



UNIVERSIDAD
DON VASCO, A.C.

UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

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

Escuela de Ingeniería Civil

REVISIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL CAMINO “NARANJA DE TAPIA – ZIRAHUÉN”, DEL TRAMO “LA MOJONERA – SAN ISIDRO”, KM 17+920 AL 19+920.

Tesis
que para obtener el título de
Ingeniero Civil
Presenta:

Jorge Luis Delgado Romero

Asesor: I.C. Sandra Natalia Parra Macías

Uruapan, Michoacán, a 11 de abril de 2019.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTOS

A mis amados padres, Jorge Alejandro Delgado Lomeli y Adriana Romero Álvarez, quienes han sido mi principal columna a lo largo de mi vida y que con todo su esfuerzo y cariño me apoyaron para seguir adelante con mi carrera universitaria. Gracias por todo el amor, paciencia, enseñanzas, consejos, comprensión, por ser un ejemplo de superación y trabajo honrado, por ser una guía para mí y, sobre todo, por siempre estar ahí cuando los necesito.

A mi hermano, Iván Alejandro Delgado Romero, quien desde el día de su nacimiento representa para mí la voluntad de encaminar mis pasos a convertirme en una persona digna de ser un buen ejemplo y alguien de quien pueda sentirse orgulloso.

A mi tío, César Arturo Romero Álvarez, quien es para mí un ejemplo de persona, de crecimiento y de valores familiares. Le agradezco su ejemplo y enseñanzas, además de su apoyo y cariño a lo largo de mi vida y carrera universitaria.

A mi abuela, quien fue para mí una madre, le debo el ser la persona que ahora soy, pues con su infinito cariño me guió por el camino del esfuerzo, el estudio y el amor por las cosas que hago. Me regaló más de una lección de vida, así como los valores que me acompañan. A mi abuela, quien siempre escuchó, apoyó y, sobre todo amó, le dedico este logro en mi vida.

Al M.I. Leonel Moreno Amezcua, quien, de manera desinteresada, fue como un mentor para mí en el área de las vías terrestres, mostrándome un poco del vasto

mundo de la ingeniería de caminos, siempre con su dedicación y compromiso. Una excelente persona por la cual me decidí por este trabajo de tesis.

A la Ing. Sandra Natalia Parra Macías, que se encargó de guiarme en el proceso del presente trabajo de tesis siendo mi asesora, así como lo hizo a lo largo de toda la carrera con toda su experiencia y dedicación a la hora de compartirnos su conocimiento.

Le doy las gracias especialmente al Lic. Juan Luis Moreno, quien estuvo presente en todo el proceso de la elaboración de la tesis, con su profesionalismo y muy preciada amistad.

Al Ing. Anastacio Blanco Simiano, por estar siempre al frente de la Escuela de Ingeniería Civil, resolviendo nuestras inquietudes de manera profesional y atenta. Le agradezco especialmente su apoyo en la información que me brindó al redactar el presente trabajo. Agradezco a todos los profesores quienes me impartieron con gusto y dedicación sus materias y los que, además de sus clases, me enseñaron con su experiencia y conocimiento profesional, expandiendo mis horizontes sobre la definición que tenía al inicio de la carrera sobre “ingeniería civil”.

Por último, pero igualmente importante, agradezco la compañía, los momentos buenos y malos, el apoyo, las risas, las salidas, los trabajos en equipo, los consejos, la sana competencia y las estrechas amistades de todos los compañeros quienes se convirtieron en mi segunda familia.

ÍNDICE

Introducción.

Antecedentes.	1
Planteamiento del problema.	2
Objetivos.	4
Pregunta de investigación.	4
Justificación.	5
Marco de referencia.	6

Capítulo 1.- Vías Terrestres.

1.1 Concepto de Vías Terrestres.	8
1.2. Historia de los caminos en México.	8
1.3 Clasificación de las carreteras.. . . .	10
1.4. Inventario de caminos.	13
1.5. Ingeniería de Tránsito.	13
1.5.1. El usuario.	14
1.5.2. El vehículo.	17
1.5.2.1. Vehículo de proyecto.	18
1.6. La velocidad.	19

Capítulo 2.- Proceso Constructivo.

2.1. Proceso constructivo.	35
2.1.1. Sección en corte.	36
2.1.2. Secciones en terraplén.	37
2.1.3. Sección en balcón.	39
2.2. Sección transversal.	40
2.2.1. Corona.	41
2.2.2. Calzada.	41
2.2.3. Pendiente transversal.	42
2.2.3.1. Ancho.	42
2.2.4. Acotamientos.	43
2.2.5. Pendiente transversal.	44
2.2.5.1. Ancho.	45
2.2.6. Fajas separadoras centrales.	46
2.2.6. Fajas separadoras laterales.	47
2.3. Conceptos de obra en terracerías.	47
2.3.1. Desmonte.	47
2.3.2. Despalme.	48

2.3.3. Cortes.	49
2.3.4. Escalones de liga.	50
2.3.5. Terraplenes.	50
2.3.5.1 Capa de subyacente.	51
2.3.5.1 Capa de subrasante.	52
2.3.6. Recubrimiento de taludes.	54
2.3.7. Capas drenantes.	54
2.4. Conceptos de obra en obras de drenaje y subdrenaje.	54
2.4.1. Drenaje.	55
2.4.2. Drenaje superficial.	55
4.4.3. Subdrenaje..	57
2.4.4. Excavación para estructuras.	58
2.4.5. Mampostería.	58
2.4.6. Demoliciones y desmantelamientos.	59
2.5. Pavimentos..	59
2.5.1. Pavimentos flexibles.	59
2.5.2. Bases y subbases.	59
2.5.2.1. Subbase hidráulica.	60

2.5.2.2. Base hidráulica.	62
2.5.3. Riegos de impregnación.	65
2.5.4. Carpetas asfálticas.	65
2.5.4.1. Carpetas asfálticas con mezcla en caliente.	66
2.6. Señalamiento.	68
2.6.1. Señalamiento horizontal.	68
2.6.2. Señalamiento vertical.	69

Capítulo 3.- Macro y Microlocalización.

3.1. Objetivo.	70
3.2. Alcance del proyecto.	70
3.3. Resumen ejecutivo.	71
3.4. Entorno geográfico.	71
3.5. Macrolocalización.	74
3.6. Macrolocalización.	75
3.7. Geología de la zona de proyecto.. . . .	77
3.8. Hidrología de la zona.	78
3.9. Uso de suelo.	79

5.3.4. Pavimento.	125
5.4. Definición de la ruta crítica.	133
Conclusión.	138
Bibliografía.	142

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

Desde los principios de la humanidad, la Ingeniería Civil tiene un papel primordial en el desarrollo de la civilización, fungiendo como proveedor de las principales herramientas para el nacimiento de asentamientos y la comunicación entre estos; y es precisamente la comunicación de las sociedades, una de las necesidades a satisfacer para lograr un desarrollo optimas en estas, siendo un factor esencial para lo antes mencionado las vías terrestres.

En la antigüedad, con la invención de la rueda, fue necesario acondicionar los caminos de tierra para que las carretas transitaran sin mayor dificultad, siendo estos recubiertos con piedras, para que permitiesen el cruce de cualquier vehículo o bestia. Mier (1987), menciona que, en Asia menor, hace aproximadamente 5000 años, se inventó la rueda.

Es entonces cuando las vías terrestres comienzan a recibir avances en distintos ámbitos de las sociedades antiguas, favoreciendo la economía al agilizar el transporte de mercancías, como es el caso de las calzadas romanas, pensadas en un inicio, para fines militares. Así es como históricamente se da lugar a mejoramientos de suelo cada vez más avanzados y eficientes, dando lugar a las estructuras de pavimento que conocemos en la actualidad, revistiendo las inmensas redes carreteras que comunican gran parte de México y el mundo.

“La carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones del ancho, alineamiento y pendiente

para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada” (Crespo; 2004: 1). Para que una carretera funcione correctamente, debe atender a las especificaciones de un proyecto geométrico, y estas a su vez a la normativa vigente, que aseguran un desempeño óptimo y seguro. El organismo gubernamental encargado de las normas técnicas que rigen la construcción de carreteras en México es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

En la investigación de tesis titulada Revisión de la estructura de pavimento flexible en el tramo carretero Carapan – Uruapan del km 16+000 al 17+000 en la localidad de San Lorenzo, del autor Christian Rafael Cocco Guerrero, 2012, se verifica que la estructura de pavimento del tramo carretero mencionado en el título sea la correcta, basándose en las normas técnicas propuestas por SCT, llegando a la conclusión de que dicho tramo cumplía con todas las especificaciones y requisitos de calidad propuestos por la dependencia de gobierno.

Planteamiento del problema.

Michoacán es un estado en desarrollo con un gran potencial, que cuenta con una gran producción de productos agrícolas, pues tan solo en 2014 el estado se hace acreedor del primer lugar nacional por la producción de guayaba y fresa, segundo lugar por la producción de limón y mango, así como el cuarto lugar por la producción de 1.8 millones de toneladas de maíz blanco, de acuerdo con la página www.beta.inegi.org.mx en sus documentos Conociendo Michoacán de Ocampo, sexta edición, INEGI, (2016), y según el Anuario Estadístico y Geográfico del Estado

de Michoacán de Ocampo (2017), Michoacán cuenta con 75 298 hectáreas sembradas de aguacate, un fruto de exportación mundial.

Teniendo lo anterior en cuenta, no se puede concebir un Michoacán sin una infraestructura carretera que favorezca el crecimiento económico y sociocultural, dando al comerciante la seguridad y eficiencia de recorrer caminos para transportar sus mercancías, con carreteras que cumplan con la normativa de seguridad y de calidad.

En el presente trabajo de investigación se analizará el tramo carretero alimentador La Mojonera – San Isidro km 17+920 al km 19+920 perteneciente a dos comunidades que se ven beneficiadas en sus negocios por la implementación de una buena infraestructura vial.

El tramo forma parte de una carretera de jurisdicción federal dentro del municipio de Nahuatzen, que conecta al poblado de Naranja de Tapia con Zirahuén, y la cual se traduce en una reducción de tiempos a la hora de transporte de mercancías, así como una infraestructura más segura para uso familiar. Se determinará si el proceso constructivo fue el adecuado desde el punto de vista de la normativa vigente, así como el correcto proceso de selección del material empleado y la correcta ejecución de cada una de las capas que conformarán la estructura de pavimento empleada en dicha obra.

Objetivos.

Objetivo General:

Determinar si el proceso constructivo del tramo carretero “Naranja de Tapia – Zirahuén” del tramo “La Mojonera – San Isidro”, Km 17+920 al 19+920, fue el correcto y cumple con las especificaciones y calidad de la normativa.

Para llegar a esto, es necesario considerar algunos objetivos específicos, teniendo en cuenta que el cumplir con estos significará una correcta conclusión en el trabajo de investigación.

Objetivos específicos:

- 1) Definir qué es una vía terrestre.
- 2) Definir los tipos de caminos y sus especificaciones.
- 3) Presentar el proceso constructivo idóneo para el tipo de camino del proyecto.
- 4) Identificar la normativa vigente y aplicable.
- 5) Identificar con evidencia fotográfica el proceso constructivo del tramo.
- 6) Analizar el proceso constructivo del tramo de acuerdo con las normas correspondientes.

Pregunta de investigación.

Para la conclusión de este trabajo, es necesario responder a la siguiente interrogante: ¿El proceso constructivo aplicado fue el idóneo?

De esta manera, y sólo entonces, se podrá dar una conclusión válida al finalizar las investigaciones pertinentes, pues se habrá respondido de manera

satisfactoria la pregunta mencionada, dando como finalizada la investigación que tiene como objeto el presente trabajo de tesis.

Justificación.

Las vías terrestres tienen como principal objetivo el transporte de personas y de mercancías, facilitando su paso a través de las diferentes poblaciones que puedan beneficiarse de su construcción. Dicho lo anterior, se denota una importancia vital el tener una vía de comunicación carretera en buen estado, pues el tener la infraestructura necesaria cumpliendo los estándares de calidad y normatividad se traduce en la optimización de tiempos, reducción de costos y ayuda a salvaguardar la vida de los usuarios.

Para que la construcción de la carretera pueda darse, el sector público federal debe licitar la obra, proponiendo un presupuesto, y esto es muy importante, pues para que la necesidad de la obra pueda ser satisfecha, se necesita cumplir con la correcta ejecución de la construcción y todas las etapas del pavimento, cumpliendo con los fondos otorgados por el gobierno federal, sin comprometer el procedimiento de construcción ni la calidad de los materiales empleados.

Dicho lo anterior, está por demás mencionar que la eficacia en el proceso constructivo es primordial a la hora de ejecutar una obra, pues de este depende que el sistema vial funcione de manera óptima.

Una carretera mal construida se traduce en problemas como baches, grietas, desprendimiento de material, inundaciones, etc. De esta manera se abre la investigación presente, con la finalidad de identificar si este tramo fue bien construido

y, por consiguiente, si funcionará de manera correcta durante los años para la que fue planeada.

La obra que está sujeta a revisión beneficia a las comunidades de La Mojonera, Colonia Emiliano Zapata y San Isidro, con un total de, 2,356 habitantes, y, por lo tanto, beneficiará al municipio de Nahuatzen.

Marco de referencia.

El camino, que funge como objeto de estudio de la presente investigación está ubicado en el municipio de Nahuatzen, en el oeste del estado de Michoacán. Beneficiará las actividades económicas de la región, principalmente las de comercio de productos agrícolas, que son las que predominan en las localidades beneficiadas. Dichas localidades son: La Mojonera, Colonia Emiliano Zapata y San Isidro, con un total de, 2,356 habitantes.

La región en la que el camino se encuentra ubicado está a una altura de 2700 metros sobre el nivel del mar.

La localidad de San Isidro cuenta con un clima predominantemente templado, con lluvias en verano, con temperaturas que oscilan de entre 2.3°C a 20.4°C. Cuenta con 879 habitantes y 425 viviendas, de las cuales el 97.86% cuentan con electricidad. En esta comunidad no se cuenta con servicio de internet. (mexico.pueblosamerica.com)

La Mojonera cuenta con climas similares a San Isidro, ya que se encuentra a una altitud de 2618 metros sobre el nivel del mar, y es una localidad muy cercana. En este poblado hay 1403 habitantes, cuentan con 505 viviendas, de las cuales el

98.36% cuentan con energía eléctrica. Esta localidad tampoco cuenta con servicio a internet. (mexico.pueblosamerica.com)

Cabe mencionar que, en La Mojonera, solo el 36.07% de las viviendas cuentan con agua entubada, frente al 0.43% de San Isidro. (mexico.pueblosamerica.com)

CAPÍTULO 1

VÍAS TERRESTRES

En el presente capítulo se describirán los antecedentes de los caminos en México, así como los componentes de la ingeniería de tránsito, los tipos de camino y estudios requeridos que serán necesarios para la ejecución correcta de un tramo carretero.

1.1 Concepto de Vías Terrestres.

“Así en los transportes por tierra, se tienen las carreteras con sus diferentes categorías y los ferrocarriles con su diversidad de vías” (Crespo; 2004: XV). Es entonces cuando se podrá definir a las vías terrestres como aquellos caminos que facilitan el transporte de personas y vehículos por medio de un mejoramiento en los suelos por donde pasa la vía.

1.2. Historia de los caminos en México.

A manera de supervivencia y, porque la necesidad lo demandaba, los primeros caminos fueron de uso peatonal, que los nómadas usaban para deambular entre las regiones para buscar alimento, hasta que los grupos nómadas se convirtieron en sedentarios y estos caminos se convirtieron en rutas de utilidad religiosa, comercial y de conquista, según menciona Olivera (2009).

Con la posterior invención de la rueda, los usuarios y en general, las personas que requerían del uso de vehículos se vieron en la necesidad de revestir los caminos, dando lugar a los primeros pavimentos.

Con la Revolución Industrial y la llegada de las máquinas a vapor, se da origen a las primeras locomotoras, que requieren de un sistema especial de rieles para distribuir los esfuerzos de las pesadas máquinas.

No es hasta la segunda mitad del siglo XIX, con la invención de los motores de combustión interna que surge el primer modelo de un automóvil, cuya evolución ha influido enormemente en el desarrollo de las sociedades modernas en todo el mundo.

En México, “Los españoles introdujeron las carreteras, y Fray Sebastián de Aparicio (monje franciscano) construyó las primeras brechas o veredas, con lo que comenzó una tradición caminera muy arraigada. Así hubo comunicación con los puertos de Veracruz, Puebla, Acapulco y otras ciudades importantes del país” (Olivera; 2009: 2).

De acuerdo con Olivera (2009), no es hasta el porfiriato que el uso de ferrocarriles alcanza su auge en México, dando como resultado un gran desarrollo en la sociedad mexicana. A principios del siglo XX aparecen los primeros automóviles en un país, pero no es hasta a partir de 1925 que las primeras vías de comunicación terrestre, en este caso carreteras técnicas avanzadas, comienzan a ser construidas, siendo los primeros caminos de este tipo los que iban de la ciudad de México a Veracruz, a Laredo y Guadalajara. A partir de 1982 la Secretaría de Comunicaciones y transportes (SCT) atiende los asuntos relacionados con caminos.

De acuerdo con la página de internet www.gob.mx, estudios realizados por la INEGI (2016), aprobados por la SCT en colaboración con el IMT (Instituto Mexicano

del Transporte), se determinó que en México existe una red carretera conformada por 180,606 Km de carreteras pavimentadas, conformadas por 61,709 Km de carreteras federales, 9,819 Km de carreteras de cuota, y un total de 150,758 Km de caminos no pavimentados.

La inversión por parte del gobierno en infraestructura carretera ha sido un factor clave en el desarrollo del país, pues el incremento en redes de comunicación vial da como resultado estados comunicados entre sí, favoreciendo el crecimiento de la economía y mejorando la calidad de vida de los mexicanos.

1.3 Clasificación de las carreteras.

Según explica Crespo (2004), en México, las carreteras pueden ser clasificadas de varias formas: Clasificación por Transitabilidad, Clasificación por su Aspecto Administrativo y Clasificación Técnica Oficial. A continuación, se explicarán las clasificaciones.

a) Clasificación por transitabilidad.

Esta clasificación corresponde a las etapas constructivas de la carretera, puesto que esto influye en la transitabilidad del vehículo por el camino. Para ubicar una carretera en esta clasificación, se requiere identificar la fase de proyecto en la que se encuentra el tramo carretero. Las fases del proyecto que servirán para identificarlo son las siguientes:

- 1) Terracerías: Cuando el camino se encuentra hasta el nivel de subrasante se puede decir que es un camino de terracería, y puede que no sea transitable en tiempo de lluvias.

- 2) Revestida: El camino entrar en esta clasificación cuando lo sobre la subrasante se ha construido ya una o varias capas que conforman el pavimento sin éste llegar a estar terminado.
- 3) Pavimentada: Es el camino cuyas capas de pavimento han sido colocadas al cien por ciento.

b) Clasificación administrativa.

Todas las carreteras del país requieren una administración ya sea para la construcción o mantenimiento de estas. Las carreteras se clasifican de acuerdo con quien las construye y quién se queda a cargo de estas.

- 1) Federales: Son las carreteras que han sido construidas en su totalidad por la federación por lo que el mantenimiento y operación de estas quedan a su cargo.
- 2) Estatales: Son los caminos que quedan a cargo de las Juntas Locales de Caminos y son construidas a partir de la cooperación del estado y la federación.
- 3) Vecinales o rurales: son aquellas construidas a partir de la cooperación de los vecinos beneficiados, la federación y el estado. Estas carreteras que van a cargo de la Junta Local de Caminos del estado para su mantenimiento y operación.
- 4) De cuota: Son aquellas que quedan a cargo de la dependencia llamada Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), que es un organismo descentralizado federal. También pueden quedar a cargo de la iniciativa privada por un tiempo determinado.

c) Clasificación técnica oficial

Atendiendo al Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT (2016), las carreteras pueden clasificarse según su funcionalidad, lo que se traduce en el TDPA o Tránsito Diario Promedio Anual que pasa por la vía.

A) Tipo ET-A:

- 1) Tipo ET2-A2: Para un TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos.
- 2) Tipo ET4-A4: Para un TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos.
- 3) Tipo An: siendo “n” mayor o igual a 5 carriles de circulación, para un TDPA de 20,000 vehículos en adelante.
- 4) An y A4 podrán llevar la inicial “S” para distinguirlas si son de cuerpos separados.

B) Tipo B2: Para un TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos.

C) Tipo C: Para un TDPA de 250 a 1,500 vehículos.

D) Tipo D: Para un TDPA de 100 a 500 vehículos.

La nomenclatura para la clasificación operativa es la siguiente.

Tipo de Carretera	Nomenclatura
Ejes de Transporte, carreteras de cuatro carriles, con control total de accesos	ET 2
Ejes de Transporte, carreteras de dos carriles, con control total de accesos	ET 4
Carreteras de cuatro carriles, con control total o parcial de accesos	A 4

Carreteras de dos carriles, con control total o parcial de accesos	A 2
Carreteras de dos carriles, sin control de accesos	B 2
Carreteras de dos carriles, sin control de accesos	C
Carreteras de dos carriles, sin control de accesos	D

Tabla 1.1.- Nomenclatura de la clasificación técnica de las carreteras.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT (2016).

1.4. Inventario de caminos.

Como menciona Mier (1987), el inventario de caminos se realiza con el fin de tener un conteo de las redes carreteras y vías de una entidad.

Entre sus aplicaciones, el autor antes señalado menciona las siguientes:

- a) Obtención de la capacidad de los caminos que integran la red.
- b) Señalar las obras necesarias.
- c) Datos de las obras de drenaje.
- d) Estado físico del camino.

