



# UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México

## Escuela de Ingeniería Civil

### DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CALLE 20 DE NOVIEMBRE EN LA CIUDAD DE URUAPAN, MICHOACÁN.

Tesis

Para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Fernando Aguilar Sandoval

Asesor:

Ing. Sandra Natalia Parra Macías

Uruapan, Michoacán, a 28 de Enero 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.

# ÍNDICE

## INTRODUCCIÓN

Antecedentes. . . . .	1
Planteamiento del problema. . . . .	2
Objetivo general. . . . .	3
Pregunta de investigación.. . . .	3
Justificación.. . . .	4
Marco de referencia . . . . .	4

## Capítulo 1.- Urbanización

1.1. – Definición de urbanización. . . . .	6
1.2. – Definición de transporte. . . . .	6
1.3. – Ingeniería de tránsito vial. . . . .	7
1.4. – Sistemas de transporte. . . . .	8
1.4.1. – Estructura del sistema de transporte. . . . .	8
1.5. – Sistemas y modos de transporte. . . . .	10
1.6. – Elementos del tránsito. . . . .	12
1.6.1. – Usuario. . . . .	12
1.6.2. – Vehículo. . . . .	13

1.6.3. – Infraestructura. . . . .	13
1.6.4. – Medio ambiente. . . . .	13
1.6.5. – Dispositivos de control. . . . .	14
1.6.5.1. – Señales preventivas. . . . .	16
1.6.5.2. – Señales restrictivas. . . . .	20
1.6.5.3. – Señales informativas. . . . .	23
1.6.5.3.1. – Señales de identificación. . . . .	23
1.6.5.3.2. – Señales de destino. . . . .	25
1.6.5.3.3. – Señales de recomendación. . . . .	27
1.6.5.3.4. – Señales de información general. . . . .	27
1.6.5.3.5. – Señales de servicio y turísticas. . . . .	28
1.6.5.4. – Dispositivos para protección en obras. . . . .	30

**Capítulo 2. – Diseño de un pavimento rígido.**

2.1. – Definición de vialidad urbana. . . . .	32
2.2. – Las vías terrestres en México. . . . .	32
2.3. – Clasificación funcional de vialidad. . . . .	33
2.4. – Clasificación del sistema de vialidades . . . . .	34
2.4.1. – Vías de acceso controlado . . . . .	35

2.4.2. – Arterias.	35
2.4.3. – Calles colectoras	36
2.4.4. – Calles locales.	36
2.5. – Clasificación administrativa.	36
2.6 – Clasificación técnica oficial..	37
2.7. – Alineamiento..	37
2.8. – Pendiente.	38
2.9. – Visibilidad.	39
2.10. – Tipo de tránsito.	39
2.11. – Pavimento.	40
2.11.1. – Tipos de pavimentos.	40
2.11.1.1. – Pavimentos flexibles.	41
2.11.1.1.1. – Carpetas asfálticas.	42
2.11.1.1.2. – Características de los productos asfálticos.	43
2.11.1.1.3. – Tipos de carpetas asfálticas.	43
2.11.2. – Pavimentos rígidos.	44
2.11.2.1. – Elementos de un pavimento rígido.	45
2.11.2.1.1. – Capa subrasante.	45

2.11.2.1.2. – Capa sub-base.	46
2.11.2.1.3. – Losa de concreto hidráulico.	46
2.11.2.1.3.1. – Resistencia del concreto hidráulico.	47
2.11.2.2. – Esfuerzos en pavimentos rígidos.	47
2.11.2.3. – Proyecto ejecutivo para un pavimento rígido.	48
2.11.2.3.1. – Proceso constructivo de pavimento rígido.	52
2.11.2.4. – Pavimento rígido por método AASHTO	53
2.11.2.5. – Concreto hidráulico.	65
2.11.2.6. – Cemento Portland.	65
2.11.2.7. – Revenimiento.	71

### **Capítulo 3.- Resumen de Micro y Macro Localización.**

3.1. – Generalidades.	72
3.2. – Objetivo.	74
3.3. – Resumen ejecutivo	74
3.4. – Entorno geográfico	74
3.5. – Macro y micro localización.	76
3.6. – Informe geográfico.	77

### **Capítulo 4.- Metodología.**

4.1.- Método empleado.	82
4.1.1.- Método matemático.	83
4.2.- Enfoque de la investigación.	84
4.2.1.- Alcance de la investigación.	86
4.3.- Diseño de la investigación.	87
4.4.- Instrumentos de recopilación de datos.	99
4.5.- Descripción del proceso de investigación.	90

## **Capítulo 5.- Cálculo, Análisis e Interpretación de Resultados.**

5.1.- Plano topográfico.	92
5.2.- Diseño del pavimento.	93
5.2.1.- Base y sub-base.	105
<b>Conclusión</b>	108
<b>Bibliografías.</b>	110

## **Anexos**

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes.**

Las vías terrestres es uno de los campos más fascinantes y completos dentro de la ingeniería civil, por lo que con los avances de la civilización se ha vuelto una necesidad el poder transportarse de un sitio a otro tanto para comunicación como para el transporte de alimentos.

Con el invento de la rueda, surgió la necesidad de construir mejores caminos para el transporte tanto para la comodidad como para un viaje más rápido. Así, las vías terrestres son una de las infraestructuras más importantes para el desarrollo del país por lo que en su mayor parte son llevadas a cabo por organismos gubernamentales. Diciendo esto las Vías Terrestres deben diseñarse bajo ciertos criterios económicos, ecológicos y de ingeniería, puesto que todo esto dirigido hacia una sociedad que será beneficiada.

“Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendida(s) entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento” (Rico, Del Castillo; 1998, 99). Las principales funciones de un pavimento es la de construir una superficie de rodamiento uniforme, teniendo un color y textura adecuado, como también el resistir diversos factores como la acción del tránsito y algunos factores ambientales; todo esto para poder permitir el tránsito de vehículos con una mayor comodidad y seguridad.

