T2-S2-R2	6	22		31,0	NA	NA	NA
T2-S1-R3	6	22		31,0	NA	NA	NA
T3-S1-R2	6	22		31,0	NA	NA	NA
T3-S1-R3	7	26		31,0	NA	NA	NA
T3-S2-R2*	7	26		31,0	NA	NA	NA
T3-S2-R3	8	30	 Falta un eje en el dibujo	31,0	NA	NA	NA
T3-S2-R4*	9	34		31,0	NA	NA	NA
T2-S2-S2	6	22		31,0	NA	NA	NA
T3-S2-S2	7	26		31,0	NA	NA	NA
T3-S3-S2	8	30		25,0	NA	NA	NA

Tabla 2.4. Clasificación de vehículos de proyecto.

Fuente: Manual de proyecto geométrico, SCT 2016.

#### **2.4.1.4 Cargas de proyecto.**

Para diseñar cualquier estructura es necesario evaluar las cargas que soportará para evitar todo tipo de daño por un mal diseño, en el caso de un proyecto carretero las cargas que se consideran son los vehículos que transitan sobre el pavimento, estas cargas se distribuyen al terreno y dependiendo el ancho de la corona serán transmitidas al suelo.

De acuerdo con Crespo Villalaz (2004), las cargas que se deben considerar para diseñar son las cargas vivas, impacto, presión de viento, esfuerzos longitudinales, etc. Para el diseño de un pavimento se consideran únicamente las cargas vivas, y se diseñan bajo las condiciones de la American Association State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.), las cargas se designan con la nomenclatura H y HS.

La AASHTO considera para un camión de dos ejes de carga la letra H, en seguida de la letra se coloca un número; 10, 15, 20. Estos números indican el peso bruto del camión en toneladas, la letra HS corresponden a un camión de dos ejes con un semi-remolque de un solo eje, se coloca un número en seguida de la letra , indica el peso en toneladas del camión y el semi-remolque, la distribución de peso bruto es de la siguiente manera, 80% para los ejes traseros y 20% para los ejes delanteros.

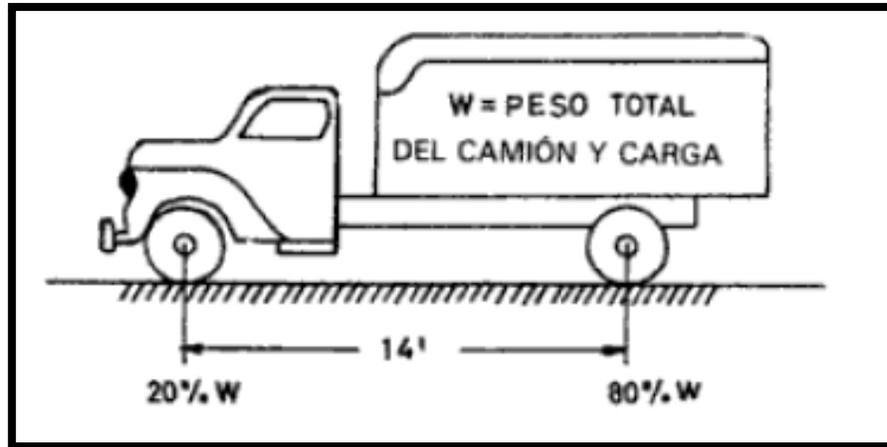


Imagen 2.3. Distribución del peso en un camión de dos ejes.

Fuente: Vías de comunicación, Crespo Villalaz, 2004.

Para determinar el diseño del proyecto únicamente se consideran las mayores cargas que serán transmitidas al suelo, y estas cargas las producen los vehículos de mayores dimensiones, puesto que dependiendo de estos vehículos se determinará el ancho de la calzada y la magnitud, la distribución del peso del vehículos son otros factores que se deben considerar para el dimensionamiento de la calzada, la presión de los neumáticos transmiten cargas a la estructura y se llega a las siguientes conclusiones:

- El aplastamiento del neumático es proporcional a la carga.
- La deformación del caucho provoca esfuerzos de cizalladura, estos esfuerzos provocan el desgaste de los neumáticos.
- La presión del neumático repartirá las cargas a la superficie de rodadura para una misma carga.

## **2.5. Distancia de visibilidad.**

De acuerdo a la SCT, la distancia de visibilidad se define como la longitud de carretera que un conductor ve continuamente hacia delante del camino, esta longitud es siempre y cuando las condiciones atmosféricas y de tránsito son favorables, en el diseño se consideran dos distancias la de visibilidad de parada y la de visibilidad de rebase.

### **2.5.1. Distancia de visibilidad de parada.**

Según la SCT, es la distancia mínima de parada necesaria para que un conductor que transita a la velocidad de proyecto logre inmovilizar el vehículo cuando un objeto obstruye la trayectoria, esta distancia es la mínima que debe de proporcionarse en cualquier punto de la carretera, para esta distancia se considera un objeto con una altura de 0.15 metros estando situados a los ojos del conductor a 1.15 metros sobre la rasante.

La distancia de visibilidad de parada está conformada por la suma de dos distancias; distancia de reacción y la distancia de frenado, a continuación se explica cada una de ellas y como obtener los valores para sustituir en la expresión de distancia de visibilidad de parada.

- Distancia de reacción: es la distancia recorrida por el vehículo desde el instante que se percibe el obstáculo hasta que el usuario coloca el pie en el pedal de freno, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$d = Kvt$$

Donde:

d= Distancia de reacción en metros.

t= Tiempo de reacción, generalmente es de 1 a 2.5 segundos.

v= Velocidad de proyecto en km/h.

K= Factor de conversión de km/h a m/seg, este factor es 0.278.

- Distancia de frenado: es la distancia recorrida a partir del momento en que se coloca el pie en el pedal del freno hasta que el vehículo se queda totalmente inmóvil, se calcula con la siguiente expresión:

$$d' = \frac{v^2}{254(f \pm P)}$$

Donde:

d'= Distancia de frenado.

v= Velocidad de proyecto en km/h.

f= Coeficiente de fricción que varia de 0.2 a 0.9.

P= Pendiente de la carretera en fracción decimal, + en columpio y – en cresta.

La siguiente expresión muestra cómo obtener la distancia de visibilidad de parada:

$$D_p = d + d'$$

Donde:

$D_p$ = Distancia de visibilidad de parada.

$d$ = Distancia de reacción.

$d'$ = Distancia de frenado.

Para las expresiones anteriores se considera una velocidad constante durante el lapso del tiempo de reacción, considerando situaciones como que el vehículo se detiene en una sola aplicación, sin considerar factores como la inercia de las partes móviles que involucran, la resistencia interna del vehículo, la resistencia del aire y la variación en la eficiencia de los frenos. Para considerar estas situaciones en las expresiones la AASHTO ha determinado un coeficiente de reacción de 2.5 segundos, este coeficiente fue determinado experimentalmente en pavimentos mojados, lo cual se genera un grado de seguridad para las diferentes condiciones de la superficies que se encuentran en mejores condiciones que la de un pavimento mojado, gracias a estos estudios experimentales se generó una tabla en donde se muestra la velocidad de proyecto y la distancia de frenado considerando las condiciones más desfavorables.

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

Tabla 2.4. Distancia de visibilidad de parada.

Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras, SCT 1991.

### 2.5.1. Distancia de visibilidad de rebase.

“Se dice que en un tramo de carretera tiene distancia de visibilidad de rebase, cuando la distancia de visibilidad en ese tramo es suficiente para que el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y haga visible al iniciarse la maniobra”. (SCT; 115:1991)

De acuerdo con la SCT (1991), la distancia de rebase es demasiado importante, ya que de esta distancia depende que no se ocasione un desastre en la carretera, esta distancia se aplica en carretera de 2 o más carriles sin importar la clasificación o el tipo.

Cuando en un tramo se presenta una pendiente descendente fuerte, la distancia de visibilidad es menor que en un terreno plano, esto debido a que el vehículo que se

va a rebasar puede acelerar más rápidamente y reducir el tiempo de maniobra, los vehículos rebasados por lo general son pesados y evitan acelerar en pendientes descendentes para evitar una pérdida de control, en el caso contrario, cuando existe una pendiente ascendente fuera la distancia de visibilidad es mayor respecto de un terreno plano, esto se debe a la reducción en el poder de aceleración de los vehículos que van a rebasar y la mayor velocidad de los que vienen en sentido contrario.

Según la SCT (1991), la distancia de visibilidad de rebase mínima es necesaria únicamente para sobrepasar un solo vehículo, si se diseña con esta distancia no se garantiza la total seguridad aun en caminos con un volumen bajo de vehículos.

Para definir la distancia mínima de visibilidad de rebase, la AASHTO formuló las siguientes hipótesis de acuerdo al comportamiento de los conductores:

- El vehículo que va a ser rebasado circula a velocidad uniforme, de magnitud semejante a la que adoptan los conductores en caminos con volúmenes de tránsito intermedios.
- El vehículo que va a rebasar alcanza al vehículo que va a ser rebasado y circula a la misma velocidad, hasta que inicia la maniobra de rebase.
- Cuando se llega al tramo de rebase, el conductor del vehículo que va a rebasar después de un tiempo para percibir la nueva noción, reacciona acelerando su vehículo para iniciar el rebase.
- El rebase se realiza bajo lo que puede llamarse maniobra de arranque demorado y retorno apresurado, cuando se ocupa el carril izquierdo para iniciar el rebase, se presenta un vehículo en sentido contrario.

- Cuando el vehículo regresa a su carril, hay suficiente distancia entre él y el vehículo que viene en sentido contrario, viaja a la misma velocidad y la distancia que recorre es dos tercios la distancia que ocupa el vehículo de rebase del carril izquierdo.

En 1958, la Secretaria de Obras Públicas recomendó un límite de 500 metros para distancia de velocidad de rebase a una velocidad de proyecto de 110 km/h, sin embargo se determina que la distancia de visibilidad de rebase no debe ser menor que la distancia recorrida por un vehículo a la velocidad de proyecto en 16 segundos, lo cual para una velocidad de 110 km/h la distancia será de 490 metros.

Para velocidades menores a 110 km/h se deducirá con la siguiente expresión:

$$D_r = \frac{500}{110} V$$

Donde:

$D_r$  = Distancia de rebase.

$V$  = Velocidad de proyecto.

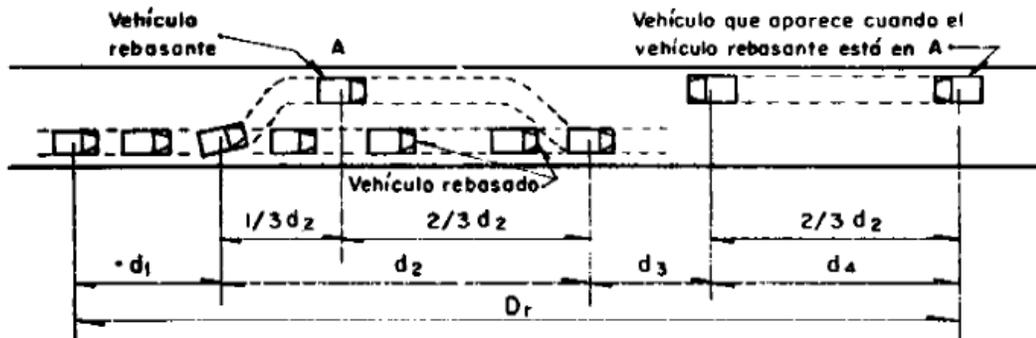


Imagen 2.4. Distancia de visibilidad de rebase en una vía de dos carriles.

Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras, SCT 1991.

Como se ilustra en la imagen 2.4, se aprecian distintas incógnitas, a continuación se describe cada una de ellas, así como a expresión para calcularla.

Para velocidades menores a 110 km/h se obtendrá con la siguiente expresión:

$$Dr = \frac{500}{110} V$$

Donde:

Dr= Distancia de rebase.

V= Velocidad de proyecto.

$d1$ , es la distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción, en esta se adopta un tiempo de percepción  $t1$  y una reacción de tres segundos, y se supone que el vehículo en el momento de rebasar lleva una velocidad de proyecto hasta igualar su velocidad a la del vehículo rebasado, se considera 15 km/h, se representa de la siguiente manera:

$$d1 = \left( \frac{V - m}{3.6} \right) * t1$$

La distancia ( $d1$ ) se recorre mientras el vehículo que sobrepasa se mantiene a una distancia "S", esta distancia se calcula de la siguiente manera, el vehículo que rebaso habrá recorrido dos veces la distancia del otro vehículo.

$S = 0.189(V-m)+6d2$ , es la distancia recorrida por el vehículo que sobrepasa mientras realiza la operación de rebase, esta distancia de expresa de la siguiente manera:

$$d2 = 2S + \left(\frac{V - m}{3.6}\right) * t2$$

Donde:

$$t2 = \sqrt{\frac{14.4 S}{a}}$$

$d3$ , es la distancia recorrida por el vehículo que circula en sentido contrario durante la operación de rebase, esta se determina de la siguiente manera:

$$d3 = \frac{V}{3.6} * t2$$

## **2.6. Alineamiento de carreteras.**

De acuerdo con Merritt, Loftin y Ricketts (2008), el alineamiento de una carretera es el diseño geométrico, es decir sus dimensiones y características que va a tener la vía, incluyendo los elementos de la sección transversal explicados en el subtema 2.4.1, el alineamiento es una de las partes más importantes que integran un proyecto carretero, esto se debe a que se busca que el eje del camino quede sobre la parte plana del terreno, así mismo las pendientes a lo largo del camino sean las permitidas sin afectar la seguridad del usuario.

### **2.6.1. Trazo preliminar.**

Para realizar un proyecto carretero es necesario realizar trazos preliminares antes de seleccionar los definitivos, esto con la intención de visualizar y analizar las

mejores alternativas para el proyecto final, según Bañón (2000), el trazo preliminar es el primer contacto de la carretera con el medio físico, debido a que se considera la topografía real de la zona así como el drenaje, señalamiento, balizamiento entre otros aspectos importantes que debe tener el proyecto final.

Una vez habiendo trazado las diferentes alternativas se elige la mejor, de esta propuesta se parte para diseñar geométricamente la planta de la carretera, lo ideal en una carretera es que sea lo más recto posible pero la mayoría de las veces esto se ve afectado por la topografía del terreno, todo el eje del camino está conformado por formas geométricas entrelazadas entre sí, y se denominan alineaciones las cuales son las siguientes según Bañón (2000):

- Alineaciones rectas: Son las que definen el trazado de la carretera, se caracterizan por su ausencia de curvas.
- Alineaciones curvas: Están constituidas por curvas horizontales, cuya finalidad es enlazar dos tramos rectos.
- Curvas de transición: Sirven de enlace entre las dos anteriores, su característica es la variación gradual de su curvatura a lo largo de su longitud.

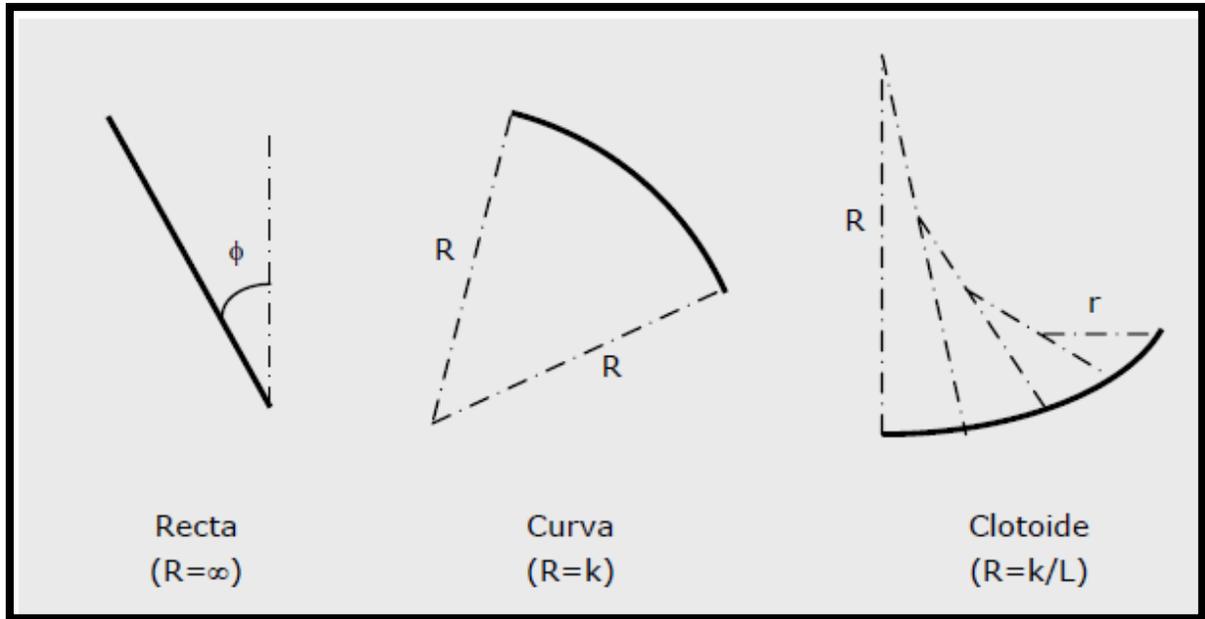


Imagen 2.5. Tipos de alineamientos según Bañón.

Fuente: Manual de carreteras, Bañón 2000.

### 2.6.2. Alineamiento horizontal.

“El alineamiento horizontal es la proyección sobre un plano horizontal del eje de la subcorona del camino”( SCT; 1991: 296).

El alineamiento horizontal deberá permitir la operación interrumpida de los vehículos, tratando de conservar la misma velocidad directriz en la mayor longitud de carretera, este alineamiento corresponde a la planta del eje de la carretera, a este eje de la capa sub rasante, debido que a partir de este punto terminan las terracerías y se desplanta la estructura de un pavimento.

De acuerdo con la SCT, para el alineamiento horizontal es necesario considerar de manera general las siguientes recomendaciones para el diseño, y que son importantes para lograr una circulación cómoda y segura, algunas de las condiciones que se deben cumplir son las siguientes:

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 velocidad de proyecto.
3. La distancia de visibilidad debe ser tomada en cuenta en todos los casos, porque con frecuencia la visibilidad requiere radios mayores que la velocidad en sí.
4. El alineamiento debe ser tan direccional como sea posible, sin dejar de ser consistente con la topografía.
5. Para una velocidad de proyecto dada, debe evitarse dentro de lo razonable, el uso de la curvatura máxima permisible, en el anexo 1 se muestra los grados máximos de curvatura para el tipo de camino y la velocidad de proyecto.
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 solo son aceptables alineamientos rectos o de muy suave curvatura.

8. En camino abierto debe evitarse el uso de curvas compuestas, sobre todo donde sea necesario proyectar curvas forzadas, las curvas compuestas solo se usaran 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.
10. Un alineamiento con curvas sucesivas en la misma dirección debe evitarse cuando existan tangentes cortas entre ellas, 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.

#### **2.6.2.1. Tangentes.**

Según la SCT, el alineamiento horizontal se conforma de 3 elementos, el primero de ellos se denomina tangentes.

Una tangente es la proyección de una recta que una dos curvas horizontales consecutivas, una tangente se caracteriza por su dirección y longitud, la dirección está determinada por un ángulo  $\Delta$ , medido hacia la derecha en grados entre una línea imaginaria norte-sur, por otro lado las prolongaciones que unen una curva se llaman sub-tangentes y se intersectan por un punto característico de alineamiento denominado Punto de inflexión PI.

La longitud mínima de una tangente es la longitud necesaria para hacer una transición conveniente de la sobre-elevación y ampliación de las curvas extremas, la longitud máxima se condiciona por la seguridad, cuando una tangente es muy larga puede ser una causa potencial de accidentes, esto se debe a la somnolencia que produce al conductor al mantener concentrada su atención en puntos fijos del camino durante mucho tiempo, además que favorecen los deslumbramientos durante la noche, la tangente se conviene limitar a la distancia recorrida en 72 segundos a la velocidad de proyecto.