Entre otras aplicaciones, las anteriores mencionadas justifican el inventario de caminos.

1.5. Ingeniería de Tránsito.

“La Ingeniería de Tránsito es la rama de la Ingeniería que se dedica al estudio del movimiento de personas y vehículos en las calles y caminos, con el propósito de hacerlo eficaz, libre, rápido y seguro” (Mier, 1987: 21).

En la Ingeniería de Tránsito se analizan, entre otros factores, todo aquello que tiene que ver con el camino y su relación con el vehículo, así como con el usuario. Habiendo mencionado esto, es necesario aclarar los aspectos que se analizan en dicha rama de la Ingeniería, que serán necesarios para satisfacer correctamente los objetivos del presente trabajo de tesis.

1.5.1. El usuario.

Atendiendo al Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT (2016), será necesario tomar en cuenta las limitaciones en la manera de actuar del usuario de la carretera, ya sean peatones o pasajeros. De esta manera se conseguirá un buen proyecto geométrico.

A continuación, se mencionará la clasificación del usuario, así como ciertas consideraciones que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes propone para cada uno.

a) Conductores.

Se refiere a los usuarios que circulan operando vehículos automotores, y sus consideraciones de limitación son las siguientes:

- 1) **Visión:** Para conducir, la visión es la limitación más importante. Los factores más importantes que deberán tomarse en cuenta son la agudeza visual, la visión periférica, el deslumbramiento, la expectativa y su respuesta.
 - La agudeza visual es la facultad de distinguir objetos claramente.

- La visión periférica es la facultad de ver a los lados de la cabeza, teniendo naturalmente un cono visual de 120° a 160°, pero cuando se conduce, esto se reduce de acuerdo con las condiciones de la velocidad y la iluminación.
 - El deslumbramiento es la falta de adaptación a los cambios en la luz. Podrá suceder cuando, por ejemplo, el conductor se cruce en sentido contrario con otro vehículo, o cuando la luz se hace menos intensa, como al entrar a un túnel. Los cambios de luz suelen requerir una adaptación del ojo, pero este tarda el doble en adaptarse cuando se trata de oscuridad, tomando 5 segundos para adaptarse a la luz.
 - La percepción de colores no es un problema que afecte a los usuarios, pero se podrá dar el caso en el que ciertos conductores o peatones no distinguen los colores que son utilizados para el control de tránsito, como es el caso de los semáforos.
 - La profundidad es la capacidad de percibir la distancia a la que se encuentran los objetos.
- 2) Expectativa: Es la predisposición del conductor a reaccionar de manera correcta a eventos en la carretera. Cuando un conductor se encuentra a una situación nueva o inesperada, corre el riesgo de sufrir un incidente. En el proyecto geométrico, la uniformidad y consistencia juegan un papel importante, al estar basadas en la experiencia del conductor, cumplen con sus expectativas.
- 3) Reacción: Se define como el tiempo del usuario al reaccionar ante un estímulo presente, ya sea visual, auditivo o táctil. Para que se produzca la reacción

ante un estímulo visual en una situación de tránsito, esta requiere de un proceso de 4 etapas: percepción, identificación, decisión y acción. Para fines de proyecto se toman 2.5 segundos como tiempo de reacción.

- 4) Respuesta: Son las decisiones que toma el usuario, relacionando el espacio y el tiempo. La velocidad deseada es un buen indicador de la reacción del conductor. La velocidad deseada es la velocidad que adoptaría el conductor en base a las situaciones respecto a su vehículo, la carretera, señales y otros conductores.

b) Otros usuarios.

- 1) El ciclista: Para el proyecto geométrico de una carretera no se considera al ciclista como parte del sistema pues es recomendable no mezclarlos con vehículos motorizados. Solo se incluirán al proyecto cuando se prevea un volumen importante de ciclistas.
- 2) El peatón: Es el usuario que no se desplaza por la carretera por medio de un vehículo. Es de suma importancia tomar en cuenta al peatón en el proyecto geométrico, pues la buena planeación se traduce en condiciones de seguridad óptimas para el peatón y el conductor.
- 3) El pasajero: En el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, así como en otros manuales, se toman consideraciones específicas para las necesidades de pasajeros de vehículos particulares y públicos.

1.5.2. El vehículo.

Según la SCT en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (2016), los vehículos pueden clasificarse por su función, peso, régimen de propiedad, como unitarios o articulados, según su uso y tamaño. Esta última clasificación suele ser muy común en Ingeniería de tránsito, pero se agregan detalles especiales a los camiones.

Cada vehículo, según esta clasificación, ha sido designado con una letra, como A para autos, B para autobuses y C para camiones unitarios. Para camiones articulados se han designado las siguientes letras para sus partes: T para el tracto camión, S para el semirremolque y R para el remolque apoyado en dos ejes. Adicional a esto, se agrega un dígito después de cada letra para indicar el número de ejes sencillos que cuenta cada parte del camión articulado.

Clasificación	Descripción
A2	Automóvil de dos ejes.
B3	Autobús de tres ejes.
C2	Camión de dos ejes.
C3	Camión de tres ejes.
T3S2	Tracto camión de tres ejes con semirremolque de dos ejes.
T3S3	Tracto camión de tres ejes con semirremolque de tres ejes.
T3S2R4	Tracto camión de tres ejes con semirremolque

	de dos ejes y remolque de cuatro ejes.
--	----------------------------------------

Tabla 1.2.- Descripción de la clasificación de los vehículos.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT (2016).

A la clasificación mostrada en la tabla 1.2, se les conoce coloquialmente como: Automóvil, autobús, camión sencillo o rabón, tórton, tráiler y full tráiler, respectivamente, y representan el 99% de vehículos en el flujo de tránsito de las carreteras incluidas en la red nacional de carreteras.

1.5.2.1. Vehículo de proyecto.

El vehículo de proyecto es una aproximación hipotética que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes utiliza para dimensionar los elementos en la carretera. Los tres vehículos que se prevé que transiten por las carreteras de la red nacional son:

Vehículo de Proyecto	TS	C	A
Longitud total, en m	31.00	14.00	6.00
Entre-eje equivalente en m	14.50	7.50	0.90
Vuelo delantero, en m	1.20	1.00	0.90
Ancho total, en m	2.60	2.60	2.20
Entrevía, en m	2.60	2.40	1.90
Altura total, en m	4.25	4.25	3.50
Altura ojos conductor, en m	2.00	1.50	1.08
Altura de faros, en m	0.60	0.60	0.60
Angulo del haz de luces, en grados	1.00	1.00	1.00
Peso bruto vehicular, en ton	67.50	22.50	3.50
Potencia de operación, en hp	450	150	70

Tipo de vehículo que representa	T3S3R4	C3	A2
---------------------------------	--------	----	----

Tabla 1.3.- Tabla de las características de los vehículos de proyecto.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT (2016).

Atendiendo a la tabla 1.3, las carreteras, al ser diseñadas, contemplan un vehículo de proyecto promedio, en el que especifican las características de servicio óptimas para las que el tramo carretero fue diseñado. La norma NOM-012-SCT-2-2017 establece los pesos y dimensiones máximas para los vehículos que pueden circular en los diferentes tipos de carretera de jurisdicción federal.

1.6. La velocidad.

“La velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo”. (Crespo; 2004: 5)

En el diseño de las carreteras, en la etapa de definir un proyecto geométrico, es de vital importancia considerar a la velocidad como un factor del cual dependerá el buen aprovechamiento, seguro y efectivo de las carreteras, “ya que su utilidad y buen funcionamiento se juzgan por la rapidez y seguridad con la que las personas se mueven en él”. (Mier; 1987: 39)

Estas velocidades nunca serán constantes, pues se ven afectadas por la capacidad del vehículo, el usuario, la vía y las condiciones del clima, por lo que en un proyecto se deben de considerar promedios, para así determinar las velocidades máximas.

Las velocidades tomadas como seguras en las carreteras casi nunca son las máximas a las que puede circular un vehículo, pues estas fueron tomadas en el diseño contemplado un factor de seguridad para los usuarios, pues la mayoría de los vehículos que operan en las carreteras pueden alcanzar velocidades mayores a las establecidas como las seguras.

Según el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT (2016), el concepto de velocidad se aplica de diferentes formas y con muchos fines, pero las que tienen, mayor aplicación en el proyecto geométrico son la velocidad deseada, la velocidad de operación y la velocidad de proyecto. Sin embargo, Mier (1987) menciona a la velocidad de punto y velocidad efectiva global, como conceptos que deberán tomarse en cuenta si se habla de carreteras. A continuación, se definirán las velocidades mencionadas.

1.6.1. Velocidad deseada.

La velocidad deseada, según la SCT (2016) se puede definir como la velocidad que el usuario espera para poder circular en un tramo carretero. Ésta se basa en cada conductor, pues depende de su habilidad y preferencias, así como la capacidad de su vehículo, estado de la carretera, clima, entre otros aspectos.

Una variación del concepto de velocidad deseada es la velocidad deseable. Esta velocidad es aquella que la autoridad establece en base a la deseada. Si esta es anunciada a los usuarios y se reglamenta, se convierte en la velocidad límite de la carretera o tramo.

1.6.2. Velocidad de operación.

Es la velocidad real que adoptan los usuarios en las carretas, y depende del volumen de tránsito y las condiciones de la carretera, según explica Mier (1897). Si el volumen de tránsito se acerca a la capacidad del camino, la velocidad deja de ser determinada por la velocidad de proyecto y queda relegada a cuán saturada de tránsito esté la carretera.

1.6.3. Velocidad de proyecto.

La velocidad de proyecto es la velocidad que gobierna en la carretera y se usa para determinar algunos elementos del proyecto geométrico. Según Mier (1987), esta velocidad debe ser congruente con el terreno y el tipo del camino. La velocidad entonces queda definida por la topografía, los volúmenes de tránsito y el uso de suelo. Una vez establecida la velocidad, las características del proyecto geométrico deberán diseñarse de acuerdo con ella. La velocidad de proyecto deberá cumplir con la velocidad deseada de los conductores y ser constante a lo largo de la carretera.

1.6.4. Velocidad de punto.

“La velocidad de punto es la velocidad que lleva un vehículo cuando pasa por un punto dado de un camino”. (Mier; 1987: 42)

El autor citado menciona que, en las curvas horizontales de baja velocidad, los vehículos transitan con una velocidad muy parecida a la proyectada, mientras que, en las curvas de mayor velocidad, transitan muy por debajo de la velocidad de proyecto.

1.6.5. Velocidad global.

Se refiere al promedio de las velocidades mantenidas en una carretera, y puede calcularse obteniendo una relación entre el tiempo que le toma al vehículo concluir con el trayecto sobre la vía, y la distancia total de esta, tomando en cuenta los posibles retrasos y las veces que el vehículo se detiene o disminuye su velocidad de acuerdo con las condiciones y elementos que conforman al camino.

Esta velocidad mostrará la fluidez de una vía, compararla con otras rutas o medir que tanto afectan o benefician los cambios que se han hecho a ésta, según Mier (1987).

1.7. Volumen vehicular.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes considera el TDPA como medida de tránsito de una carretera. El TDPA se refiere al Transito Diario Promedio Anual, y puede medirse en un solo sentido o en ambos sentidos de la carretera en cuestión.

Para calcular correctamente el TDPA, se deben de tomar en cuenta el tránsito actual, tomando en cuenta el horizonte de proyecto establecido, más el tránsito generado y el tránsito por el desarrollo.

La información del tránsito actual y su tasa de crecimiento puede encontrarse en el registro histórico de la SCT, información que puede ser complementada por un aforo vehicular, comprendiendo 7 días seguidos de una semana típica, conforme a lo descrito en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT (2016).

El tránsito generado es un incremento en el tránsito que “depende principalmente del efecto de atracción que tenga el proyecto” (SCT; 2016: 89) y puede deberse al aumento de eficiencia de la carretera y la calidad en el servicio a los usuarios y reducción de costos, así como de tiempos.

El tránsito por desarrollo es aquel que resulta de las nuevas actividades económicas, industriales y turísticas que se relacionan el proyecto y se benefician directamente de él. Todos los usuarios que se transportan para llegar a dichas actividades. Es importante calcular el TDPA que se preverá para el proyecto tomando en cuenta los datos de tránsito generado y por desarrollo, pues afectarán enormemente al proyecto.

1.8. Capacidad y nivel de servicio.

Para analizar correctamente el comportamiento de las carreteras, es necesario definir las variables que tienen que ver precisamente con la capacidad, que mide la eficiencia de una calle o un camino, y el nivel de servicio. Estas dos características de las carreteras son importantes pues involucran directamente el correcto diseño en el proyecto geométrico, el estudio del flujo vehicular y las especificaciones que nos definirán el número máximo de vehículos que podrán circular por el tramo o camino en cuestión.

1.8.1. Capacidad.

La capacidad de un camino se estudia en un período dado de tiempo, dando como resultado el número máximo de vehículos que podrán transitar por dicho

camino considerando las condiciones que fueron tomadas en cuenta para el proyecto geométrico, como explica Mier (1987).

Referente a lo anterior, Crespo (2004) hace mención de la importancia que tiene el conocer la capacidad de un camino tanto nuevo como existente. El autor explica que conocer la capacidad de un camino viejo permitirá determinar si el camino ya ha llegado a la saturación y necesita la construcción de vías alternas o un mejoramiento de este; la capacidad en los caminos nuevos podrá prever los volúmenes de tránsito que va a alojar.

Al respecto, Kreamer et al. (2003) especifican que la capacidad debe definirse en periodos largos, pues la fluctuación en el tránsito es aleatoria y pueden presentarse valores muy altos en tiempos relativamente cortos.

Según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (2016), la capacidad de una carretera de dos carriles condiciones base que es de 1,700 Vehículos Ligeros por Hora (vlph) para cada sentido de circulación, teniendo como límite 3200 vlph para los dos sentidos en conjunto.

Para las carreteras de dos carriles es necesario aclarar que existen dos clasificaciones, según la SCT (2016). Las carreteras clase I son aquellas de velocidades altas, interurbanas, que pueden ser carreteras federales o estatales, que sirven para viajar por largas distancias. Las carreteras clase II son transitadas por conductores que esperan viajar a una velocidad relativamente menor, en

comparación a la clase I, pues estas vías son para viajes cortos, que pueden servir para entrar a las carreteras clase I, así como para un uso turístico y de viajes cortos.

Las condiciones base de un camino se refieren a la ausencia de factores que puedan restringir la circulación debidas al tránsito, la geometría y el medio ambiente. Estas condiciones son las que son consideradas como condiciones ideales y son las siguientes:

1. El mínimo de los carriles será de 3.5 metros.
2. Los acotamientos serán mayores o iguales a 1.8 metros.
3. Que la carretera esté libre de zonas de no rebase.
4. Que por la carretera transiten sólo conductores cotidianos.
5. Que no haya obstáculos debido a controles de tránsito o vueltas.
6. Que el terreno sea plano.

Si estas condiciones base que establece la Secretaría de Comunicaciones y Transportes no son cumplidas, está demostrado que se pueden incrementar los tiempos de recorrido y aglutinamientos en la corriente de tránsito de la carretera.

Aun así, bajo estas condiciones, con muy poca frecuencia se presentan las condiciones de capacidad en una carretera, pues ésta se presenta regularmente en tramos cortos como puentes o túneles, pero nos esperan para tramos con longitudes mayores.

1.8.2. Nivel de servicio.

“El nivel de servicio determina las condiciones de operación que un conductor dado experimenta durante un viaje”. (Mier; 1987: 59)

En el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2016) define al nivel de servicio como una medida de desempeño que arroja como resultado la calidad en el servicio que presta una carretera.

Respecto a lo anterior, Kreamer et al. (2003) destacan la necesidad de definir las condiciones aceptables para la circulación de las carreteras, definiéndolas tomando en cuenta los factores como: Velocidad, seguridad y comodidad, entre otros.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2016) menciona dos características que influyen en gran medida en las percepciones de la calidad del servicio para los conductores:

1. Capacidad de rebase: La habilidad para rebasar está limitada por la cantidad de tránsito del carril contrario.
2. Demanda de rebase: Cuando la cantidad de vehículos en una fila aumentan junto con sus tiempos, aumenta la demanda de maniobras de rebase. A medida que esta aumenta, la capacidad de rebase disminuye.

Los niveles de servicio son rangos cualitativos, en una escala que va desde la “A” hasta la “F”, siendo “A” las mejores condiciones y “F” las peores. Respecto a esto, Kreamer et al. (2003) y SCT (2016) concuerdan en esta escala, definiéndola como la que rige para las carreteras. A continuación, se explican los diferentes

niveles de servicio, tomando como referencia al Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, pues es la dependencia que compete a México.

Nivel de servicio A: En carreteras clase I, los conductores viajan con altas velocidades y casi sin dificultad para rebasar, pues hay muy poca frecuencia de grupos vehiculares que, además, son pequeños (3 o menos). En carreteras clase II se espera una cantidad pequeña de grupos vehiculares pues la velocidad es regulada por las condiciones del camino.

Nivel de servicio B: Tanto para las carreteras clase I como clase II, la demanda y capacidad de rebase están balanceadas, se comienzan a percibir grupos vehiculares y en las carreteras clase I, existen algunas reducciones de velocidad.

Nivel de servicio C: En ambas carreteras la mayoría de los vehículos viajan en grupos y notan una reducción de velocidad.

Nivel de servicio D: Las carreteras tipo I y II con este nivel de servicio sufren de una falta de la capacidad de rebase, pues la mayoría de los vehículos viaja en grupos, aumentando significativamente el tiempo en fila.

Nivel de servicio E: Con velocidades muy bajas, en las carreteras I y II la demanda se acerca a la capacidad, rebasar es casi imposible, las filas tienen un tiempo de espera aproximadamente del 80%.

Nivel de servicio F: Cuando la demanda es mayor a la capacidad de las carreteras, o esta la excede. Condiciones inestables y grandes congestionamientos.

1.9. Proyecto geométrico.

Acorde a lo mencionado por la SCT (2016), el proyecto geométrico es la parte del proyecto constructivo de una carretera, en la que se comprenden la ejecución de todos los estudios necesarios, los cuales ordenan y dimensionan todos los elementos que conforman la sección transversal y alineamientos horizontales y verticales.

El proyecto geométrico comprende la elaboración de planos y las especificaciones geométricas de los materiales, así como los acabados.

La SCT establece que el proyecto geométrico de una carretera considera las etapas: Planeación, selección de la ruta, anteproyecto y proyecto.

1.9.1. Planeación.

En esta fase del proyecto, es necesario definir los procesos para llegar al objetivo o meta, así como establecer las necesidades principales que la carretera va a solucionar, la demanda que tendrá, el flujo de tránsito actual y futuro, así como la composición vehicular y los niveles de servicio, para determinar en cual caerá la carretera sujeta a planeación.

Teniendo en cuenta el marco jurídico, económico y financiero, se creará un proyecto que respete y beneficie las características de uso de suelo y así comprenda las necesidades relacionadas con la población, turismo y servicios en el área de influencia para la cual se proyectó la carretera.

1.9.2. Selección de la ruta.

Es la selección de la ruta óptima para el proyecto, acorde a las especificaciones de la etapa de planeación.

De acuerdo con Mier (1987), la selección de ruta depende de la recopilación de datos y del reconocimiento aéreo y terrestre.

El proyectista seleccionará la ruta adecuada, y será aquella que atienda la demanda de transporte prevista, que satisfaga la seguridad y sea asequible, y de la misma manera buscará la preservación del medio ambiente.

1.9.3 Anteproyecto.

Una vez seleccionada la ruta y conociendo todos los elementos de esta, es necesario definir un eje de proyecto en planta, perfil y sección transversal, que satisfaga las necesidades que se plantearon en la planeación, y que tome en cuenta las consideraciones geológicas, hidrológicas, ambientales y de derecho de vía de la ruta, que arrojaron los estudios que se realizaron al seleccionarla.

1.9.4. Proyecto.

A partir de los datos obtenidos por la planeación, la selección de la ruta y el anteproyecto, se obtendrá un proyecto, que tiene como objetivo definir “las características, dimensiones y ordenamiento de los elementos de la carretera, esto es, de los alineamientos horizontal y vertical, de los taludes de cortes y terraplenes en las secciones transversales de construcción, a partir del eje de proyecto”. (SCT; 2016: 96) De esta manera, el proyectista otorgará al constructor los planos y

especificaciones necesarias para que éste pueda llevar a cabo la obra tal como fue planeada.

El proyecto incluirá las especificaciones del material del cual se obtendrán los cortes, así como los bancos. Deberá incluir también las cantidades de obra, como volúmenes de terracerías, desmonte, despalme, cortes y terraplenes, capas de subrasante y subyacente.

De la misma manera, el proyectista especificará las obras de drenaje en caso de existir, así como su tipo, ubicación y los volúmenes de obra respectivos para su ejecución.

Todo lo anterior mencionado, se incluye en los planos de proyecto geométrico, de acuerdo con la SCT (2016).

1.10. Estudios de Mecánica de Suelos.

La Mecánica de Suelos es definida como la aplicación de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a los problemas de carácter ingenieril que involucren sedimentos y acumulaciones de partículas sólidas, producto de descomposición mecánica o química, ya sea que tengan materia orgánica o no, como se cita en Juárez y Rico (2005).

Atendiendo a Rico y Del Castillo (1974), las Vías Terrestres son estructuras que están básicamente hechas de tierra y sobre la tierra. Los autores destacan que las estructuras de esta naturaleza se ven influenciadas por el tipo de suelo en el que están desplantadas, pues las características como la constitución mineralógica, la

estructura del suelo, la cantidad de agua y su manera de fluir, son tomadas en cuenta a la hora de definir el suelo o roca.