De manera práctica se pueden clasificar dos tipos de pavimentos los cuales son: rígidos y flexibles. Para poder diferenciarlos se tomará en consideración los materiales

con los cuales está conformado y de la distribución de los esfuerzos y deformaciones que pueda causar el paso de vehículos.

Con el paso del tiempo se ha encontrado una manera de clasificar el pavimento la cual es mediante su superficie de rodadura; así pues, aquellas que tengan una carpeta asfáltica se clasifican como flexibles, y aquellas cuya base sea una losa de concreto hidráulico se clasifican como rígidas.

Las capas con las que cuenta un pavimento flexible son subrasante, sub base, base y una carpeta asfáltica; mientras que en un pavimento rígido son subrasante, sub base y una capa de concreto hidráulico.

### **Planteamiento del Problema.**

Uno de los problemas tanto para el vehículo como para la seguridad de la persona, es el camino en malas condiciones; por lo que es necesario contar con un pavimento que proporcione la seguridad y comodidad a la hora de transitar por él, como también el garantizar que sea durable.

Dentro de la ciudad, es primordial contar con pavimentos durables para el tránsito de vehículos de una manera fluida, cómoda y segura.

Para eso será necesario realizar estudios y diseño adecuados, para este caso la generación de una propuesta de diseño para un pavimento, con la finalidad de encontrar un pavimento que sea viable para este tramo manteniendo un funcionamiento adecuado, facilitando el paso de vehículos y la comodidad del mismo, y que esté dentro de los parámetros económicos.

## **Objetivo.**

Determinar la mejor propuesta de diseño para el reencarpetamiento de la calle 20 de noviembre localizada en Uruapan, Michoacán; que abarca desde la calle Emilio Carranza hasta la calle Lic. Primo Verdad; basándose en los principales métodos para el diseño de esta estructura.

## **Objetivos Particulares:**

1. Definir un concepto adecuado de Urbanización.
2. Determinar cómo está formado el pavimento rígido.
3. Diseñar un pavimento para la propuesta antes mencionada.

## **Pregunta de Investigación.**

Para la presente investigación se pretende conocer con claridad ¿Cuál sería una propuesta de diseño óptimo de un pavimento para la calle 20 de noviembre ubicada en la ciudad de Uruapan, Michoacán?

Además, otras preguntas que se desean conocer en dicha investigación es el por qué se optó por un pavimento rígido y no uno flexible; posteriormente saber que materiales serian adecuados para dicho pavimento, así como también saber el tipo de vehículo que transitara por dicha calle y que beneficio se obtiene al reencarpetar dicha calle con concreto o asfalto.

## **Justificación.**

Por medio de la presente investigación se pretende generar el diseño de un pavimento, con el cual los usuarios beneficiados serán todos los habitantes de la ciudad, así como también todos aquellos que transiten por la avenida incluyendo un mejoramiento para la seguridad y comodidad de los mismos.

Tomando en cuenta que es una de las calles más transitadas puesto que es una de las calles de desahogo del centro, el beneficio para esta obra en un futuro será bastante, puesto que con la calidad del diseño del pavimento y el crecimiento urbano generará un mejor aprovechamiento de la misma. Así como también el uso de referencia para futuros proyectos viales, ya sea privado o público.

## **Marco de referencia.**

Uruapan es la segunda ciudad más importante del Estado de Michoacán, como también es la segunda más poblada; al tener un clima templado tiene una gran producción de aguacate, por lo que es conocida como “La capital del aguacate”.

La cultura que abarca la ciudad es muy enriquecedora, dentro de sus artesanías podemos encontrar lacas, jícaras, bateas y máscaras hechas a partir de una famosa técnica conocida como “maqué”. También debido a la inmigración de las regiones de tierra caliente y las comunidades indígenas, se ha generado una gran diversidad gastronómica, pues ofrece una variedad de platillos regionales.

Por parte del sector servicios y el comercio, se compone de hoteles y restaurantes de la ciudad, así como los centros comerciales en los cuales participan

grandes cadenas internacionales. La parte industrial de la ciudad no está muy desarrollada, aunque se cuentan con empresas para la fabricación de plásticos, papel, la fabricación de chocolate y en su mayor parte, empaques y procesadoras de aguacates.

La mancha urbana dentro del municipio de Uruapan ha crecido ampliamente, sin embargo, el centro histórico conserva la urbanización casi intacta desde su fundación; sobre todo las calles y banquetas conservan anchos y parámetros correspondientes a la traza urbana de aquella época.

La calle 20 de noviembre, que se encuentra incluida en este tipo de traza urbana, inicia desde la Avenida Emilio Carranza hasta la Calle Lic. Primo Verdad, tiene alrededor de 1,03 km de distancia. Al ser una avenida muy transitada de la ciudad, es de vital importancia que cuente con los parámetros de seguridad y comodidad para sus habitantes y a quienes pasen por ahí.

# **CAPÍTULO 1**

## **URBANIZACIÓN**

En este capítulo se habla sobre las generalidades de la urbanización, dentro de lo cual se aborda su definición, la estructura de las vialidades, así como también se habla de los elementos del tránsito urbano y también las señalizaciones como parte del proyecto vial.

### **1.1 – Definición de Urbanización.**

La urbanización es el crecimiento (físico) de un área urbana como resultado del cambio global; esto también se puede considerar como el movimiento de personas de un área rural a un área urbana.

La urbanización está estrechamente relacionada con la modernización e industrialización, que son los factores principales para ello; esto se puede definir como una condición en un tiempo establecido.