#### **2.6.2.2. Curvas simples.**

Como se mencionó anteriormente las curvas son dos tangentes que se unen, y sirven para que los vehículos cambien de dirección de manera que la fuerza centrífuga a que está sujeto sea constante, las curvas simples se definen por su radio y por la deflexión entre las dos tangentes que la unen, dado que son definidas por su radio el control de dimensionamiento depende de este, para una curva se trata que el radio  $R_c$ , sea el mayor posible dentro de las condiciones del terreno, pero no menores a un radio mínimo que se expresa de la siguiente manera:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(e_{max} + f_1)}$$



- Angulo central: es el ángulo subtendido por la curva circular, se representa como  $\Delta$ , es igual a la deflexión de las tangentes.
- Longitud de curva: la longitud del arco entre el PC y PT, se representa como LC, donde PC es el punto de comienzo de la curva y PT el punto donde termina la curva.

$$Lc = \frac{\Delta c * 20}{Gc}$$

- Subtangente: es la distancia entre PI y PC o PT, medida sobre la prolongación de las tangentes del triángulo rectángulo PI-O-PT, se representa como ST.

$$ST = Rc * \tan \frac{\Delta}{2}$$

- Externa: es la distancia mínima entre el PI y la curva, le corresponde la letra E.

$$E = Rc(\sec \frac{\Delta}{2} - 1)$$

- Ordenada media: es la longitud de la flecha al punto medio de la curva, se representa como M.

$$M = R_c * \sec \text{ver } \frac{\Delta}{2}$$

- Deflexión: es el ángulo entre la prolongación de la tangente en PC y la tangente en un punto cualquiera de la curva,  $\theta$ .

$$\theta = \frac{Gcl}{20}$$

- Cuerda: es la recta comprendida entre dos puntos de la curva, se denomina con la letra C.

$$C = 2 R_c * \text{sen } \frac{\theta}{2}$$

Para la cuerda larga que está comprendida entre PC y PT de la curva:

$$CL = 2 R_c * \text{sen } \frac{\Delta}{2}$$

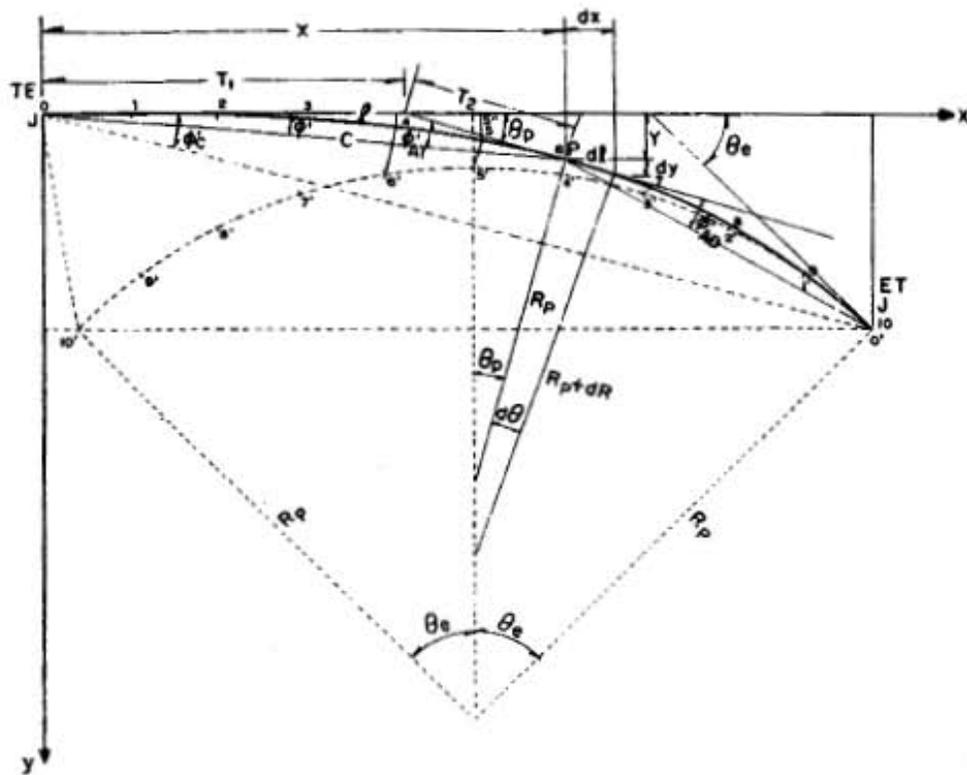
- Ángulo de la cuerda: ángulo que comprende la prolongación de la tangente y la cuerda, se considera  $\Phi$ .

$$\Phi = \frac{Gcl}{40}$$

### **2.6.2.3. Curvas en espiral.**

De acuerdo con la SCT (2016), un vehículo no puede pasar instantáneamente de una recta a una curva circular, el conductor requiere tiempo para que accione el volante, en ocasiones esto se hace antes de entrar a la curva y al principio esta, debido a que el ancho del carril es mayor que el del vehículo, es necesario facilitar la maniobra con el proyecto de una curva en espiral o transición, esta curva facilita la conducción y proporciona espacio longitudinal para desarrollar la sobre elevación y ampliaciones requeridas.

Las curvas compuestas son las que se forman por dos o más curvas circulares simples con radio diferente, la única condición es que el punto de intersección sea el mismo, cuando una curva en espiral se intersectan dos curvas simples en un solo sentido se denominan compuestas directas y cuando son de sentido contrario compuestas inversas.



- P** Punto cualquiera sobre una espiral
- o** Punto en donde se inicia la espiral
- io** Punto en donde termina la espiral
- $\theta_e$  Deflexión total de la espiral
- $\theta_p$  Deflexión de la espiral en un punto P
- $\phi_c$  Angulo de la cuerda larga de la espiral
- $\phi'$  Angulo de la cuerda a un punto P
- $\phi'_{AT}$  Angulo respecto a la tangente en P, de una cuerda anterior que subtiende un arco de espiral JP, de longitud  $l_{JP}$
- $\phi'_{AD}$  Angulo respecto a la tangente en P, de una cuerda posterior que subtiende un arco de espiral JP, de longitud  $l_{JP}$
- $l$  Longitud de la espiral del origen al punto P
- C** Cuerda de la espiral desde el origen al punto P
- $R_p$  Radio de curvatura de la espiral en el punto P
- X,Y** Coordenadas del punto P
- $T_1$  Tangente larga al punto P
- $T_2$  Tangente corta al punto P

Figura 2.2. Elementos de la curva compuesta.

Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras, SCT 1991.

La espiral de Euler, conocida también como coloide, tiene las características para usarse como curva de transición, toda vez que su radio aumenta proporcionalmente a su longitud, por lo que su grado varía desde cero en la tangente de la curva circular, cuya expresión es la siguiente:

$$R_c L_e = K^2$$

Donde:

$R_c$ = Radio de la curva circular en metros.

$L_e$ = Longitud de la espiral de transición en metros.

$K$ = Parámetros de la espiral en metros.

Para una carretera tipo A de dos carriles y de cuatro la longitud estará dada por la siguiente expresión:

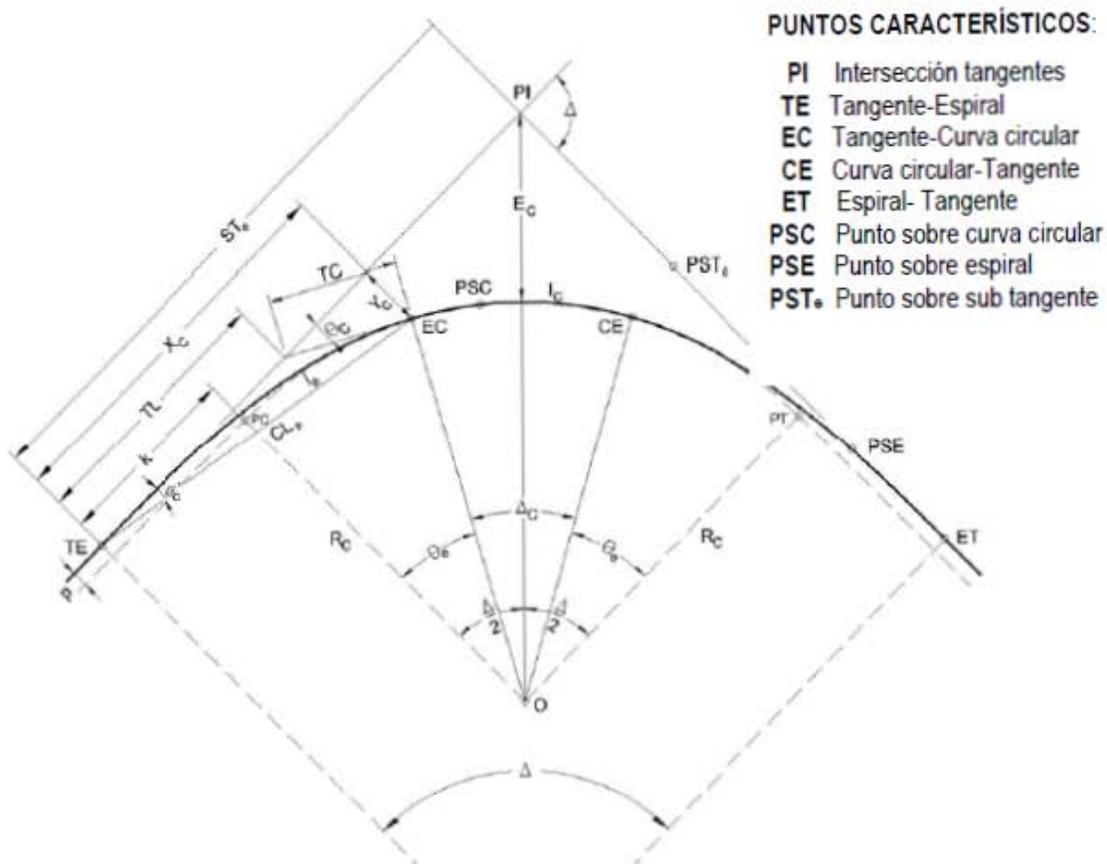
$$L_{e \min} = 8vs$$

Donde:

$L_{e \min}$ = Longitud mínima de la espiral.

$V$ = Velocidad de proyecto.

$S$ = sobre elevación.



**PUNTOS CARACTERÍSTICOS:**

- PI Intersección tangentes
- TE Tangente-Espiral
- EC Tangente-Curva circular
- CE Curva circular-Tangente
- ET Espiral- Tangente
- PSC Punto sobre curva circular
- PSE Punto sobre espiral
- PST<sub>s</sub> Punto sobre sub tangente

**MEDIDAS ANGULARES:**

- Deflexión entre tangentes  $\Delta$
- Deflexión espiral  $\theta_s = \frac{l_s}{2R_c} = \frac{G_c l_s}{10}$
- Ángulo de la curva circular  $\Delta_c = \Delta - 2\theta_s$
- Ángulo de CL<sub>s</sub>  $\phi_c = \text{ang} \tan \frac{Y_s}{X_c}$

**MEDIDAS LINEALES:**

- Sub tangente:  $ST_s = k + (R_c + p) \tan \frac{\Delta}{2}$
- Tangente larga:  $TL = X_c - Y_c \cot(\theta_s)$
- Tangente corta:  $TC = Y_c \csc(\theta_s)$
- Cuerda larga espiral:  $CL_s = (X_c + Y_c)^{0.5}$
- Externa:  $E_c = (R_c + p) \sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - R_c$
- Radio curva circular:  $R_c = \frac{1.146}{G_c}$

Figura 2.3. Elementos de la curva circular con espirales de transición.

Fuente: Manual de proyecto geométrico, SCT 2016.

#### 2.6.2.4. Sobre elevación.

Se denomina sobre elevación a la pendiente transversal descendente la cual se localiza del centro de la corona hacia el centro de la curva, es necesario considerar la sobre elevación cuando se diseñan las curvas verticales, pues su finalidad es reducir la fuerza centrífuga producida cuando el vehículo transita por la curva, debido a la sobre elevación de las curvas se tiene la total seguridad de que el vehículo no sufrirá alguna volcadura o deslizamiento sobre la curva.

Una sobre elevación muy elevada puede provocar que los usuarios que transiten a una velocidad menor a la de proyecto sufran deslizamientos hacia el centro de la curva, la SCT, por lo que este valor se calcula de manera proporcional al grado de curvatura, considerando factores como, tipo de carretera y tomando en cuenta valores máximos empleados en lugares muy desfavorables como la presencia de hielo y que un gran porcentaje de vehículos pesados circulen a baja velocidad, la expresión que determina la sobre elevación es la siguiente:

$$S = \frac{V^2}{127 R} \mu$$

Donde:

S= Sobre elevación.

V= Velocidad de proyecto.

R= Radio de curvatura.

$\mu$ = Coeficiente de fricción lateral.

### 2.6.2.5. Sobre ancho.

De igual manera que la sobre elevación el sobre ancho es de vital importancia en las curvas horizontales, puesto que de acuerdo con la SCT (1991), es la ampliación que se realiza en un camino sobre las curvas con una relación de la tangente, se necesitan ampliar de manera constante, desde el punto PC, hasta el punto PT, después de estos puntos disminuye gradualmente hasta llegar al ancho de carril, la Secretaria de Comunicaciones y Transportes ha determinado fórmulas empíricas, donde se involucra la velocidad de proyecto, el número de vehículos, dimensiones, grado de curvatura etc.

Para determinar este valor se utiliza la siguiente expresión:

$$X' = \left( R - \sqrt{R^2 - L^2} + \frac{26.62}{R} \right) N$$

Donde:

X'= Sobre ancho.

N= número de carriles.

R= Radio de curvatura.

L= distancia del eje trasero a la defensa delantera de un vehículo, valor típico 6m.

V= velocidad de proyecto.

### **2.6.3. Alineamiento vertical.**

Dentro de un proyecto geométrico la parte complementaria de las curvas horizontales son las curvas verticales, de acuerdo con la SCT(2016), el alineamiento vertical corresponde al perfil de la carretera o proyección sobre un plano vertical, al igual que el alineamiento horizontal el vertical se conforma por tangentes y curvas, para mantener una suavidad en el alineamiento vertical posiblemente en la mayoría de los casos se necesitara cortar grandes volúmenes de cortes y de terraplenes, y por lo tanto puede resultar no muy viable económicamente, por eso es necesario hacer un equilibrio entre la geometría y la economía del proyecto respetando siempre la seguridad del proyecto.

Según la SCT (1991), para realizar el diseño del alineamiento vertical la subrasante es la línea de referencia que define el alineamiento, la posición de esta depende principalmente de la topografía, de igual manera existen consideraciones que se deben tomar en cuenta:

1. La condición topográfica del terreno influye en diversas formas al definir la subrasante.
2. Una subrasante suave con cambios graduales es consistente con el tipo de camino y el carácter del terreno.
3. Deben evitarse vados formados por curvas verticales muy cortas, el perfil resultante se presta a que las condiciones de seguridad sean muy pobres.
4. Dos curvas verticales sucesivas y en la misma dirección separada por una tangente vertical corta, deben ser evitadas, particularmente en columpios donde la vista completa de ambas curvas verticales no es agradable.

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 solo puede adaptarse el 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, es conveniente adoptar un carril adicional en la sección transversal de acuerdo con las características del tránsito.
7. Los carriles de ascenso también deben ser considerados donde la longitud crítica de la pendiente esta excedida y donde el volumen horario de proyecto excede del 20% de la capacidad de diseño para dicha pendiente.
8. Cuando se trata de salvar desniveles apreciables, bien con pendientes escalonadas

#### **2.6.3.1. Tangentes.**

De acuerdo con la SCT (1991), las tangentes están limitadas por dos curvas sucesivas, es la distancia media horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la curva próxima, la pendiente es la relación entre el desnivel y la distancia de los dos puntos en común, al punto de intersección se denomina PIV, la diferencia de pendientes en este punto se denomina por A.

El alineamiento vertical se caracteriza por tres parámetros: el promedio pesado respecto a la longitud de las pendientes ascendentes, el promedio pesado de las pendientes descendentes y la longitud relativa de las pendientes ascendentes.

Para la determinación de los parámetros de la pendiente y longitud es necesario determinar características operativas de los vehículos de proyecto, para consideraciones de diseño se consideran tres conceptos de pendientes:

*Pendiente mínima:* es la menor pendiente que permite el buen drenaje de la precipitación pluvial, por lo general en los cortes puede ser de 0.5%, dependerá principalmente del material en cortes, en los terraplenes puede ser 0%, ya que toda el agua escurre a través del bombeo.

*Pendiente máxima:* es la pendiente mayor que permite utilizar para diseñar una carretera, esta pendiente se recomienda utilizar únicamente cuando las condiciones orográficas lo limiten.

*Pendiente gobernadora:* esta pendiente es uniforme y es la que permite unir dos puntos obligados en la carretera.

Carreteras tipo A				
Tipo de terreno	Pendiente gobernadora	Pendiente máxima		
		90 km/h	100 km/h	110 km/h
Plano	-	4%	3%	3%
Lomerío	3%	5%	4%	4%
Montañoso	4%	6%	6%	5%

Carreteras tipo B						
Tipo de terreno	Pendiente gobernadora	Pendiente máxima				
		70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h	110 km/h
Plano	-	5%	4%	4%	3%	3%
Lomerío	4%	6%	5%	5%	4%	4%
Montañoso	5%	7%	7%	6%	6%	5%

Carreteras tipo C								
Tipo de terreno	Pendiente gobernadora	Pendiente máxima						
		50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h	110 km/h
Plano	-	7%	7%	7%	6%	6%	5%	4%
Lomerío	6%	9%	8%	8%	7%	7%	6%	5%
Montañoso	8%	10%	10%	9%	9%	8%	7%	6%

Carreteras tipo D								
Tipo de terreno	Pendiente gobernadora	Pendiente máxima						
		30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	≥ 90 km/h
Plano	-	8%	7%	7%	7%	7%	6%	6%
Lomerío	7%	11%	11%	10%	10%	9%	8%	7%
Montañoso	9%	16%	14%	12%	12%	11%	10%	9%

Tablas 2.5. Valores recomendados de pendientes para los tipos de camino.

Fuente: Manual de proyecto geométrico, SCT 2016.

Para las pendientes gobernadoras y máxima es necesario utilizar el mínimo valor posible de acuerdo con la orografía del terreno, en las tablas 2.5 se aprecian los valores máximos para la velocidad el tipo de camino y la topografía para la pendiente.

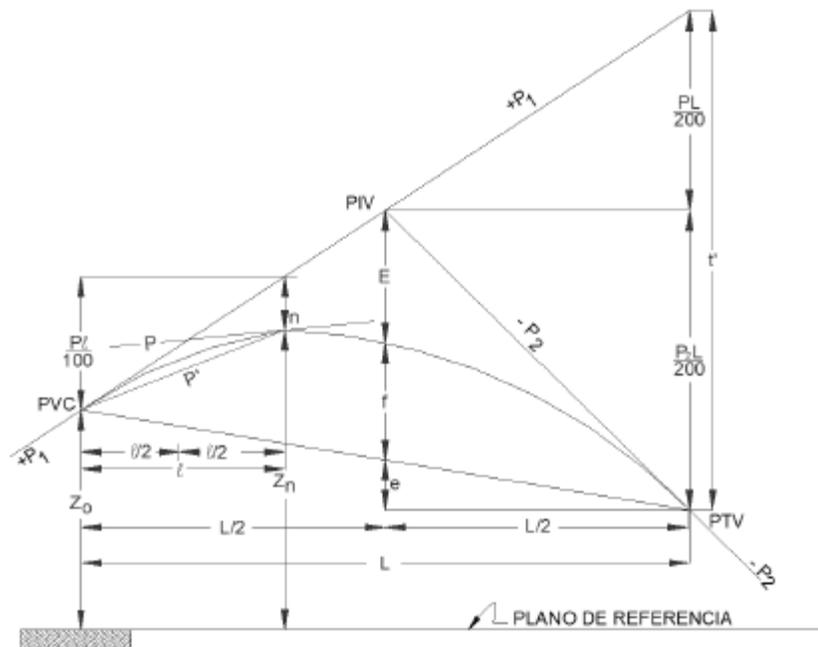
### 2.6.3.2. Curvas verticales.

“Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectuó el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de salida”(SCT; 1991: 356)

Las curvas verticales deben ser simples en su aplicación y traen como resultado un diseño que sea seguro y cómodo en su operación de igual manera debe tener una apariencia agradable, estas curvas están definidas por las pendientes de sus tangentes que enlazan y su longitud, las pendientes están determinadas por el alineamiento vertical, el principal criterio para determinar la longitud de las curvas es la seguridad, su longitud debe ser la necesaria para que la distancia de visibilidad de parada sea la adecuada, la distancias de visibilidad se usaran mayores a las mínimas para considerar un rango de seguridad.

El parámetro característico de las curvas se designa por  **$K$** , este parámetro es la relación de la longitud de la curva  $L$ , entre la diferencia algebraica de las pendientes de entrada y de salida.

La parábola se utiliza como eje vertical, debido a que sus características satisfacen el cambio gradual de una pendiente, las desviaciones verticales con respecto a la tangente varían en función del cuadrado de la distancia horizontal a partir del extremo de la curva, la desviación vertical con respecto a la pendiente en tangente en cualquier punto a lo largo de la curva se calcula como una proporción de la desviación vertical en el punto VPI, que es igual a  $AL/800$ .



- PIV - Punto de intersección de las tangentes
- PCV - Punto en donde comienza la curva vertical
- PTV - Punto en donde termina la curva vertical
- n - Punto cualquiera sobre la curva
- $P_1$  - Pendiente de la tangente de entrada en por ciento
- $P_2$  - Pendiente de la tangente de salida en por ciento
- P - Pendiente en un punto cualquiera de la curva en por ciento
- $P'$  - Pendiente de una cuerda a un punto cualquiera en por ciento
- A - Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y la de salida
- L - Longitud de la curva
- E - Externa
- f - Flecha
- $\ell$  - Longitud de curva a un punto cualquiera
- t - Desviación respecto a la tangente de un punto cualquiera
- K - Variación de longitud por unidad de pendiente,  $K = L/A$
- $Z_0$  - Elevación del PCV
- $Z_n$  - Elevación de un punto cualquiera

Figura 2.3. Elementos que conforma una curva vertical.