“También, dada la infinita variedad de los suelos con el que el Ingeniero se ve obligado a tratar, cualquier intento de sistematizar su estudio debe ir acompañado de la necesidad de establecer sistemas apropiados de clasificación”. (Juárez y Rico; 2005: 30)

Para lo que a las Vías Terrestres compete, el proyectista, así como el constructor deberán tomar en cuenta que los tipos de suelos que se encontrarán en la construcción de un camino serán prácticamente infinitos. Por esta razón, es necesaria una clasificación lo más completa posible.

El SUCS, Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, que está basado en la Carta de Plasticidad, ha sido una de las herramientas principales para los técnicos mexicanos a la hora de clasificar los suelos que, en base a pruebas de laboratorio, permiten determinar las características que los ubican en una de las clasificaciones de dicho sistema.

GW	Gravas bien graduadas, mezclas de gravas y arena con poco o nada de finos
GP	Gravas mal graduadas, mezclas de gravas y arena con poco o nada de finos
GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla
SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos
SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos

SM	Arenas limosas, mezcla de arena y limo
SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla
ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillas ligeramente plásticas
CL	Arcillas arenosas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres
OL	limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas
OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad
Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos

Tabla 1.4.- Clasificación de los distintos suelos reconocidos por el SUCS

Fuente: Mecánica de Suelos, Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005)

Con lo anterior dicho, se justifica que la rama de la Ingeniería y la Mecánica que estudia los suelos es indispensable para el desarrollo de una carretera. En la realización de ésta, el constructor deberá decidir entre distintos bancos, determinando cuál es el que satisface las especificaciones del proyectista para las distintas capas del pavimento, así como la compactación requerida para las capas de base hidráulica, subbase, subrasante, etc. Los niveles de agua en los materiales, el desgaste de las partículas que conforman las diferentes capas del pavimento, la capacidad de carga del suelo, entre otros.; lo anterior se logrará a base de los estudios de Mecánica de Suelos pertinentes, para que el camino se logre con la calidad deseada.

1.11. Estudios Hidrológicos.

En el trazo de una carretera influyen varios factores, de entre los cuales destaca la influencia de los Estudios Hidrológicos.

Según la SCT (2016), si el trazo de una carretera altera de alguna manera las corrientes naturales del sitio, el agua buscara equilibrarse y abrirse paso de nuevo, modificando su cauce original, que ha sido alterado por el constructor para el desplante de su obra. Lo anterior causaría daños severos, por lo que un estudio correcto de las características hidrológicas de la zona es primordial para la correcta planeación y posterior construcción de las obras de drenaje que ayudarán a la carretera a mantenerse y encausar el agua de manera controlada, evitando así daños a su estructura y disminuyendo los costos de mantenimiento que por esta causa puedan suscitarse.

Con tal fin, la Secretaría hace hincapié en la necesidad de consultar la información hidrológica disponible en las zonas de interés, la cual puede incluir:

- a) Las gráficas de precipitación por cuenca en la región.
- b) Las precipitaciones máximas registradas.
- c) Los gastos y velocidades de las corrientes principales.
- d) Las isoyetas y los periodos de retorno de las avenidas máximas extraordinarias.

El estudio hidrológico proporciona los datos suficientes para las obras de drenaje menor, puentes y obras de cruce, ya que estos estudios muestran la

información referente a la superficie, vegetación, geomorfología, suelos, erosión, depósito y estructuras existentes, tal como menciona la SCT (2016).

CAPÍTULO 2

PROCESO CONSTRUCTIVO

En el presente capítulo se presentarán los diferentes procesos que, para una vía terrestre, conforman el proceso constructivo, explicando las capas que conforman un pavimento y todos los procesos involucrados para que la ejecución de proyecto geométrico sea la idónea.

2.1. Proceso constructivo.

“Se denomina procedimiento de construcción al proceso sistemático que obedece a una secuencia para la realización de lo indicado en el proyecto y que es el resultado del proyecto apoyado en los estudios de Geotecnia y se representa directamente mediante secciones constructivas”. (SCT; 2016: 304)

El proceso constructivo del tramo se determina por las condiciones que se deben cumplir y tomar en cuenta, obtenidas en el estudio geotécnico, así como las características del material para las terracerías, la topografía del sitio y material de subsuelo, según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2016).

Es importante mencionar que, en el proyecto geométrico, las secciones de construcción van a variar en base a la altura de la capa de subrasante, pues se presentaran secciones de corte, terraplén o ambas, como menciona la SCT (2016).

Las diferentes secciones se definirán a continuación, explicando algunas de las consideraciones que la SCT recomienda seguir para presentar un proceso constructivo en dichas secciones.

2.1.1. Sección en corte.

“Los cortes son excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural hasta el nivel de subrasante, respetando los taludes de proyecto, en ampliación de taludes, en rebajes en la corona de cortes o terraplenes existentes y en derrumbes, con objeto de formar la sección geométrica de acuerdo con lo indicado en el proyecto o lo ordenado por la Secretaría”. (SCT; 2016: 297)

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2016), considera que una sección de corte se presenta cuando la diferencia entre los niveles de despalme o terreno natural y subrasante es positiva. Al definirla, la dependencia también establece las siguientes recomendaciones para presentar a detalle el proceso constructivo de una sección en corte:

- a) Indicar en qué tramo existe rige la sección de corte.
- b) En caso de existir, mencionar el espesor de despalme.
- c) Especificar el nivel hasta donde se ejecutará el corte, el uso que se le dará al material resultante y si la excavación se clasificará como caja en corte o simplemente corte.
- d) Especificar el tratamiento del material que conformará la subrasante y el grado de compactación que se desea.
- e) Si el corte se realiza hasta la parte inferior de la capa de subrasante, se deberá señalar la compactación requerida para la superficie descubierta, en caso de que ésta requiera ser compactada, así como escarificada.

- f) Si se realiza el proceso del inciso e, se necesita la descripción del espesor de la capa de subrasante, así como el espesor de cada capa que lo conforma, su grado de compactación y el banco de material para poder construir las capas.
- g) Indicar la inclinación del talud, así como, en caso de existir, las bermas y contracunetas.

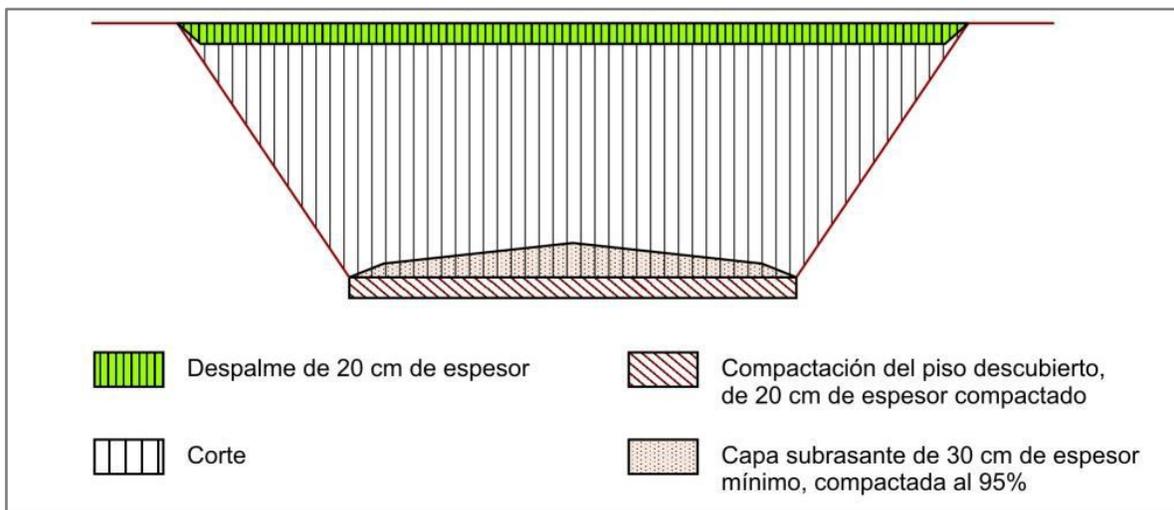


Figura 2.1: Ejemplo de croquis de procedimiento constructivo de una sección en corte.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT (2016).

2.1.2. Secciones en terraplén.

“Los terraplenes son estructuras que se construyen con materiales producto de excavaciones de cortes o procedentes de bancos de materiales, hasta el nivel de subrasante que indique el proyecto, ampliar la corona, formar bermas y bordos o tender taludes ya sea para carreteras nuevas o ampliaciones. Está formado por tres

capas: cuerpo de terraplén, capa subyacente y capa subrasante con características de materiales y tratamientos para su construcción diferentes”. (SCT; 2016: 297)

Un cuerpo de terraplén es la parte inferior del terraplén que se apoya en el terreno natural y puede ser producto de corte o de algún banco, de espesor variable y que se construye después de el desmonte y despalme, según menciona la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2016).

Una sección en terraplén es aquella en la que la diferencia entre niveles de despalme o terreno natural y la subrasante, sea negativa. De la misma manera que en la sección en corte, la Secretaría establece las siguientes pautas para presentar el proceso constructivo de una sección en terraplén:

- a) Indicar en que parte del tramo rige esta sección.
- b) Mencionar el espesor del despalme, así como el fin que se le dará al material resultante.
- c) El grado de compactación del terreno natural.
- d) Describir las capas que integran el terraplén y su grado de compactación, así como el material del que está formado, que puede ser producto de corte. En caso de ser material de banco, se debe especificar el nombre y ubicación.
- e) Especificar las capas de subyacente y subrasante, su grado de compactación y su espesor final, así como la procedencia del material que las conforma.
- f) Mencionar la inclinación del talud del terraplén, y, en caso de ser necesario, la construcción de bermas, lavaderos y bordillos.

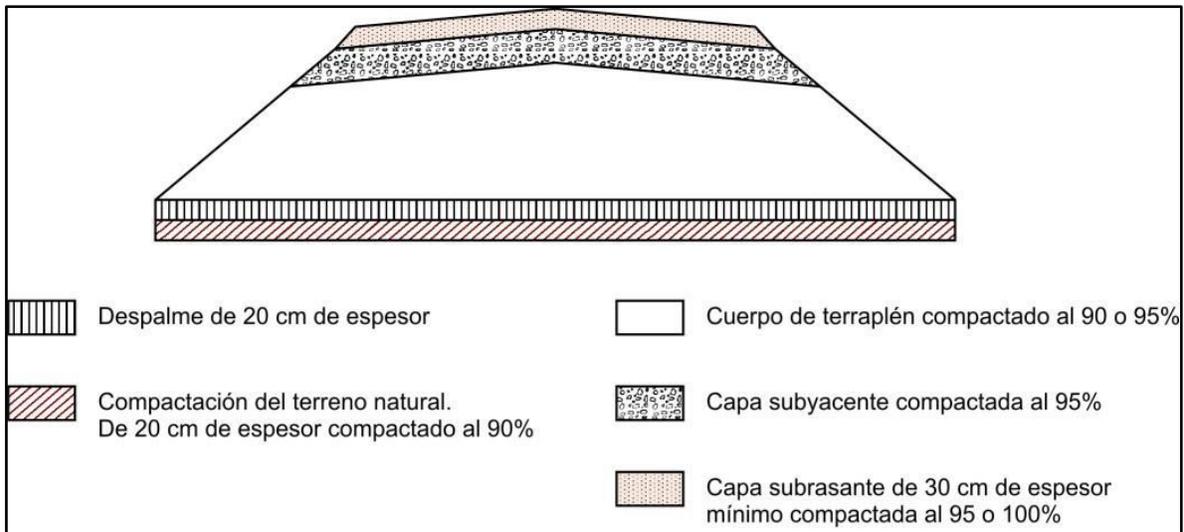


Figura 2.2. Ejemplo de croquis de procedimiento constructivo de una sección en terraplén.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT (2016).

2.1.3. Sección en balcón.

Las secciones en balcón, según la SCT (2016), son la combinación de procesos de corte y terraplén. “Se considera sección en balcón cuando sin importar la diferencia de niveles entre el despalme o el terreno natural y la subrasante, el ancho de la sub-corona está representado en uno de sus lados por rellenos (terraplenes) y en el otro por excavaciones (cortes)”. (SCT; 2016: 304)

Estas secciones también obedecen a las especificaciones que se mencionaron para las secciones de corte y de terraplén, pues también deberán contar con un croquis que indique el proceso constructivo, con las instrucciones del uso del material sobrante, o del material que se necesitará para el terraplén, así como los bancos a donde se llevará el material o de donde se obtendrá.

2.2. Sección transversal.

“Es la proyección de la carretera sobre un plano vertical normal al alineamiento horizontal. De acuerdo con la posición del alineamiento vertical con relación al terreno natural, hay tres tipos de sección: en corte, en terraplén o en balcón, la cual tiene una parte en corte y otra parte en terraplén, que puede llegar a ser nula”. (SCT; 2016: 46)

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2016) menciona que las secciones se dibujan a cada 20 metros, puesto que se emplean para calcular el movimiento de tierras, así como para especificar el proceso constructivo del proyecto. Las características de la sección transversal dependen del tipo de carretera, la SCT menciona las partes que conforman la sección transversal.

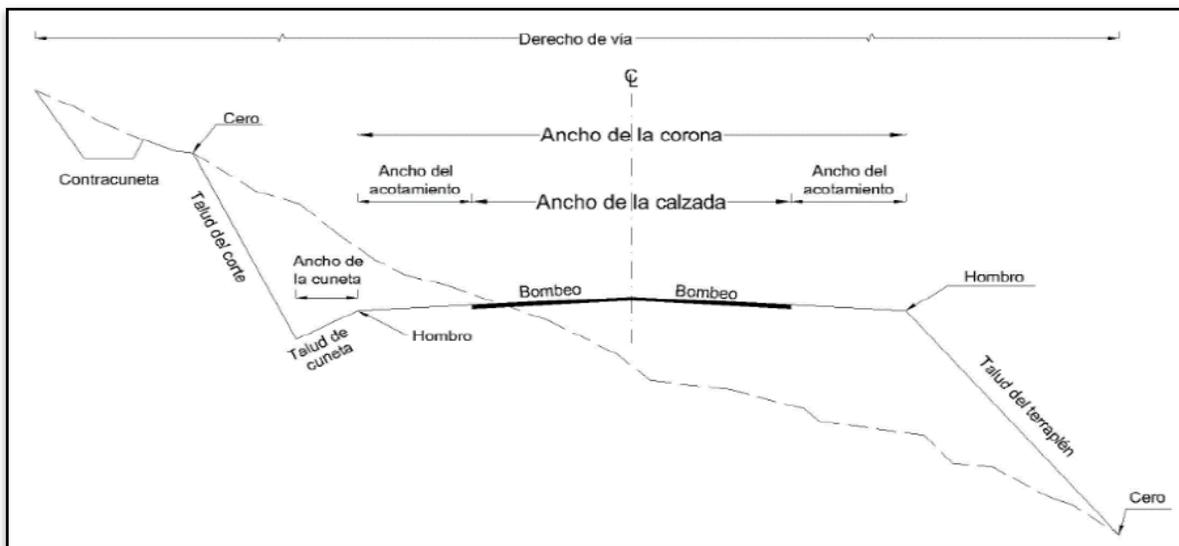


Figura 2.3. Sección transversal típica de carretera de dos carriles.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT (2016).

2.2.1. Corona.

La corona es la superficie de la carretera y se encuentra delimitada por los hombros. El hombro es la intersección de la corona con los taludes del terraplén o la estructura de la cuneta. La corona comprende a la calzada y los acotamientos.

2.2.2. Calzada.

La calzada es la superficie de rodamiento del pavimento, que está constituido por al menos dos capas de material tratado sobre la capa de subrasante. El tipo de pavimento está definido por el material del que está construida la capa superior.

- 1) Pavimentos rígidos: Son aquellos que están hechos de concreto hidráulico de cemento Portland.
- 2) Pavimentos flexibles: Los pavimentos que están compuestos por una carpeta asfáltica de concreto, mezcla o riego.
- 3) Revestimientos: Terracería estabilizada o grava.

Cabe mencionar que los pavimentos de alto desempeño están constituidos por pavimentos rígidos o flexibles de concreto asfáltico, los de regular desempeño están conformados por los flexibles a base de mezclas y riegos. Por último, los de pobre desempeño son los revestimientos.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2016) menciona algunas características de los caminos que influyen en la selección del tipo de pavimento:

- Volumen y composición de tránsito.
- Características del suelo.

- Factores ambientales y regionales.
- Disponibilidad de materiales.
- Consumo de energéticos.
- Costo inicial, de mantenimiento, operación y de accidentes.

2.2.3. Pendiente transversal.

Se le denomina pendiente transversal al bombeo que la sección de carretera usa para desalojar el agua que cae en la corona, conduciéndola hacia los lados del camino, a una cuneta o bordillo. En México, según menciona la SCT (2016), el bombeo de 2% es el que ha dado buenos resultados.

La Secretaría también menciona que, en las curvas horizontales, la pendiente transversal es la sobreelevación. Este valor puede llegar hasta el 10% hacia el centro de la curva, salvo en algunos lugares donde, debido a factores ambientales, la sobreelevación máxima es de 8%, para climas fríos, donde se presentan heladas y nevadas.

2.2.3.1. Ancho.

“El ancho de calzada en tangentes horizontales está dado por el ancho de carril multiplicado por el número de carriles. El ancho de carril es de 3.50 m para todo tipo de carreteras. Además de la capacidad de la carretera, el ancho de calzada afecta la seguridad y el confort al conducir”. (SCT; 2016: 51)

El ancho de la calzada toma en cuenta los carriles que conforman la calzada, más el ancho de los acotamientos y, en caso de existir, de la faja separadora central.

En el proyecto geométrico se considera que los vehículos que transitarán libremente y con ancho suficiente por cada tipo de carretera serán los siguientes:

Carretera	Vehículos	
A	TS	TS
B	TS	C
C	C	C
D	C	A

Tabla 2.1. Vehículos esperados para cada tipo de carretera.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT (2016).

2.2.4. Acotamientos.

“Son las fajas contiguas a la calzada”. (SCT; 2016: 52) La Secretaría menciona la siguiente utilidad para los acotamientos:

- 1) Dar espacio para paradas y maniobras de emergencia.
- 2) Acotar la calzada haciéndola más visible.
- 3) Evitar accidentes o reducir su severidad.
- 4) Dar holgura a obstáculos laterales.
- 5) Mejorar distancia de visibilidad y seguridad, sobre todo en cortes.
- 6) Contribuir a mejorar la estética.
- 7) Incrementar la capacidad.
- 8) Proporcionar espacio para trabajos de mantenimiento.
- 9) Contribuir a drenar el agua y reducir filtración a la sección estructural.
- 10) Confinar el pavimento para darle resistencia estructural.
- 11) Dar espacio para paradas de autobuses.

El acotamiento forma parte de la calzada, por lo que están hechos del mismo material que el pavimento, aunque es conveniente que estos lleven otros acabados de texturas, pues sirven de aviso para los conductores cuando estos estén saliendo de la calzada.

“Los acotamientos deben ser suficientemente estables para soportar las cargas vehiculares sin que se produzcan roderas o se pierdan sus propiedades de resistencia al deslizamiento, evitando también que los vehículos se atasquen en cualquier condición climática. Es por esto por lo que su sección estructural debe ser similar a la de los pavimentos de la calzada”. (SCT; 2016: 52)

2.2.5. Pendiente transversal.

Los acotamientos son partes importantes de la calzada que aseguran el buen funcionamiento de drenaje transversal del camino, pues deberán ser diseñados con una inclinación suficiente, que permita el escurrimiento del agua que cae en los carriles, hacia las obras de drenaje.

La pendiente para acotamientos de concreto hidráulico o asfáltico es de 1.5 a 3%, como recomienda la SCT (2016), y para acotamientos revestidos de 4 a 6%; por razones constructivas, es conveniente que la pendiente de los acotamientos sea igual a la pendiente de la calzada.

Por razones de seguridad, los acotamientos no podrán tener una diferencia de pendientes (quiebre) con la pendiente en tangente o curvas horizontales cerradas del camino, mayor al 8%, tal como se menciona en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT (2016).

2.2.5.1. Ancho.

El ancho de los acotamientos, según Crespo (2004), varía entre 1.25 a 3.05 metros, dependiendo del tipo de camino y los factores económicos que rodean a éste. El autor mencionado considera que para una sección de carretera de 3.66 metros por vía de circulación, la medida óptima para un acotamiento es de 1.84 metros y señala que cualquier reducción en las medidas afectaría reduciendo la capacidad del camino.

Sin embargo, se especifica en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (2016) que, “El ancho ideal de los acotamientos del lado derecho debe ser tal que exista una distancia libre de cuando menos 30 cm y preferentemente 60 cm entre cualquier vehículo que se estacione y la orilla de la calzada. Con base en este criterio, son recomendables los acotamientos de 3.00 m en carreteras importantes, que es lo recomendable en autopistas y autovías de cuatro o más carriles. En autovías de dos carriles y caminos con velocidad de proyecto de 70 km/h o más, los acotamientos deben ser de 2.50 m y en las demás pueden ser más angostos, pero no menos de 1.0 m”. (SCT; 2016: 53)

Sobre lo antes mencionado, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes hace hincapié en que los acotamientos deberán ser de ancho uniforme en toda su longitud, incluso en puentes y túneles, pues si se reduce o se elimina, esto afectaría directamente en la seguridad y ocasionaría problemas operativos.