### **1.2 – Definición de transporte.**

“El transporte es el movimiento de personas y mercancías por los medios que se utilizan para tal fin, para llenar objetos básicos que requieren transferencia de un lugar a otro” (Vargas; 2012: 11). En cuanto más compleja se vuelve la sociedad, mayor es la necesidad de unir distintas actividades que se toman en lugares separados.

Según Cal y Mayor (1998) en determinada área, ya sea urbana o rural, se tendrá un deseo de crecer y prosperar por lo cual será necesario planear, estudiar, proyectar, construir, operar, conservar y administrar nuevos sistemas que sean lo suficientemente amplios, ya sea para el transporte público o privado, para conectar e integrar las actividades de los diferentes lugares; sabiendo esto es necesario el movimiento de personas y mercancías. Para estos sistemas como para los recursos existentes tienen que ser manejados de manera óptima para el aprovechamiento máximo del flujo libre en el tránsito.

### **1.3 – Ingeniería de tránsito vial.**

Siguiendo a Cal y Mayor (1998), señalan que la ingeniería de tránsito vial es confundida con la ingeniería de transporte por lo que el Instituto de Ingenieros de Transporte, citado por W.S Homburger (1996), define de manera siguiente a ambas:

- Ingeniería de transporte: aplicación de principios tecnológicos y científicos dentro de la planeación al proyecto funcional, operación y administración de las diversas partes del transporte; esto con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de manera segura, rápida, cómoda, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente.
- Ingeniería de tránsito vial: parte de la ingeniería de transporte que tiene como objetivo la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tránsito vehicular por las calles y carreteras, como también las redes, las terminales, tierras adyacentes y otras relaciones con modos de transporte.

Como se menciona anteriormente, la ingeniería de tránsito vial es una parte dentro de la ingeniería de transporte y a su vez el proyecto geométrico es una etapa de la ingeniería de tránsito. Este proyecto geométrico consiste en correlacionar los elementos físicos y las características de los vehículos de las calles y carreteras, todo esto gracias a la aplicación de matemáticas, física y la geometría.

También afirmado por Vargas (2012), la ingeniería de tránsito es una parte dentro de la ingeniería de transporte la cual se encarga de la planeación, el proyecto geométrico, la operación vehicular en calles y carreteras, sus redes terminales y los diferentes modos de relación con el transporte.

#### **1.4 – Sistema de transporte.**

Según Cal y Mayor (1998), el sistema de transporte está relacionado con un sistema socioeconómico el cual es una red multimodal simple, visto de esta manera para su análisis, pero sin separarlo del análisis social, económico y político.

##### **1.4.1 – Estructura del sistema de transporte.**

El análisis de sistema de transporte, según Vargas (2012), debe de considerar lo siguiente:

- Todos los modos de transporte.

- Todo elemento dentro del sistema de transporte, los cuales son: personas, mercancías, vehículos, infraestructuras, puntos de transferencia, redes y terminales.
- Los movimientos del sistema, desde el origen hasta el destino.
- El viaje total, considerando desde el origen hasta el destino en sus diversos modos de transporte.

Todo esto es llevado a cabo mediante la unión de redes, las cuales están compuestas de la siguiente forma:

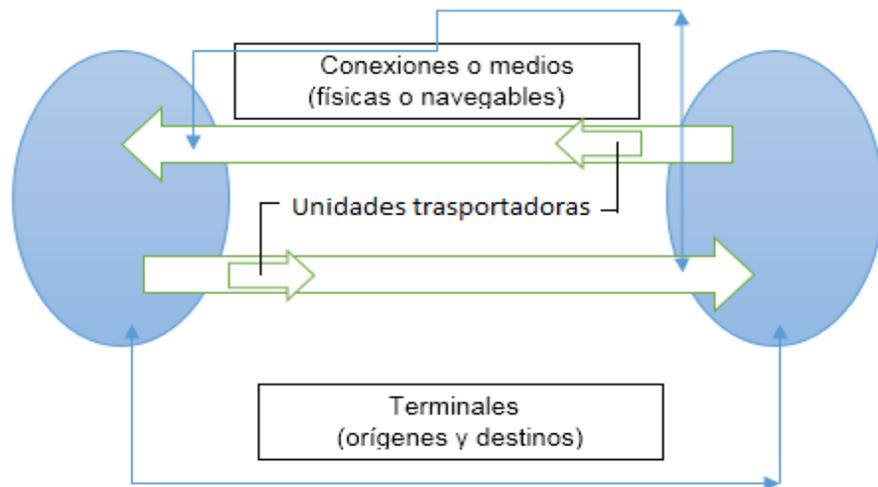


Imagen 1.1. – Estructura básica del sistema de transporte

Fuente: Adaptación propia.

En el diagrama anterior se pueden apreciar tres clases de relaciones, la primera de ellas son las conexiones y medios los cuales son aquellas estructuras que conectan las terminales sobre las cuales se desplazan las unidades transportadoras, además

pueden ser físicas (carreteras, calles, ductos, etc.) y navegables (mares, ríos, aire y el espacio). El siguiente de ellos son las unidades transportadoras las cuales son aquellas en las cuales se desplaza la persona o la mercancía, el ejemplo más claro sería el automóvil; y por último las terminales, esto se refiere a los orígenes y destinos referentes a los cambios de unidad transportadora o modo, estos pueden ser grandes (aeropuertos, estaciones, estacionamientos), pequeños (plataformas o zonas de carga) entre otros.

### **1.5. – Sistemas y modos de transporte.**

Mencionado por Cal y Mayor (1998), la mayoría de las actividades de transporte son llevadas a cabo por cinco grandes sistemas los cuales son: carretero, ferroviario, aéreo, acuático, y los flujos continuos. Estos cinco sistemas pueden dividirse en varios modos, pero estos se basan en tres atributos los cuales son:

- Ubicación: éste se refiere a la accesibilidad del sistema (la facilidad de las rutas directas entre puntos extremos y la facilidad para un mejor acomodo del tránsito variado).
- Movilidad: se refiere a la cantidad de tránsito que puede estar dentro del sistema y también la rapidez para transportarse.
- Eficiencia: menciona que debe haber relación entre los costos totales del transporte y su productividad (los costos son los directos más los indirectos).