Fuente: Manual de proyecto geométrico, SCT 2016.

Para el alineamiento vertical existen dos tipos de curvas, estas curvas pueden ser en cresta o en columpio, para el cálculo de la longitud de las curvas horizontales, es necesario considerar que la distancia de visibilidad sea mayor o igual a la de parada,

esto simplemente es para que opere con un gado de seguridad, así mismo se tienen que considerar otros factores como el confort, la apariencia y el drenaje.

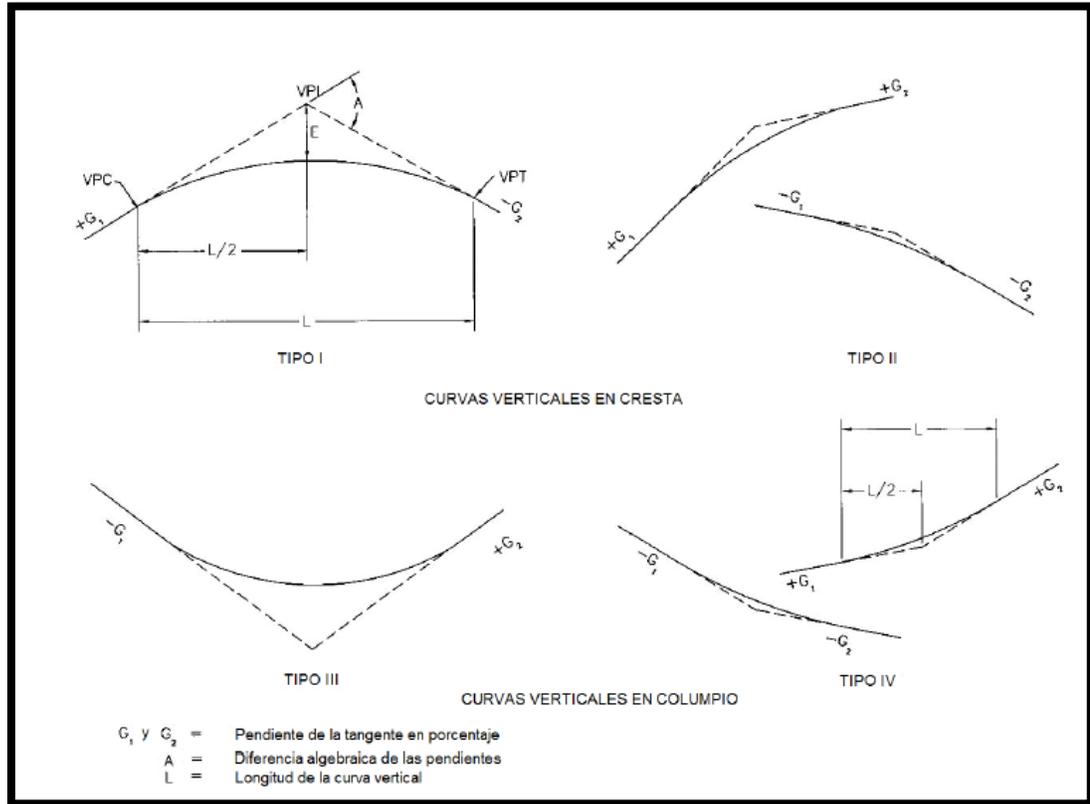


Imagen 2.6. Diferentes curvas verticales.

Fuente: Manual de proyecto geométrico, SCT 2016.

A continuación se muestran las expresiones para calcular la longitud de una curva bajo condiciones diferentes:

- Cuando la distancia de visibilidad de parada es menor a la longitud de la curva ( $dvp < L$ )

$$L = \frac{A dvp^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

- Cuando la distancia de visibilidad de parada es mayor que la longitud de curva  
(dvp >L)

$$L = 2dvp \frac{200(\sqrt{2h1} + \sqrt{2h2})^2}{A}$$

Donde:

L= Longitud de la cuerda vertical en m.

dvp= Distancia de visibilidad de parada.

A= Diferencia algebraica de pendientes en porcentaje.

h1= Altura del ojo de conductor sobre la superficie de rodamiento.

h2= Altura del objeto sobre la superficie de rodamiento.

De acuerdo con la SCT, señala que solamente se deben proyectar las curvas que tengan una diferencia algebraica entre las dos pendientes mayor a 0.5 %, esto se debe a que cuando se realice la curva en la obra se perderá debido a la mínima pendiente que tiene.

## **CAPÍTULO 3**

### **RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN**

En este capítulo se abordan las generalidades de la presente investigación, el entorno geográfico, topografía, características físicas de la zona de estudio, uso de suelo, ubicación del lugar, así mismo la condición en la que se encuentra actualmente y alternativas para solucionar el problema que da origen a esta investigación, así como un reporte fotográfico y explica la problemática actual y la solución propuesta como anteriormente se menciona diseñar una propuesta de rasante para el proyecto geométrico del camino “La Huizachera”.

#### **3.1. Generalidades.**

La presente investigación se realiza para obtener como resultado el diseño de la rasante óptima de un proyecto geométrico en el municipio de Uruapan, Michoacán, para lo cual se consideran las normas oficiales de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (STC), que es el organismo que regula todos los aspectos relacionados con las vías de comunicación en México.

Para este proyecto es necesario tener un levantamiento topográfico completo, con curvas de nivel, cadenamientos, perfiles, secciones, etc. Para así poder calcular y diseñar correctamente las curvas horizontales y verticales de acuerdo con las normas.

### **3.1.1. Objetivos.**

El objetivo principal de esta investigación es realizar de la mejor manera y bajo las normativas correspondientes de la SCT la rasante del proyecto geométrico para el camino “La Huizachera”, para que cumpla con las condiciones adecuadas de seguridad, así como las obras de drenaje correspondientes para de ser así en un futuro se pueda diseñar un pavimento rígido o flexible según sean las necesidades el lugar y considerando todos los factores que involucran para un buen diseño del pavimento.

### **3.1.2. Alcance del Proyecto.**

El alcance que tiene este proyecto se basa en la obtención del aforo vehicular para diseñar la rasante del camino, así como el diseño de las obras de drenaje a lo largo del tramo, todo este diseño bajo las normas de la SCT, para que cumpla con la seguridad adecuada.

## **3.2. Resumen ejecutivo.**

Para la elaboración de esta tesis se comenzó por seleccionar una zona de estudio que tuviera las características que se necesitan para elaborar un proyecto geométrico, una vez en campo se empezó hacer el levantamiento topográfico con una estación total modelo Leica TS06 plus, con ayuda del prisma se ubicaron puntos en el terreno a una medida de aproximadamente 20 m ubicando las orillas del camino el centro y el terreno natural, se ubicaron postes de luz, colindancias, predios perimetrales, caminos aledaños, etc. Una vez terminado el trabajo en campo se

procedió a procesar todos los datos en gabinete, primero en Excel y posteriormente en CivilCAD que es una herramienta del Software AutoCAD que cumple con todos los requerimientos de la SCT, se realizaron las curvas de nivel, se propuso un eje de proyecto y se propusieron cadenamientos cada 20m, con esta información se obtuvo un perfil del terreno natural, sobre este perfil se propuso una rasante y se proyectaron las curvas horizontales y verticales, se obtuvieron perfiles y secciones, se calcularon los volúmenes de terracerías, se realizó la curva masa para de esa manera saber cuál es la mejor la mejor opción para el nivel de rasante, se proyectaron las obras complementarias y con ayuda de Excel y las normas de la SCT se diseñaron las obras de drenaje del tramo.

### **3.3. Entorno geográfico.**

De acuerdo con el INEGI, los Estados Unidos Mexicanos conocidos comúnmente como México o República Mexicana cuentan con un territorio formado por una superficie continental, islas y el espacio correspondiente a su mar territorial, en el centro-oeste del país se encuentra el estado de Michoacán entre las coordenadas 20°23'27" y 17°53'50" de la latitud norte y entre 100°03'32" y 103°44'49" la longitud oeste del meridiano de Greenwich, el estado abarca el 3.04 % de la superficie territorial del país, lo limitan los estados de Jalisco, Guanajuato, Querétaro, México, Guerrero y Colima, el estado de Michoacán lo conforma grandes regiones montañosas y contiene numerosos volcanes entre ellos el más joven actualmente del continente americano, forman parte del eje neo volcánico transversal y de la sierra madre del sur, entre la fauna que caracteriza al estado de Michoacán se encuentra la mariposa monarca, que

es una de las principales razones por la que el turismo visita el estado, entre algunos otros animales se encuentra se encuentra el coyote, víbora de cascabel, patos silvestres, garza, tlacuache, etc. Los principales ecosistemas que existen en el estado son bosques de coníferas y bosque mixto, la temperatura promedio anual es de 22.2°C, alcanzando temperaturas mínimas de 14.7°C y máximas de 34.6°C.



Imagen 3.1 Ubicación del estado de Michoacán en el país.

Fuente: [www.Google.com](http://www.Google.com)

La cabecera municipal de Uruapan es el segundo municipio más importante y el segundo más poblado del estado de Michoacán, con una extensión de 1014.34 km<sup>2</sup> representando el 1.62 %, su relieve lo conforma el sistema volcánico transversal y los cerros de la Charanda, el Cerro de La Cruz, Jicalán y Magdalena, se encuentra al

oeste del estado, en las coordenadas 19°25' de latitud norte y 102°03' de longitud oeste, a una altura de 1620 msnm, lo limitan los municipios de Charapan, Paracho, Nahuatzen, Tingambato, Ziracuaretiro, Taretan, Gabriel Zamora, Nuevo Parangaricutiro, Periban y los Reyes.

La precipitación pluvial en el municipio es de 1759.3 mm que recargan al río Cupatzio el cual es cauce principal de la ciudad de Uruapan, nace en la Rodilla del Diablo al centro de la ciudad que se encuentra en el Parque Nacional, una de las razones por la que el turismo visita el municipio, su principal ecosistema es el Bosque mixto, con pino y encino que es lo que predomina en la región, su principal actividad económica es la producción de aguacate con calidad de exportación principalmente hacia Estados Unidos y por eso es catalogada como “La capital mundial del aguacate”.

La temperatura oscila entre 12°C y 34°C , el clima en la ciudad de Uruapan es muy variado , cuenta con diferentes climas que se ven influenciados por las diferentes altitudes en el terreno, la zona norte tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, en la zona central tiene un clima templado húmedo con demasiadas lluvias en verano, dentro de la zona central otro sector tiene clima semi-calido húmedo con abundantes lluvias en verano, en la zona sur cuenta con un clima semi-calido subhúmedo con lluvias en verano y al sur en el extremo el clima se clasifica como cálido subhúmedo con lluvias en verano.

### 3.3.1. Macro y Micro localización.

El proyecto tiene lugar en el municipio de Uruapan Michoacán, está comunicado por 2 carreteras principales que lo atraviesan longitudinalmente y comunica al este con la autopista Morelia-Lázaro Cárdenas, las 2 carreteras que atraviesan son en su parte noreste la carretera federal No. 14 que comunica con las poblaciones Tingambato, Pátzcuaro, Morelia y la que atraviesa norte-sur la carretera federal núm. 37 que comunica al norte con las poblaciones de Paracho, Carapan, etc. y al sur con las poblaciones Gabriel Zamora, Nueva Italia, Playa Azul, etc.



Imagen 3.2. Uruapan Michoacán dentro del Estado

Fuente: [www.Google.com](http://www.Google.com)



Imagen 3.3. Ubicación de la zona de estudio dentro del municipio.

Fuente: Google Earth.

La zona de estudio se ubica a 5.6 km en línea recta al sureste de la cabecera municipal de Uruapan, se ubica exactamente entre las coordenadas geográficas  $19^{\circ}22'52.76''\text{N}$ - $102^{\circ} 1'51.59''\text{O}$  (0+000) y  $19^{\circ}22'6.94''\text{N}$ - $102^{\circ} 2'6.48''\text{O}$  (1+380), la zona de estudio se ubica en los extremos de la colonia Santa Sofía, exactamente en donde termina el puente que cruza el río Santa Rosa, sobre la carretera Av. Santa Rosa, esta carretera se dirige hacia las comunidades de Mata de Plátano, San Marcos y El sabino, en esta última comunidad se localiza un parque recreativo denominado el cocodrilaro, estas comunidades pertenecen al municipio de Uruapan.



Imagen 3.4. Tramo de estudio

Fuente: Google Earth.

### 3.3.2. Geología local.

La geología es la ciencia que estudia la composición y estructura interna de la Tierra, el conjunto de características del subsuelo o de la corteza terrestre de una zona, en la ciudad de Uruapan en general la geología se conoce que en gran parte de la ciudad los terrenos con muy blandos y con un nivel freático muy superficial, la zona de estudio está asociada con zonas de depresión tectónica, y contiene suelos transportados que se han acumulado a lo largo del tiempo, en la zona se puede

encontrar materiales como limos, arcillas y materiales piro plastos, los suelos del municipio datan de los periodos cenozoico, terciario, cuaternario y eoceno.

### **3.3.3. Hidrología local.**

La Hidrología es aquella disciplina que se ocupa especialmente de estudiar la distribución espacio temporal y las propiedades de las aguas subterráneas y superficiales, en México el organismo encargado de estas cuestiones es la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), desempeña sus funciones a través de trece organismos de cuenca de acuerdo a regiones hidrológicas administrativas (RHA), las regiones hidrológicas son definidas por la división natural de la cuenca , la Comisión Nacional del Agua ha definido 731 regiones hidrológicas, Uruapan está situado en la Región Hidrológica RH 18, la cual comprende la parte central y sureste del estado , comprendiendo también el vaso de la presa de infiernillo, donde desembocan el río Tepalcatepec y el Balsas, los principales ríos que se encuentran en la ciudad de Uruapan son el Río Cupatizio que es el más importante, nace en la rodilla del diablo dentro del parque nacional, la presa Caltzontzin, Salto Escondido.

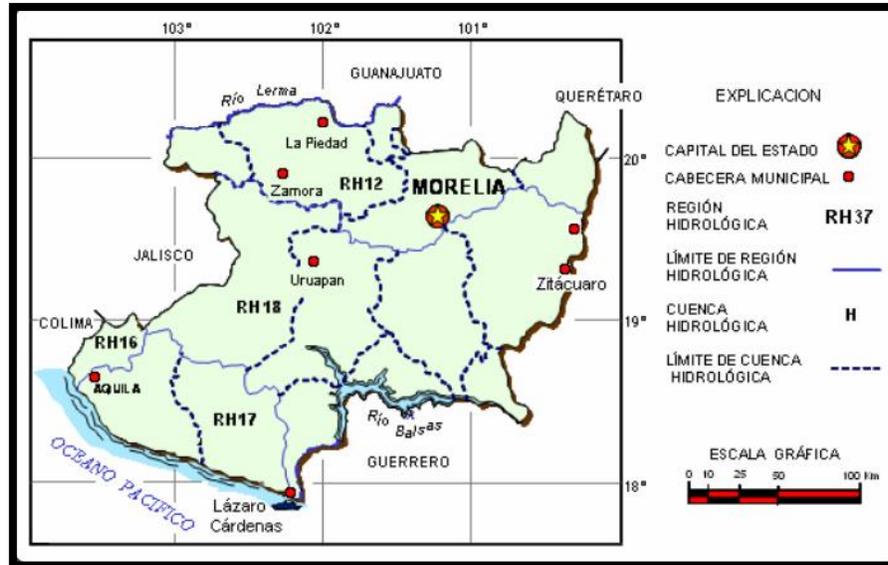


Imagen 3.5. División hidrológica del estado de Michoacán.

Fuente: Inventario físico de los recursos minerales del municipio de Uruapan, estado de Michoacán, 2007.

### 3.3.4. Uso de suelo local.

En Uruapan la mayor parte del uso de suelo es urbano, debido al incremento de la población la mancha urbana se ha ido extendiendo hacia la periferia, en Uruapan la principal actividad económica es la producción de aguacate, y gran parte del suelo es para este uso, agrícola, también hay suelos forestales con reservas protegidas, en la zona de estudio el uso de suelo es destinado a la producción de aguacate, ya que cercas de la zona y sobre los alrededores están ubicadas huertas de aguacate.

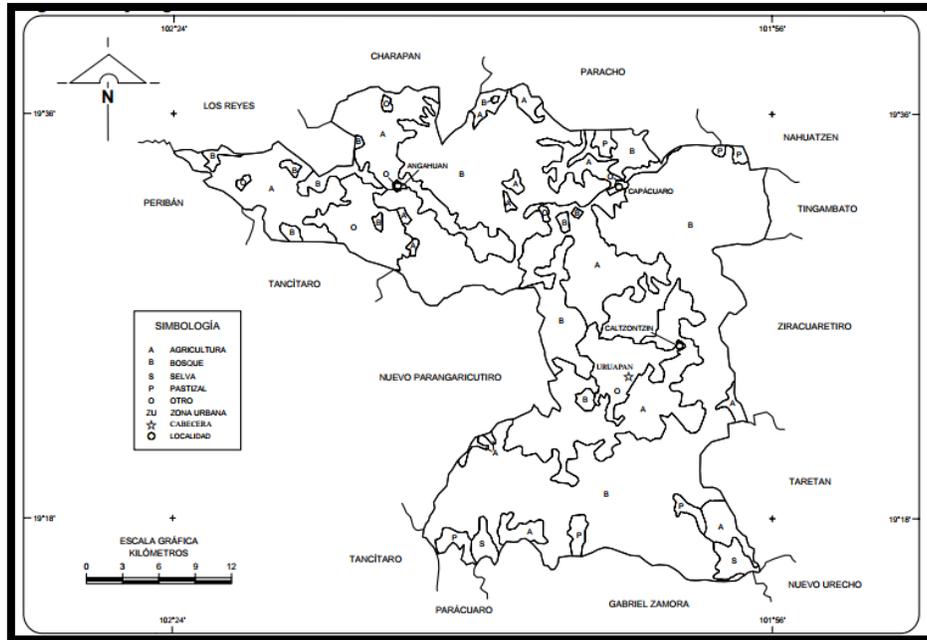


Imagen 3.6. Diferentes usos de suelo en Uruapan.

Fuente: INEGI Continuo nacional del conjunto de datos geográficos de la carta de uso de suelo y vegetación, 1:250 000, serie I.

### 3.4. Informe fotográfico.

A continuación se presenta el informe fotográfico una vez que se acudió a campo, para entender de mejor manera la problemática y el proceso que se siguió para realizar esta tesis y todas las características que involucran, se pudieron apreciar algunas características como tipo de vehículos que transitan, vegetación, estado actual del camino, etc.



Imagen 3.7. Avenida Santa Rosa, camino principal.

Fuente: Propia.



Imagen 3.8. Acceso al camino de estudio.

Fuente: Propia.

En las imágenes anteriores 4.7 y 4.8 se puede observar la carretera principal, por donde transitan gran número de vehículos y personas caminando, a la derecha de la carretera se aprecia el acceso al camino denominado “La Huizachera”.



Imagen 3.9. Marca para identificar Cambio de estación necesario para el levantamiento topográfico

Fuente: Propia.



Imagen. 3.10. Uso del prisma necesario para capturar las coordenadas con la estación total.

Fuente: Propia.



Imagen. 3.11. Marca de referencia necesaria para cambio de estación.

Fuente: Propia.

Para realizar el levantamiento topográfico de un camino es necesario colocar la estación en un lugar en donde se tenga bastante visibilidad hacia el horizonte, por lo general, los caminos en su mayoría contienen gran cantidad de vegetación a los costados y curvas muy continuas, debido a esta situación es necesario cambiar la estación cada que sea requerido, las referencias se usan para ubicar la estación con los puntos anteriores y así obtener un levantamiento topográfico adecuado.

#### **3.4.1. Problemática.**

Debido a las condiciones del camino y al tipo de tránsito que circula por él es necesario realizar un proyecto geométrico, en esta tesis solo se propondrá la rasante, los vehículos que circulan por este camino principalmente se clasifican como “A”, se encuentran principalmente huertas de aguacate en los alrededores, y una empresa llamada Bakity, entre algunas casas y unos campos de futbol, en determinadas fechas del año cuando es temporada de cosecha de las huertas circulan vehículos tipo “C” o “TS”, dañando el camino debido a que no se encuentra pavimentado.



Imagen. 3.12. Vehículo clasificación TS.

Fuente: Propia.

#### **3.4.2. Estado físico actual.**

El camino actualmente tiene base de un material granular al inicio, y es por esta razón que no se encuentra muy deteriorado, debido también a que actualmente se da un poco de mantenimiento, la vegetación en los extremos del camino en algunas partes es abundante y las obras de drenaje no están bien definidas por lo que ocasiona problemas a la terracería, el camino es en tu totalidad de terracería.



Imagen 3.13. Camino de terracería en el lugar del proyecto.

Fuente: Propia.



Imagen 3.14. Condiciones actuales del camino.

Fuente: Propia.



Imagen 3.15. Condiciones actuales del camino.

Fuente: Propia.