2.2.6. Fajas separadoras centrales.

“Se definen como la porción de una carretera dividida que separa las calzadas de circulación de los dos sentidos opuestos”. (SCT; 2016: 54) Se requieren para carreteras de 4 o más carriles de circulación. Las principales funciones de las fajas separadoras centrales que son citadas por la SCT, refiriéndose a AASHTO, 2002, son:

1. Separar a los vehículos que circulan en sentidos opuestos.
2. Presentar un área para que un vehículo que ha perdido el control recupere su estabilidad.
3. Estacionamiento de emergencia.
4. Espacio para retornos o para dar vuelta a la izquierda.
5. Reducen los deslumbramientos nocturnos debido a las luces de los vehículos que circulan en sentido contrario.
6. Proporcionan espacio para carriles futuros.

Atendiendo a la SCT (2016), las fajas separadoras son preferibles a las barreras centrales, pues proporcionan una mayor seguridad. Sus anchuras oscilan entre 3.0 a 20.0 metros, pero ésta será tan ancha como sea necesario y económicamente posible.

Entre más ancha sea la faja de separación, más segura es la operación de la carretera, pero también será más cara, pues requerirá un derecho de vía más grande y requerirá de mayores costos de construcción, así como de mantenimiento.

Existen fajas separadoras centrales elevadas, al nivel de pavimento o bajo el nivel de pavimento. Según la SCT (2016), las más convenientes son las deprimidas, pues se contará con un drenaje más eficiente.

2.2.6. Fajas separadoras laterales.

“Son las áreas comprendidas entre los carriles de circulación de la carretera principal y sus vías laterales”. (SCT; 2016: 55) Las fajas separadoras laterales tienen las siguientes funciones:

1. Almacenamiento de vehículos.
2. Separación de vías principales y secundarias.
3. Dan espacio para dos acotamientos.
4. Proporcionan espacio para rampas de entrada y salida de la carretera.

Las vías laterales que son utilizadas por el tránsito local ejercerán una menor influencia a las vialidades principales conforme más ancha sea la separación entre estas.

2.3. Conceptos de obra en terracerías.

El presente tema se abordará siendo delimitado por el catálogo de conceptos del proyecto sujeto a revisión en el presente trabajo de tesis.

2.3.1. Desmonte.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes define mediante la norma N-CTR-CAR-1-01-001/11 al desmonte como la remoción de la materia vegetal que se encuentra en el derecho de vía, bancos, canales y áreas en las que se tenga prevista

una edificación, con la finalidad de evitar la presencia de materia vegetal, daños a la obra y mejorar la visibilidad.

La misma norma específica que, de ser necesario y especificado en el proyecto, o cuando la SCT lo ordene, el concepto de desmonte se complementará con la norma N-CTR-CAR-1-09-003, que habla sobre el trasplante de especies vegetales.

Pueden definirse como desmonte los siguientes conceptos:

1. Tala de árboles.
2. Roza, llamado así a la acción de cortar y retirar maleza, hierba o zacate, así como residuos de hierbas.
3. Desenraice de troncos o troncones con o sin raíces.
4. Retirar el material producto de desmonte al banco de desperdicio aprobado.

2.3.2. Despalme.

Según la norma N-CTR-CAR-1-01-002/11, el despalme consiste en retirar una capa superficial del terreno que pueda afectar al material de las terracerías, evitando así que se mezcle con materia orgánica o con material no deseado.

Una de las especificaciones mencionadas en la norma es que el material que haya resultado del despalme podrá y deberá ser utilizado para el recubrimiento de taludes de los terraplenes, excavaciones y taludes de bancos, o se distribuirá en áreas donde no afecte en lo absoluto a las obras de drenaje o a cuerpos de agua.

2.3.3. Cortes.

Como se mencionó en el apartado 2.1.1, los cortes son excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, en ampliación de taludes, rebajes de corona o terraplenes, etc. Que tienen como objeto el preparar y formar la sección de la obra.

La norma N-CTR-CAR-1-01-003/11 especifica que el equipo para cortes deberá ser el adecuado para obtener la geometría especificada y que pueda cumplir con el volumen establecido en el programa de ejecución.

- a) Barrenadoras.
- b) Tractores.
- c) Motoescrepas.
- d) Cargadores frontales.

La norma establece que:

1. Los cortes deberán ejecutarse de acuerdo con las líneas del proyecto sin alterar más allá de los límites de construcción.
2. Deberán ejecutarse de manera que permitan el drenaje natural del corte.
3. El corte deberá ejecutarse con el talud establecido en el proyecto o el que la SCT haya aprobado, y si el material es inestable o está fragmentado, deberá ser removido.
4. En caso de que el corte requiera el uso de explosivos, se evitará aflojar el material fuera de la superficie teórica que se estableció en el proyecto.

5. El material resultante de los cortes será utilizado en la construcción de terraplenes o para arroparlos, en caso de que así señale el proyecto.
6. Se construirán las cunetas con el fin de que su desagüe no perjudique a los cortes ni terraplenes.
7. Las contracunetas se harán antes o de manera simultánea a los cortes.

2.3.4. Escalones de liga.

Según la norma N·CTR·CAR·1·01·004/11 los escalones de liga son cortes en el terreno o cuerpo de terraplén existente, que se ejecutarán cuando la pendiente de estos exceda el 25%, con la función de proporcionar un apoyo al material que se colocará sobre ellos para crear nuevos terraplenes o ampliarlos.

2.3.5. Terraplenes.

“Los terraplenes son estructuras que se construyen con materiales producto de cortes o procedentes de bancos, con el fin de obtener el nivel de subrasante que indique el proyecto o la Secretaría, ampliar la corona, cimentar estructuras, formar bermas y bordos, y tender taludes.” (N·CTR·CAR·1·01·009/16)

Los terraplenes se conforman por el cuerpo de terraplén, capa de subyacente y capa de subrasante, como especifica la SCT (2016).

Según lo establecido en la norma N·CMT·1·01/02, la calidad de los materiales que se utilizarán en el terraplén deberá ser la siguiente.

Característica	Valor
Límite Líquido; %, máximo	50
Valor Soporte de California (CBR); %, mínimo	5
Expansión; %, máxima	5
Grado de compactación; %	90 ± 2

Tabla 2.2. Requisitos de calidad de materiales para terraplén.

Fuente: N·CMT·1·01/02

2.3.5.1 Capa de subyacente.

Una capa intermedia del terraplén, que consiste en una mezcla homogénea de materiales seleccionados, producto de corte o bancos y sirve de transición entre el cuerpo de terraplén y la capa de subrasante, tal como menciona la SCT (2016).

Los materiales que conforman la capa de subyacente deberán cumplir con los siguientes requerimientos de calidad:

1. “Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea menor de diez mil (10.000) ejes equivalentes, no se requiere la capa subyacente.
2. Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea de diez mil (10.000) a un (1) millón de ejes equivalentes, el material cumplirá con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma y tendrá un espesor mínimo de treinta (30) centímetros.

Característica	Valor
Tamaño máximo y granulometría	Que sea compactable
Límite Líquido; %, máximo	50
Valor Soporte de California (CBR); %, mínimo	10
Expansión; %, máxima	3
Grado de compactación; %	95 ± 2

Tabla 2.3. Requisitos de calidad de materiales para capa subyacente.

Fuente: N·CMT·1·02/02

3. Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea de un (1) millón a diez (10) millones de ejes equivalentes, el material cumplirá con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma y tendrá un espesor mínimo de setenta (70) centímetros.
4. Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea mayor de diez (10) millones de ejes equivalentes, la capa subyacente será motivo de diseño especial.
5. Si la capa subyacente se desplanta directamente sobre el terreno de cimentación y su espesor es menor que el señalado en las Fracciones 2 o 3 de esta Norma, según corresponda, cuando el material del terreno de cimentación no cumpla con los requisitos establecidos en la Tabla 1, se excavará una caja hasta la profundidad necesaria para completar el espesor mínimo.” (N·CMT·1·02/02)

2.3.5.2 Capa de subrasante.

“Es la capa superior del terraplén o corte construida con material seleccionado para recibir las capas de pavimento. Su espesor es comúnmente de 30 cm.” (SCT; 2016: 298)

Al igual que las anteriores capas de terracerías, la capa de subrasante también requiere cumplir con algunos conceptos de control de calidad de los materiales, mismas que se encuentran en la norma N·CMT·1·03/02.

1. “Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea igual a un (1) millón de ejes equivalentes o menor, el material cumplirá con las características granulométricas y con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma y tendrá un espesor mínimo de veinte (20) centímetros.

Característica	Valor
Tamaño máximo y granulometría	76
Límite Líquido; %, máximo	40
Índice plástico, %, máximo	12
Valor Soporte de California (CBR); %, mínimo	20
Expansión; %, máxima	2
Grado de compactación; %	100 \pm 2

Tabla 2.4. Requisitos de calidad de materiales para capa subrasante.

Fuente: N·CMT·1·03/02

2. Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea de un (1) millón a diez (10) millones de ejes equivalentes, el material cumplirá con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma y tendrá un espesor mínimo de treinta (30) centímetros.
3. Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea mayor de diez (10) millones de ejes equivalentes, la capa subrasante será motivo de diseño especial.
4. Si la capa subrasante se desplanta directamente sobre el terreno de cimentación y su espesor es menor que el señalado en las Fracciones 1 o 2 de esta Norma, según corresponda, cuando el material del terreno de cimentación no cumpla con los requisitos establecidos en la Tabla 1, se

excavará una caja hasta la profundidad necesaria para completar el espesor mínimo.”

2.3.6. Recubrimiento de taludes.

El recubrimiento de taludes abarca a todos los trabajos cuya finalidad es proteger de los efectos de la erosión a los cortes o terraplenes y los taludes formados en estos, según la SCT en la norma N-CTR-CAR-1-01-012/00. De la misma manera la SCT menciona los tipos de recubrimientos más comunes:

- a) Siembra de especies vegetales.
- b) Mallas vegetales.
- c) Mallas geosintéticas.
- d) Mallas metálicas.
- e) Riego asfáltico.
- f) Zampeados.

2.3.7. Capas drenantes.

Una capa drenante está constituida por materiales granulares de granulometría determinada, cuya función es permitir el flujo del agua subterránea evitando presiones neutras, ubicada en la capa subyacente de la estructura del pavimento.

2.4. Conceptos de obra en obras de drenaje y subdrenaje.

Se definirán y revisarán todos los conceptos relacionados a obras de drenaje competentes al procedimiento constructivo del camino analizado en la presente tesis.

2.4.1. Drenaje.

“El drenaje del camino tiene por objeto evitar, total o parcialmente, que el agua llegue al camino y que el agua que llegue tenga salida fácil.” (Mier; 1987: 261)

El autor antes mencionado especifica que existen 4 formas en las que el agua puede llegar al camino:

1. Precipitación directa.
2. Escurrimiento de agua del terreno que se encuentra a los lados.
3. Creciente de ríos.
4. Infiltración directa o por ascensión capilar.

2.4.2. Drenaje superficial.

Mier (1987), menciona que el objetivo del drenaje superficial es desalojar el agua que llega al camino por medio de precipitación, por ríos o por inundaciones.

El autor menciona las obras que componen al drenaje superficial:

- a) Cunetas: Son zanjas construidas a los lados del camino, cuya principal función es recibir el agua pluvial de la mitad del camino, así como la que escurre de los taludes del terreno natural o producto de cortes. La norma N-CTR-CAR-1-03-003/00 indica que, a no ser que el proyecto establezca otra cosa y sea aprobado por la SCT, la pendiente de las cunetas será la misma que la del camino, estarán revestidas por medio de zampeados, recubiertas con concreto simple y este se construirá con juntas frías a cada metro.
- b) Contracunetas: Mier (1987) menciona que las contracunetas son obras realizadas en las laderas, aguas arriba de los cortes de una obra, que tiene

como finalidad evitar que el total de agua que normalmente escurriría por el talud llegue a las cunetas. El autor recomienda colocarlas en terrenos montañosos. La Norma N-CTR-CAR-1-03-004/00 menciona que las contracunetas podrán ser recubiertas o no, y los bordos de concreto o de tierra-cemento. Dicha norma recomienda colocarlas a una distancia mínima de 5 metros con respecto al cero del corte. Las contracunetas construidas en laderas con inclinaciones mayores a 30 grados serán colocadas siguiendo la tendencia de las curvas de nivel, pues así se evitará que tengan pendientes mayores a 20 grados.

Para protegerlas de la erosión, se revestirán mediante un zampeado.

- c) Canales auxiliares: “Se realizarán para encauzar una corriente, ya sea paralela o transversal al camino con el fin de evitar desbordamientos, erosión y demás fenómenos que ponen en peligro la vía.” (Mier; 1987: 263)
- d) Bombeo: Como se mencionó anteriormente, el bombeo es la pendiente transversal que se le da al camino hacia ambos lados, o hacia un lado de una curva.

Los conceptos anteriores se toman en cuenta como los principales, pues son los que serán de relevancia para el presente trabajo de tesis, sin embargo, la SCT describe otros conceptos que serán de utilidad para el mismo.

1. Lavaderos: Son canales de descarga que conducen el agua recolectada por bordillos, cunetas y guarniciones, hacia lugares que no representen un peligro para la estructura de pavimento. Estarán hechos de mampostería, concreto hidráulico o metálicos.

2. Bordillos: Son elementos que atrapan el agua que escurre gracias al bombeo de la corona, y la conducen hacia los lavaderos, donde se desahogan evitando la erosión de los taludes y terraplenes.

4.4.3. Subdrenaje

Según explica Mier (1987) el subdrenaje se compone de obras que mantienen alejado el cauce del agua que pueden dañar o entrar a zonas peligrosas de la estructura del pavimento, causando daños graves al camino.

- a) Filtros: Son materiales graduados que permiten el paso del agua hacia el exterior, evitando a su vez que partículas del suelo sean arrastradas. La norma N·CTR·CAR·1·03·011/00 sobre capas drenantes, explica que se evitarán presiones neutras gracias al filtro. EL filtro subyace a la estructura de pavimento.
- b) Drenes de zanja: Se utilizan cuando el nivel freático tiene una configuración similar a la del terreno, por lo que el flujo tenderá a producirse hacia las excavaciones y saturará los taludes.
- c) Drenes horizontales: Son drenes que se colocarán de manera transversal en los taludes de los cortes, que eliminarán la presión generada por el agua.

2.4.4. Excavación para estructuras.

Son todas las excavaciones que se realizan para cielo abierto en el terreno natural o en rellenos, que alojarán a las estructuras y obras de drenaje que complementarán al drenaje del camino, tal como menciona la SCT.

2.4.5. Mampostería.

La mampostería, según la norma N-CTR-CAR-1-02-001/00, es un elemento estructural hecho a base de fragmentos de roca junteados o no con mortero. Según esta norma, el mortero tiene las siguientes clasificaciones:

- a) Mampostería de primera clase: Se construyen con piedra labrada, que ayude a obtener una forma geométrica rectangular a dos caras sin formar hiladas. El mortero es de cemento.
- b) Mampostería de segunda clase: La piedra no está cuidadosamente labrada, de manera que se obtienen formas aproximadamente geométricas. El acabado es a una sola cara, sin formar hiladas y junteada con mortero de cemento.
- c) Mampostería de tercera clase: Es la que se construye con piedra sin ningún labrado, las juntas son con mortero de cemento o cal y no forma hiladas regulares.
- d) Mampostería seca: Se construye con piedra sin labrar, está acomodada de la mejor manera para reducir vacíos y no se juntea.

2.4.6. Demoliciones y desmantelamientos.

Se define como los procedimientos con los que se ejecutan con el motivo de desmontar una estructura, para seleccionar los materiales aprovechables y retirar los escombros, como indica la norma N·CTR·CAR·1·02·013/00.

2.5. Pavimentos.

Atendiendo a la definición de la SCT en su catálogo de secciones de pavimento, un pavimento es “Capa o conjunto de capas de materiales seleccionados, que se construyen sobre las terracerías. Cada capa tiene la finalidad de soportar y transmitir a la capa inferior, las cargas del tránsito vehicular sin que cada una o todo el pavimento se deforme excesivamente para que no afecte el drenaje superficial, de manera que se garantice una superficie sin agrietamientos, cómoda y segura para el usuario.” (SCT; S/F: 18)

2.5.1. Pavimentos flexibles.

El presente trabajo de tesis se basa en el análisis del tramo carretero La Mojonera – San Isidro, el cual se basa en una estructura de pavimento flexible, por lo que los siguientes conceptos de obra se referirán al pavimento flexible.

2.5.2. Bases y subbases.

En atención a la norma vigente N·CTR·CAR·1·04·002/11 sobre bases y subbases, según el tratamiento de los materiales que componen a estas dos capas, se podrán clasificar en:

- a) Materiales cribados: Arenas, gravas y limos, así como rocas alteradas y fragmentadas, que requieren de un tratamiento mecánico de cribado, que eliminará partículas mayores al tamaño máximo que se requiera.
- b) Materiales parcialmente triturados: Son todos los suelos, que en principio son poco o nada cohesivos, que requieren de un tratamiento de trituración parcial para cumplir con el requerimiento de tamaño máximo según se establezca.
- c) Materiales totalmente triturados: Son los materiales extraídos de banco que requieren de un tratamiento mecánico de trituración total, para conseguir las características granulométricas requeridas.
- d) Materiales mezclados: Son los materiales que se obtienen de la mezcla entre materiales cribados, parcial o totalmente triturados, en las proporciones necesarias que cumplirán con las características requeridas.

2.5.2.1. Subbase hidráulica

“Capa de materiales pétreos seleccionados que se construye sobre la subrasante, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la base de un pavimento asfáltico, soportar las cargas que éste le transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, y prevenir la migración de finos hacia las capas superiores.”
(N·CTR·CAR·1·04·002/11; 2011: 1)

Los materiales que se utilizarán para una subbase hidráulica serán los siguientes.

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$	$\Sigma L > 10^6$
75	3"	100	100
50	2"	85-100	85-100
37,5	1 1/2"	75-100	75-100
25	1"	62-100	62-100
19	3/4"	54-100	54-100
9,5	3/8"	40-100	40-100
4,75	N°4	30-100	30-80
2	N°10	21-100	21-60
0,85	N°20	13-92	13-45
0,425	N°40	8-75	8-33
0,25	N°60	5-60	5-26
0,15	N°100	3-45	3-20
0,075	N°200	0-25	0-15

Tabla 2.5. Requisitos de granulometría de los materiales para subbases de materiales de pavimentos asfálticos.

Fuente: N·CMT·4·001/11

Donde:

ΣL : Número de ejes equivalentes acumulados, de 8.2 ton, esperado en la vida útil del pavimento.

Característica	Valor %	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$\Sigma L > 10^6$
Límite Líquido Máximo	30	25
Índice Plástico Máximo	10	6
Valor Soporte de California (CBR) Mínimo	50	60
Equivalente de Arena Mínimo	30	40
Desgaste de los Ángeles Máximo	50	40
Grado de Compactación Mínimo	100	100

Tabla 2.6. Requisitos de calidad de los materiales para subbases de pavimentos asfálticos.

Fuente: N-CMT-4-001/11

Donde:

ΣL : Número de ejes equivalentes acumulados, de 8.2 ton, esperado en la vida útil del pavimento.

La norma citada también considera que el tamaño máximo de las partículas del material empleado en la subbase hidráulica no será mayor al 25% del espesor de la subbase. Especifica también, que si el banco de material empleado para la construcción de la subbase, una vez sujeto al tratamiento mecánico, no cumple con los requisitos antes establecidos, se podrá mezclar con los materiales necesarios para cumplir con los requisitos.

2.5.2.2. Base hidráulica.

“Capa de materiales pétreos seleccionados que se construye generalmente sobre la subbase o la subrasante, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, la capa de rodadura asfáltica o la carpeta de

concreto hidráulico; soportar las cargas que éstas le transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, y proporcionar a la estructura del pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua subterránea.” (N·CTR·CAR·1·04·002/11; 2011: 1)

Los materiales que se utilizarán para una subbase hidráulica serán los siguientes, según la norma citada.

El material que será empleado para la base hidráulica será 100% producto de trituración de roca sana cuando el tránsito esperado durante la vida útil del camino sea mayor a diez millones de ejes equivalentes.

Si el camino está proyectado para esperar entre uno y diez millones de ejes equivalentes, el material para la base será de 75% material producto de trituración de roca sana, y si el proyecto contempla menos de un millón de ejes equivalentes, será de mínimo 50%.

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$	$\Sigma L > 10^6$
75	3"	100	100
50	2"	85-100	85-100
37,5	1 1/2"	75-100	75-100
25	1"	62-100	62-90
19	3/4"	54-100	54-83
9,5	3/8"	40-100	40-65
4,75	N°4	30-80	30-50
2	N°10	21-60	21-36
0,85	N°20	13-44	13-25
0,425	N°40	8-31	8-17
0,25	N°60	5-23	5-12
0,15	N°100	3-17	3-9
0,075	N°200	0-10	0-5

Tabla 2.7. Requisitos de granulometría de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de mezcla asfáltica de granulometría densa.

Fuente: N.CMT.4.001/11

Donde:

ΣL : Número de ejes equivalentes acumulados, de 8.2 ton, esperado en la vida útil del pavimento.

Característica	Valor	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$\Sigma L > 10^6$
Límite Líquido Máximo	25	25
Índice Plástico Máximo	6	6
Equivalente de Arena Mínimo	40	50
Valor Soporte de California (CBR) Mínimo	80	100
Desgaste de los Ángeles Máximo	35	30
Partículas Alargadas y Lajeadas Máximo.	40	35
Grado de Compactación Mínimo	100	100

Tabla 2.8. Requisitos de calidad de los materiales para bases de pavimentos asfálticos.

Fuente: N.CMT.4.001/11

Donde:

ΣL : Número de ejes equivalentes acumulados, de 8.2 ton, esperado en la vida útil del pavimento.