SISTEMA	MEDIO	UBICACIÓN	MOVILIDAD	EFICIENCIA	MODO	SERVICIO DE PASAJEROS	SERVICIO DE CARGA
CARRETERO	CARRETERAS Y CALLES	Muy alta. Acceso directo a la propiedad lateral. Rutas directas limitadas por la topografía y el uso de suelo	velocidades limitadas por factores humanos y controles. Baja capacidad vehicular, pero alta disponibilidad de vehículos.	No tan alta en términos de seguridad, energía y algunos costos.	Camión		Interurbano, local y rural. Hacia centros de procesamiento y mercados. Cargas pequeñas y contenedores.
					Autobús	Interurbano y local	Paquetes (interurbano).
					Automóvil	Interurbano y local	Objetos personales
					Bicideta	Local y recreacional	Insignificantes.
FERROVIARIO	RIELES	Limitada por la alta inversión en la estructura de las rutas y por la topografía.	Mayor velocidad y capacidad que los modos por carreteras.	Generalmente alta, pero los costos laborales pueden bajar la eficiencia	Ferrocarril	Interurbano	Interurbano. En volumen. Contenedores.
AÉREO	AIRE	Los costos de aeropuertos reducen la accesibilidad. Rutas completamente directas.	Las velocidades son las más altas, con capacidad vehicular limitada.	Moderadamente baja en términos de energía y costos de operación.	Metro	Regional y urbano	Ninguno.
ACUÁTICO	MARES Y RÍOS	Rutas directas. Accesibilidad por la disponibilidad de mares y ríos navegables y puertos seguros	Baja velocidad. Capacidad muy alta de vehículo.	Muy alta por los bajos costos y poco consumo de energía. La seguridad es variable.	Aviación comercial	Interurbano a grandes distancias. Transoceánico.	Mercancías de alto valor. Contenedores.
					Aviación general	Interurbano, recreacional y de negocios.	Poco
					Barcos	Tránsito de cruceo	En volumen (petróleo). Contenedores
FLUJOS CONTINUOS	DUCTOS RODILLOS CABLES	Limitadas a pocas rutas y puntos de acceso	Bajas velocidades. Alta capacidad	Generalmente alta. Bajos costos por consumo de energía.	Cabotaje y fluvial	Transbordo en lanchas y barcas.	Volúmenes medianos de carga.
					Ductos	Ninguno	Líquidos y gases.
					Bandas	Escaleras y bandas a	Manejo de materiales.
					Cables	Transporte en cabinas.	Manejo de materiales.

Tabla 1.1.- Sistema Global de Transporte

Fuente: Elaboración propia basado en Cal y Cárdenas (1994, 2006)

## **1.6. – Elementos del tránsito.**

Vargas (2012) señala que los elementos que integran el tránsito son los siguientes: el usuario, el vehículo y la infraestructura, el medio ambiente y los dispositivos de control.

### **1.6.1. – Usuario.**

“El usuario es cualquier persona que necesite desplazarse de un punto de origen a un punto de destino, para realizar una acción determinada por el” (Vargas, 2012: 21). Lo que da a entender que un usuario es todo aquel que tiene la necesidad de desplazarse de un punto a otro realizando una acción determinada.

El usuario se puede clasificar de acuerdo a la acción que realiza durante su desplazamiento, y es de la siguiente manera:

- Conductor: todo aquel usuario que maneje un vehículo para desplazarse.
- Pasajero: usuario que es desplazado en un vehículo por otra persona.
- Peatón: es todo aquel usuario que se desplaza a pie, y dentro de esta clase se incluyen aquellos que se desplazan por medio de patines, silla de ruedas, etc.

Por otra parte, los conductores también se clasifican de acuerdo al vehículo que utilizan y el servicio que presentan:

- Conductor de bicicleta.
- Conductor de motocicleta.
- Conductor de servicio particular (vehículos de carga, automóviles)

- Conductor de servicio público (transporte de pasajeros, vehículos de carga)

### **1.6.2. – Vehículo.**

Como menciona Vargas (2012), un vehículo es aquel medio que permite el traslado de una o varias personas de un lugar a otro. El vehículo puede ser de diferentes maneras, una es cuando transporta personas y es llamado vehículo de transporte de personal, y cuando este transporta material es llamado vehículo de transporte de carga.

Los vehículos más comunes suelen ser los terrestres, ya que estos son más versátiles, económicos, accesibles y con asequibilidad.

### **1.6.3. – Infraestructura.**

La infraestructura dentro de la ingeniería de tránsito hace referencia a aquellas instalaciones u obras para permitir el paso vehicular. Para el transporte terrestre, Vargas (2012) menciona que una infraestructura es el conjunto de elementos que forman una vía, el espacio público para el paso de peatones y el equipamiento que permita la realización de maniobras de acceso y descenso de pasajeros y/o carga.

### **1.6.4. – Medio ambiente.**

Vargas (2012) hace referencia a que el medio ambiente es la forma como interactúa el entorno que afecta a los seres vivos, y en este caso al tránsito, la manera de interactuar el hombre, los vehículos y la infraestructura en el entorno del tránsito y como esto incide en el bienestar del usuario y los seres vivos de la tierra.

A medida que crece el transporte, este trae consigo condiciones no deseadas para el medio ambiente, como lo es la contaminación del aire, la contaminación auditiva y la contaminación del agua. Todo esto repercute en la salud de los seres vivos y en especial para los seres humanos ya que las altas condiciones de gases emitidos por los vehículos pueden producir enfermedades en las vías respiratorias.