### **3.5. Alternativas de solución.**

Las alternativas para dar solución al problema de la presente tesis radican en la importancia de la vida útil del camino, una de las alternativas sería dar un mantenimiento más periódicamente principalmente a las obras de drenaje como las cunetas, ya que en el recorrido en campo que se realizó se pudo apreciar que no están en las condiciones adecuadas y por lo tanto general problemas al camino como baches principalmente, eliminando la vegetación que en algunos tramos puede que los vehículos pierdan visibilidad a la hora de transitar.

### **3.6. Proceso de análisis.**

Para la presente tesis una vez realizando el levantamiento en campo se procesó la información en gabinete, generando curvas de nivel, para proponer un eje de proyecto y sobre eso se basó para obtener el perfil topográfico, se crearon secciones cada 20m en CivilCAD y se obtuvo los perfiles de cada uno, las curvas se calcularon de igual forma en el Software ya que se regula bajo las normas y lineamientos de la SCT , curvas horizontales y verticales, para calcular volúmenes se consideró el perfil topográfico y se seleccionó la opción más factible, se obtuvieron los volúmenes de corte y terraplén y se diseñó en AutoCAD, posteriormente se hicieron los cálculos correspondientes y con ayuda de Excel diseñar las obras de drenaje.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA**

En este capítulo se abordarán los temas relacionados con la metodología, cómo se realiza, métodos que se emplean, y algunos otros factores que integran la metodología para poder realizar una buena investigación y por consecuencia desarrollar un excelente proyecto.

Según la página electrónica [conceptodefinicion.com](http://conceptodefinicion.com), la metodología se define como el grupo de mecanismos o procedimientos racionales, empleados para el logro de un objetivo y está directamente ligada con la ciencia ya que cuando se realiza un experimento al momento de investigar se tiene que seguir un orden lógico y coherente y para esto ayuda la metodología.

#### **4.1. Método empleado.**

Según Tamayo y Tamayo (2004), el método epistemológico lleva a plantear problemas científicos y de investigación así como la formulación de hipótesis y mecanismos de verificación, el conocimiento científico por lo tanto es el resultado de la sistematización del conocimiento que resulta de la interacción del hombre con el medio.

“El método científico es un procedimiento para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos” (Tamayo y Tamayo; 2004:28), el método es la

sucesión de pasos para probar una hipótesis o un problema que anteriormente se planteó para llegar a un resultado de la mejor manera posible.

#### **4.1.1 Método matemático.**

Una de las primeras nociones que tiene el ser humano es la noción de la cantidad, de tal manera inconscientemente el ser humano aplica el método científico de acuerdo con Mendieta Alatorre (2005).

El método matemático es un método cuantitativo basado en la utilización de números y cantidades, en la presente investigación se tienen que realizar cálculos para poder lograr el cometido.

El método se basa en tres conjuntos claves

1. Variables de decisión y parámetros.
2. Restricciones.
3. Función objetivo.

Las variables son incógnitas que deben ser determinadas a partir de la realización de un modelo, las restricciones son variables que dan sentido a la solución del problema y la función es una relación entre las variables de decisión, parámetros y una magnitud que representa el objetivo o producto del sistema de acuerdo con la página electrónica [investigacionoperaciones541.blogspot.mx](http://investigacionoperaciones541.blogspot.mx).

## **4.2. Enfoque de la investigación.**

Una investigación trata de dar soluciones a objetivos establecidos, estos objetivos pueden ser búsqueda de conocimientos y procedimientos sistemáticos para una determinada área de estudio.

La investigación tiene dos enfoques; Cualitativo y cuantitativo, los enfoques cualitativos de acuerdo con Hernández y cols. (2010), utiliza la recolección de datos sin medición numérica para afirmar una pregunta de investigación y por otro lado el enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis apoyándose en la medición numérica y análisis estadístico para probar teorías.

Por lo tanto, la investigación realizada tiene un enfoque cuantitativo ya que por el simple hecho de ser un problema de ingeniería utilizaremos como base principal las matemáticas y por ende métodos que involucran una medición numérica y una serie de cálculos para lograr el objetivo.

### **4.2.1. Alcance de la investigación.**

Cualquier investigación que se realiza como ya se ha explicado, tiene que llevar un orden lógico dentro del estudio cuantitativo existen cuatro alcances.

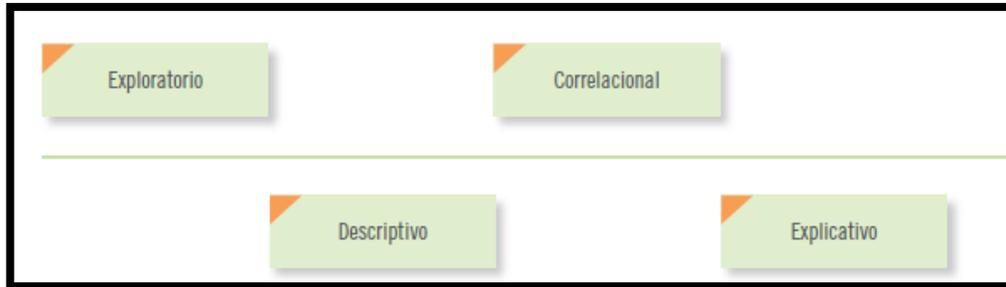


Imagen 4.1 alcance que puede tener un estudio cuantitativo

Fuente: Metodología de la Investigación, Hernández Sampieri y Cols.; 2010

“Los estudios exploratorios sirven para preparar el terreno y por lo común anteceden a investigaciones con alcances descriptivos”. (Hernández y cols.;2010;78)

La investigación se clasifica con un alcance descriptivo, ya que se enfoca en describir situaciones, eventos y hechos, como es, como se manifiesta un fenómeno estudiado, recolectan datos sobre diferentes aspectos.

### 4.3. Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación es un plan o estrategia desarrollada para obtener información que se requiere en la investigación, principalmente sirven para visualizar la manera práctica de responder a la pregunta de investigación.

Los diseños experimentales el investigador tiene el control de la variable independientemente, lo cual lleva a variar la forma en que llega a su objetivos.

Por otro lado los diseños no experimentales se define como “la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables” (Hernández Sampieri y Cols.; 2010; 149), lo cual quiere decir que no hace variar en forma intencional las variables

independientes para ver su efecto sobre otras variables, lo que se realiza en este diseño es observar fenómenos para proseguir a analizarlos.

En nuestra investigación se trata de un diseño no experimental ya que se trata de un proyecto en donde ya se encuentra establecido los procedimientos que se tiene que realizar así como su cálculo y manera de llegar a concluir satisfactoriamente.

De acuerdo con Hernández y Cols. (2010), los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un tiempo único, los diseños transeccionales se subdividen en tres:

- Exploratorios:

Tiene como propósito comenzar a conocer una variable o un conjunto de variables, comunidad, contexto, evento o situación, es decir se trata de una exploración inicial en un momento específico, y por lo general se aplican a investigaciones nuevas.

- Descriptivos:

Su principal objetivo es indagar en la incidencia de las modalidades o niveles de una o más variables en una población, se utiliza únicamente para estudios descriptivos.

- Correlacionales-causales:

Estos diseños describen relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un determinado momento.

Según Hernández Sampieri y Cols. (2010), la investigación longitudinal tiene como objetivo el analizar cambios a través del tiempo de determinadas categorías, conceptos, sucesos, variables, contextos o comunidades, la investigación longitudinal se clasifica en los siguientes grupos:

- De tendencia:

Son los que analizan cambios a través del tiempo en alguna población, esta categoría se centra principalmente en poblaciones.

- De evolución:

Se analizan cambios respecto del tiempo en subpoblaciones o grupos específicos, los grupos de individuos se vinculan de alguna manera y se caracteriza generalmente por la edad o la época.

- Panel:

Estos diseños son similares a los anteriores solo que los mismos participantes son medidos u observados en todos los tiempos o momentos.

#### **4.4. Instrumentos de recopilación de datos.**

En esta investigación se utilizaron algunas herramientas que sirvieron de apoyo para la recolección de la información necesaria para realizar correctamente el

proyecto, a continuación se presentan los softwares y herramientas que fueron utilizados:

- Microsoft Excel: esta aplicación es distribuida por Microsoft Office y su principal cualidad es que está diseñada para realizar hojas de cálculo, esta aplicación se utilizó para realizar los cálculos del alineamiento así como las obras de drenaje.
- AutoCAD: este software es comercializado por Autodesk, y es una herramienta de gran utilidad debido a que está diseñado para la proyección de dibujos en dos y tres dimensiones.
- CivilCad: es una extensión de AutoCAD, y en combinación es una herramienta de gran utilidad debido a que automatiza y simplifica las tareas cubriendo principalmente las necesidades de la ingeniería civil y la topografía bajo la normativa de la SCT.
- Estación total: esta herramienta es un aparato electro-óptico utilizado principalmente en la topografía, con esta herramienta se obtuvo la configuración del terreno para proyectar el diseño.

## **CAPÍTULO 5**

### **CÁLCULOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

En este capítulo se mostrarán todos los cálculos que se realizaron para el diseño de este proyecto geométrico, cómo se obtuvieron los resultados obtenidos, además de los análisis y resultados del diseño del drenaje, mostrando los estudios realizados, tanto aforo vehicular como el cálculo de la precipitación para realizar las obras de drenaje, respetando las normas que rigen la SCT, para poder diseñarlo de la mejor manera.

#### **5.1. Aforo vehicular.**

Como se mencionó en el capítulo 1, excantante en el subtema 1.5.4, el aforo vehicular es el conteo de vehículos en un periodo determinado dentro de un punto de una carretera, sección de un camino o alguna intersección de interés, para este caso en particular se realizó un aforo manual, para esto se recabaron datos de los tipos de vehículos tales como: autos, motocicletas, autobuses, camiones y bicicletas, así como los peatones que transitan por la zona.

Para este aforo se acudió a campo en diferentes días aleatorios y a diferente hora, esto como propósito de obtener un conteo con resultados fiables de acuerdo a todos los vehículos que transitan la zona.

A continuación se presenta una tabla en la que se muestra los resultados recabados del aforo vehicular, estos datos son muy importantes ya que de esto depende el tipo de camino que se va a diseñar.

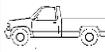
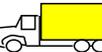
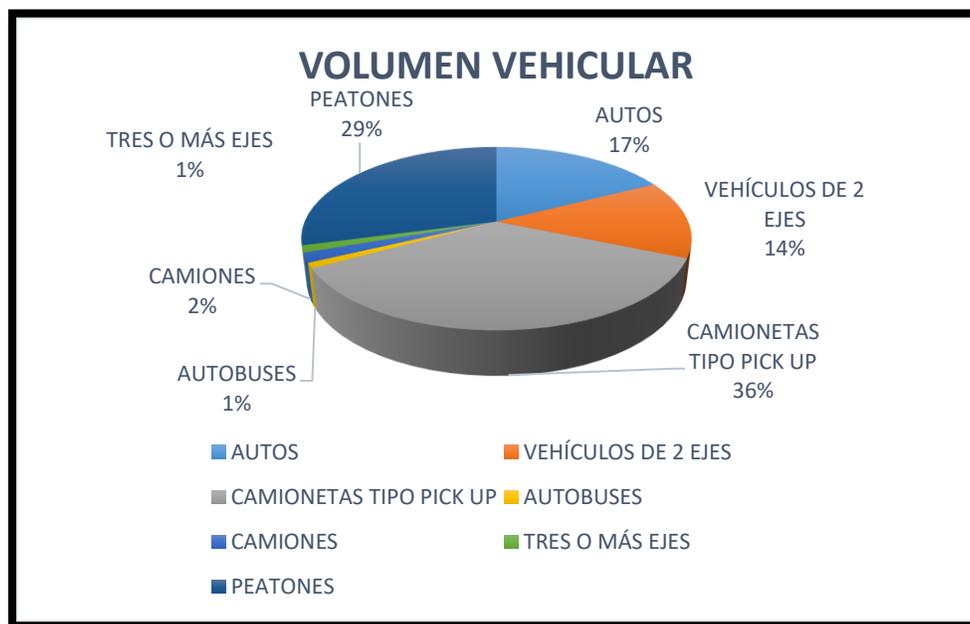
AFORO VEHICULAR									
Lugar:		Tramo "La huizachera-Hucaz"			Estado del camino:		Terracería		
Estado del tiempo:		Bueno			Copilador:		Ramiro Molina Godinez		
DIAS	HORA	AUTOS	VEHÍCULOS DE 2 EJES	CAMIONETAS TIPO PICK UP	AUTOBUSES	CAMIONES	TRES O MÁS EJES	TOTAL	PEATONES
									
Sábado 02 de septiembre	08:00-09:00	4	2	8	1	1	1	17	12
	09:00-10:00	6	3	9	0	1	0	19	9
	10:00-11:00	5	1	10	0	0	1	17	4
Domingo 03 de septiembre	13:00-14:00	2	4	6	0	0	0	12	9
	14:00-15:00	5	4	7	0	0	0	16	12
	15:00-16:00	1	2	4	0	0	0	7	2
Lunes 04 de septiembre	12:00-13:00	2	1	10	0	1	0	14	6
	13:00-14:00	1	4	5	1	0	1	12	8
	14:00-15:00	2	1	5	0	1	0	9	3
Martes 05 de septiembre	18:00-19:00	3	2	4	0	0	0	9	2
	19:00-20:00	4	2	6	0	1	0	13	4
	20:00-21:00	2	4	5	0	0	0	11	0
Miércoles 06 de septiembre	12:00-13:00	3	2	6	0	1	1	13	9
	13:00-14:00	5	5	8	1	0	0	19	7
	14:00-15:00	2	3	9	0	0	0	14	4
Jueves 07 de septiembre	08:00-09:00	4	2	9	1	1	0	17	8
	09:00-10:00	2	4	9	0	0	0	15	4
	10:00-11:00	5	3	8	0	0	1	17	9
Viernes 08 de septiembre	18:00-19:00	4	3	6	0	0	0	13	3
	19:00-20:00	6	3	8	0	0	0	17	4
	20:00-21:00	4	2	5	0	0	0	11	1
<b>TOTAL:</b>		72	57	147	4	7	5	292	120

Tabla 6.1. Aforo Vehicular por el método manual.

Fuente: Propia

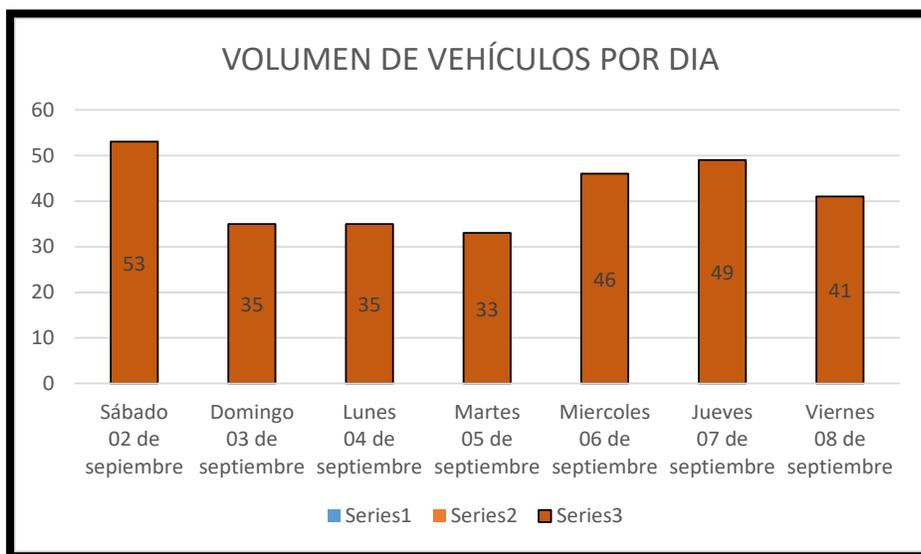
De acuerdo a los datos obtenidos del aforo los vehículos que más transitan por el camino son las camionetas tipo pick up, se puede observar que transitan todo tipo de vehículos, aunque con menor frecuencia, los camiones son los que transitan menos por la zona esto se debe a las condiciones actuales del camino, gran número de personas camina por la zona, esto es importante saber ya que son factores que dependerán la velocidad y los señalamientos de la calzada.

En seguida se muestran los resultados obtenidos en forma de resumen, se muestran los datos semanales y diarios:



Gráfica 5.1. Volumen vehicular den tramo por semana.

Fuente: Propia.



Gráfica 5.2. Volumen de vehículo por día.

Fuente: Propia.

### 5.1.1. Volumen promedio horario.

Un proyecto geométrico se realiza en base al volumen promedio horario (VPH), pues depende del promedio de vehículos las características geométricas de la vía, es la cantidad de vehículos por hora, se obtiene de la siguiente manera:

$$VPH = \frac{\textit{Total de vehículos}}{\textit{Horas aforadas}}$$

El estudio realizado se llevó a cabo en el transcurso de una semana en horas aleatorias, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Total de vehículos 292.
- Horas aforadas 21.

$$VPH = \frac{292}{21}$$

$$\underline{VPH = 13.9 = 14 \textit{ veh/hora}}$$

### 5.1.2. Volumen horario de máxima demanda.

El volumen horario de máxima demanda (VHMD), es el máximo número de vehículos que pasan en determinada intersección, punto o en una sección del carril en 60 min, según el manual de modelación para carreteras de la SCT (2006).

En el presente proyecto el VHMD se presentaron los días sábado y miércoles, transitando 19 veh/hora.

### 5.1.3. Tránsito promedio diario.

Anteriormente mencionado en el capítulo 1 el tránsito promedio diario (TPD), es la cantidad de vehículos que transitan por un punto en el transcurso de 24 horas, se considera la base para el diseño geométrico de un camino, de este promedio dependen las condiciones de los carriles, velocidad, clasificación, para este proyecto se considera que después de las 11:00 pm no transita ningún vehículo por la zona debido a las condiciones actuales, y comienzan a transitar a las 6:00 am, lo que representa 17 horas de tránsito vehicular, de acuerdo a lo anterior se obtiene:

$$TPD = (14Veh * 17 h)$$

$$TPD = 238 veh/dia$$

De acuerdo al manual de proyecto geométrico para un TPD menor de 300 veh/dia se considera un camino "tipo C".

- TPDA 0 a 300 veh/dia.
- Carretera tipo "C".
- Tipo de camino: poco lomerío.
- Velocidad de proyecto: 40 km/hr.
- Grado máximo de curvatura: 30°0'0".
- Pendiente gobernadora: 7%
- Bombeo: 2%.
- Ancho de calzada 7m.

## **5.2. Topografía.**

De acuerdo con la página electrónica [www.academia.edu](http://www.academia.edu), la topografía es una ciencia que se encarga de estudiar las posiciones de un terreno, estudia los métodos y procedimientos para realizar mediciones sobre terrenos relativamente pequeños y plasmarlos en forma gráfica y a escala en un plano, con todas las características necesarias para proyectar obras de arquitectura y de ingeniería civil.

En el levantamiento que se realizó para esta tesis se consideraron puntos a las orillas del camino y en medio, ubicando las cunetas en partes que existían, una vez que se procesó la información se apreció que existe un desnivel de aproximadamente 4m en lo largo del tramo que se estudia, gracias a esta información se realizaron las curvas de nivel en donde se puede apreciar las depresiones en algunas partes del terreno, se propuso un eje de proyecto y se obtuvieron 8 puntos de inflexión, a lo largo de 1.380km. Ver [anexo 1 y 2](#)

### **5.3. Alineamiento horizontal.**

Como ya se mencionó en el capítulo 2, el alineamiento horizontal es la proyección sobre el plano horizontal del eje de la subcorona, el cual deberá cumplir siempre con las normas de la SCT, para diseñar un proyecto cumpliendo con todas las características de seguridad, así como su capacidad.

Los elementos que integran el alineamiento horizontal son:

- Tangentes.
- Curvas circulares.
- Curvas de transición.

Para este proyecto se generaron 8 curvas, que previamente en el plano topográfico se propuso un eje y se obtuvieron 8 puntos de inflexión, se debe considerar el Grado de curvatura, ya que depende del tipo de camino permite un límite máximo, para cumplir con las características de seguridad principalmente.