La norma citada también considera que el tamaño máximo de las partículas del material empleado en la base hidráulica no será mayor al 20% del espesor de la base. De la misma manera que con el material de las subbases, si el banco de material empleado para la construcción de la base, una vez sujeto al tratamiento mecánico, no cumple con los requisitos antes establecidos, se podrá mezclar con los materiales necesarios para cumplir con los requisitos.

2.5.3. Riegos de impregnación.

Según la norma N-CTR-CAR-1-04-004/15 los riegos de impregnación consisten en una capa de material asfáltico, colocada en la capa de base hidráulica con la finalidad de impermeabilizarla y de facilitar la adherencia entre esta y la carpeta asfáltica.

El material empleado en el riego de impregnación suele ser una emulsión asfáltica, ya sea de rompimiento lento o especial para impregnación. El riego de impregnación puede omitirse si la carpeta asfáltica es mayor a los 10 cm.

2.5.4. Carpetas asfálticas.

Para el presente trabajo de tesis es importante señalar que la mezcla carpeta asfáltica utilizada será a base de una mezcla en caliente. Habiendo señalado lo anterior, se definirá el concepto de Carpetas asfálticas con mezcla en caliente.

2.5.4.1. Carpetas asfálticas con mezcla en caliente.

Según la norma N-CTR-CAR-1-04-006/15, las carpetas asfálticas con mezcla en caliente son las que se construyen a base de un tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos de granulometría densa y cemento asfáltico, utilizando como forma de incorporación a las altas temperaturas, para proporcionar una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura.

Los requisitos de granulometría para el material pétreo empleado en carpetas asfálticas de granulometría densa serán:

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	9.5 (3/8)	12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37.5 (1 1/2)
		Porcentaje que pasa				
50	2"	-	-	-	-	100
37.5	1 1/2"	-	-	-	100	90-100
25	1"	-	-	100	90-100	76-90
19	3/4"	-	100	90-100	79-92	66-83
12.5	1/2"	100	90-100	76-89	64-81	53-74
9.5	3/8"	90-100	79-92	67-82	56-75	47-68
6.3	1/4"	76-89	66-81	56-71	47-65	39-59
4.75	N° 4	68-82	59-74	50-64	42-58	35-53
2	N°10	48-64	41-55	36-46	30-42	26-38
0.85	N°20	33-49	28-42	25-35	21-31	19-28
0.425	N°40	23-37	20-32	18-27	15-24	13-21
0.25	N°60	17-29	15-25	13-21	11-19	9-16
0.12	N°100	12-21	11-18	9-16	8-14	6-12
0.075	N°200	7-10	7-10	5-8	4-7	3-6

Tabla 2.9. Requisitos de granulometría para el material pétreo empleado en carpetas asfálticas de granulometría densa (Para $\Sigma L \leq 10^6$)

Fuente: N-CMT-4-04/01

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	9.5 (3/8)	12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37.5 (1 1/2)
		Porcentaje que pasa				
50	2"	-	-	-	-	100
37.5	1 1/2"	-	-	-	100	90-100
25	1"	-	-	100	90-100	74-90
19	3/4"	-	100	90-100	79-90	62-79
12.5	1/2"	100	90-100	72-90	58-71	46-60
9.5	3/8"	90-100	76-90	60-76	47-60	39-50
6.3	1/4"	70-81	56-69	44-57	36-46	30-39
4.75	N° 4	56-69	45-59	37-48	30-39	25-34
2	N°10	28-42	25-35	20-29	17-24	13-21
0.85	N°20	18-27	15-22	12-19	6-16	6-13
0.425	N°40	13-20	11-16	8-14	5-11	3-9
0.25	N°60	10-15	8-13	6-11	4-9	2-7
0.12	N°100	6-12	5-10	4-8	2-7	1-5
0.075	N°200	2-7	2-6	2-5	1-4	0-3

Tabla 2.10. Requisitos de granulometría para el material pétreo empleado en carpetas asfálticas de granulometría densa (Para $\Sigma L > 10^6$)

Fuente: N-CMT-4-04/01

Atendiendo a la misma norma, los requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas son los siguientes:

Característica	Valor
Límite Líquido Mínimo	2.4
Desgaste de los Ángeles % Máximo	35
Partículas alargadas % Máximo	40
Partículas lajeadas % Máximo	40
Equivalente de Arena % Mínimo	50
Perdida de Estabilidad por Inmersión en Agua % Máximo	25

Tabla 2.11. Requisitos de calidad para el material pétreo empleado en carpetas asfálticas de granulometría densa (Para $\Sigma L \leq 10^6$)

Fuente: N-CMT-4-04/01

Característica	Valor
Límite Líquido Mínimo	2.4
Desgaste de los Ángeles % Máximo	30
Partículas alargadas % Máximo	35
Partículas lajeadas % Máximo	35
Equivalente de Arena % Mínimo	50
Perdida de Estabilidad por Inmersión en Agua % Máximo	25

Tabla 2.12. Requisitos de calidad para el material pétreo empleado en carpetas asfálticas de granulometría densa (Para $\Sigma L > 10^6$)

Fuente: N·CMT·4·04/01

2.6. Señalamiento

“Conjunto integrado de marcas y señales que indican la geometría de las carreteras y vialidades urbanas, así como sus bifurcaciones, cruces y pasos a nivel; previenen sobre la existencia de algún peligro potencial en el camino y su naturaleza; regulan el tránsito indicando las limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que restringen el uso de esas vías públicas; denotan los elementos estructurales que están instalados dentro del derecho de vía; y sirven de guía a los usuarios a lo largo de sus itinerarios.” (DOF; 2010: (S/P))

Según el Diario Oficial de la Federación (DOF), existen dos tipos de señalamiento, mismos que se explicarán a continuación.

2.6.1. Señalamiento horizontal.

“Es el conjunto de marcas que se pintan o colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, con el propósito de delinear las características geométricas de las carreteras y vialidades urbanas, y denotar todos aquellos

elementos estructurales que estén instalados dentro del derecho de vía, para regular y canalizar el tránsito de vehículos y peatones, así como proporcionar información a los usuarios. Estas marcas son rayas, símbolos, leyendas o dispositivos.” (DOF; 2010: (S/P))

2.6.2. Señalamiento vertical.

“Es el conjunto de señales en tableros fijados en postes, marcos y otras estructuras, integradas con leyendas y símbolos.” (DOF; 2010: (S/P))

El DOF (2010) también establece que, según su propósito, las señales que confirman el señalamiento vertical son las siguientes:

- a) Preventivas: Son todas aquellas señales que tienen el objetivo de advertir al usuario sobre un posible peligro en el camino.
- b) Restrictivas: Son aquellas que regulan el tránsito informando al usuario sobre la existencia de limitaciones físicas o prohibiciones.
- c) Informativas: Son las que tienen como objetivo guiar al usuario a lo largo de su itinerario, informando sobre los nombres y ubicación de las poblaciones y de las vialidades, lugares de interés y las distancias.
- d) Turísticas y de servicios: Son las que informan sobre algún servicio o lugar turístico y/o recreativo.
- e) Diversas: Encauzan y previenen al usuario de la carretera sobre la existencia de objetos dentro del derecho de vía y bifurcaciones en la carretera o vialidad urbana, etc.

CAPÍTULO 3

MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN.

En el presente capítulo se abordará todo lo que sea competente a la ubicación geográfica del proyecto, analizando a detalle el entorno y su climatología. Se realizará un análisis social, para considerar a las poblaciones que rodean al proyecto y que, por tanto, se verán beneficiadas. Se hará uso de reportes fotográficos para poder demostrar gráficamente el entorno señalado.

3.1. Objetivo.

El objetivo de este proyecto es determinar si el proceso constructivo del tramo carretero “Naranja de Tapia – Zirahuén” del tramo “La Mojonera – San Isidro”, Km 17+920 al 19+920, fue el correcto y cumple con las especificaciones y calidad de la normativa.

3.2. Alcance del proyecto.

En el presente proyecto se citan las normas competentes a al camino que se revisó, y se comparan con los resultados obtenidos en campo, para determinar si este cumplió con las especificaciones que demandan las normas. A su vez, se revisa si el proceso constructivo de cada capa de pavimento fue el correcto, incluyendo las

obras relacionadas al drenaje que competen al camino, dejando de lado los estudios hidrológicos que, si bien se menciona la hidrología de la región, no serán considerados ni estudiados en el presente trabajo de tesis.

3.3. Resumen ejecutivo.

Para el presente trabajo fue necesario obtener la información técnica de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), ya que este organismo federal encargado de la construcción de carreteras en todo el país. La información obtenida consta de planos del proyecto geométrico, reporte fotográfico previo a la construcción del camino, reportes de control de calidad de laboratorio efectuados durante la ejecución de cada una de las etapas de la obra.

Se realizó una visita al sitio, donde se verificó la ejecución de los trabajos para cada una de las capas del pavimento, obras de drenaje y balizamiento.

3.4. Entorno geográfico.

El camino se encuentra localizado en la zona oriente del estado de Michoacán de Ocampo, entre las localidades de La Mojonera y San Isidro, pertenecientes al municipio de Nahuatzen. El estado de Michoacán, según datos de la INEGI, está ubicado en las coordenadas $19^{\circ} 24' - 17^{\circ} 55' N - 101^{\circ} 0' 103^{\circ} ' O$, colinda al norte con Jalisco, Guanajuato y Querétaro, al este con Querétaro, México y Guerrero, al sur con Guerrero y el Océano Pacífico, y al oeste con el Océano Pacífico, Colima y Jalisco. Cuenta con 113 municipios y 12,880 localidades urbanas y rurales.



Figura 3.1. Centro de San Isidro, Michoacán.

Fuente: propia.

La extensión territorial de Michoacán de Ocampo es de 58,599 km², ocupando el 3% del territorio nacional.

El proyecto se encuentra en el municipio de Nahuatzen, Michoacán, cuya extensión territorial es de 305.057 km², cuenta con 27,174 habitantes (2010) y colinda con Erongaricuaró al este, al noreste con Cherán, al norte con Zacapu, al oeste con Paracho, al sur Tingambato y al suroeste con Uruapan, Según la Unidad de Microrregiones de SEDESOL, 2013. (www.microregiones.gob.mx)

El prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos (INEGI, 2009), menciona las siguientes características refiriéndose al Municipio de Nahuatzen.

- 1.- El municipio presenta un rango de temperaturas de 12 a 16°C y un rango de precipitación de 1 000 a 1 500 mm de lluvia.
- 2.- El clima que predomina en la zona es templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (100%).



Figura 3.2. Clima de Nahuatzen, tomada en la zona del camino, km 17+920.

Fuente: Propia.

La imagen anterior fue tomada en el inicio del tramo carretero, presentándose un clima tal como se describe en la información de INEGI.

3.5. Macrolocalización.

El camino se encuentra en el estado de Michoacán de Ocampo, mismo que está ubicado en los Estados Unidos Mexicanos. A continuación, se presentan imágenes que muestran la macrolocalización.



Figura 3.3. Macrolocalización del estado de Michoacán de Ocampo, así como los municipios colindantes.

Michoacán de Ocampo está rodeado de los estados Guerrero, Hidalgo, Querétaro, Jalisco, Guanajuato, Colima y Estado de México.



Figura 3.4. Macrolocalización, estado de Michoacán.

Fuente: www.beta.inegi.org.mx

Localización del estado de Michoacán de Ocampo en los Estados Unidos Mexicanos.

3.6. Microlocalización.

El camino, como se explicó antes, se encuentra La Mojonera y San Isidro. También, como se aprecia en la siguiente imagen, el camino inicia y recorre en la colonia Emiliano Zapata, una pequeña colonia cuyas principales actividades son la ganadería y la agricultura.



Figura 3.5. Microlocalización del camino.

Fuente: www.sct.gob.mx

En la imagen anterior se aprecian las localidades cercanas al tramo de estudio, así como su pertenencia al municipio de Nahuatzen.

Cabe mencionar que, para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la simbología que lleva el camino representa que solo está revestida, sin embargo, esta información no se tomará en cuenta, pues el camino actualmente se encuentra pavimentado.

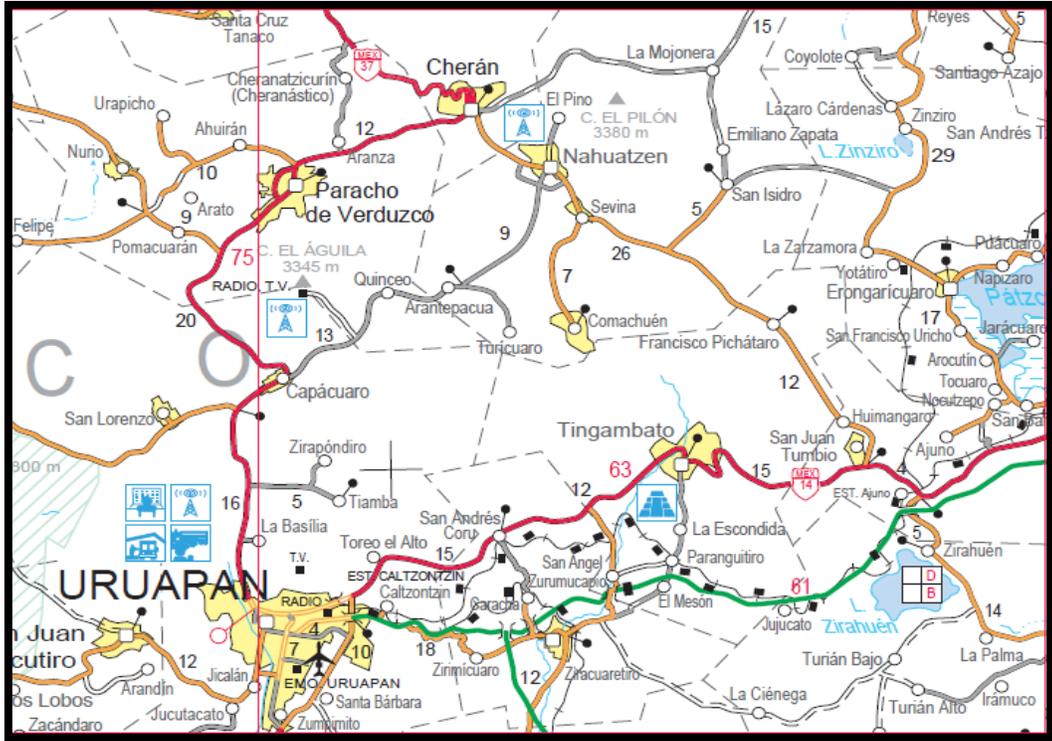


Figura 3.6. Microlocalización del área del camino.

Fuente: www.sct.gob.mx

En la imagen anterior se aprecia la colindancia de Nahuatzen con los demás municipios que lo rodean, así como las rutas que se deben seguir para llegar al municipio, sus localidades y por supuesto, al camino.

3.7. Geología de la zona de proyecto.

En el municipio de Nahuatzen se encuentran rocas del periodo Plioceno-Cuaternario en un 76.91% y del Cuaternario en 20.79%. El tipo de roca que existe a lo largo de la región de proyecto es la roca Ígnea extrusiva. A lo largo del municipio

se encuentran las siguientes rocas ígneas extrusivas, con sus respectivos porcentajes:

- 1.- Basalto en un 76.91%
- 2.- Toba básica en 15.26%
- 3.- Brecha volcánica básica en un 4.93%
- 4.- Basalto-brecha volcánica básica en 0.24%
- 5.- Toba básica-brecha volcánica básica (0.05)

El suelo dominante en el área del proyecto existe un suelo predominante de Andosol 94.75% y Lepostol 2.60%.

3.8. Hidrología de la zona.

Es importante para un proyecto de carreteras mencionar las condiciones hidrológicas de la zona donde se planea llevar a cabo.

De acuerdo con El Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos Nahuatzen, de INEGI (2009), en la zona del municipio de Nahuatzen, que abarca el área donde se encuentra el proyecto revisado, las Regiones Hidrológicas a las que pertenece son Balas y Lerma-Santiago. Las cuencas a las que pertenece son Río Tepalcatepec-Infiernillo en un 52.21%, Río Lerma-Chapala en 24.48%, Lago de Pátzcuaro-Cuitzeo y Lago de Yuriria (23.31%).

El área pertenece a su vez a las siguientes subcuencas: Paracho-Nahuatzen (52.20%), Río Ángulo (23.73%), Lago de Cuitzeo (23.31%), Río Duero (0.75%) y Río La Parota (0.01%).

Existen corrientes de agua no perenes, Capixo, El Pilón, El Tejocote e Itzuhuachacolo.

3.9. Uso de suelo.

El territorio del municipio está ocupado en un 44.27% por uso agrícola, 2.30% de zona urbana, 47.33% de bosque y 5.75% de pastizal según INEGI (2009). La dependencia también menciona los porcentajes de terreno que tienen un potencial uso agrícola y pecuario.



Figura 3.7. Uso de suelo a los lados del camino.

Fuente: Propia.

La fotografía anterior fue tomada a un costado del camino estudiado, dejando como evidencia que la gran parte de uso de suelo está conformada por uso agrícola, actividad que representa un sustento importante para los habitantes de la región.

Agrícola	Para la agricultura mecanizada continua (12.40%)
	Para la agricultura mecanizada estacional (8.08%)
	Para la agricultura con tracción animal estacional (68.85%)
	Para la agricultura manual estacional (6.58%)
	No aptas para la agricultura (4.09%)
Pecuario	Para el establecimiento de praderas cultivadas con maquinaria agrícola (20.48%)
	Para el establecimiento de praderas cultivadas con tracción animal (68.85%)
	Para el aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal (6.58%)
	No aptas para uso pecuario (4.09%)

Tabla 3.1.- Porcentajes de uso potencial de la tierra en el municipio de Nahuatzen.

Fuente: Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Nahuatzen, INEGI, (2009).

La tabla anterior muestra un uso de suelo principalmente agrícola, como se aprecia en las imágenes.

3.10. Reporte fotográfico.

En este apartado se muestran las fotos del camino, antes de construirse, algunas etapas de la construcción, así como las fotos del entorno y las fotos finales del camino.



Figura 3.8. Estado del camino antes del inicio de los trabajos, km 18+800.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan, SCT, (2018).

Como se aprecia en la foto, el camino se encontraba sin ningún tipo de pavimento, y era una brecha poco transitada.

El primer trabajo que se realizó fue el corte del terreno natural, con la finalidad de conservar los niveles de proyecto.



Figura 3.9. Estado del camino antes del inicio de los trabajos, km 19+920.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan, SCT, (2018).

La situación es la misma que la descrita en la imagen anterior, pues se puede apreciar el estado del camino antes de iniciar los trabajos.

En las dos imágenes anteriores se puede apreciar que el camino está rodeado de vegetación y de plantíos, que fungen de manera importante en la economía local.



Figura 3.10. Primera fase de los trabajos, km 19+100.

Fuente: Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan, SCT, (2018).

Primera fase del inicio de los trabajos, una moto conformadora realiza un corte en todo el tramo, con la final de albergar la estructura de pavimento que se construirá en un proceso futuro. El corte es realizado con apoyo de un equipo de topografía, pues es necesario mantener los niveles de proyecto durante todo el proceso constructivo.



Figura 3.11. Trabajos finalizados, km 18+400.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan, SCT, (2018).

Los trabajos finalizaron con el balizamiento y las señalizaciones adecuadas, según el proyecto. Éstas respetan las dimensiones y características, como la ubicación y el color, que establecen las normas correspondientes.



Figura 3.12. Entorno que envuelve al camino, colonia Emiliano Zapata.

Fuente: propia.

Como se apreció en el apartado de reporte fotográfico, las imágenes fueron representativas, pues más adelante se analizarán a detalle todas las características de las fases de la construcción del camino.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA.

En el presente capítulo se expondrán los métodos de investigación utilizados en el presente trabajo de tesis, resaltando por qué se considera que este pertenece al método de investigación expuesto.

De la misma manera se hablará del enfoque que tendrá esta investigación, así como su alcance. Se establecerá un diseño de investigación y se mencionarán los instrumentos que serán utilizados, o se utilizaron para obtener la recopilación de datos. Por último, se explicará el proceso que se siguió para elaborar el presente trabajo de tesis.

4.1. Método empleado.

En el presente trabajo se empleó el método científico como principal forma de investigación y obtención de datos.

El método científico es “es un conjunto de procedimientos por los cuales se plantean los problemas científicos y se ponen a prueba las hipótesis y los instrumentos de trabajo investigativo”. (Tamayo y Tamayo; 2003: 28)

El método tiene como parte fundamental el determinar cuál ha sido el procedimiento para demostrar que un enunciado es así, según el autor antes citado.

Tamayo y Tamayo (2003), citando a Ander Egg, define las siguientes características del método científico:

- Es fáctico: Se refiere a que tiene una referencia empírica.
- Trasciende los hechos: El método científico es empleado para ir más allá de las experiencias.
- Verificación empírica: Usa la verificación empírica para crear una respuesta a los problemas, así como para sustentar sus afirmaciones.
- Autocorrectivo: Es una propiedad del propio método que permite que este vaya rechazando o cambiando sus afirmaciones, haciendo que sus conclusiones no sean infalibles y esté abierto a nuevos aportes.
- Formulaciones de tipo general: Presupone que todo hecho pertenece a una clasificación o ley.
- Objetivo: Evita la distorsión, pues para el método, un hecho es un dato real y objetivo.

4.1.1. Método Matemático.

Según Mendieta (1992) una de las primeras nociones del ser humano es la noción de cantidad y sin darnos cuenta, hacemos comparaciones cuantitativas. “El método en las matemáticas es el genético que indica el origen del objeto”. (Mendieta; 1992: 49).