#### **1.6.5. – Dispositivos de control.**

Estos dispositivos tienen como finalidad la de controlar y regular el tránsito de un lugar para un mejor manejo y seguridad del mismo, de acuerdo con Vargas (2012) estos dispositivos se pueden clasificar de la siguiente manera:

##### **1. Señales**

- Preventivas.
- Restrictivas.
- Informativas.

##### **2. Marcas.**

- Rayas
- Símbolos.
- Letras.

##### **3. Obras y dispositivos diversos.**

- Cercas.
- Defensas.
- Indicadores de obstáculos.

- Indicadores de alineamiento.
- Tachuelas o botones.
- Reglas o tubos guía.
- Bordos.
- Vibradores.
- Guardaganados.
- Indicadores de curva peligrosa.

#### 4. Dispositivos para protección en obra.

- Señales preventivas, restrictivas e informativas.
- Canalizadores.
- Señales manuales.

#### 5. Semáforos.

- Vehiculares.
- Peatonales.
- Especiales.

Para lo cual deben llevar una serie de requisitos para mantener el control, los cuales son los siguientes:

- Satisfacer una necesidad.
- Llamar la atención.
- Transmitir un mensaje claro y simple.
- Imponer respeto a los diversos usuarios de la calle y las carreteras.
- Estar en el lugar apropiado con el fin de dar tiempo para reaccionar.

Generalmente el encargado de llevar a cabo con seguridad y efectividad los dispositivos de control es un ingeniero de tránsito, dentro de lo cual hay cuatro consideraciones básicas para asegurar que sean entendibles, efectivos y que satisfagan los requisitos anteriores; Vargas (2012) dice que estos factores son:

- Proyecto, el cual es una combinación de características (las cuales pueden ser la forma, el tamaño, el color, composición, etc.), que deberá llamar la atención de los usuarios y dar un mensaje claro y simple.
- Ubicación, esto indica la localización de los dispositivos de control los cuales deberán estar ubicados dentro del rango visual del usuario, esto para llamar su atención, facilitar su interpretación y lectura, y además de acuerdo con la velocidad del vehículo dar un tiempo de reacción apropiado.
- Uniformidad, los dispositivos de control deberán aplicarse de una manera consistente para encontrar igual interpretación de los problemas de tránsito.
- Conservación, esto indica que se deberá mantener física y funcionalmente conservada (lo cual indica que esté limpia y legible), lo mismo que deberán colocarse o quitarse de acuerdo al caso o la necesidad de ello.

#### **1.6.5.1. – Señales preventivas.**

“Las señales preventivas, identificadas con el código SP, tiene como función dar al usuario un aviso anticipado para prevenirlo de la existencia, sobre o algún lado de la carretera o calle, de un peligro potencial y su naturaleza”. (Vargas; 2012: 118)

Esto indica que las señales preventivas son aquellas que tienen como finalidad dar una advertencia al usuario con respecto al camino la cual puede ser una condición

peligrosa y la naturaleza de esta. Estas señales tienen forma de rombo y su color tiende a ser amarillo con orla negra y pictogramas negros.

Las características para poder justificar el uso de estas señales son las siguientes:

- Cambios en el alineamiento horizontal y vertical, que es cuando se presentan curvas.
- Presencia de intersecciones con carreteras o calles, así como también la presencia de pasos a desnivel con vías de ferrocarril.
- Reducción o aumento del número de carriles o cambios de la anchura del pavimento.
- Proximidad de un semáforo o donde se debe de hacer un salto.
- Pasos peatonales y cruces escolares.
- Diferencias en la superficie de rodamiento, como lo pueden ser huecos y protuberancias.
- Presencia de gravas sueltas o derrumbes, etc.
- Aviso de anticipación por obras de construcción.

La ubicación de estas señales será en sentido longitudinal y lateral, en sentido longitudinal serán colocadas antes del riesgo a una distancia dependiente de la velocidad de aproximación. Para el sentido lateral las señales serán fijadas en uno o dos postes colocados a un lado del acotamiento en carreteras o sobre la banqueta en calles.

A continuación, se presenta una imagen con las diversas señales de prevención que hay, mostrando sus características, ya mencionadas anteriormente, y como también mostrando el código con el cual se identifica cada una.