En seguida se muestran los cálculos y los resultados obtenidos:

## CÁLCULO DE CURVAS HORIZONTALES

<u>CURVA 1</u>	DIAGRAMA DE CURVA HORIZONTAL	
<b>DATOS:</b>		
Clasificación del camino:		Tipo "C"
Topografía:		Poco lomerío
Velocidad de		40 km/h
Gc Mac:		30°0'0"
P.I.		0+171.96
Ancho de calzada:		7 m
Gc=		9° 10' 4"
Gc=		9.168
Δ=		61°29'12.19"
Δ=	61.436	
No. Carriles	2	

### 1.- Radio de curvatura

$$R.c = \frac{1145.92}{Gc}$$

$$R.c = \frac{1145.92}{9.168}$$

R.c=	124.99	Metros
------	--------	--------

### 2.- Longitud de curva

$$L.c = \frac{20 * \Delta}{Gc}$$

$$L.c = \frac{20 * 61.436}{9.168}$$

L.c=	134.03	Metros
------	--------	--------

### 3.- Subtangente

$$S.T = Rc * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$S.T = 124.99 * \tan\left(\frac{61.436}{2}\right)$$

S.T=	74.25	Metros
------	-------	--------

### 4.- Principio de curva

$$P.C = P.I - S.T.$$

$$P.C = 171.96 - 74.25$$

P.C=	0+097.71	Metros
------	----------	--------

### 5.- Término de la curva

$$P.T = L.c + P.c.$$

$$P.T = 134.03 + 97.71$$

P.T=	0+231.74	Metros
------	----------	--------

### 6.- Ordenada media

$$M = R.c - R.c * \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$M = 124.99 - 124.99 * \cos\left(\frac{61.436}{2}\right)$$

M=	17.530	Metros
----	--------	--------

### 7.- Longitud de Transición

$$LT = 0.0351 \left(\frac{V^3}{Rc}\right)$$

$$LT = 0.0351 \left(\frac{40^3}{124.99}\right)$$

LT=	18.0	Metros
-----	------	--------

### 8.- Sobre ancho máximo

$$X' = (Rc - \sqrt{Rc^2 - l^2 + \frac{26.62}{Rc}}) * 2$$

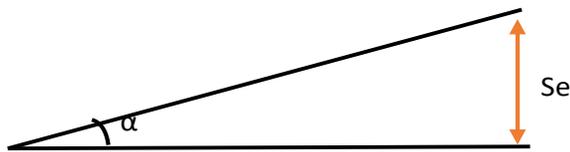
$$X' = (124.99 - \sqrt{124.99^2 - 6^2 + \frac{26.62}{124.99}}) * 2$$

X'=	0.80	Metros
-----	------	--------

### 9.- Sobre elevación

Sobre ancho	0.80	m
Sobre elevación	6.1	%

Sobre elevación	
Se=	.47 m

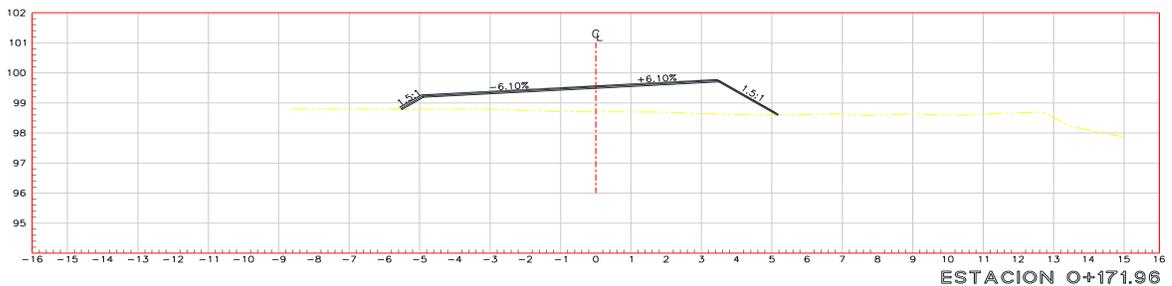


$$\tan \alpha = \frac{V^2}{127 * Rc}$$

$$\tan \alpha = \frac{40^2}{127 * 124.99}$$

α=	5.75°
----	-------

### CORTE SECCIÓN



## CÁLCULO DE CURVAS HORIZONTALES

<b><i>CURVA 2</i></b>	<b>DIAGRAMA DE CURVA HORIZONTAL</b>	
<b>DATOS:</b>		
Clasificación del camino:		Tipo "C"
Topografía:		Poco lomerío
Velocidad de		40 km/h
Gc Mac:		30°0'0"
P.I.		0+354.58
Ancho de calzada:		7 m
Gc=		10° 40' 4"
Gc=		10.668
Δ=		30°39'10.72"
Δ=	30.653	
No. Carriles	2	

### 1.- Radio de curvatura

$$R.c = \frac{1145.92}{Gc}$$

$$R.c = \frac{1145.92}{10.668}$$

R.c.=	107.41	Metros
-------	--------	--------

### 2.- Longitud de curva

$$L.c = \frac{20 * \Delta}{Gc}$$

$$L.c = \frac{20 * 30.653}{10.668}$$

L.c=	57.46	Metros
------	-------	--------

### 3.- Subtangente

$$S.T = Rc * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$S.T = 107.41 * \tan\left(\frac{30.653}{2}\right)$$

S.T=	29.44	Metros
------	-------	--------

### 4.- Principio de curva

$$P.C = P.I - S.T.$$

$$P.C = 354.58 - 29.44$$

P.C=	0+325.14	Metros
------	----------	--------

### 5.- Término de la curva

$$P.T = L.c + P.c.$$

$$P.T = 57.46 + 325.14$$

P.T=	0+382.61	Metros
------	----------	--------

### 6.- Ordenada media

$$M = R.c - R.c * \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$M = 107.41 - 107.41 * \cos\left(\frac{30.653}{2}\right)$$

M=	3.820	Metros
----	-------	--------

### 7.- Longitud de Transición

$$LT = 0.0351 \left(\frac{V^3}{Rc}\right)$$

$$LT = 0.0351 \left(\frac{40^3}{107.41}\right)$$

LT=	20.9	Metros
-----	------	--------

### 8.- Sobre ancho máximo

$$X' = (Rc - \sqrt{Rc^2 - l^2 + \frac{26.62}{Rc}}) * 2$$

$$X' = (107.41 - \sqrt{107.41^2 - 6^2 + \frac{26.62}{107.41}}) * 2$$

X'=	0.83	Metros
-----	------	--------

### 9.- Sobre elevación

Sobre ancho optimo	0.90	m
Sobre elevacion	6.8	%

Sobre elevación	
Se=	0.53

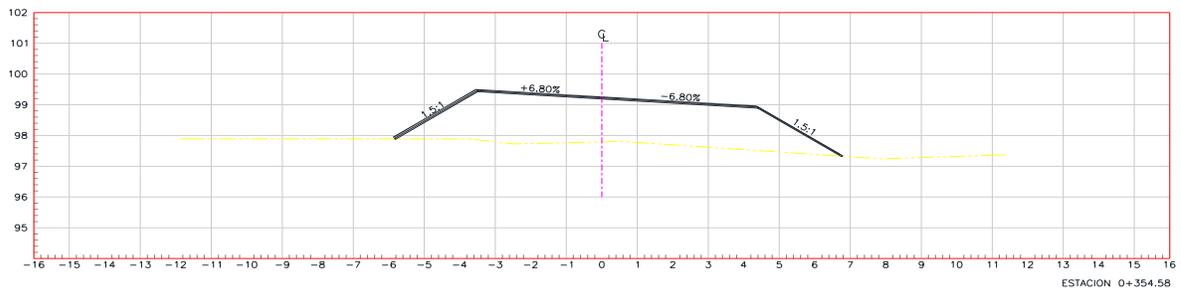


$$\tan \alpha = \frac{V^2}{127 * Rc}$$

$$\tan \alpha = \frac{40^2}{127 * 107.41}$$

α=	6.68°
----	-------

### CORTE SECCIÓN



## CÁLCULO DE CURVAS HORIZONTALES

<b><u>CURVA 3</u></b>	<b>DIAGRAMA DE CURVA HORIZONTAL</b>	
<b>DATOS:</b>		
Clasificación del camino:		Tipo "C"
Topografía:		Poco lomerío
Velocidad de		40 km/h
Gc Mac:		30°0'0"
P.I.		0+538.98
Ancho de calzada:		7 m
Gc=		2° 40' 4"
Gc=		2.668
Δ=		8°28'43.84"
Δ=	8.778	
No. Carriles	2	

### 1.- Radio de curvatura

$$R.c = \frac{1145.92}{Gc}$$

$$R.c = \frac{1145.92}{2.668}$$

<b>R.c.=</b>	429.53	Metros
--------------	--------	--------

### 2.- Longitud de curva

$$L.c = \frac{20 * \Delta}{Gc}$$

$$L.c = \frac{20 * 8.778}{2.668}$$

<b>L.c.=</b>	63.57	Metros
--------------	-------	--------

### 3.- Subtangente

$$S.T = Rc * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$S.T = 429.53 * \tan\left(\frac{8.778}{2}\right)$$

<b>S.T.=</b>	31.84	Metros
--------------	-------	--------

### 4.- Principio de curva

$$P.C = P.I - S.T.$$

$$P.C = 538.98 - 31.84$$

<b>P.C.=</b>	0+507.14	Metros
--------------	----------	--------

### 5.- Término de la curva

$$P.T = L.c + P.c.$$

$$P.T = 63.57 + 507.14$$

P.T=	0+570.70	Metros
------	----------	--------

### 6.- Ordenada media

$$M = R.c - R.c * \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$M = 429.53 - 429.53 * \cos\left(\frac{8.778}{2}\right)$$

M=	1.250	Metros
----	-------	--------

### 7.- Longitud de Transición

$$LT = 0.0351 \left(\frac{V^3}{Rc}\right)$$

$$LT = 0.0351 \left(\frac{40^3}{429.53}\right)$$

LT=	5.2	Metros
-----	-----	--------

### 8.- Sobre ancho máximo

$$X' = (Rc - \sqrt{Rc^2 - l^2 + \frac{26.62}{Rc}}) * 2$$

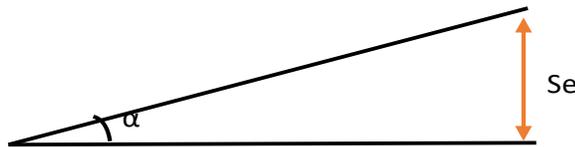
$$X' = (429.53 - \sqrt{429.53^2 - 6^2 + \frac{26.62}{429.53}}) * 2$$

X'=	0.40	Metros
-----	------	--------

### 9.- Sobre elevación

Sobre ancho optimo	0.40	m
Sobre elevacion	2.3	%

Sobre elevación	
Se=	0.17

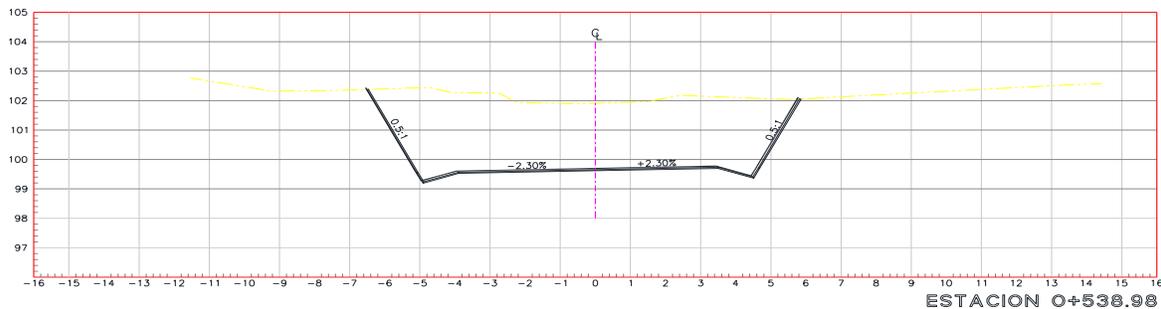


$$\tan \alpha = \frac{V^2}{127 * Rc}$$

$$\tan \alpha = \frac{40^2}{127 * 429.53}$$

$\alpha =$	1.68°
------------	-------

### CORTE SECCIÓN



## CÁLCULO DE CURVAS HORIZONTALES

<b><i>CURVA 4</i></b>	<b>DIAGRAMA DE CURVA HORIZONTAL</b>	
<b>DATOS:</b>		
Clasificación del camino:		Tipo "C"
Topografía:		Poco lomerío
Velocidad de		40 km/h
Gc Mac:		30°0'0"
P.I.		0+759.92
Ancho de calzada:		7 m
Gc=		2° 40' 4"
Gc=		2.668
Δ=		8°28'43.84"
Δ=	8.07	
No. Carriles	2	

### 1.- Radio de curvatura

$$R.c = \frac{1145.92}{Gc}$$

$$R.c = \frac{1145.92}{2.668}$$

R.c.=	429.53	Metros
-------	--------	--------

### 2.- Longitud de curva

$$L.c = \frac{20 * \Delta}{Gc}$$

$$L.c = \frac{20 * 8.07}{2.668}$$

L.c=	60.50	Metros
------	-------	--------

### 3.- Subtangente

$$S.T = Rc * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$S.T = 429.53 * \tan\left(\frac{8.07}{2}\right)$$

S.T=	30.30	Metros
------	-------	--------

### 4.- Principio de curva

$$P.C = P.I - S.T.$$

$$P.C = 759.92 - 30.30$$

P.C=	0+729.62	Metros
------	----------	--------

### 5.- Término de la curva

$$P.T = L.c + P.c.$$

$$P.T = 60.50 + 729.62$$

P.T=	0+790.12	Metros
------	----------	--------

### 6.- Ordenada media

$$M = R.c - R.c * \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$M = 429.53 - 429.53 * \cos\left(\frac{8.07}{2}\right)$$

M=	1.060	Metros
----	-------	--------

### 7.- Longitud de Transición

$$LT = 0.0351 \left(\frac{V^3}{Rc}\right)$$

$$LT = 0.0351 \left(\frac{40^3}{429.53}\right)$$

LT=	5.2	Metros
-----	-----	--------

### 8.- Sobre ancho máximo

$$X' = (Rc - \sqrt{Rc^2 - l^2 + \frac{26.62}{Rc}}) * 2$$

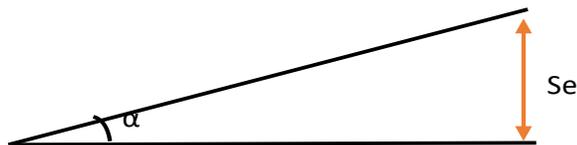
$$X' = (429.53 - \sqrt{429.53^2 - 6^2 + \frac{26.62}{429.53}}) * 2$$

X'=	0.40	Metros
-----	------	--------

### 9.- Sobre elevación

Sobre ancho optimo	0.40	m
Sobre elevacion	2.3	%

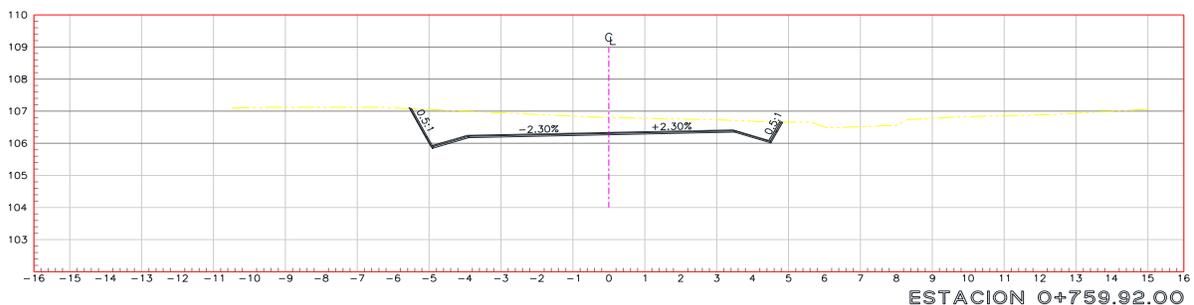
Sobre elevación	
Se=	0.17



$$\tan \alpha = \frac{V^2}{127 * Rc} \quad \tan \alpha = \frac{40^2}{127 * 429.53}$$

$\alpha =$	1.68°
------------	-------

### CORTE SECCIÓN



## CÁLCULO DE CURVAS HORIZONTALES

<b><u>CURVA 5</u></b>	<b>DIAGRAMA DE CURVA HORIZONTAL</b>	
<b>DATOS:</b>		
Clasificación del camino:		Tipo "C"
Topografía:		Poco lomerío
Velocidad de		40 km/h
Gc Mac:		30°0'0"
P.I.		0+918.21
Ancho de calzada:		7 m
Gc=		18°40'4"
Gc=		18.668
Δ=		17°46'20.68"
Δ=	17.772	
No. Carriles	2	

### 1.- Radio de curvatura

$$R.c = \frac{1145.92}{Gc}$$

$$R.c = \frac{1145.92}{18.668}$$

R.c.=	61.38	Metros
-------	-------	--------

### 2.- Longitud de curva

$$L.c = \frac{20 * \Delta}{Gc}$$

$$L.c = \frac{20 * 17.772}{61.38}$$

L.c=	19.04	Metros
------	-------	--------

### 3.- Subtangente

$$S.T = Rc * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$S.T = 61.38 * \tan\left(\frac{17.772}{2}\right)$$

S.T=	9.59	Metros
------	------	--------

### 4.- Principio de curva

$$P.C = P.I - S.T.$$

$$P.C = 918.21 - 9.59$$

P.C=	0+908.62	Metros
------	----------	--------

### 5.- Termino de la curva

$$P.T = L.c + P.c.$$

$$P.T = 19.04 + 908.62$$

P.T=	0+927.66	Metros
------	----------	--------

### 6.- Ordenada media

$$M = R.c - R.c * \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$M = 61.38 - 61.38 * \cos\left(\frac{17.772}{2}\right)$$

M=	0.730	Metros
----	-------	--------

### 7.- Longitud de Transición

$$LT = 0.0351 \left(\frac{V^3}{Rc}\right)$$

$$LT = 0.0351 \left(\frac{40^3}{61.38}\right)$$

LT=	36.6	Metros
-----	------	--------

### 8.- Sobre ancho maximo

$$X' = (Rc - \sqrt{Rc^2 - l^2 + \frac{26.62}{Rc}}) * 2$$

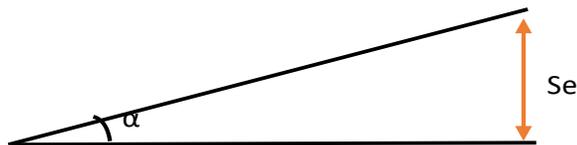
$$X' = (61.38 - \sqrt{61.38^2 - 6^2 + \frac{26.62}{61.38}}) * 2$$

X'=	1.45	Metros
-----	------	--------

### 9.- Sobre elevación

Sobre ancho optimo	1.30	m
Sobre elevacion	9	%

Sobre elevación	
Se=	0.74

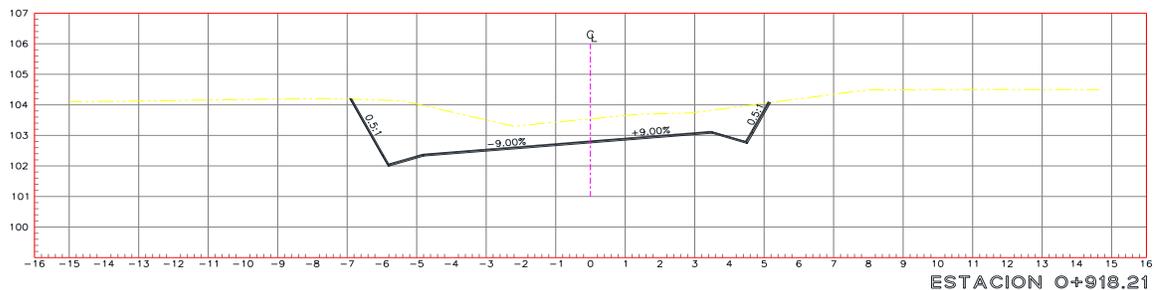


$$\tan \alpha = \frac{V^2}{127 * Rc}$$

$$\tan \alpha = \frac{40^2}{127 * 61.38}$$

<b>α=</b>	<b>3.58°</b>
-----------	--------------

### CORTE SECCIÓN



## CÁLCULO DE CURVAS HORIZONTALES

<b><u>CURVA 6</u></b>	<b>DIAGRAMA DE CURVA HORIZONTAL</b>	
<b>DATOS:</b>		
Clasificación del camino:		Tipo "C"
Topografía:		Poco lomerío
Velocidad de		40 km/h
Gc Mac:		30°0'0"
P.I.		1+058.61
Ancho de calzada:		7 m
Gc=		22°40'4"
Gc=		22.668
Δ=		74°0'32.29"
Δ=	74.008	
No. Carriles	2	

### 1.- Radio de curvatura

$$R.c = \frac{1145.92}{Gc}$$

$$R.c = \frac{1145.92}{22.668}$$

R.c.=	50.55	Metros
-------	-------	--------

### 2.- Longitud de curva

$$L.c = \frac{20 * \Delta}{Gc}$$

$$L.c = \frac{20 * 74.008}{22.668}$$

L.c=	65.29	Metros
------	-------	--------

### 3.- Subtangente

$$S.T = Rc * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$S.T = 50.55 * \tan\left(\frac{74.008}{2}\right)$$

S.T=	38.10	Metros
------	-------	--------

### 4.- Principio de curva

$$P.C = P.I - S.T.$$

$$P.C = 1058.61 - 38.10$$

P.C=	1+020.51	Metros
------	----------	--------

### 5.- Término de la curva

$$P.T = L.c + P.c.$$

$$P.T = 65.29 + 1020.51$$

P.T=	1+085.81	Metros
------	----------	--------

### 6.- Ordenada media

$$M = R.c - R.c * \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$M = 50.55 - 50.55 * \cos\left(\frac{74.008}{2}\right)$$