De acuerdo con el enfoque de la presente investigación, que se presentará más adelante, se debe usar el método de investigación matemático, ya que para el análisis del proceso constructivo existirán variables matemáticas sujetas a comprobación.

4.2. Enfoque de la investigación.

La presente investigación reúne todos los requerimientos para tener un enfoque cuantitativo.

Atendiendo a la descripción de Hernández y colaboradores (2010), un enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos, secuenciales y probatorios. Lo anterior se refiere a que un proceso precede al siguiente y no puede ser eludido ninguno de los pasos.

El presente trabajo de tesis se centra en una investigación de tipo cuantitativa, pues según las características mencionadas por el autor antes citado, la investigación que se utilizará para la recopilación de datos se basará en la medición, el análisis y comprobación de estos será secuencial, se delimitarán variables y se generará una hipótesis que posteriormente será comprobada mediante la investigación objetiva, lógica y estructurada de los fenómenos y variables matemáticas presentes.

4.2.1. Alcance de la investigación.

Haciendo referencia a Hernández y colaboradores (2010), la estrategia de investigación depende del alcance que tendrá el estudio. Una vez señalado esto, cabe mencionar que el proceso y sus componentes serán distintos para cada estudio, dependiendo de si es exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. Sin embargo, acorde al autor antes mencionado, cualquier investigación podrá contener uno o más elementos de los cuatro alcances antes mencionados.

A continuación, usando las palabras de Hernández y colaboradores (2010) se definirán los alcances antes mencionados, para, de esta manera, encontrar con facilidad las características que definen el alcance de la presente investigación.

- a) Estudios exploratorios: Se realizan cuando la finalidad es examinar un tema o problema de investigación que ha recibido poco estudio, por lo que en el mismo existen gran cantidad de dudas o nunca se ha tomado en cuenta para una investigación.
- b) Estudios descriptivos: Buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, así como de grupos y comunidades, procesos, objetos o cualquiera que sea el objeto de estudio sujeto a análisis.
- c) Estudios correlacionales: Un estudio de esta índole tiene como fin el conocer la relación o el grado de asociación que exista entre dos o más variables. Para lograr lo anterior, se deberán medir las variables que presumiblemente se encuentran relacionadas, posteriormente cuantificarlas y, por último, analizar la vinculación entre éstas. Cabe mencionar que la relación puede ser positiva o negativa.
- d) Estudios explicativos: “Pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian”. (Hernández y colaboradores; 2010: 83)

Habiendo definido cada uno de los alcances que puede tener cada investigación, se puede afirmar que el presente trabajo de tesis es un estudio descriptivo, pues dentro del análisis del proceso constructivo de un tramo carretero, se busca definir las características de los materiales empleados, así como de las

especificaciones del camino terminado, pasando por la descripción del proceso correcto.

4.3. Diseño de la investigación.

Atendiendo a Hernández y colaboradores (2010), la finalidad del diseño de investigación es responder las preguntas de la investigación, cumplir los objetivos del estudio y someter las hipótesis a prueba. También menciona que los tipos de investigación se dividen en dos: Experimentales y no experimentales.

El presente trabajo de tesis es una investigación no experimental cuantitativa, pues esta se lleva a cabo sin manipular deliberada mente las variables, según señala Hernández y colaboradores (2010).

“Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos.” (Hernández et al; 2010: 149)

En un estudio no experimental no se genera ninguna situación, solo se observan las situaciones existentes. Las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, porque sus efectos ya sucedieron, señala Hernández y colaboradores (2010).

“La investigación no experimental es sistemática y empírica en la que las variables independientes no se manipulan porque ya han sucedido. Las inferencias sobre las relaciones entre variables se realizan sin intervención o influencia directa, y

dichas relaciones se observan tal como se han dado en su contexto natural.” (Hernández y colaboradores; 2010: 150).

El autor antes citado menciona que, en investigaciones no experimentales, existen dos tipos. El que compete a la presente investigación es el estudio transeccional o transversal.

Un estudio transeccional o transversal según Hernández y colaboradores (2010) es aquel que recolecta datos en un solo momento o en un momento único. Define y describe las variables presentes en el momento que se realizó el estudio, así como la interrelación e incidencia de estas. Abarcan varios grupos o subgrupos de personas, objetos o indicadores, comunidades, situaciones o eventos.

4.4. Instrumentos de recopilación de datos.

La presente investigación utilizó los siguientes instrumentos y herramientas para la recopilación de datos.

Cámaras fotográficas: El instrumento que más se utilizó durante la recopilación de datos, pues ayudó a capturar de manera gráfica el proceso de construcción, así como detalles importantes en el sitio.

AutoCAD: Un software de dibujo asistido que permitió la revisión rápida del proyecto en planos, para tener una comparativa con la construcción en ejecución.

Excel: Software de la familia Office, que fue de gran utilidad para procesar datos, creación de tablas y demás facilidades para la recopilación de datos

4.5. Descripción del proceso de investigación.

La investigación presente se enfoca en el análisis del proceso constructivo de un tramo carretero. A continuación, se describirá el proceso de investigación.

1.- Selección del tema.

En la carrera de ingeniería civil, las vías terrestres son una rama principal, pues estas influyen directamente en el desarrollo de las sociedades. Las vías terrestres entonces, son herramientas para el desarrollo que deben de recibir el análisis y la importancia que merece.

La presente investigación tiene como principal tema las vías terrestres por la importancia antes descrita para la ingeniería civil.

2.- Delimitación del tema.

La selección del tramo carretero que se estudia en el presente trabajo de tesis se llevó gracias a las facilidades de la Secretaría de Comunicaciones y transportes, residencia Uruapan, con quien se tuvo el acceso a toda la información necesaria, a la obra en todas sus fases, así como los estudios de laboratorio, catálogos de conceptos, evidencia fotográfica y presencial de la supervisión.

3.- Marco teórico.

Los conceptos explicados en esta investigación fueron tomados de libros que, tras una extensa búsqueda, se logró tomar los conceptos que eran pertinentes mencionar en pro de la investigación. Los autores mencionados o citados en este

trabajo de tesis son en su mayoría literarios en el ámbito de la ingeniería y las matemáticas.

4.- Análisis de datos.

El análisis de datos no fue posible sin la evidencia fotográfica, pues fue necesario asistir al lugar de ejecución de los trabajos para poder presenciar el proceso en persona. Las pruebas de laboratorio obtenidas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes tomaron un papel primordial, pues gracias a la dependencia se pudo determinar si el proceso constructivo fue el correcto, apegado a las normas.

El análisis visual mencionado en el capítulo correspondiente al análisis y comparación de datos fue de vital importancia pues, de esta manera, el investigador pudo comparar in situ las características explicadas en las normas y verificar de manera presencial que el proceso estuviese apegado a las normas.

5.- Conclusiones.

Las conclusiones se pudieron determinar gracias al análisis que se llevó a cabo. Después de una extensa revisión de las normas vigentes y posterior comparación al proceso que se siguió en el camino, fue posible contestar a todas las interrogantes planteadas en el inicio de la investigación.

Las conclusiones pudieron ser determinadas cuando se determinaron todos los resultados producto de la investigación teórica y el estudio de campo, tomando en cuenta los resultados de análisis de laboratorio.

CAPÍTULO 5

CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

En el presente capítulo se aborda todo lo relacionado al cálculo para diseño de una sección y estructura de pavimento, con la finalidad de hacer una comparativa correcta, revisando la estructura de pavimento y proceso constructivo del camino en cuestión.

5.1. Aforo vehicular.

Para la correcta construcción de una carretera, cualquiera sea la importancia de ésta, se debe revisar un conteo de los vehículos que transitan diariamente por el camino, para obtener el valor del TDPA, o Tránsito Diario Promedio Anual.

“El tránsito vehicular de diseño se refiere al tránsito proyectado a futuro, se calcula a partir del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) último registrado o previsto, para carreteras existentes o nuevas, respectivamente.” (SCT(b); S/F: 7).

Para cada zona del estado existen reportes viales que son tomados como referencia a la hora de establecer un TDPA. Pero debido a que esta investigación de tesis requiere una comparación que parte de un diseño propio frente al diseño empleado en la carretera estudiada, se hablará de la manera en la que el TDPA se calculará.

El camino bajo estudio de este trabajo de tesis, al estar en una zona relativamente poco habitada, se estima en primera instancia que no transiten mas de 500 vehículos diarios, pues antes de pavimentarse, el camino era tipo C.

Sin embargo, el conteo de vehículos no puede basarse en el tipo de camino que era antes de la modernización, ni en aforos anteriores. Aunque este fuera el caso, existen fórmulas para el cálculo de tránsito atraído, partiendo de que la obra sea una construcción nueva, o de que sea una modernización de una obra existente. En el segundo caso, se hablaría de un nivel de tránsito nuevo que estaría gozando de las nuevas condiciones del camino que ya existía. No obstante, se optó por realizar un aforo vehicular en el camino, para contar con una información actualizada de la situación del tramo carretero.

“El tránsito generado es un concepto de crecimiento del tránsito que depende principalmente del efecto de atracción que tenga el proyecto debido a las ventajas en tiempo y costo que se generen para los usuarios en la zona de influencia de la carretera.

El tránsito por desarrollo viene a ser el que se agrega por efecto del transporte que requieren las actividades agrícolas, industriales, turísticas, etc., correspondientes a las nuevas áreas que se incorporen al desarrollo por efecto de la conexión a la nueva carretera.

El tránsito generado y el tránsito por desarrollo pueden afectar en forma importante tanto al volumen de tránsito futuro como su composición, por lo que no es conveniente calcular el tránsito de proyecto considerando solo el tránsito actual y su

tendencia histórica. Es necesario hacer intervenir en el proceso los planes regionales de desarrollo a corto, mediano y largo plazo.” (SCT; 2016: 89-90)

Para el estimado promedio de vehículos que transitan en un día, lo óptimo es realizar un conteo minucioso de los vehículos que transitan por el camino analizado, sin embargo, considerando que, en el camino estudiado en el presente trabajo de tesis, se encuentra en una zona rural de relativamente bajo flujo vehicular, se estudió durante 5 horas consideradas las horas con mayor flujo de vehículos durante varios días de la semana, incluyendo fines de semana.

Para lo anterior, no sólo fue necesario revisar la composición vehicular del total de vehículos que transitaron por el camino durante sus horas de estudio, pues según el método de diseño de pavimentos flexibles creado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, además del tipo de vehículo, es necesario señalar el porcentaje de vehículos de carga y pasajeros (por ejemplo, B2, B3, C2, C3, etc.) venían cargados. Esto para tener una mayor precisión en el cálculo de las unidades de daño o ejes equivalentes.

En el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT, es mostrada una tabla comparativa de la composición vehicular que fue aforada en las distintas carreteras de México.

RÉGIMEN DE OPERACIÓN	Longitud (km)	COMPOSICIÓN VEHICULAR, EN %							
		A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS
FEDERAL LIBRE	42,683	77.51	3.94	7.16	2.39	5.03	1.89	1.39	0.69
FEDERAL DE CUOTA	7,652	68.48	6.08	5.91	3.11	8.93	2.32	4.21	0.96
ESTATAL LIBRE	23,052	83.38	3.33	6.80	1.70	2.65	1.05	0.56	0.53
ESTATAL DE CUOTA	1,313	70.67	4.95	8.08	2.76	7.70	2.21	2.83	0.80
AFORADA TOTAL	74,700	78.28	3.91	6.80	2.21	4.61	1.64	1.40	0.66

Tabla 5.1. Composición vehicular en los distintos regímenes de operación.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de carreteras, SCT (2016).

Como se esperaba, el flujo vehicular fue mínimo y la gran mayoría de vehículos fueron vehículos tipo A2, como automóviles tipo sedán y pick-up.

Sin embargo, como se mencionó antes, existe un flujo vehicular mayor al cual fue presenciado cuando el tramo estaba en fase de modernización, cumpliendo así la expectativa del aumento de flujo vehicular por el tránsito atraído.

A continuación, se muestra el reporte fotográfico del aforo vehicular, que fue recopilado durante algunos de los días en los que se realizó el estudio y, de manera representativa, retratan lo que se realizó.



Figura 5.1. Aforo vehicular en el tramo carretero.

Fuente: Propia.

La imagen anterior fue tomada el lunes 3 de septiembre del 2018, día en que fue tomado el primer aforo vehicular, con un periodo de 5 horas. Como se puede apreciar, la imagen ilustra que el estudio fue realizado prestando atención exclusivamente a la realización del aforo.



Figura 5.2. Aforo vehicular en el tramo carretero.

Fuente: Propia.

La imagen anterior fue tomada el domingo 9 de septiembre del 2018, día en que se realizó el segundo aforo vehicular, de la misma manera que el anterior, con un periodo de 5 horas.

Como ya se mencionó, se tomó en cuenta un rango de horas que iban desde las 13:00 a las 18:00 horas, que nos servirán para encontrar un tránsito horario. Obteniendo un tránsito horario se puede estimar un tránsito diario, lo cual será la base del estudio para la propuesta de la estructura de pavimento. Los resultados fueron los siguientes:

AFORO VEHICULAR 1PM-6PM	Lunes		
	COMPOSICION	CARGADOS	VACIOS
Automóviles	89%	18	114
Camiones ligeros (A 2)	0%	0	0
Autobuses (B2)	1%	2	0
Camiones de dos ejes (C2)	5%	5	2
Camiones de tres ejes (C3)	4%	1	5
Tractores con semirremolque (T2-S1)	0%	0	0
Tractores con semirremolque (T2-S2)	0%	0	0
Tractores con semirremolque (T3-S3)	1%	2	0
	100%	28	121

Tabla 5.2. Aforo vehicular en lunes.

Fuente: Propia.

AFORO VEHICULAR 1PM-6PM	Domingo		
	COMPOSICION	CARGADOS	VACIOS
Automóviles	92%	3	146
Camiones ligeros (A 2)	0%	0	0
Autobuses (B2)	2%	4	0
Camiones de dos ejes (C2)	4%	3	4
Camiones de tres ejes (C3)	1%	0	2
Tractores con semirremolque (T2-S1)	0%	0	0
Tractores con semirremolque (T2-S2)	0%	0	0
Tractores con semirremolque (T3-S3)	0%	0	0
	100%	10	152

Tabla 5.3. Aforo vehicular en domingo.

Fuente: Propia.

El domingo al tener más tránsito diario, servirá como tránsito de diseño, sin embargo, se debe calcular el número de ejes equivalentes. Atendiendo al manual de

diseño de pavimentos flexibles de la Universidad Nacional Autónoma de México, es necesario encontrar el TDPA.

Para diseño se tomará un promedio de ambas lecturas y se dividirá entre 2 y entre 5. Lo anterior es para encontrar un promedio entre los dos días y para un promedio por hora, ya que el lapso del estudio se hizo en 5 horas.

Flujo lunes: 149 vehículos.

Flujo domingo: 162 vehículos.

La suma de ambos flujos es: 311 vehículos.

Un promedio de ambos días es: 155.5 vehículos, en las 5 horas que duró el estudio, por lo que el tránsito horario es:

Tránsito horario: $155.5/5 = 31.1$.

Se concluye que, por hora, transitan un promedio de 31 vehículos y se tomarán 12 horas como aquellas en las que transitan los vehículos normalmente, pues el tránsito nocturno es significativamente menor.

Multiplicando los vehículos por hora, por las 12 horas que se tomarán en cuenta para el diseño, dará un total de 372 vehículos diarios, por lo que el TDPA es: 372 vehículos diarios.

El Método de la UNAM requiere que la cantidad de vehículos sea convertida a ejes equivalentes, que es una unidad de daño que se produce cuando una carga de 8.2 toneladas formada por un eje sencillo dual (cuatro llantas) es aplicada al pavimento con una presión de contacto de 5.8 kg/cm^2 .

5.2. Diseño de la estructura de pavimento según el método de la UNAM.

El diseño de una carretera que propone la UNAM se comenzará por definir todas las variables que este requiere para el uso de las fórmulas que propone en la publicación de la Norma 444 de dicha institución.

Como se mencionó anteriormente, es requerida la transformación del TDPA a la unidad de daño que emplea el método: Ejes equivalentes de 8.2 toneladas.

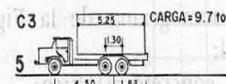
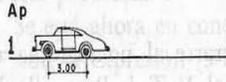
La Universidad Nacional Autónoma de México especifica en su manual un listado de vehículos, que, a base de cálculos, distribuyen su peso en los ejes que poseen, ya sea uno sencillo, tándem o eje triple.

Según los estudios experimentales de la UNAM, estos vehículos provocan un daño permanente a la carpeta y demás capas de la estructura del pavimento, por lo que fue necesario distribuirlos en coeficientes de daño a diferentes profundidades, abarcando de esta manera las capas de pavimento que recibirán las cargas de los ejes equivalentes.

Los coeficientes de daño también fueron separados y analizados con la variable de la carga máxima de un vehículo, es decir, si éste está cargado completamente o si está descargado.

A continuación, se presenta una tabla de coeficientes de daño obtenida del libro “La ingeniería de suelos en las vías terrestres, carreteras, ferrocarriles y aeropistas”.

NOTA
 K_v = Coeficiente de equivalencia para el vehículo vacío
 K_c = Coeficiente de equivalencia para el vehículo cargado



Eje	CARACTERISTICAS		
	Peso, ton		P_s Kg/cm ²
	Cargado	Vacío	
1	1.0	0.8	2.0
2	1.0	0.8	2.0
3			
Σ	2.0	1.6	-

1	1.6	1.2	4.2
2	3.3	1.2	4.2
3			
Σ	4.9	2.4	-

1	4.2	3.0	5.8
2	8.3	7.0	5.8
3			
Σ	12.5	10.0	

1	2.5	1.5	5.0
2	6.8	2.7	5.0
3			
Σ	9.3	4.2	-

1	2.6	1.7	5.0
2	14.0	5.2	5.0
3			
Σ	16.6	6.9	-

1	3.0	2.5	5.8
2	8.0	3.6	5.8
3	7.8	3.0	5.8
Σ	18.8	9.1	-

1	4.0	3.5	5.8
2	8.5	4.0	5.8
3	12.1	3.8	5.8
Σ	24.6	11.3	-

1	3.9	3.5	5.8
2	13.0	5.4	5.8
3	13.0	5.0	5.8
Σ	29.9	13.9	-

COEFICIENTES DE DAÑO			
CARGADO, F			
$z=0$	$z=15$	$z=22.5$	$z=30$

0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0046	0.000	0.000	0.000

0.17	0.002	0.001	0.000
0.17	0.040	0.010	0.010
0.34	0.042	0.011	0.010

1.0	0.150	0.080	0.050
1.0	1.000	1.020	1.050
2.0	1.150	1.100	1.100

0.44	0.025	0.008	0.002
0.44	0.440	0.440	0.440
0.88	0.465	0.448	0.442

0.44	0.025	0.008	0.003
0.44	0.650	0.650	0.650
0.88	0.675	0.658	0.653

1.0	0.040	0.015	0.007
1.0	0.900	0.900	0.900
1.0	0.800	0.800	0.800
3.0	1.740	1.715	1.707

1.0	0.120	0.060	0.030
1.0	1.000	1.020	1.050
2.0	0.450	0.400	0.400
4.0	1.570	1.480	1.480

1.0	0.100	0.050	0.025
2.0	0.600	0.500	0.500
2.0	0.600	0.500	0.500
5.0	1.300	1.050	1.025

COEFICIENTES DE DAÑO			
VACIO, F^v			
$z=0$	$z=15$	$z=22.5$	$z=30$

0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0046	0.000	0.000	0.000

0.17	0.001	0.000	0.000
0.17	0.000	0.000	0.000
0.34	0.001	0.000	0.000

1.0	0.040	0.015	0.007
1.0	0.600	0.500	0.500
2.0	0.640	0.515	0.507

0.44	0.002	0.000	0.000
0.44	0.025	0.008	0.003
0.88	0.027	0.008	0.003

0.44	0.004	0.001	0.000
0.44	0.040	0.010	0.006
0.88	0.044	0.011	0.006

1.0	0.020	0.006	0.002
1.0	0.080	0.030	0.020
1.0	0.040	0.015	0.007
3.0	0.140	0.051	0.029

1.0	0.080	0.030	0.020
1.0	0.120	0.060	0.030
2.0	0.010	0.002	0.001
4.0	0.210	0.092	0.051

1.0	0.080	0.030	0.020
2.0	0.040	0.015	0.007
2.0	0.030	0.010	0.005
5.0	0.150	0.055	0.032

Tabla 5.4. Coeficientes de daño.

Fuente: La ingeniería de suelos en las vías terrestres, (2005).

Tomando en cuenta estos coeficientes, se elaboró una tabla de conversión con ayuda del software Excel, para convertir los dos aforos vehiculares.

Tabla de equivalencias									
Vehículo	Vehículos de carril de proyecto	Coeficiente de daño (vehículos cargados).				Resultado en ejes equivalentes (8.2 ton).			
		Z=0	Z=15	Z=22.5	Z=30	Z=0	Z=15	Z=22.5	Z=30
Ap	132	0.0046	0	0	0	0.6072	0	0	0
B	2	2	1.15	1.1	1.1	4	2.3	2.2	2.2
C2	7	0.88	0.465	0.448	0.442	6.16	3.255	3.136	3.094
C3	6	0.88	0.675	0.658	0.653	5.28	4.05	3.948	3.918
T3-S2	2	5	1.3	1.05	1.025	10	2.6	2.1	2.05
						26.0472	12.205	11.384	11.262

Tabla 5.5. Conversión a ejes equivalentes del TDPA registrados el lunes.

Fuente: Propia.