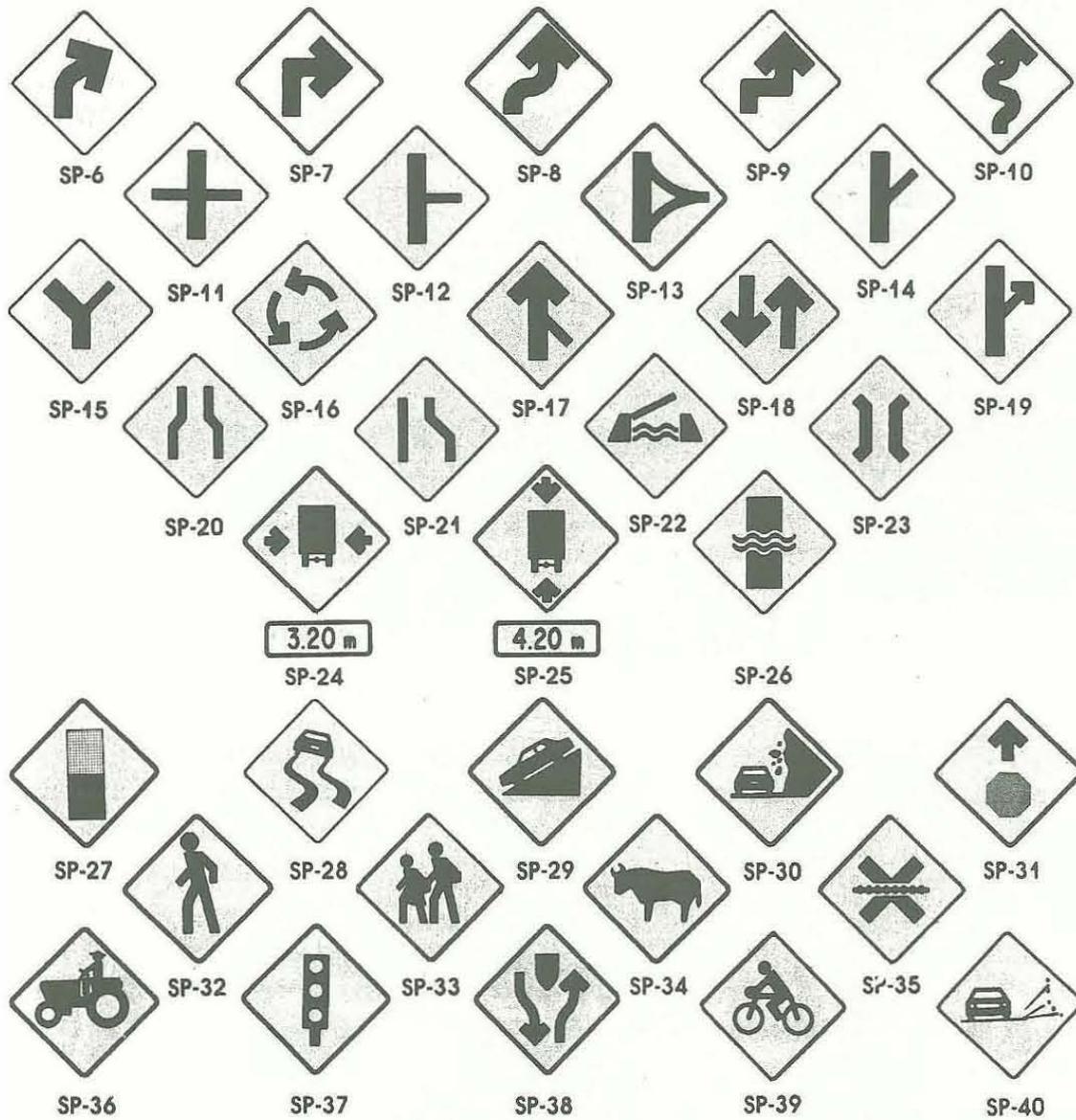


Imagen 1.2 – Señales Preventivas

Fuente: Manual de dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras,  
(SCT-1986)

<b>Código de la señal</b>	<b>Significado de la señal</b>
SP-6	Curva
SP-7	Codo
SP-8	Curva inversa
SP-9	Codo inverso
SP-10	Camino sinuoso
SP-11	Cruce de caminos
SP-12	Entronque en T
SP-13	Entronque en delta
SP-14	Entronque lateral oblicuo
SP-15	Entronque en Y
SP-16	Glorieta
SP-17	Incorporación de tránsito
SP-18	Doble circulación
SP-19	Salida
SP-20	Estrechamiento simétrico
SP-21	Estrechamiento asimétrico
SP-22	Puente móvil
SP-23	Puente angosto
SP-24	Anchura libre
SP-25	Altura libre
SP-26	Vado
SP-27	Termina pavimento
SP-28	Superficie derrapante
SP-29	Pendiente peligrosa
SP-30	Zona de derrumbes
SP-31	Alto próximo
SP-32	Peatones
SP-33	Escolares
SP-34	Ganado
SP-35	Cruce de ferrocarril
SP-36	Maquinaria agrícola
SP-37	Semáforo
SP-38	Camino dividido
SP-39	Ciclistas
SP-40	Grava suelta

Tabla 1.2 – Significado de las señales preventivas.

Fuente: Adaptación propia

### **1.6.5.2. – Señales restrictivas.**

“Las señales restrictivas, identificadas con el código SR, tienen como función expresar en la carretera o calle alguna fase del Reglamento de Tránsito, para su cumplimiento por parte del usuario”. (Vargas; 2012: 124)

Generalmente tienden a restringir algún movimiento del usuario dando a señalar una prohibición o una limitación, en la cual infringir la indicación conlleva a una sanción prevista por las autoridades de tránsito. Éstas se pueden clasificar de la siguiente manera:

- De derecho de paso o de vía.
- De inspección.
- De velocidad máxima o mínima.
- De movimientos o circulación.
- De mandato por restricciones y prohibiciones.
- De estacionamiento.

Su forma tiende a ser circular con fondo blanco y aureola roja, a excepción de las señales de sr-02 PARE y sr-04 NO PASE, las cuales tienen fondo rojo y letra blanca; la señal de sr-02 CEDA EL PASO, con forma triangular, y por último las señales de sr-38 y sr -39 SENTIDO DE CIRCULACIÓN, las cuales tienen forma rectangular con fondo negro y letras blancas.

La ubicación longitudinal según Vargas (2012), será en el punto mismo donde existe la restricción o la limitación. En el sentido lateral será colocada la señal en uno

o dos postes colocados a un lado del acotamiento en carreteras o sobre la banqueta en calles.

A continuación, se muestra una imagen donde muestra las diversas señales de restricción, así como también muestra sus características y su código único.