M=	9.140	Metros
----	-------	--------

### 7.- Longitud de Transición

$$LT = 0.0351 \left(\frac{V^3}{Rc}\right)$$

$$LT = 0.0351 \left(\frac{40^3}{50.55}\right)$$

LT=	44.4	Metros
-----	------	--------

### 8.- Sobre ancho máximo

$$X' = (Rc - \sqrt{Rc^2 - l^2 + \frac{26.62}{Rc}}) * 2$$

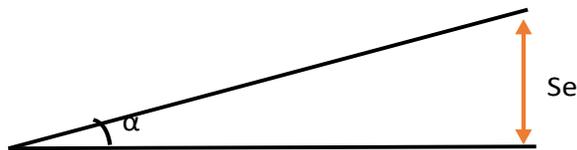
$$X' = (50.55 - \sqrt{50.55^2 - 6^2 + \frac{26.62}{50.55}}) * 2$$

X'=	1.76	Metros
-----	------	--------

### 9.- Sobre elevación

Sobre ancho optimo	1.50	m
Sobre elevacion	9.6	%

Sobre elevación	
Se=	0.81

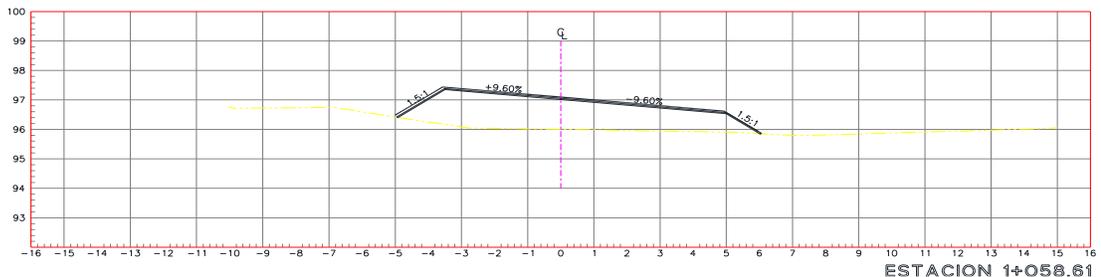


$$\tan \alpha = \frac{V^2}{127 * Rc}$$

$$\tan \alpha = \frac{40^2}{127 * 50.55}$$

α=	13.99°
----	--------

### CORTE SECCIÓN



## CÁLCULO DE CURVAS HORIZONTALES

<u>CURVA 7</u>	DIAGRAMA DE CURVA HORIZONTAL	
<b>DATOS:</b>		
Clasificación del camino:		Tipo "C"
Topografía:		Poco lomerío
Velocidad de		40 km/h
Gc Mac:		30°0'0"
P.I.		1+058.61
Ancho de calzada:		7 m
Gc=		27°40'4"
Gc=		27.668
Δ=		23°49'55.96"
Δ=	23.832	
No. Carriles	2	

### 1.- Radio de curvatura

$$R.c = \frac{1145.92}{Gc}$$

$$R.c = \frac{1145.92}{27.668}$$

R.c.=	41.41	Metros
-------	-------	--------

### 2.- Longitud de curva

$$L.c = \frac{20 * \Delta}{Gc}$$

$$L.c = \frac{20 * 23.832}{27.668}$$

L.c=	17.22	Metros
------	-------	--------

### 3.- Subtangente

$$S.T = Rc * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$S.T = 41.31 * \tan\left(\frac{23.832}{2}\right)$$

S.T=	8.74	Metros
------	------	--------

### 4.- Principio de curva

$$P.C = P.I - S.T.$$

$$P.C = 1227.43 - 8.74$$

P.C=	1+218.69	Metros
------	----------	--------

### 5.- Término de la curva

$$P.T = L.c + P.c.$$

$$P.T = 17.22 + 1218.69$$

P.T=	1+235.91	Metros
------	----------	--------

### 6.- Ordenada media

$$M = R.c - R.c * \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$M = 41.41 - 41.41 * \cos\left(\frac{23.832}{2}\right)$$

M=	0.880	Metros
----	-------	--------

### 7.- Longitud de Transición

$$LT = 0.0351 \left(\frac{V^3}{Rc}\right)$$

$$LT = 0.0351 \left(\frac{40^3}{41.41}\right)$$

LT=	54.2	Metros
-----	------	--------

### 8.- Sobre ancho máximo

$$X' = (Rc - \sqrt{Rc^2 - l^2 + \frac{26.62}{Rc}}) * 2$$

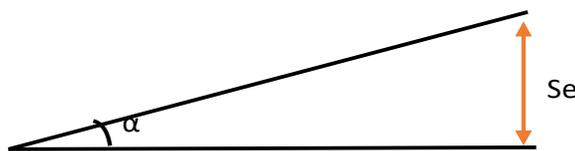
$$X' = (41.41 - \sqrt{41.41^2 - 6^2 + \frac{26.62}{41.41}}) * 2$$

X'=	2.00	Metros
-----	------	--------

### 9.- Sobre elevación

Sobre ancho optimo	1.80	m
Sobre elevacion	9.9	%

Sobre elevación	
Se=	0.87

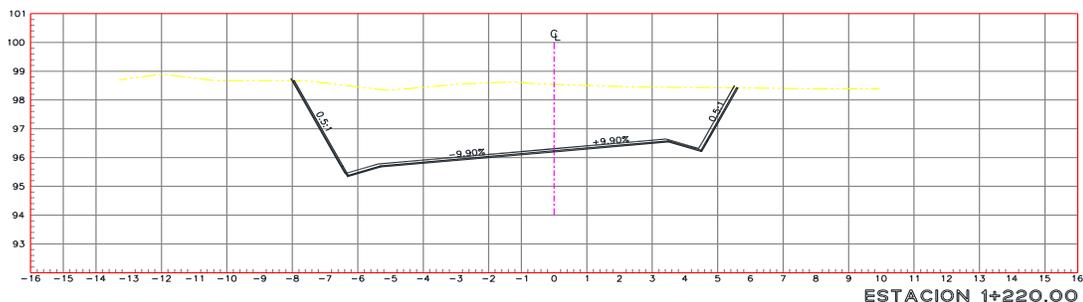


$$\tan \alpha = \frac{V^2}{127 * Rc}$$

$$\tan \alpha = \frac{40^2}{127 * 50.55}$$

$\alpha =$	16.92°
------------	--------

### CORTE SECCIÓN



## CÁLCULO DE CURVAS HORIZONTALES

<b><u>CURVA 8</u></b>	<b>DIAGRAMA DE CURVA HORIZONTAL</b>	
<b>DATOS:</b>		
Clasificación del camino:		Tipo "C"
Topografía:		Poco lomerío
Velocidad de		40 km/h
Gc Mac:		30°0'0"
P.I.		1+335.41
Ancho de calzada:		7 m
Gc=		27°33'4"
Gc=		27.551
Δ=		32°20'36.52"
Δ=	32.343	
No. Carriles	2	

### 1.- Radio de curvatura

$$R.c = \frac{1145.92}{Gc}$$

$$R.c = \frac{1145.92}{27.551}$$

R.c.=	41.59	Metros
-------	-------	--------

### 2.- Longitud de curva

$$L.c = \frac{20 * \Delta}{Gc}$$

$$L.c = \frac{20 * 32.343}{27.551}$$

L.c=	23.48	Metros
------	-------	--------

### 3.- Subtangente

$$S.T = Rc * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$S.T = 41.59 * \tan\left(\frac{32.343}{2}\right)$$

S.T=	12.06	Metros
------	-------	--------

### 4.- Principio de curva

$$P.C = P.I - S.T.$$

$$P.C = 1335.41 - 12.06$$

P.C=	1+323.34	Metros
------	----------	--------

### 5.- Término de la curva

$$P.T = L.c + P.c.$$

$$P.T = 23.48 + 1323.34$$

P.T=	1+346.82	Metros
------	----------	--------

### 6.- Ordenada media

$$M = R.c - R.c * \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$M = 41.59 - 41.59 * \cos\left(\frac{32.343}{2}\right)$$

M=	1.640	Metros
----	-------	--------

### 7.- Longitud de Transición

$$LT = 0.0351 \left(\frac{V^3}{Rc}\right)$$

$$LT = 0.0351 \left(\frac{40^3}{41.59}\right)$$

LT=	50.0	Metros
-----	------	--------

### 8.- Sobre ancho máximo

$$X' = (Rc - \sqrt{Rc^2 - l^2 + \frac{26.62}{Rc}}) * 2$$

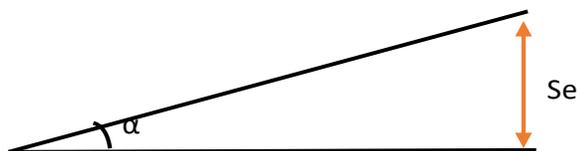
$$X' = (41.59 - \sqrt{41.59^2 - 6^2 + \frac{26.62}{41.59}}) * 2$$

X'=	2.00	Metros
-----	------	--------

### 9.- Sobre elevación

Sobre ancho optimo	1.80	m
Sobre elevacion	9.9	%

Sobre elevación	
Se=	0.87

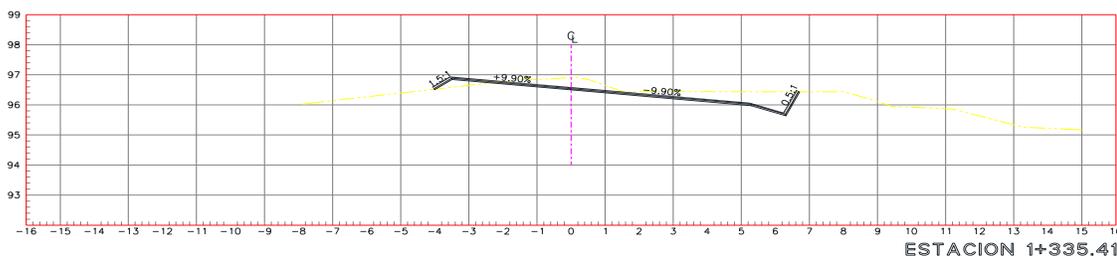


$$\tan \alpha = \frac{V^2}{127 * Rc}$$

$$\tan \alpha = \frac{40^2}{127 * 41.59}$$

α=	16.85°
----	--------

### CORTE SECCIÓN



#### **5.4. Alineamiento vertical.**

Como se menciona en el capítulo 2, el alineamiento vertical es la proyección de un plano vertical del desarrollo del eje a la sub corona, al este eje se le denomina subrasante, se compone de tangentes y curvas verticales.

Las curvas verticales tienen la tarea de enlazar 2 tangentes consecutivas, tiene que cumplir con una pendiente establecida por la SCT para mantener los parámetros de seguridad, las curvas pueden ser de 2 tipos, cóncavas o convexas, de longitud variable y se denominan como curvas en cresta, o en columpio.

En el alineamiento vertical se deben considerar algunas variables, el diseño de estas curvas rige los cortes y los terraplenes, los cuales tienen un rol importante, se tienen que compensar los cortes y los terraplenes para evitar sobre acarreos o incrementos considerables en la economía de la obra.

A continuación se presenta el cálculo y los resultados de las curvas verticales:

## CÁLCULO DE CURVAS VERTICALES

<b><u>CURVA 1</u></b>		<b><u>CURVA EN COLUMPIO</u></b>
<b>DATOS:</b>		
Clasificación del camino:	Tipo "C"	
Topografía:	Poco lomerío	
Velocidad de	40 km/h	
Pendiente entrada P1=	-0.167 %	
Pendiente entrada P2=	3.23 %	
PIV	0+520	
Cota PIV	98.9	

### 1.-Longitud de curva

$$A = P1 - P2$$

$$A = -0.167 - 3.23$$

A=	-3.4
Lc=	A*20
Lc=	80 m

### 2.-Distancia de reacción

$$dr = \frac{V * t}{3.6}$$

$$dr = \frac{40 * 2.5}{3.6}$$

dr=	27.78 m
-----	---------

### 3.-Distancia de frenado

$$df = \frac{V^2}{254 * (f \pm P)}$$

$$df = \frac{40^2}{254 * (0.4 - 0.032)}$$

df=	17.11 m
-----	---------

### 4.-Distancia de visibilidad de parada

$$dp = dr + df$$

$$dp = 27.78 + 17.11$$

dp=	44.89 m
-----	---------

**5.-Longitud de cuerda minima.**

<p style="text-align: center;"><b><math>dp &lt; Lc</math></b></p> $Lc \min = \frac{Adp^2}{423.41}$	$Lc \min = \frac{3.40 (44.89)^2}{423.41}$				
<p style="text-align: center;"><b><math>dp &gt; Lc</math></b></p> $Lc \min = 2dp \frac{423.41}{A}$	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Lcmin=</td> <td style="padding: 5px;">16.88 m</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Lcmin=</td> <td style="padding: 5px;">1 estacion</td> </tr> </table>	Lcmin=	16.88 m	Lcmin=	1 estacion
Lcmin=	16.88 m				
Lcmin=	1 estacion				

**6.-Factor de corrección K**

$$K = \frac{A}{10L}$$

$$K = \frac{3.4}{10 * 4}$$

K=	0.085
----	-------

	CADENA.	ORDEN	ORDEN <sup>2</sup>	ORDEN <sup>2</sup> (k)	COT. TANG.	COTAS CURV.
PCV	0+480.00	0	0	0	98.97	98.97
	0+500.00	1	1	0.085	98.94	99.02
PIV	0+520.00	2	4	0.34	98.91	99.24
PTV	0+540.00	3	9	0.765	99.55	99.64
	0+560.00	4	16	1.36	100.20	100.20

## CÁLCULO DE CURVAS VERTICALES

<b>CURVA 2</b>		<b>CURVA EN CRESTA</b>
<b>DATOS:</b>		
Clasificación del camino:	Tipo "C"	
Topografía:	Poco lomerio	
Velocidad de	40 km/h	
Pendiente entrada P1=	3.23 %	
Pendiente entrada P2=	-4.31 %	
PIV	0+800	
Cota PIV	107.95	

### 1.-Longitud de curva

$$A = P1 - P2$$

$$A = -3.23 - 4.31$$

A=	7.54
Lc=	A*20
Lc=	160 m

### 2.-Distancia de reacción

$$dr = \frac{V * t}{3.6} \quad dr = \frac{40 * 2.5}{3.6}$$

dr=	27.78 m
-----	---------

### 3.-Distancia de frenado

$$df = \frac{V^2}{254 * (f \pm P)} \quad df = \frac{40^2}{254 * (0.4 + 0.043)}$$

df=	14.21 m
-----	---------

### 4.-Distancia de visibilidad de parada

$$dp = dr + df \quad dp = 27.78 + 14.21$$

dp=	41.99 m
-----	---------

<b>5.-Longitud de cuerda minima.</b>					
<b><math>dp &lt; Lc</math></b>  $Lc \min = \frac{Adp^2}{423.41}$	$Lc \min = \frac{7.54 (41.99)^2}{423.41}$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Lcmin=</td> <td>31.3 m</td> </tr> <tr> <td>Lcmin=</td> <td>2 estaciones</td> </tr> </table>	Lcmin=	31.3 m	Lcmin=	2 estaciones
Lcmin=		31.3 m			
Lcmin=	2 estaciones				
<b><math>dp &gt; Lc</math></b>  $Lc \min = 2dp \frac{423.41}{A}$					
<b>6.-Factor de corrección K</b>					

$$K = \frac{A}{10L}$$

$$K = \frac{7.54}{10 * 8}$$

K=	0.094
----	-------

	<b>CADENA.</b>	<b>ORDEN</b>	<b>ORDEN <sup>2</sup></b>	<b>ORDEN <sup>2</sup> (k)</b>	<b>COT. TANG.</b>	<b>COTAS CURV.</b>
PCV	0+720.00	0	0	0	105.37	105.37
	0+740.00	1	1	0.094	106.01	105.92
	0+760.00	2	4	0.376	106.66	106.29
	0+780.00	3	9	0.846	107.31	106.46
PIV	0+800.00	4	16	1.504	107.958	106.45
PTV	0+820.00	5	25	2.35	107.094	106.24
	0+840.00	6	36	3.384	106.230	105.85
	0+860.00	7	49	4.606	105.366	105.27
	0+880.00	8	64	6.016	104.503	104.50

## CÁLCULO DE CURVAS VERTICALES

<b>CURVA 3</b>		<b>CURVA EN COLUMPIO</b>
<b>DATOS:</b>		
Clasificación del camino:	Tipo "C"	
Topografía:	Poco lomerio	
Velocidad de	40 km/h	
Pendiente entrada P1=	-4.31 %	
Pendiente entrada P2=	0.251 %	
PIV	1+080	
Cota PIV	95.86	

### 1.-Longitud de curva

$$A = P1 - P2$$

$$A = -4.31 - 0.251$$

A=	-4.57
Lc=	A*20
Lc=	120 m

### 2.-Distancia de reacción

$$dr = \frac{V * t}{3.6}$$

$$dr = \frac{40 * 2.5}{3.6}$$

dr=	27.78 m
-----	---------

### 3.-Distancia de frenado

$$df = \frac{V^2}{254 * (f \pm P)}$$

$$df = \frac{40^2}{254 * (0.4 - 0.0025)}$$

df=	15.84 m
-----	---------

### 4.-Distancia de visibilidad de parada

$$dp = dr + df$$

$$dp = 27.78 + 15.84$$

dp=	43.62
-----	-------

**5.-Longitud de cuerda minima.**

<p><b><math>dp &lt; Lc</math></b></p> $Lc \min = \frac{Adp^2}{423.41}$	$Lc \min = \frac{4.57 (43.62)^2}{423.41}$				
<p><b><math>dp &gt; Lc</math></b></p> $Lc \min = 2dp \frac{423.41}{A}$	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Lcmin=</td> <td style="padding: 5px;">20.53</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Lcmin=</td> <td style="padding: 5px;">1 estacion</td> </tr> </table>	Lcmin=	20.53	Lcmin=	1 estacion
Lcmin=	20.53				
Lcmin=	1 estacion				

**6.-Factor de corrección K**

$$K = \frac{A}{10L}$$

$$K = \frac{4.57}{10 * 6}$$

K=	0.076
----	-------

	CADENA.	ORDEN	ORDEN <sup>2</sup>	ORDEN <sup>2</sup> (k)	COT. TANG.	COTAS CURV.
PCV	1+020.000	0	0	0	98.46	98.46
	1+040.000	1	1	0.076	97.59	97.67
	1+060.000	2	4	0.304	96.73	97.03
PIV	1+080.000	3	9	0.684	95.86	96.55
PTV	1+100.000	4	16	1.216	95.91	96.22
	1+120.000	5	25	1.9	95.965	96.04
	1+140.000	6	36	2.736	96.015	96.02

## **5.5. Obras de drenaje.**

Una cuenca hidrológica es la línea imaginaria creada a partir del parte aguas generado por el punto más elevado del terreno. Esta línea imaginaria divide en dos o más partes la cantidad de agua depositada de acuerdo a la precipitación, donde cada gota que cae sobre la zona de captación escurre hasta el punto más bajo de la cuenca.

En todo el trayecto de un camino se presentan diferentes relieves y elevaciones, esto se debe principalmente a la topografía de la zona, dentro de la topografía del terreno las cuencas hidrológicas son de vital importancia el estudio, cuando por un tramo determinado pasa la escorrentía generada por la cuenca es necesario dejar que circule libremente, de lo contrario se puede ver comprometida la seguridad de la carretera provocando daños como erosión y socavación.

Para este problema se tiene como solución el diseño de obras de drenaje, estas obras principalmente pueden ser de dos tipos: alcantarillas y obras de losa, que son las encargadas de dejar pasar el flujo generado por la escorrentía para evitar el paso natural del cauce.

Para el presente proyecto, de acuerdo al análisis de las cuencas generadas por la topografía y las escorrentías generadas, se determinaron 3 obras de drenaje, en los cadenamientos 0+360, 0+976 y 1+315.57 respectivamente, para el diseño de las obras de drenaje se consideran un colchón de tierra, que este colchón es el encargado de transmitir las cargas ejercidas sobre el suelo sin dañar la estructura inferior, es necesario obtener el ángulo de esviaje de la corriente, ya que de acuerdo a dicho

ángulo se necesita colocar la obra de drenaje, esto para respetar el sentido del cauce y evitar problemas de erosión.