Tabla de equivalencias									
Vehículo	Vehículos de carril de proyecto	Coeficiente de daño (vehículos cargados).				Resultado en ejes equivalentes (8.2 ton).			
		Z=0	Z=15	Z=22.5	Z=30	Z=0	Z=15	Z=22.5	Z=30
Ap	149	0.0046	0	0	0	0.6854	0	0	0
B	4	2	1.15	1.1	1.1	8	4.6	4.4	4.4
C2	7	0.88	0.465	0.448	0.442	6.16	3.255	3.136	3.094
C3	2	0.88	0.675	0.658	0.653	1.76	1.35	1.316	1.306
T3-S2	0	5	1.3	1.05	1.025	0	0	0	0
						16.6054	9.205	8.852	8.8

Tabla 5.6. Conversión a ejes equivalentes del TDPA registrados el domingo.

Fuente: Propia.

Como se puede observar, el lunes presenta una cantidad mayor de ejes equivalentes, por lo que se tomará como los ejes para el diseño.

Altura	Z=0	Z=15	Z=22.5	Z=30
Ejes por hora	5.20944	2.441	2.2768	2.2524
Ejes diarios	62.51328	29.292	27.3216	27.0288

Como se hizo con el TDPA, se calculan los ejes equivalentes por día, para encontrar el tránsito equivalente acumulado.

Cálculo del tránsito equivalente acumulado.

El tránsito equivalente acumulado se refiere a la cantidad de ejes equivalentes de 8.2 toneladas esperados en un periodo n de años de servicio.

$$\Sigma Ln = C' \times T_o$$

Fórmula en la cual:

ΣLn = Tránsito equivalente acumulado

T_o = Tránsito medio diario en el primer año de servicio para carril de diseño en ejes equivalentes de 8.2 ton.

C' = Coeficiente de acumulación de tránsito para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r.

Para el cálculo de C' es necesario especificar los años de servicio para los cuales estará proyectada la carretera. La SCT considera en su Catálogo de Secciones de Pavimentos, un horizonte de proyecto de 20 años para todas sus secciones, por lo que en el presente trabajo se usarán esos años de servicio.

En dicho catalogo se menciona que las tasas de crecimiento en México fluctúan entre 1 y 5%, por lo que se utilizará un promedio, siendo la tasa de crecimiento de 3% la que se utilizará en el cálculo siguiente:

$$C' = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} (365)$$

$$C' = \frac{(1 + 0.03)^{20} - 1}{0.03} (365) = 9807.686$$

$$C' = 9808$$

La fórmula arroja un resultado del coeficiente de acumulación de tránsito, empleando 20 años como el horizonte de proyecto, por lo que el coeficiente puede variar en caso de que el proyecto esté planeado para más años, o en caso contrario, para que tenga una durabilidad menor.

La tasa de crecimiento también dependerá de un estudio más detallado de la zona de estudio, requiriendo más tiempo de estudio, pero se empleó el 3% con la finalidad de realizar una estructura de pavimento con el crecimiento promedio del país, según la SCT.

La fórmula arrojará el valor del coeficiente de manera exacta, pero también se podrá estimar de manera gráfica, obteniéndolo en base a los mismos parámetros, con la siguiente gráfica, rescatada del Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras, del Instituto de Ingeniería de la UNAM:

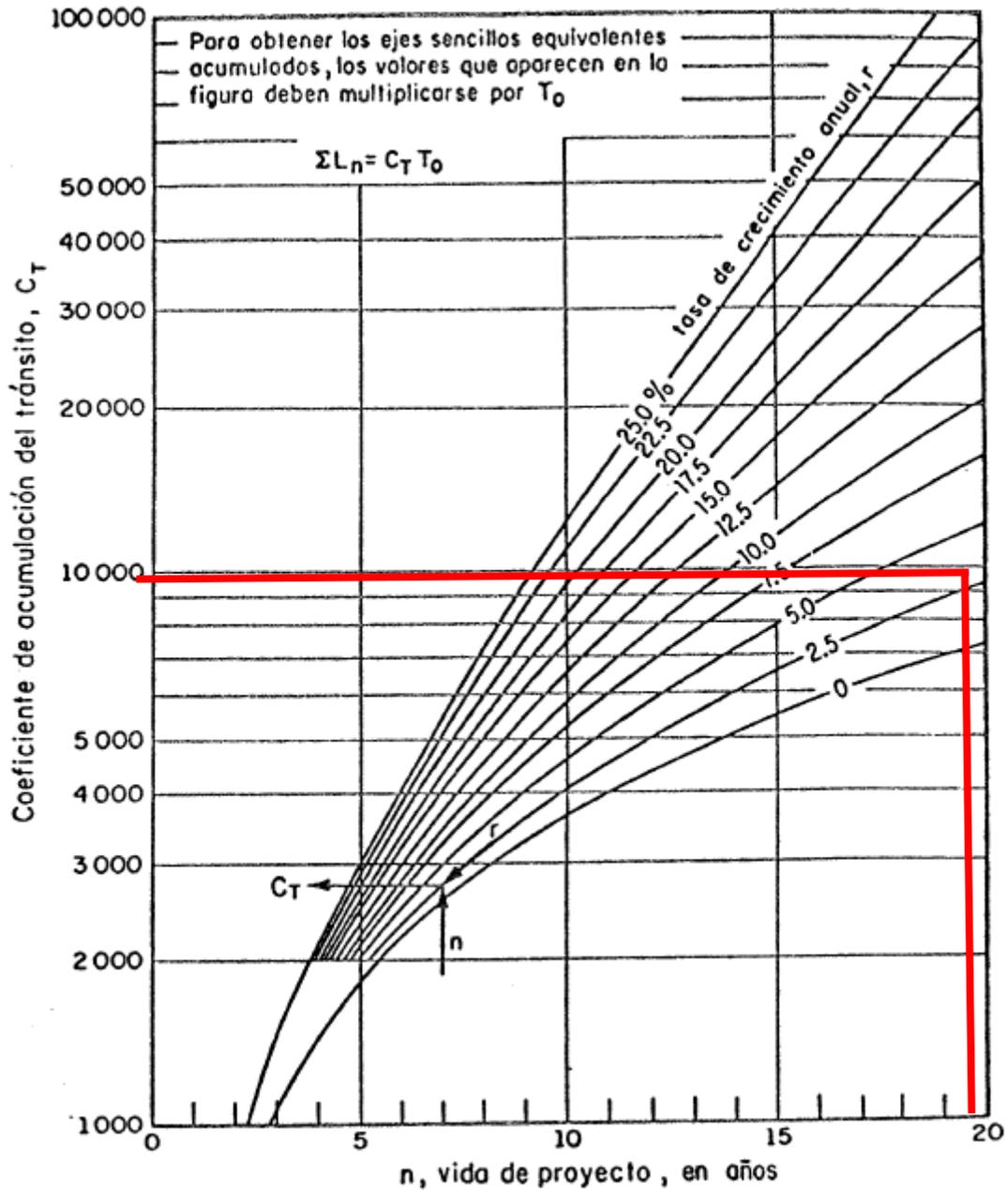


Tabla 5.6. Gráfica para estimar el coeficiente de acumulación de tránsito.

Fuente: Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras;

UNAM, 1981.

Se utilizará el coeficiente calculado con la fórmula anterior para calcular el tránsito equivalente acumulado.

$$\Sigma Ln_0 = 9808 \times 62.51 = 613098.08 \text{ ejes equivalentes de 8.2 toneladas.}$$

$$\Sigma Ln_{15} = 9808 \times 29.29 = 287276.32 \text{ ejes equivalentes de 8.2 toneladas.}$$

$$\Sigma Ln_{22.5} = 9808 \times 27.32 = 267954.56 \text{ ejes equivalentes de 8.2 toneladas.}$$

$$\Sigma Ln_{30} = 9808 \times 27.02 = 265012.16 \text{ ejes equivalentes de 8.2 toneladas.}$$

Para calcular el espesor de las capas de pavimento se tiene que analizar la gráfica de la figura 5.7 que considera los ejes equivalentes previamente calculados, así como el Valor Relativo de Soporte Crítico, que se obtendrá con la siguiente fórmula:

$$VRSc = VRS(1-CV)$$

Donde:

VRSc= Valor crítico del VRS con fines de diseño.

VRS= Valor medio de cada material.

C= Coeficiente que dependerá del nivel de confianza del proyecto.

V= Coeficiente de variación que incluye una incertidumbre debido a factores como las características del suelo, condiciones climatológicas, proceso constructivo y conservación.

A continuación, se presentan los resultados de los VRSc de las capas de materiales.

Capa	VRS %	VRSc
Terreno Natural (Terraplen)	5	0.79
Subrasante	20	3.16
Subbase	50	7.9
Base	80	12.64

Se tomará el VRS del terreno natural obtenido del estudio de mecánica de suelos por parte del laboratorio para la verificación de calidad del terreno.

Los valores del VRS de la subrasante, subbase y base se obtuvieron usando los mínimos de las normas vigentes. El Valor C es de 0.84, indicado en la tabla 5.7

El factor V no se ha tomado en cuenta, pues el método de la UNAM establece que no deberá usarse si los valores son los mínimos.

Al ubicarlos en el nomograma (tabla 5.7) en base al tránsito equivalente acumulado y al VCRC, se obtiene que los espesores equivalentes son los siguientes:

Capa	VRS %	VRSc	Zi
Base	80	12.64	12 (Z2)
Subbase	50	7.9	20 (Z3)
Subrasante	20	3.16	22 (Z4)
Terreno Nat.	10	0.79	36 (Z5)

El siguiente nomograma emplea los VRS y los ejes equivalentes para estimar los espesores equivalentes, y como se observa se emplearon 6.13×10^5 ejes equivalentes. Se está usando la gráfica correspondiente a un nivel de confianza Qu de 0.9.

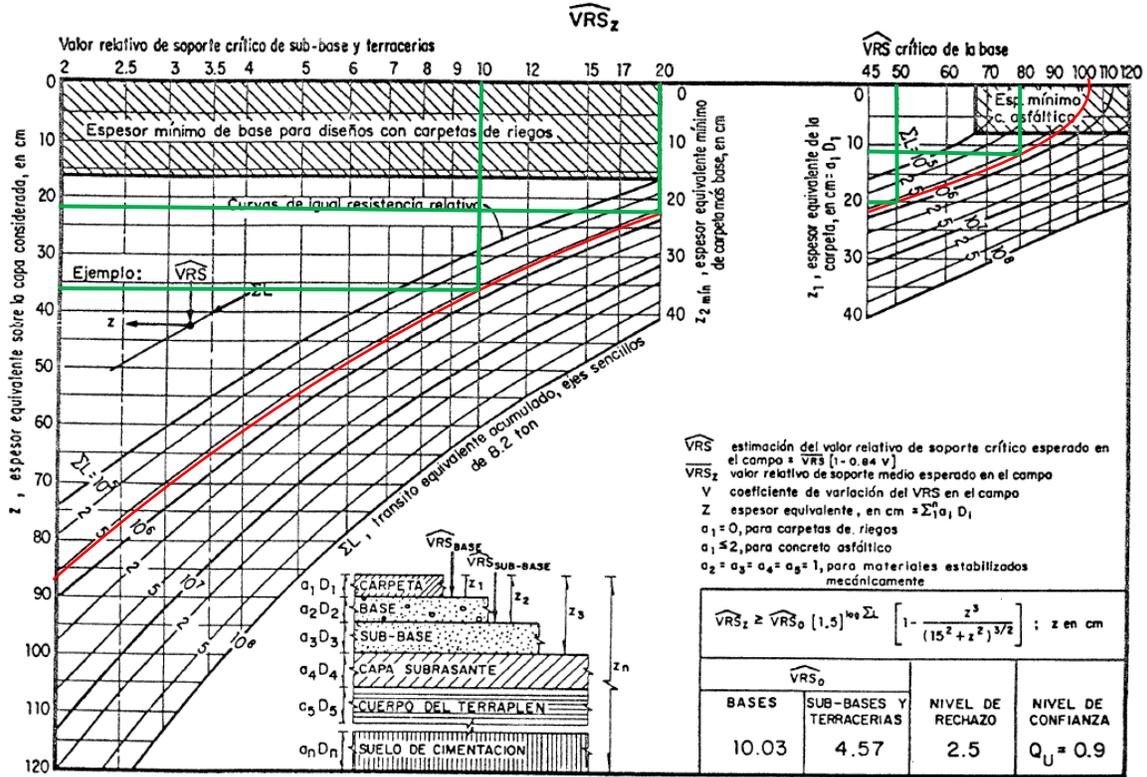


Tabla 5.7. Determinación de espesor equivalente para $Z=0, 6.13 \times 10^5$.

Fuente: Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras;

UNAM, 1981.

El siguiente paso es determinar los espesores reales de la estructura de pavimento. Para esto, se emplea la siguiente expresión:

$$\sum_{i=1}^{i=n} a_i D_i = Z_i$$

Donde:

Z_i = Espesor equivalente.

A_i = Coeficiente de equivalencia estructural.

D_i = Espesor real.

El método UNAM especifica lo siguiente:

$a_1 = 0$ Para carpetas de riego.

$a_1 \geq 2$ Para carpetas asfálticas.

$a_2 = a_3 = a_4 = 1$ Para materiales estabilizados mecánicamente.

En orden de la estructura de pavimento es que se calcularán los espesores, siendo este: Subrasante, Subbase, Base y Carpeta.

Capa de Subrasante:

Se toman en cuenta los espesores equivalentes de Terreno Natural y Subrasante, así como $a_4=1$.

$$D_{i_{\text{Subrasante}}} = \frac{(Z_5 - Z_4)}{a_4} = 15 \text{ cm}$$

Capa de Subbase:

$$D_{i_{\text{Subbase}}} = \frac{(Z_4 - Z_3)}{a_3} = 2 \text{ cm}$$

Capa de Base:

$$D_{i_{\text{base}}} Z_3 - Z_2 = 8 \text{ cm}$$

Carpeta asfáltica:

$$D_{i_{\text{carpeta}}} Z_1 = Z_5 - Z_4 - Z_3 - Z_2 = 11 \text{ cm}$$

Los resultados del cálculo son los siguientes:

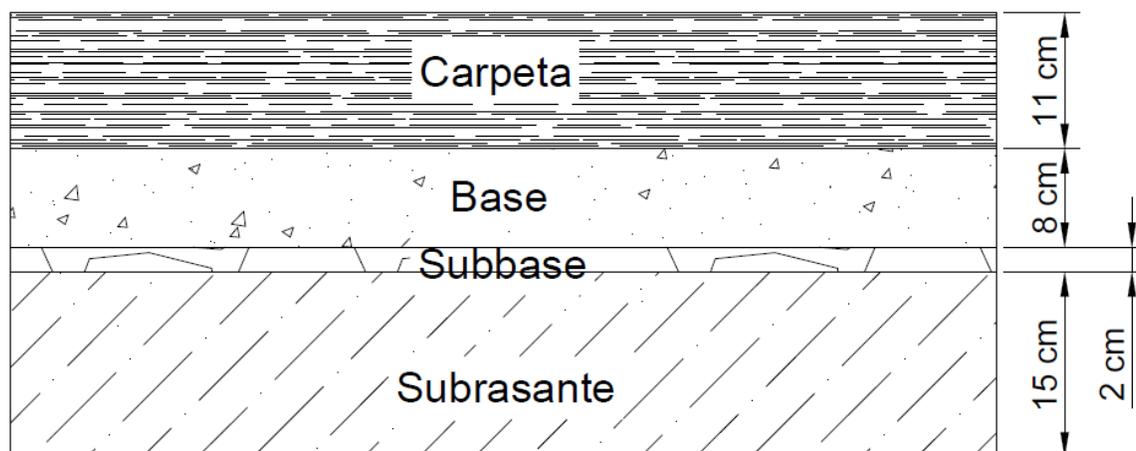


Figura 5.3. Estructura de pavimento resultante en el cálculo.

Fuente: Propia.

Como se había propuesto, la carpeta será de 5 cm. De la misma manera, como se mencionó en el capítulo 2, la subrasante será de 30 cm. La capa de subbase se omitirá, debido a que es mínimo su espesor en el cálculo, y se propone una base de 20 cm, que, por experiencia en campo, es común.

El bombeo de la sección del pavimento será del 2% con la finalidad de favorecer el drenaje del camino.

5.3. Proceso constructivo del camino estudiado.

A continuación, se analizarán los procesos constructivos del tramo estudiado, tomando en cuenta la revisión de la estructura de pavimento, así como las calidades de los materiales, obtenidas gracias a las pruebas de laboratorio. Se analizará,

además, todo lo referente a compactación, VRS y demás características producto de la mecánica de suelos y control de calidad del laboratorio de materiales.

En este tramo se cuenta con la siguiente estructura de pavimento:

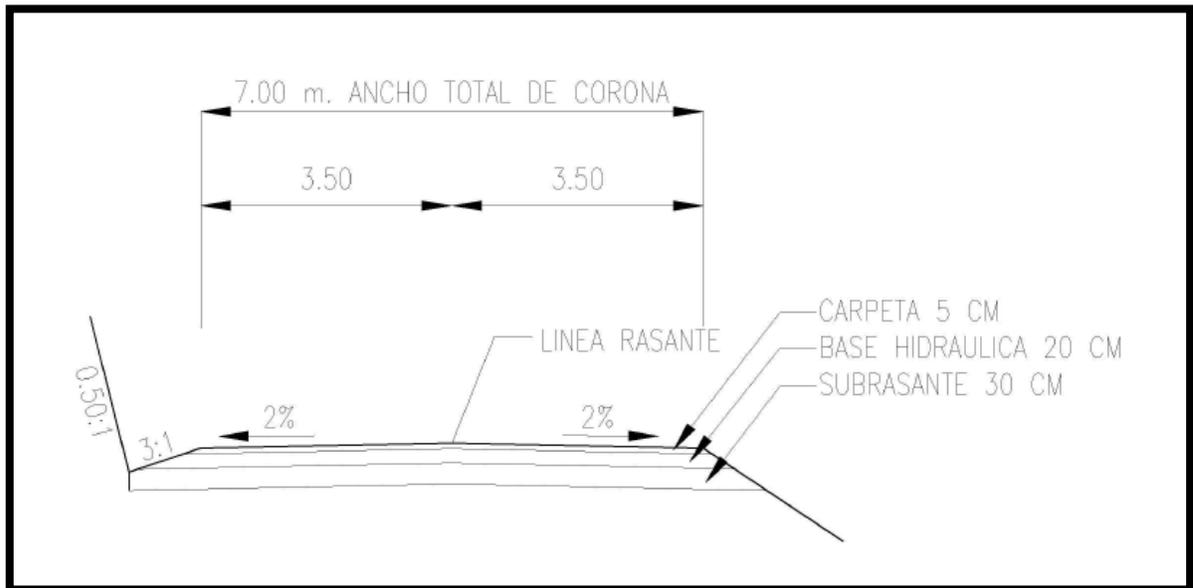


Figura 5.4. Estructura del pavimento actual del tramo de estudio.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

A continuación, se presentarán los procesos de cada capa en fotos, la norma que rige sus procesos y calidades y a su vez, los resultados de control de calidad comparados con ésta.

5.3.1. Terreno Natural.

El terreno natural tuvo que ser mejorado por medio de despalme, removiendo la capa vegetal, haciendo un corte contemplado en el proyecto de 20 cm en promedio, esto con la finalidad de darle niveles de proyecto y remover materia orgánica que puede afectar la calidad del material.



Figura 5.5. Corte en el terreno natural.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

Se realiza el corte del terreno natural, bajo supervisión de un equipo de topografía, que está constantemente apoyando al operador de la maquinaria, con la finalidad de mantener los niveles de proyecto.



Figura 5.6. Compactación del terreno natural.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

Debido a que el terreno natural debe de cumplir cierto grado de compactación, se hace uso de un rodillo vibro compactador, que compacta la superficie. De la misma manera, un equipo de topografía establece los niveles y dirige la maquinaria para que afine la superficie.

El laboratorio de materiales entregó los siguientes resultados a los supervisores de obra de SCT, comparados con las normas referentes a los estudios:

Características	Norma	Resultado Obtenido (Promedio de las muestras)
Expansión (%)	5% máximo	0.93%
Limite Liquido (%)	50% máximo	38%
CBR (%)	5% mínimo	77.20%
Compactación	90 ± 2	93.76%

Tabla 5.8. Características de los materiales en terracerías.

Fuente: N.CMT.1.01/16, Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan, 2018.

Por lo anterior se puede afirmar que el terreno natural fue compactado y en general tratado correctamente, para que este resista las capas de pavimento subsecuentes.

El estudio de control de calidad también demostró que los materiales de los que se conforma cumplen y superan los mínimos requisitos de calidad de los materiales, adecuados para el terreno.

5.3.2. Subrasante.

Continuando con el proceso de la estructura de pavimento, lo siguiente es la capa de subrasante. Ésta, según el proyecto, tendrá un espesor de 30 cm.

Los trabajos iniciaron con el acamellonado de la subrasante, se prosiguió con el tendido de esta y finalizó con el compactado con rodillo vibro compactador.

El equipo topográfico fue el encargado de asignar los niveles y controlar que se respeten los del proyecto.



Figura 5.7. Tendido de subrasante.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

El equipo topográfico se encargó de tomar y calcular los niveles del terreno natural, para hacer llegar la información al operador de la maquinaria.

Se establecieron estacas a cada 20 metros, para tener un control preciso de los niveles.

Una vez tendido el material, se tuvo que humedecer para que éste alcanzara la compactación requerida cuando el rodillo vibro compactador trabajara sobre la subrasante.