Imagen 1.3 – Señales Restrictivas

Fuente: Manual de dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras,  
(SCT-1986)

En la siguiente tabla se muestra el significado de cada una de las señales indicadas por su código:

<b>Código de la señal</b>	<b>Significado de la señal</b>
SR-6	Alto
SR-7	Ceda el paso
SR-8	Inspección
SR-9	Velocidad máxima permitida
SR-10	Vuelta continua hacia la derecha
SR-11	Circulación
SP-11A	Circulación
SR-12	Solo vuelta hacia la izquierda
SR-13	Conserve su derecha
SR-14	Doble circulación
SR-15	Altura libre máxima
SR-16	Anchura máxima
SR-17	Peso restringido
SR-18	Prohibido rebasar
SR-19	Parada prohibida
SR-20	No pasar
SR-21	Estacionamiento permitido en un corto periodo
SR-22	Prohibido estacionarse
SR-23	Prohibida vuelta a la derecha
SR-24	Prohibida vuelta a la izquierda
SR-25	Prohibido el retorno
SR-26	Prohibido seguir de frente
SR-27	Prohibido el paso a bicicletas, vehículos pesados y motocicletas
SR-28	Prohibido el paso de vehículos de tracción animal
SR-29	Prohibido el paso de maquinaria pesada
SR-30	Prohibido el paso de bicicletas
SR-31	Prohibido el paso de peatones
SR-32	Prohibido el paso de vehículos pesados
SR-33	Prohibido el uso de señales acústicas

Tabla 1.2 – Significado de las señales restrictivas.

Fuente: Adaptación propia

### **1.6.5.3. – Señales informativas.**

“Las señales informativas, identificadas con el código SI, tienen como función guiar al usuario a lo largo de su itinerario por calles y carreteras e informarle sobre nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés, servicios, kilometrajes y ciertas recomendaciones que conviene observar”. (Vargas; 2012: 125)

Estas señales tienen como objetivo principal informar al usuario para que este puede tomar una acción adecuada según sea su destino. Estas señales pueden clasificarse de la siguiente manera:

- De Identificación (SII).
- De destino (SID).
- De recomendación (SIR) e información general (SIG).
- De servicios y turísticas, de servicios (SIS) y turísticas (SIT).

#### **1.6.5.3.1. – Señales de identificación.**

“Indicadas con el código SII, tienen como función identificar las calles según su nombre y nomenclatura, y las carreteras según su número de ruta y/o kilometraje”. (Vargas; 2012: 127)

Estas señales tienen diversas formas según sea el caso, según su nomenclatura serán rectangulares con su mayor dimensión horizontal y con leyendas en ambas caras. En cambio, las señales de ruta tendrán una forma de escudo (federal, estatal o camino rural), colocado sobre el tablero e incluye una flecha que indica la trayectoria de la ruta y por ultimo las señales de kilometraje serán rectangulares con

su mayor dimensión horizontal. El color de las señales será de un fondo blanco reflejante y letras, números, flechas, de color negro.

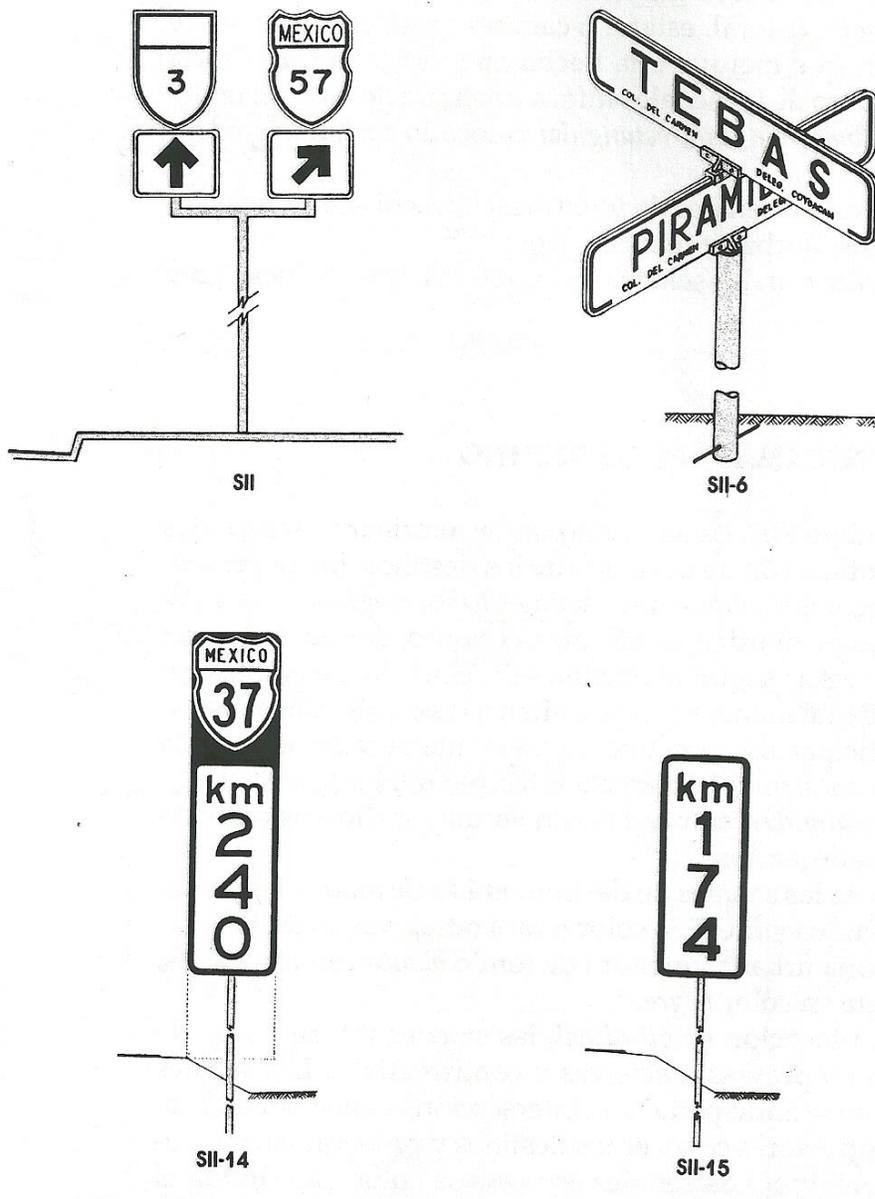


Imagen 1.4 – Señales Informativas de identificación.