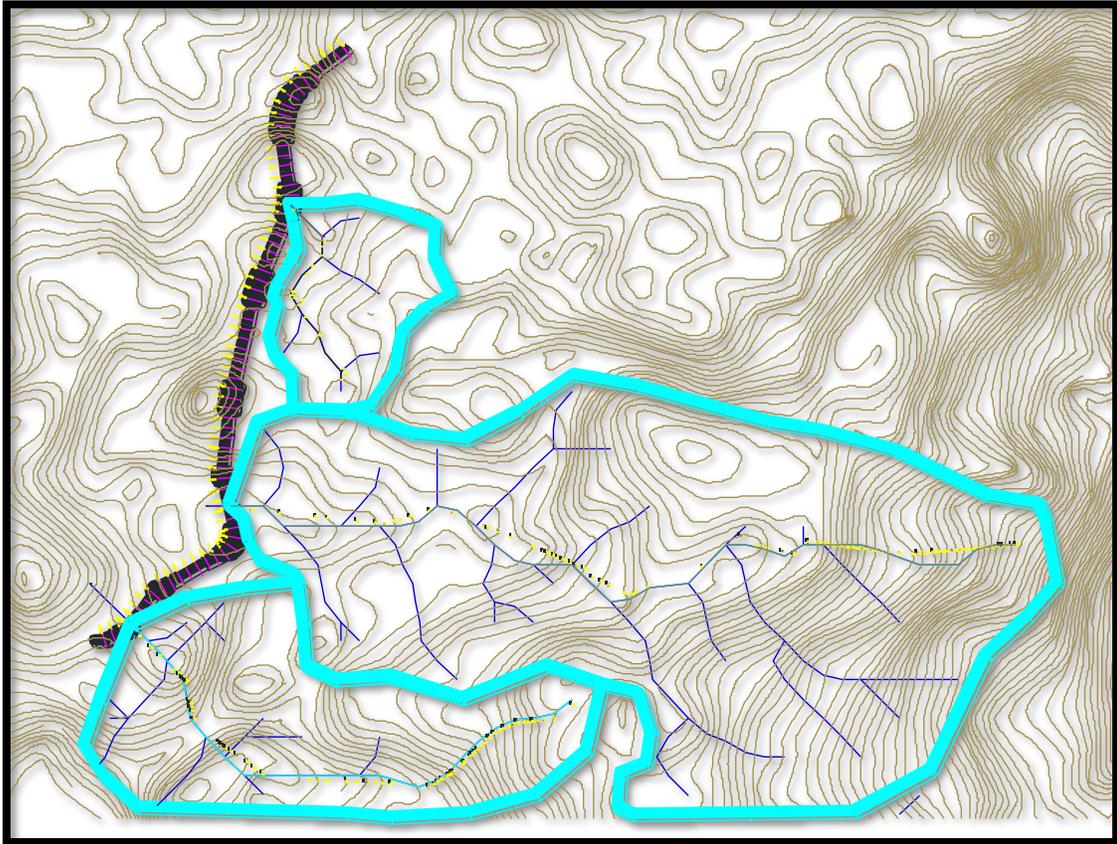


Imagen 6.1. Curvas de nivel y delimitación de cuencas.

Fuente: Propia.

En la imagen 6.1 se pueden apreciar las curvas de nivel en la zona del proyecto, de acuerdo al análisis en el software Global Mapper se generaron las escorrentías generadas por cada cuenca y se delimitaron de acuerdo a la topografía del terreno, se obtuvieron 3 cuencas hidrológicas y las características para poder diseñar las obras de drenaje:

## CÁLCULO DE DATOS HIDROLOGICOS PARA OBRA DE DRENAJE

### CUENCA 1 ESTACION 0+360.11

DATOS	Angulo de Esviaje
Área de la cuenca: 104,851 m <sup>2</sup>	
Longitud del escurrimiento: 424.01 m	
Cota Máxima: 1591.20 m	
Cota Mínima: 1585.60 m	

### 1.- Cálculo de la pendiente media

PUNTO	CADENAMIENTO	LONGITUD	ELEVACION	DESNIVEL	DISTANCIA	S <sub>i</sub>	S <sub>i</sub> d <sub>i</sub>
NUMERO DE TRAMO	M	M	M	M	M		
N	C <sub>N</sub>	L <sub>i</sub> =C <sub>N</sub> -C <sub>N-1</sub>	E <sub>N</sub>	h <sub>i</sub> =E <sub>N-1</sub> -E <sub>N</sub>	d <sub>i</sub> =(L <sub>i</sub> <sup>2</sup> +h <sub>i</sub> <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup>	S <sub>i</sub> =h <sub>i</sub> /L <sub>i</sub>	S <sub>i</sub> d <sub>i</sub>
1	0+000.00		1,585.60				
2	0+423.97	423.97	1,591.20	5.60	424.01	0.013	5.51
$\sum d_i =$					424.01	$\sum S_i =$	5.51
<b>PENDIENTE MEDIA =</b>						<b>0.013</b>	

$$h_i = 1591.20 - 1585.60 \quad h_i = 5.60$$

$$\text{Pendiente Media} = 5.51 / 424.01$$

$$\text{Pendiente Media} = 0.013$$

$$d_i = (423.97^2 + 5.60^2)^{1/2} \quad d_i = 424.01$$

$$S_i = \frac{5.60}{424.01} \quad S_i = 0.013$$

$$S_i \cdot d_i = 0.013 \cdot 424.01 \quad S_i \cdot d_i = 5.51$$

### 2.- Cálculo del tiempo de concentración

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

t<sub>c</sub>= TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (h)

L= LONGITUD DEL CAUCE PPAL. (KM)

S<sub>c</sub>= PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL

**T<sub>c</sub> = 0.180 Hrs**

$$T_c = 0.180 \cdot 60$$

$$\underline{\underline{T_c = 10.8 \text{ min}}}$$

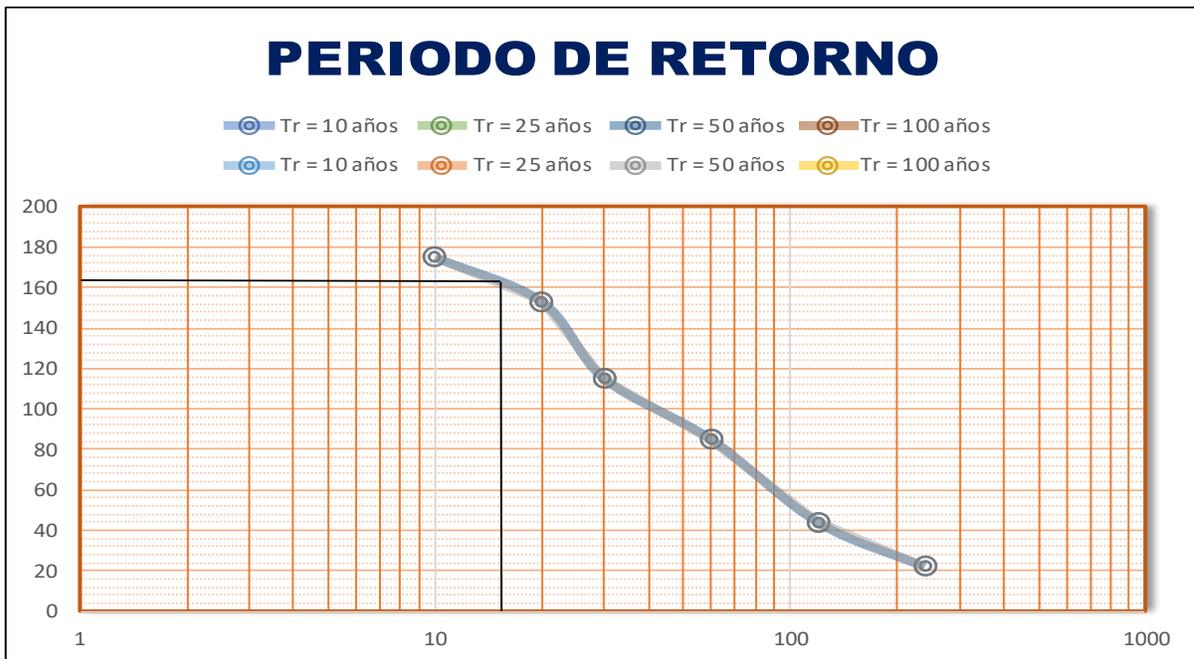
$$T_c = 0.0662 \frac{0.42410^{0.77}}{0.013^{0.385}}$$

**3.- Periodo+A52:G101 de retorno**

Para el diseño de las obras de drenaje se utilizará un periodo de retorno de 50 años, para esto se generó una gráfica de acuerdo a la intensidad, periodo de retorno y duración, para obtener estos valores se utilizaron las isoyetas de intensidad del estado de Michoacán.

**Tabla y gráfica generada para obtener la intensidad de lluvia**

DURACIÓN	PERIODO DE RETORNO			
	Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
MIN	10	25	50	100
10			175	
20			153	
30			115	
60			85	
120			44	
240			22	
<b>INTENSIDAD DE LLUVIA I (mm/h)</b>				



Para un tiempo de concentración  $T_c=10.8$  Min  
 La intensidad de acuerdo a la grafica es= **165 mm/h**

#### 4.- Cálculo del gasto (Q m3/seg)

$$Q=0.278(Ci \times I \times Acuenca)$$

El 0.278 es un Factor que utiliza la fórmula del Método Racional Americano Utilizado

**Ci= 0.40**, este valor se obtiene de la tabla (Anexo 13) coeficientes para el Método Racional, debido a que se trata de una zona en la que cuenta con agricultura se utilizará este valor.

**Ci=0.40**

**I=165 mm/h**

**Acuenca= 0.104851 km<sup>2</sup>**

$$Q_{nec}=0.278(0.40 \times 165 \times 0.104851)$$

$$Q_{nec}=1.92 \text{ m3/seg}$$

#### 5.- Proponiendo Tubería para la obra de drenaje

**Proponiendo 1 tubo de 1.20 m de Diámetro (Plástico)**

##### DATOS HIDRAULICOS DE LA TUBERIA

$$\text{Área} = \frac{\pi \cdot \text{Diam}^2}{4} \qquad \text{Área} = \frac{\pi \cdot 1.20^2}{4} \qquad \text{Área Hidráulica} = 1.13 \text{ m}^2$$

$$\text{Radio} = \frac{Ah}{\pi \cdot \text{Diam}} \qquad \text{Radio} = \frac{1.13}{\pi \cdot 1.20} \qquad \text{Radio Hidráulico} = 0.30 \text{ m}$$

$$Y = \frac{0.8 \cdot \text{Área} \cdot \text{Diam}}{\text{área}} \qquad Y = \frac{(0.8 \cdot 1.13) \cdot 1.20}{1.13} \qquad Y = 0.96$$

$$\theta = 2 \cdot \cos^{-1} \left( 1 - \frac{2y}{\text{Diam}} \right) \qquad \theta = 2 \cdot \cos^{-1} \left( 1 - \frac{2(0.96)}{1.20} \right) \qquad \theta = 253.74$$

$$\text{Perímetro} = \frac{\theta \cdot \text{Diam}}{2} \qquad \text{Perímetro} = \frac{4.428 \cdot 1.20}{2} \qquad \text{Perímetro Mojado} = 2.66 \text{ m}$$

Para obtener el perímetro mojado es necesario convertir  $\theta$  a radianes  $\theta = 253.74 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \theta = 4.428$

**Coef. de Rugosidad (n)= 0.010**

**Pendiente (S)= 0.013**

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \qquad V = \frac{1}{0.010} \cdot 0.30^{2/3} \cdot 0.013^{1/2} \qquad V = 5.11 \text{ m/seg}$$

$$Q_{\max} = V \cdot A \qquad Q_{\max} = 5.11 \cdot 1.13 \qquad \mathbf{Q_{\max} = 5.77 \text{ m}^3/\text{seg}}$$

**$Q_{\max} = 5.77 \text{ m}^3/\text{seg} > Q_{\text{nec}} = 1.92 \text{ m}^3/\text{seg}$  por lo tanto se acepta la tubería**

$$\frac{Q_{\text{nec}} = 1.92 \text{ m}^3/\text{seg}}{Q_{\max} = 5.77 \text{ m}^3/\text{seg}} = 0.3334(100)$$

La tubería tendrá una eficiencia 33.34%, por lo tanto se acepta

Nota: Es una tubería demasiado sobrada pero de acuerdo a la norma **M-PRY-CAR-4-01-003-16** de la SCT es el menor diámetro que se puede colocar para una obra de drenaje

**PLANO Ver anexo 10**

## CÁLCULO DE DATOS HIDROLOGICOS PARA OBRA DE DRENAJE

### CUENCA 2 ESTACION 0+976.00

DATOS	Angulo de Esviaje
Área de la cuenca: 445931 m <sup>2</sup>	
Longitud del escurrimiento: 1381.15 m	
Cota Máxima: 1625.6 m	
Cota Mínima: 1585.6 m	

### 1.- Cálculo de la pendiente media

PUNTO	CADENAMIENTO	LONGITUD	ELEVACION	DESNIVEL	DISTANCIA	S <sub>i</sub>	S <sub>i</sub> d <sub>i</sub>
NUMERO DE TRAMO	M	M	M	M	M		
N	C <sub>N</sub>	L <sub>i</sub> =C <sub>N</sub> -C <sub>N-1</sub>	E <sub>N</sub>	h <sub>i</sub> =E <sub>N-1</sub> -E <sub>N</sub>	d <sub>i</sub> =(L <sub>i</sub> <sup>2</sup> +h <sub>i</sub> <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup>	S <sub>i</sub> =h <sub>i</sub> /L <sub>i</sub>	S <sub>i</sub> d <sub>i</sub>
1	0+000.00		1,585.60				
2	0+883.97	883.9700	1,605.60	20.00	884.20	0.023	20.34
3	1+381.15	497.18	1,616.80	11.20	497.31	0.023	11.44
∑ d <sub>i</sub> =					1381.51	∑ S <sub>i</sub> =	31.78
<b>PENDIENTE MEDIA =</b>							<b>0.023</b>

Pendiente Media = 31.78/1381.51

Pendiente Media = 0.023

### 2.- Cálculo del tiempo de concentración

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

tc= TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (h)  
 L= LONGITUD DEL CAUCE PPAL. (KM)  
 Sc= PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL

**Tc= 0.360 Hrs**

Tc= 0.360\*60

**Tc= 21.6 min**

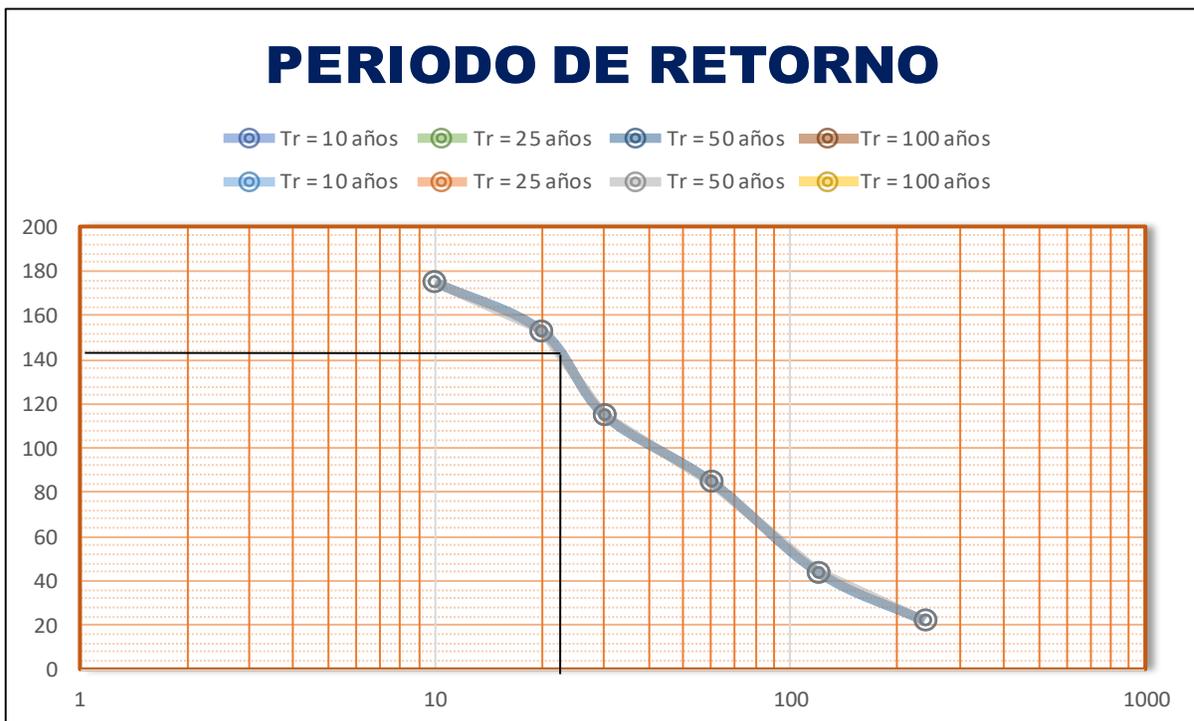
$$T_c = 0.0662 \frac{1.38115^{0.77}}{0.023^{0.385}}$$

### 3.- Periodo de retorno

Para el diseño de las obras de drenaje se utilizará un periodo de retorno de 50 años, para esto se generó una gráfica de acuerdo a la intensidad, periodo de retorno y duración, para obtener estos valores se utilizaron las isoyetas de intensidad del estado de Michoacán.

**Tabla y gráfica generada para obtener la intensidad de lluvia**

DURACIÓN	PERIODO DE RETORNO			
	Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
MIN	10	25	50	100
10			175	
20			153	
30			115	
60			85	
120			44	
240			22	
<b>INTENSIDAD DE LLUVIA I (mm/h)</b>				



Para un tiempo de concentración  **$T_c=21.6$  Min**  
 La intensidad de acuerdo a la grafica es= **145 mm/h**

#### 4.- Cálculo del gasto (Q m3/seg)

$$Q=0.278(Ci \times I \times Acuenca)$$

El 0.278 es un Factor que utiliza la fórmula del Método Racional Americano Utilizado

**Ci= 0.40**, este valor se obtiene de la tabla (Anexo 13) coeficientes para el Método Racional, debido a que se trata de una zona en la que cuenta con agricultura se utilizará este valor.

**Ci=0.40**

**I=145 mm/h**

**Acuenca= 0.445931 km<sup>2</sup>**

$$Q_{nec}=0.278(0.40 \times 145 \times 0.445931)$$

$$Q_{nec}=7.19 \text{ m}^3/\text{seg}$$

#### 5.- Proponiendo Tubería para la obra de drenaje

##### Proponiendo 2 tubos de 1.20 m de Diámetro (Plástico)

##### DATOS HIDRAULICOS DE LA TUBERIA

$$\text{Área} = \frac{\pi \cdot \text{Diam}^2}{4} \qquad \text{Área} = \frac{\pi \cdot 1.20^2}{4} \qquad \text{Área Hidráulica} = 1.13 \text{ m}^2$$

$$\text{Radio} = \frac{Ah}{\pi \cdot \text{Diam}} \qquad \text{Radio} = \frac{1.13}{\pi \cdot 1.20} \qquad \text{Radio Hidráulico} = 0.30 \text{ m}$$

$$Y = \frac{0.8 \cdot \text{Área} \cdot \text{Diam}}{\text{Área}} \qquad Y = \frac{(0.8 \cdot 1.13) \cdot 1.20}{1.13} \qquad Y = 0.96$$

$$\theta = 2 \cdot \cos^{-1} \left( 1 - \frac{2y}{\text{diam}} \right) \qquad \theta = 2 \cdot \cos^{-1} \left( 1 - \frac{2(0.96)}{1.20} \right) \qquad \theta = 253.74$$

$$\text{Perímetro} = \frac{\theta \cdot \text{Diam}}{2} \qquad \text{Perímetro} = \frac{4.428 \cdot 1.20}{2} \qquad \text{Perímetro Mojado} = 2.66 \text{ m}$$

Para obtener el perímetro mojado es necesario convertir  $\theta$  a radianes  $\theta = 253.74 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \theta = 4.428$

**Coef. de Rugosidad (n)= 0.010**

**Pendiente (S)= 0.013**

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \qquad V = \frac{1}{0.010} \cdot 0.30^{2/3} \cdot 0.013^{1/2} \qquad V = 5.11 \text{ m/seg}$$

$$Q_{\max} = V \cdot A \quad Q_{\max} = (5.11 \cdot 1.13) \cdot 2 \quad \mathbf{Q_{\max} = 11.54 \text{ m}^3/\text{seg}}$$

**$Q_{\max} = 11.54 \text{ m}^3/\text{seg} > Q_{\text{nec}} = 7.19 \text{ m}^3/\text{seg}$  por lo tanto se acepta la tubería**

$$\frac{Q_{\text{nec}} = 7.19 \text{ m}^3/\text{seg}}{Q_{\max} = 11.54 \text{ m}^3/\text{seg}} = 0.6230(100)$$

La tubería tendrá una eficiencia 62.30%, por lo tanto se acepta

Nota: se colocarán 2 tubos de 1.20 m diámetro debido a que se necesitaría un diámetro mayor y por cuestiones prácticas es más recomendable.