Figura 5.8. Tendido y compactado de subrasante.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

Una vez completada, el estudio de laboratorio arrojó los siguientes resultados:

Característica	Valor	Laboratorio
Tamaño máximo y granulometría, mm	76	76
Límite Líquido; %, máximo	40	30.1
Índice plástico, %, máximo	12	8.3
Valor Soporte de California (CBR); %, mínimo	20	112
Expansión; %, máxima	2	0
Grado de compactación; %	100 ± 2	98

Tabla 5.9. Control de calidad de la capa de subrasante.

Fuente: N.CMT.1.03/02, Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

Con el anterior estudio se concluye que la subrasante fue ejecutada de manera satisfactoria, cumpliendo la norma vigente y con los espesores de proyecto.

5.3.3. Base hidráulica.

La base hidráulica fue abastecida en un 80% de su peso por el banco de materiales San Isidro y el resto por el banco San Francisco de Uruapan, debido a que se requería según el proyecto, 80% de material producto de criba y 20% producto de trituración.

La base hidráulica tiene un espesor de proyecto de 20 cm, que se logró a base del tendido de material con moto conformadora, compactado al 100% con un rodillo vibro compactador y con ayuda del riego constante de una pipa de agua.

A continuación, se presenta el reporte fotográfico de los procesos realizados:



Figura 5.9. Base hidráulica.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

La base hidráulica fue dejada en el volumen suficiente para tenderse en tramos separados por la moto conformadora.



Figura 5.10. Tendido de base hidráulica.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

El operador de la moto conformadora, siguiendo las indicaciones del equipo topográfico, extendió el material con la indicación de que la base hidráulica tendrá un espesor de 20 cm. La base hidráulica al ser compactada reduce muy poco de nivel, por lo que se tiene que tener esa consideración a la hora de pasar niveles.



Figura 5.11. Compactado de base hidráulica.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

Una vez compactada la base hidráulica, debe cuidarse que el material no se haya clasificado. De ser así, se deberá escarificar, volver a tender y re compactar esa sección. Como se observa en la siguiente imagen, la base hidráulica fue compactada al 100% sin problemas.



Figura 5.12. Base hidráulica terminada a nivel de proyecto.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

Ya que se ha terminado la base hidráulica con la compactación requerida, se puede avanzar con la siguiente capa de la estructura de pavimento.

El laboratorio de control de calidad encontró los siguientes valores sobre las características de los materiales de la base hidráulica:

Característica	Valor	
	$\Sigma L \leq 10^6$ (Norma)	Resultado obtenido (Promedio de las muestras)
Límite Líquido Máximo	25%	23.5%
Índice Plástico Máximo	6%	N.P.
Equivalente de Arena Mínimo	40%	80%
Valor Soporte de California (CBR) Mínimo	80%	135%
Desgaste de los Ángeles Máximo	35%	27.3%
Partículas Alargadas y Lajeadas Máximo.	40%	1.1%
Grado de Compactación Mínimo	100%	100.3%

Tabla 5.10 Características de los materiales de bases hidráulicas para pavimentos asfálticos.

Fuente: N.CMT.4.02.002/16, Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan, 2018.

Como se observa en tabla anterior, las especificaciones de la base hidráulica cumplen con el 100% de lo establecido en la norma N.CMT.4.02.002/16. De esta manera el uso de la base hidráulica se encuentra aprobado.

También, se realizó un estudio de calidad de los materiales, pues en la norma N.CMT.4.02.002/16, se establecen los porcentajes que debe cumplir el material en cuanto a la granulometría.

A continuación, se presenta la tabla entregada por el laboratorio de control de calidad con los resultados obtenidos:

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$ (Norma)	Resultado obtenido (Promedio de las muestras)
75	3"	100	100
50	2"	85-100	100
37,5	1 1/2"	75-100	100
25	1"	62-100	96
19	3/4"	54-100	92
9,5	3/8"	40-100	79
4,75	Nº4	30-80	63
2	Nº10	21-60	51
0,85	Nº20	13-44	35
0,425	Nº40	8-31	20
0,25	Nº60	5-23	13
0,15	Nº100	3-17	8
0,075	Nº200	0-10	2

Tabla 5.11. Granulometría de los materiales de bases hidráulicas para pavimentos asfálticos.

Fuente: N.CMT.4.02.002/16, Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan, 2018.

Según la norma, el material empleado cumple con todos los requisitos de calidad en cuanto a granulometría, como se muestra en la tabla anterior.

5.3.4. Pavimento.

Después de la base hidráulica se realizó un riego de impregnación con emulsión asfáltica (ECM-65), de polaridad catiónica y rompimiento medio, que sirve como impermeabilizante de la base hidráulica, y mantiene el contenido de humedad

en la misma. Posteriormente se le agregó un poreo de arena, pues esta se abrió al tránsito. Las especificaciones de calidad fueron las siguientes:

Características	Norma	Laboratorio
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	65	65.8
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	-	-
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo	25	27
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	4
Retenido en malla N° 20 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,1	0.7
Pasa malla N° 20 y se retiene en malla N° 60 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,25	0.12
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo	90	95
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	75	88
Carga eléctrica de las partículas	(+)	(+)
Disolvente en volumen; %, máximo	5	0.5
Índice de ruptura; %	80 – 140	99
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa-s (P [1])	50 ± 10 (500 ± 100)	48
Penetración a 25°C, en 100 g y 5_s; 10-1 mm	100-250	130
Solubilidad; %, mínimo	97,5	98.5
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	42

Tabla 5.12. Requisitos de calidad para emulsión asfáltica ECM-65

Fuente: N.CMT.4.05.001/06, Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

Por lo tanto, la emulsión para riegos de impregnación cumple perfectamente los requerimientos de calidad de las normas de calidad de materiales asfálticos.



Figura 5.12. Riego de impregnación con poreo.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

El paso siguiente, fue una carpeta asfáltica diseñada por medio del Método Marshall, que consiste en una mezcla asfáltica de granulometría densa, que forma un espesor de capa de 5 cm. El cemento asfáltico fue un SUPERPAVE PG 64-22, que, de acuerdo con las temperaturas de la región, se aceptó su uso por la SCT. La mezcla salió de la planta con una temperatura de 160°C y se tendió con 148°C. La temperatura de la mezcla a la hora de la compactación fue de 112°C. Se aplicó un riego de liga a razón de 1.20 lts/m².

Característica	Norma	Laboratorio
Estabilidad, Mínimo	534	780
Flujo, mm	2 – 4	3.73
Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC) %	3 – 5	4.83
Vacíos ocupados por el asfalto (VFA) %	65 – 78	69
Vacíos en el agregado Mineral %	12 min	15.6

Tabla 5.13. Requisitos de calidad de la mezcla asfáltica.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

Característica	Valor (norma)	Valor (laboratorio)
Límite Líquido Mínimo	2.4	-
Desgaste de los Ángeles % Máximo	35	14.8
Partículas alargadas % Máximo	40	16.2
Partículas lajeadas % Máximo	40	17.2
Equivalente de Arena % Mínimo	50	84.1
Perdida de Estabilidad por Inmersión en Agua % Máximo	25	-

Tabla 5.14. Requisitos de calidad del agregado pétreo de la mezcla asfáltica.

Fuente: N-CMT-4-04/01, Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

De esta manera, la SCT aprobó los procedimientos y calidades requeridas en base a la norma correspondiente, finalizando el proceso de tendido de carpeta asfáltica.



Figura 5.13. Tendido de la carpeta asfáltica.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

La carpeta asfáltica fue tendida de manera satisfactoria, construyendo un lado a la vez, con el fin de no detener el tránsito que pueda recorrer el camino. La carpeta tiene un bombeo del 2%.



Figura 5.14. Compactado de carpeta asfáltica.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

Para asegurar los niveles de proyecto, el bombeo y la correcta compactación de la carpeta de pavimento flexible, fue requerido el uso de un vibro compactador, para que hiciera su función y diera el terminado y las condiciones finales que el proyecto exige.



Figura 5.15. Carpeta asfáltica terminada.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

Con esto se dan por terminados los trabajos de la estructura de pavimento, que no incluyen las señales horizontales ni verticales. A continuación, se presentan los resultados finales.



Figura 5.16. Carpeta asfáltica terminada, con señalamiento horizontal y vertical, así como las obras de drenaje ubicadas según el proyecto.

Fuente: Residencia de Carreteras Alimentadoras Uruapan.

La construcción de la carpeta concluyó satisfactoriamente, cumpliendo con las normas correspondientes y las especificaciones del proyecto. Con bombeo de 2%, 5cm de espesor, 7m de ancho total de corona y con el correcto balizamiento y señalización vertical.

5.4. Definición de ruta crítica.

Para definir la ruta crítica del proyecto, es necesario definir los pasos a seguir en el proceso constructivo, con la finalidad de especificar cuáles actividades dependen de que otras estén terminadas para poder realizarse.

Recordando que las capas en orden ascendente de un pavimento flexible son:

- Terreno natural o cuerpo de terraplén.
- Estructuras de drenaje.
- Capa de subrasante.
- Sub base hidráulica.
- Base hidráulica.
- Obras complementarias de drenaje.
- Riego de impregnación.
- Riego de liga.
- Carpeta asfáltica.

Para analizar el mejor y óptimo proceso de la obra, es necesario identificar los trabajos que se deben ejecutar para completar cada una de las capas y obras hidráulicas.

A continuación, se presentan dichos procesos, así como un tiempo aproximado de ejecución, considerando que el tramo de estudio consta de 2 km de longitud, y contará con un ancho de corona de 7 mts, éstas y las demás

especificaciones de las capas de pavimento que se calcularon en el apartado 5.2 del presente trabajo.

Terracerías.

- a) Para un camino sin recubrimiento, como es el caso del tramo carretero en estudio, es necesario retirar la capa vegetal que puede formarse por falta de mantenimiento o, como se mencionó, un recubrimiento. Con este fin, es necesario escarificar la capa vegetal con un espesor de 15 a 20 centímetros, con el fin de no dejar residuos que puedan afectar la resistencia de las posteriores capas de pavimentos. El despalme deberá haberse terminado dentro de los 500 metros contiguos delante de cada frente de ataque de las terracerías. Considerando los 2 km del proyecto, se estima que los despalmes sean ejecutados en 1 mes.
- b) El proceso de terracerías requiere un corte, en este caso fue necesario para llegar al nivel de proyecto. El corte depende de que la capa vegetal sea retirada antes, pues el material puede requerir ser retirado a bancos de tiro distintos. Sin embargo, el corte puede iniciarse inmediatamente después de iniciados los trabajos de despalme, una vez que este proceso lleve 500 metros de avance y el corte del terreno natural en tipo A puede o no necesitar escarificación con moto conformadora, dependiendo de qué tan consolidado esté el terreno. En caso de no requerirse, se podrá retirar con el uso de la cuchilla de la moto conformadora. El tiempo estimado de corte y retiro de material será de 2 meses.

- c) Los terraplenes necesarios para asegurar el nivel del terreno serán acamellonados y tendidos inmediatamente después de que haya un avance considerable en los cortes requeridos. El cuerpo de terraplén será tendido en un ancho mayor a la corona de proyecto, respetando los taludes establecidos por el proyecto. Se compactará con rodillo vibro compactador, hasta alcanzar un valor de compactación de 90% según la prueba AASHTO estándar. Tendrá una duración aproximada de 2 meses y medio.
- d) La capa de subrasante podrá ejecutarse cuando el terraplén lleve un avance considerable. Es necesario aclarar que al ser tendido y compactado con el rodillo vibro compactador, deberá cumplir con la calidad y el porcentaje de compactación, que en este caso es de 95% de su peso volumétrico seco máximo, según la prueba AASHTO estándar. Tendrá una duración aproximada de 2 meses y medio.

Obras de drenaje.

- a) Las obras de drenaje deberán ser completadas antes de iniciar los trabajos de base hidráulica, pues estarán a nivel de subrasante. Las obras hidráulicas permitirán el paso del agua por debajo de la estructura de pavimento. Estarán conformadas de tubos corrugados y losas de concreto armado, así como muros de mampostería de 3ra clase que confinarán dichos tubos. Su construcción tendrá una duración aproximada de 3 meses.

Pavimentos.

- a) La base hidráulica tendrá que comenzar a construirse cuando las terracerías tengan un 70 ó 75% de avance, para poder tener un proceso fluido. Los materiales de construcción deberán cumplir con las normas correspondientes, mencionadas en capítulos anteriores. Será compactada con rodillo vibro compactador, hasta lograr una compactación del 100% según la AASHTO estándar. La capa de base será terminada en 1 mes.
- b) Con la finalidad de sellar la base, para hacerla impermeable, se rociará un riego de impregnación y posterior poreo, para permitir el paso de vehículos. El riego y poreo deberán concluirse en dos o 3 semanas.
- c) La carpeta podrá iniciarse una vez que todo el riego y poreo estén terminados completamente. Se realizará un riego de liga a razón de 1.20 lts/m², con una petrolizadora debidamente preparada y capaz de cubrir la superficie satisfactoriamente. La carpeta asfáltica se tenderá y compactará teniendo en cuenta el bombeo de proyecto, respetando la temperatura recomendada por el fabricante de la mezcla asfáltica. La carpeta se tenderá y compactará completamente en 1 mes.

Obras complementarias.

- a) Las cunetas que requiera el proyecto se podrán iniciar cuando la carpeta asfáltica esté siendo tendida, pues estas colindan con el nivel terminado de proyecto. Estas deberán estar listas como máximo, cuando la carpeta esté terminada.

Señalamiento.

Todo el señalamiento horizontal y vertical deberá comenzar cuando media carpeta esté terminada o cuando ésta lleve un avance significativo. Los trabajos deberán terminarse en conjunto con la carpeta asfáltica.

CONCEPTO	QUINCENAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
TERRACERIAS								
DESPALMES								
CORTES DEL T.N.								
TERRAPLENES								
SUBRASANTE								
OBRAS DE DRENAJE								
PAVIMENTACION								
BASE HIDRAULICA								
BARRIDO E IMPREGNACION								
CARPETA								
OBRAS COMPLEMENTARIAS								
SEÑALAMIENTO								

Tabla 5.15. Calendario de la ruta crítica.

Fuente: Propia.

Los tiempos fueron basados en las capas de pavimento de diseño propio, así como en la experiencia propia.

Comparando la ruta crítica con el proceso constructivo que se describió en el apartado 5.3, se puede afirmar que el proceso constructivo del tramo carretero estudiado cumple satisfactoriamente con las normas vigentes, así como con los procesos que se consideraron para la elaboración de la ruta crítica.

CONCLUSIÓN

El objetivo general fue determinar si el proceso constructivo del tramo carretero “Naranja de Tapia – Zirahuén” del tramo “La Mojonera – San Isidro”, Km 17+920 al 19+920, fue el correcto y cumple con las especificaciones y calidad de la normativa. Para cumplirlo, fue necesario definir una ruta crítica, estableciendo un proceso constructivo idóneo, así como definir las normas de calidad que deben ser respetadas y acatadas con la finalidad de que la obra sea ejecutada correctamente. También se calculó una sección de pavimento con el método de diseño de la UNAM, haciendo así una comparativa con el diseño que la secretaría designó para el camino estudiado.

Los objetivos específicos se cumplieron debidamente, comenzando por definir que es una vía terrestre y en el apartado 1.1 se definió que una vía terrestre es todo aquel camino que facilita el transporte de personas y vehículos por medio de un mejoramiento en los suelos por donde pasa la vía. También se definieron los tipos de caminos y sus especificaciones en el capítulo 1, en el apartado 1.3 se presentaron los distintos tipos de caminos, así como sus nombres; específicamente en el inciso a) se definieron las clasificaciones de carreteras de manera oficial.

A) Tipo ET-A:

5) Tipo ET2-A2: Para un TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos.

6) Tipo ET4-A4: Para un TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos.

7) Tipo An: siendo “n” mayor o igual a 5 carriles de circulación, para un TDPA de 20,000 vehículos en adelante.

8) An y A4 podrán llevar la inicial “S” para distinguirlas si son de cuerpos separados.

B) Tipo B2: Para un TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos.

C) Tipo C: Para un TDPA de 250 a 1,500 vehículos.

D) Tipo D: Para un TDPA de 100 a 500 vehículos.

De la misma manera, se propuso presentar el proceso constructivo idóneo para el tipo de camino del proyecto, lo cual se realizó con éxito el capítulo 5, apartado 5.3, en el cual se define una ruta crítica, donde se describe un proceso constructivo ideal, apegado a las normas y al cálculo previo de la sección estructural del camino, cumpliendo así con el objetivo.

Fue necesario identificar la normativa vigente y aplicable, lo cual se logró en el capítulo 2, sobre el proceso constructivo, donde es señalado cada componente de una carretera, así como su estructura, en las cuales se menciona la normativa que regirá los procesos y las calidades de los materiales, cumpliendo el objetivo.

En el apartado 5.3 del capítulo 5, se explica por completo el proceso constructivo que se siguió al construir el camino, y se cumplió el objetivo de ejemplificar cada parte del proceso con un reporte fotográfico, que fue facilitado por la SCT.

Una parte primordial del análisis fue la revisión del proceso constructivo del tramo de acuerdo con las normas correspondientes: En el apartado 5.3 se cumple el objetivo de analizar todo el proceso con las normas vigentes, correspondientes a

cada capa y proceso. Se trabajó con los reportes de laboratorio, acerca del control de calidad, los cuales están basados en las normas acordes a cada capa y material.

Ahora bien, con respecto a la pregunta de investigación ¿El proceso constructivo aplicado fue el idóneo?, se puede señalar que sí, se respondió, ya que el proceso constructivo fue correcto, pues este se apegó a las normas de construcción que establece la SCT, así como sus normas de calidad. Terminaron en tiempo y forma los trabajos, con equipos de calidad, mano de obra necesaria y materiales que superaron los requerimientos mínimos que propone la secretaría y que son mencionadas en el presente trabajo.

Se calificó como correcto el proceso de construcción tomando en cuenta, además de lo anterior mencionado, el cálculo de la sección o estructura de pavimento, el cual se analizó con ayuda del método UNAM para el diseño de pavimentos flexibles, para poder determinar con certeza que sección requería el camino, con el TDPA y el tiempo de vida útil que este tendría.

A lo largo del presente trabajo se encontró que una sección de pavimento flexible que debe ser calculada completamente, a veces puede ser modificada en base a la experiencia y criterio del ingeniero. El claro ejemplo está en la sección determinada por medio del cálculo, que se completó empíricamente para ser una sección más grande, en el caso de la presentada por la SCT.

Aunque una sección se defina con las capas de Filtro, Subrasante, Subbase, Base y carpeta, en ocasiones es necesario utilizar otras capas, como por ejemplo el poreo. En la presente investigación se llegó a la conclusión de que no siempre son

necesarias todas las capas de pavimento para lograr las especificaciones de calidad de una carretera, pues el cálculo que toma en cuenta todos los factores necesarios para afectar a la sección puede determinar si se requiere una capa o no.

Dicho lo anterior, se debe mencionar que para el éxito de una obra de infraestructura y en general, las obras civiles, será imprescindible la planeación, diseño y correcta ejecución del proceso constructivo a lo largo y ancho de estas, pues siempre deberán estar apegadas a las normas, a los trabajos correctos y a un análisis previo de alta especificación, de esta manera se asegurará el éxito de las obras, así como la resolución de los problemas que presenta la ingeniería en las vías terrestres. Mencionando lo anterior, y haciendo un repaso de los objetivos generales y particulares, se da por completado con éxito el presente trabajo de tesis.

BIBLIOGRAFÍA.

Crespo Villalaz, Carlos. (2004).

Vías de Comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos.

Ed. Limusa, México.

Cocco Guerrero, Christian Rafael. (2012).

Revisión de la estructura de pavimento flexible en el tramo carretero Carapan – Uruapan del km 16+000 al 17+000 en la localidad de San Lorenzo.

Corro, Santiago, et. al. (1981).

Instructivo Para Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles Para Carreteras.

Instituto de Ingeniería UNAM. Serie No. 444.

Diario Oficial de la Federación. (2017).

NOM-012-SCT-2-2017

Hernández Sampieri, Roberto et. al. (2010).

Metodología de la Investigación.

Editorial McGRAW-HILL, México.

Juárez Badillo, Eulalio, y Rico Rodríguez, Alfonso. (2005).

Mecánica de Suelos Tomo 1: Fundamentos de la Mecánica de Suelos.

Ed. Limusa, México.

Kreamer, Carlos, et. al. (2003).

Ingeniería de Carreteras Volumen 1.

Ed. McGRAW-HILL, España.

Mendieta Alatorre, Ángeles. (1992).

Métodos de Investigación y Manual Académico.

Ed. Porrúa, México.

Mier Suárez, José Alfonso. (1987).

Introducción a la Ingeniería de Caminos.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

Olivera Bustamante, Fernando. (2009).

Estructuración de Vías Terrestres.

Ed. CECSA, México.

Rico y Del Castillo. (1974).

La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Volumen 1.

Editorial Limusa, México.

Rico y Del Castillo. (2005).

La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Volumen 2.

Editorial Limusa, México.

SCT. (2016).

Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.

Dirección General de Servicios Técnicos.

SCT. (S/F).

Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos Para las Carreteras de la República Mexicana.

Dirección general de servicios técnicos.

Tamayo, Mario y Tamayo. (2003).

EL Proceso de la Investigación Científica.

Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores, México.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN.

http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/16/16056.pdf

<http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825215224>

http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825092092.pdfes

<https://mexico.pueblosamerica.com/i/san-isidro-254/>

<https://mexico.pueblosamerica.com/i/la-mojonera-17/>

<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4305/sct/sct.htm>

<https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>

<https://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html>

<https://www.microregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?>

www.sct.gob.mx

Archivo fotográfico de la Residencia de Carreteras Alimentadoras SCT.