**PLANO Ver anexo 11**

## CÁLCULO DE DATOS HIDROLOGICOS PARA OBRA DE DRENAJE

### CUENCA 3 ESTACION 1+315.57

DATOS	Angulo de Esviaje
Área de la cuenca: 300688 m <sup>2</sup>	
Longitud del escurrimiento: 800.78m	
Cota Máxima: 1619.20 m	
Cota Mínima: 1579.20 m	

### 1.- Cálculo de la pendiente media

PUNTO	CADENAMIENTO	LONGITUD	ELEVACION	DESNIVEL	DISTANCIA	S <sub>i</sub>	S <sub>i</sub> d <sub>i</sub>
NUMERO DE TRAMO	M	M	M	M	M		
N	C <sub>N</sub>	L <sub>i</sub> =C <sub>N</sub> -C <sub>N-1</sub>	E <sub>N</sub>	h <sub>i</sub> =E <sub>N-1</sub> -E <sub>N</sub>	d <sub>i</sub> =(L <sub>i</sub> <sup>2</sup> +h <sub>i</sub> <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup>	S <sub>i</sub> =h <sub>i</sub> /L <sub>i</sub>	S <sub>i</sub> d <sub>i</sub>
1	0+000.00		1,579.20				
2	0+799.78	799.78	1,619.20	40.00	800.78	0.050	40.04
∑ d <sub>i</sub> =					800.78	∑ S <sub>i</sub> =	40.04
<b>PENDIENTE MEDIA =</b>							<b>0.050</b>

Pendiente Media =40.04/800.78

Pendiente Media =0.050

### 2.- Cálculo del tiempo de concentración

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S_c^{0.385}}$$

tc= TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (h)  
 L= LONGITUD DEL CAUCE PPAL. (KM)  
 Sc= PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL

**Tc= 0.180 Hrs**

$$T_c = 0.0662 \frac{0.800^{0.77}}{0.050^{0.385}}$$

Tc= 0.180\*60

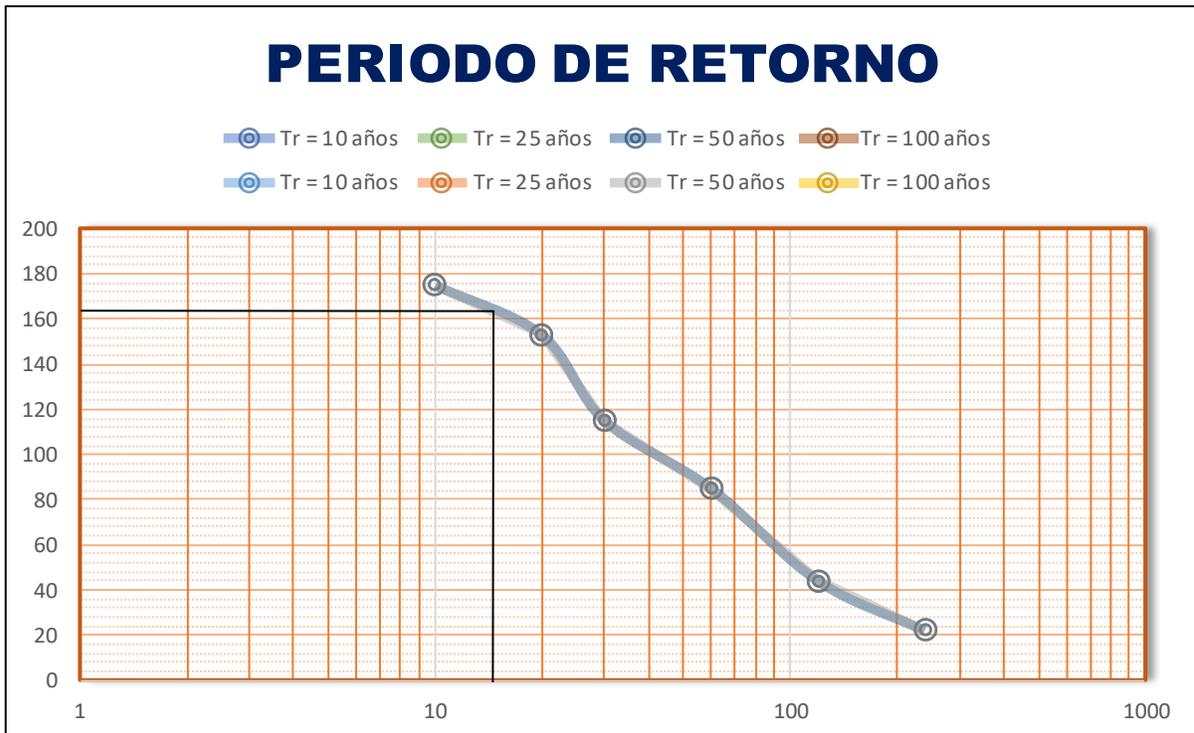
**Tc= 10.8 min**

### 3.- Periodo de retorno

Para el diseño de las obras de drenaje se utilizará un periodo de retorno de 50 años, para esto se generó una gráfica de acuerdo a la intensidad, periodo de retorno y duración, para obtener estos valores se utilizarón las isoyetas de intensidad del estado de Michoacán.

**Tabla y grafica generada para obtener la intensidad de lluvia**

DURACIÓN	PERIODO DE RETORNO			
	Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
MIN	10	25	50	100
10			175	
20			153	
30			115	
60			85	
120			44	
240			22	
<b>INTENSIDAD DE LLUVIA I (mm/h)</b>				



Para un tiempo de concentración  $T_c=10.8$  Min  
 La intensidad de acuerdo a la grafica es= **165 mm/h**

#### 4.- Cálculo del gasto (Q m3/seg)

$$Q=0.278(Ci \times l \times Acuenca)$$

El 0.278 es un Factor que utiliza la formula del Método Racional Americano Utilizado

**Ci= 0.40**, este valor se obtiene de la tabla (Anexo 13) coeficientes para el Método Racional, debido a que se trata de una zona en la que cuenta con agricultura se utilizará este valor.

**Ci=0.40**

**l=165 mm/h**

**Acuenca= 0.300688km<sup>2</sup>**

$$Q_{nec}=0.278(0.40 \times 145 \times 0.300688)$$

$$\underline{Q_{nec}=4.60 \text{ m}^3/\text{seg}}$$

#### 5.- Proponiendo una alcantarilla de losa

**Proponiendo una losa de 1m x 1m, debido a que el colchón de tierra que se tiene es menor a 30 cm**

##### DATOS HIDRAULICOS DE LA TUBERIA

Area=	B x h	Área=	1 x 1	Área =	1 m <sup>2</sup>
Y=	0.8*h	Y=	0.80(1)	Y=	0.80m
Ah=	b x y	Área=	1 x 0.80	<b>Área Hidráulica=</b>	<b>0.80 m<sup>2</sup></b>
Perímetro=	B+2Y	Perímetro=	1+(2*0.8)	<b>Perímetro Mojado=</b>	<b>2.60 m</b>
Rh=	$\frac{A \text{ Hidráulica}}{P_{\text{mojado}}}$	Rh=	$\frac{0.80}{2.60}$	<b>Rh=</b>	<b>0.31m</b>
<b>Coef. de Rugosidad (n)=</b>	<b>0.010</b>				
<b>Pendiente (S)=</b>	<b>0.02</b>				
V=	$\frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$	V=	$\frac{1}{0.010} * 0.31^{2/3} * 0.02^{1/2}$	<b>V=</b>	<b>6.48 m/seg</b>

$$Q_{\max} = V \cdot A \qquad Q_{\max} = 6.48 \cdot 1 \qquad \mathbf{Q_{\max} = 6.48 \text{ m}^3/\text{seg}}$$

**$Q_{\max} = 6.48 \text{ m}^3/\text{seg} > Q_{\text{nec}} = 4.60 \text{ m}^3/\text{seg}$  por lo tanto se acepta la tubería**

$$\frac{Q_{\text{nec}} = 4.60 \text{ m}^3/\text{seg}}{Q_{\max} 6.48 \text{ m}^3/\text{seg}} = 0.709(100)$$

La losa tendrá una eficiencia 70.90%, por lo tanto se acepta

### **PLANO Ver anexo 12**

De acuerdo a los cálculos y análisis realizado para el presente proyecto, se determinaron las características más óptimas para el diseño realizado, los alineamientos horizontales y verticales se determinaron en base a las características de la zona y para un camino tipo "C", se proponen 8 curvas horizontales y 3 curvas verticales diseñadas bajo los criterios de la SCT.

El alineamiento vertical se propuso para compensar los cortes y los terraplenes en todo el tramo y respetando las condiciones para colocar los drenajes a lo largo del tramo, se establecieron 3 obras de drenaje cumpliendo con las características principales para evitar fallas de la misma.

## CONCLUSIONES

El objetivo general de la presente investigación fue diseñar la rasante para el proyecto geométrico y las obras de drenaje en el tramo de estudio, para lo cual se cumplió dado que a través de la teoría redactada en esta tesis y en base al análisis y cálculo del proyecto se cumplieron de manera satisfactoria los objetivos propuestos.

De manera general como objetivo particular número uno fue definir una vía terrestre, para lo cual en el capítulo uno se menciona que una vía terrestre es un espacio público, pensado y construido para que transiten los vehículos y las personas, la clasificación de las vías terrestres fue parte del segundo objetivo particular, en el capítulo uno se menciona la diferentes clasificaciones que existen para una vía terrestre, la cual es de acuerdo a su transitabilidad, su administración y la clasificación técnico oficial.

Respecto al objetivo número tres que tuvo como finalidad obtener el aforo vehicular, el cual se realizó y se obtuvieron los siguientes datos;  $VPH=14$  veh/hr,  $TPD= 238$  veh/día, y se determinó que es un camino tipo "C".

Para el objetivo particular número cuatro se establecieron los diferentes drenajes que tiene una vía terrestre los cuales son longitudinales y transversales.

Así mismo el objetivo número cinco fue identificar los puntos de inflexión a lo largo del tramo, se identificaron 8 puntos de inflexión para lo cual se diseñaron las curvas, y como objetivo particular número seis establecer que es un proyecto geométrico, para este objetivo en el capítulo dos menciona que el proyecto geométrico

forma parte del proceso constructivo abarcando la ejecución de estudios de ingeniería para ordenar y dimensionar los alineamientos horizontales y verticales.

Así la pregunta de investigación: Geométricamente, ¿cuál es la mejor alternativa para proyectar la rasante para el tramo carretero de La Huizachera del km 0+000 al 1+380? , la mejor alternativa fue realizar un trazo sobre el camino ya existente y se rediseñaron las curvas así como el sobre ancho y los cortes.

Así mismo en el proceso de la elaboración de esta tesis se encontraron hallazgos relativos importantes dentro de los cuales destacan la distribución de la carga en los vehículos de acuerdo a su tamaño y su carga, de igual manera los factores para determinar el proceso de un proyecto, y los estudios necesarios para seleccionar la ruta.

## **BIBLIOGRAFIA**

Olivera Bustamante, Fernando (2006)

Estructuración de Vías Terrestres

Compañía Editorial Continental, México

Crespo Villalaz, Carlos (2004)

Vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.

Editorial Limusa, México.

Frederick S, Merritt y colaboradores, (2008)

Manual del Ingeniero Civil.

McGraw-Hill interamericana, Editores, S.A. de C.V.

Hernández Sampieri, Roberto y cols. (2004)

Metodología de la investigación.

Mc Graw Hill. México.

Tamayo y Tamayo, Mario (2000)

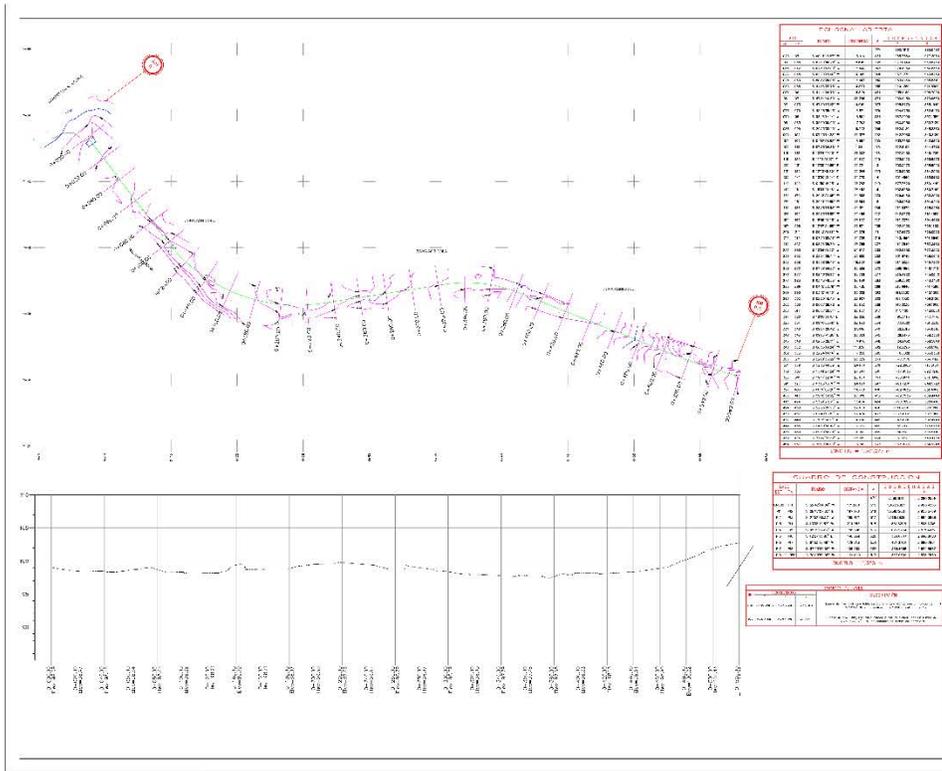
El proceso de la investigación científica.

Editorial Limusa de México.

Vargas Martínez, Omar Jerzain (2012)

“Diseño del proyecto geométrico para el tramo carretero del camino viejo a la hidroeléctrica de la CFE, en Uruapan Michoacán”

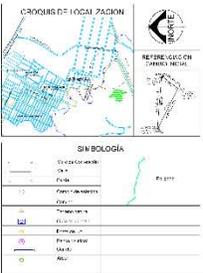
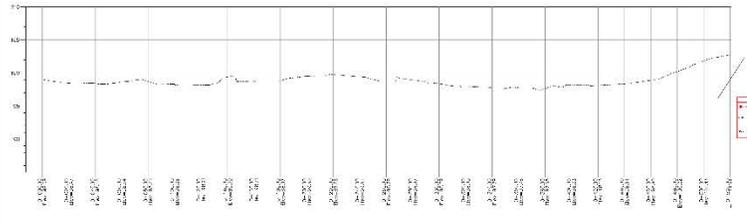
# ANEXOS



ESTACION	SECCION	ANCHO	TIPO DE PAVIMENTO
0+00	Carretera	12.00	Asfalto
0+05	Carretera	12.00	Asfalto
0+10	Carretera	12.00	Asfalto
0+15	Carretera	12.00	Asfalto
0+20	Carretera	12.00	Asfalto
0+25	Carretera	12.00	Asfalto
0+30	Carretera	12.00	Asfalto
0+35	Carretera	12.00	Asfalto
0+40	Carretera	12.00	Asfalto
0+45	Carretera	12.00	Asfalto
0+50	Carretera	12.00	Asfalto
0+55	Carretera	12.00	Asfalto
0+60	Carretera	12.00	Asfalto
0+65	Carretera	12.00	Asfalto
0+70	Carretera	12.00	Asfalto
0+75	Carretera	12.00	Asfalto
0+80	Carretera	12.00	Asfalto
0+85	Carretera	12.00	Asfalto
0+90	Carretera	12.00	Asfalto
0+95	Carretera	12.00	Asfalto
1+00	Carretera	12.00	Asfalto

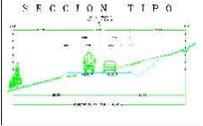
ESTACION	SECCION	ANCHO	TIPO DE PAVIMENTO
0+00	Carretera	12.00	Asfalto
0+05	Carretera	12.00	Asfalto
0+10	Carretera	12.00	Asfalto
0+15	Carretera	12.00	Asfalto
0+20	Carretera	12.00	Asfalto
0+25	Carretera	12.00	Asfalto
0+30	Carretera	12.00	Asfalto
0+35	Carretera	12.00	Asfalto
0+40	Carretera	12.00	Asfalto
0+45	Carretera	12.00	Asfalto
0+50	Carretera	12.00	Asfalto
0+55	Carretera	12.00	Asfalto
0+60	Carretera	12.00	Asfalto
0+65	Carretera	12.00	Asfalto
0+70	Carretera	12.00	Asfalto
0+75	Carretera	12.00	Asfalto
0+80	Carretera	12.00	Asfalto
0+85	Carretera	12.00	Asfalto
0+90	Carretera	12.00	Asfalto
0+95	Carretera	12.00	Asfalto
1+00	Carretera	12.00	Asfalto

ESTACION	SECCION	ANCHO	TIPO DE PAVIMENTO
0+00	Carretera	12.00	Asfalto
0+05	Carretera	12.00	Asfalto
0+10	Carretera	12.00	Asfalto
0+15	Carretera	12.00	Asfalto
0+20	Carretera	12.00	Asfalto
0+25	Carretera	12.00	Asfalto
0+30	Carretera	12.00	Asfalto
0+35	Carretera	12.00	Asfalto
0+40	Carretera	12.00	Asfalto
0+45	Carretera	12.00	Asfalto
0+50	Carretera	12.00	Asfalto
0+55	Carretera	12.00	Asfalto
0+60	Carretera	12.00	Asfalto
0+65	Carretera	12.00	Asfalto
0+70	Carretera	12.00	Asfalto
0+75	Carretera	12.00	Asfalto
0+80	Carretera	12.00	Asfalto
0+85	Carretera	12.00	Asfalto
0+90	Carretera	12.00	Asfalto
0+95	Carretera	12.00	Asfalto
1+00	Carretera	12.00	Asfalto



**NOTAS:**

- Este proyecto es un estudio preliminar de ingeniería.
- Se han considerado los datos suministrados por el cliente.
- Este estudio no garantiza la exactitud de los datos.
- Se han considerado los datos suministrados por el cliente.
- Este estudio no garantiza la exactitud de los datos.



UNIVERSIDAD DON BOSCO S.A.S.  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 PLAN Y SECCION TIPO  
 2023



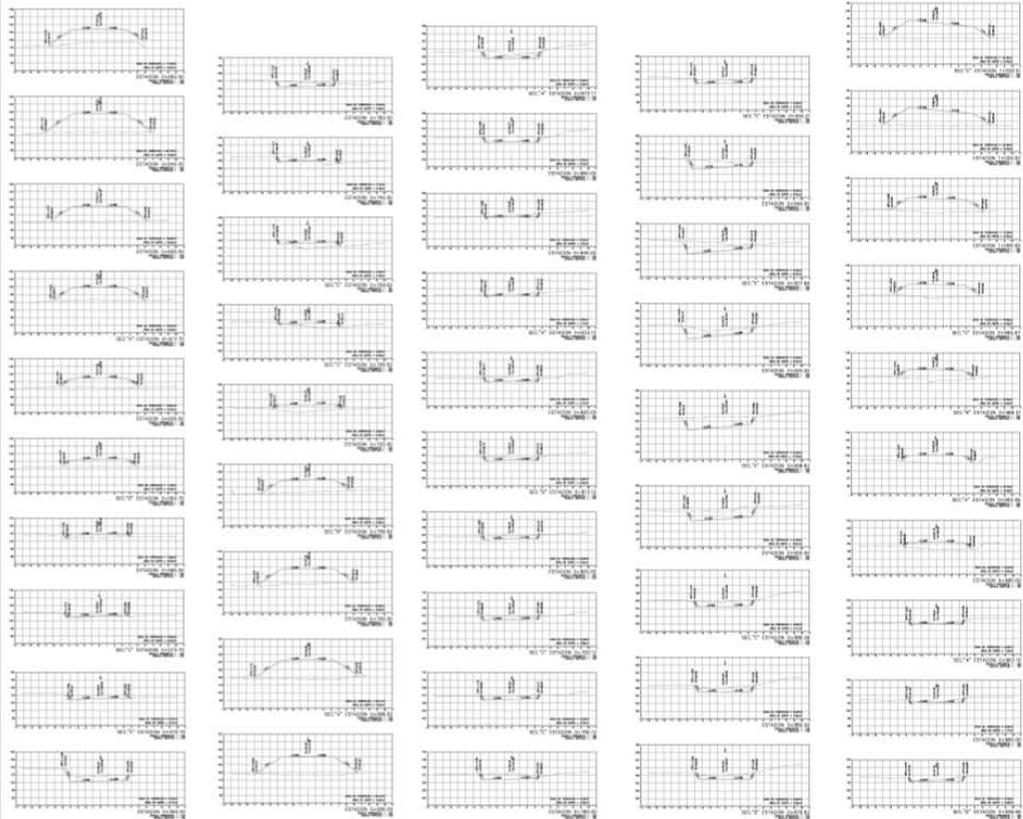






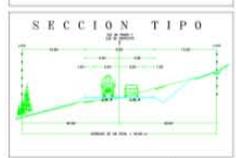
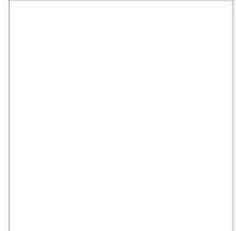






**SIMBOLOGIA**

	Figuras



UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.										
ESUELA DE INGENIERIA CIVIL										
REPUBLICA VENEZOLANA DE LA UNIVERSIDAD DON VASCO										
ANEXO B										
Nombre: _____	Apellido: _____	Fecha: 24								
<table border="1"> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>						<table border="1"> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>				