Fuente: Manual de dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras,  
(SCT-1986)

#### **1.6.5.3.2. – Señales de destino.**

“Indicadas con el código SID, tienen como función informar a los usuarios sobre el nombre y la ubicación de cada uno de los destinos que se presentan a lo largo de su recorrido. Podrán ser señales bajas, diagramáticas y elevadas”. (Vargas; 2012: 129)

Estas señales son primordiales en las intersecciones, puesto que el usuario debe elegir la ruta a seguir según el destino seleccionado. Las señales van a ser empleadas de una manera secuencial, de tal manera que estas permitan a los usuarios una anticipación para maniobrar en la intersección y así poder ejecutarla sin problemas.

La forma de estas señales es de manera rectangular, colocadas con su mayor dimensión horizontal y sobre apoyos adecuados capaces de resistir su peso. El color para estas señales es de un verde mate; y sus letras, número, flechas y escudos, serán de color blanco reflejante a excepción de las señales diagramáticas en zona urbana.

Vargas (2012) menciona que, de acuerdo a su ubicación longitudinal, estas señales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Señales previas: deberán colocarse de manera anticipada a la intersección, para que el usuario pueda tomar una decisión de acuerdo a su destino, como también informar los diversos destinos que hay.
- Señales decisivas: estas serán colocadas de manera que el usuario pueda optar por la ruta más conveniente.

- Señales confirmativas: estas serán colocadas después de una intersección o a la salida de una población, colocadas a una distancia donde no exista el efecto de los movimientos direccionales ni la influencia del tránsito vehicular.

A continuación, se muestran unas imágenes de los diferentes tipos de señales informativas de destino.

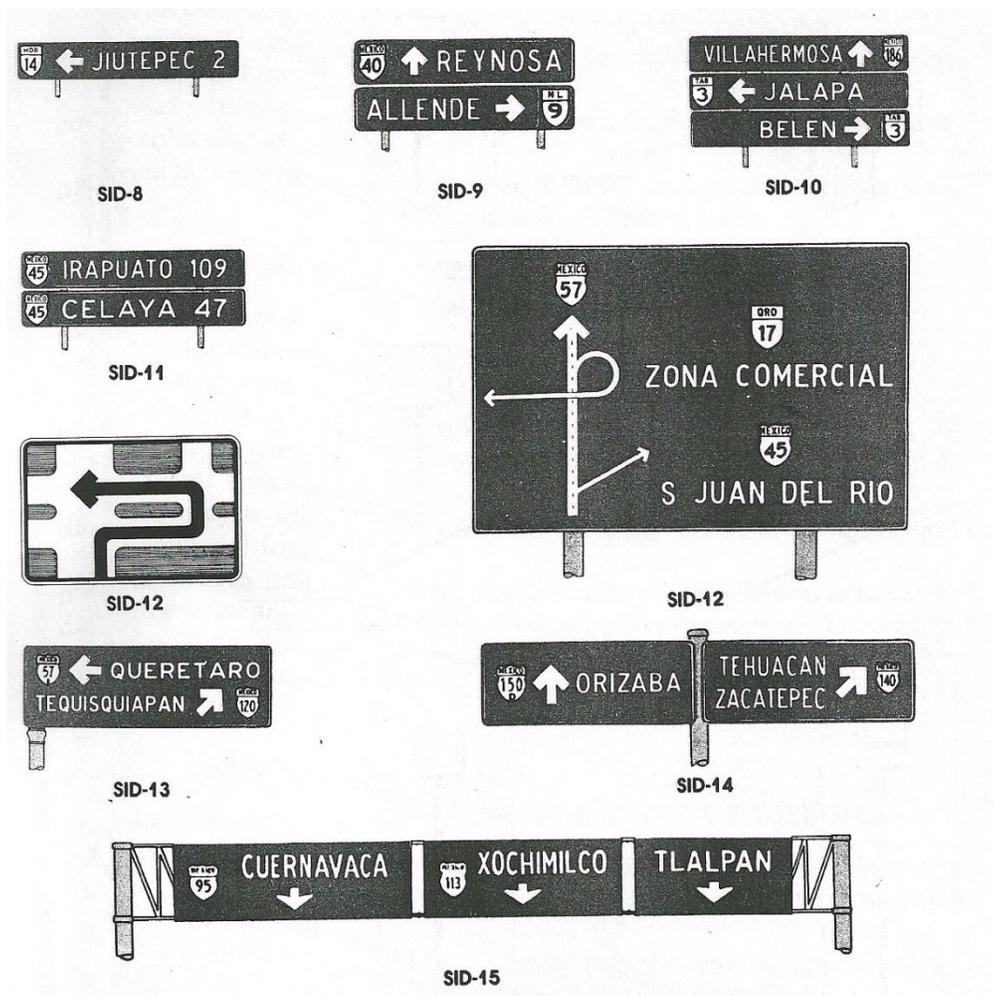


Imagen 1.5 – Señales Informativas de destino.

Fuente: Manual de dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras,  
(SCT-1986)

#### **1.6.5.3.3. – Señales de recomendación.**

Estas señales se identifican con el código SIR, y como objetivo principal es el recordar a los usuarios determinadas recomendaciones o disposiciones de seguridad que conviene observar durante el recorrido de las calles y carreteras. Tienen forma rectangular y se colocan con su mayor dimensión horizontal sobre apoyos adecuados.

#### **1.6.5.3.4. – Señales de información general.**

Estas señales según Vargas (2102), se identifican con el código SIR, y tiene como función el de proporcionar al usuario información general de carácter proporcional y geográfico, como también de ubicaciones como caseta, puntos de inspección y sentidos de circulación de tránsito.

Su forma será de manera rectangular; su color de fondo será de blanco mate con letras y fileta en negro. Pero aquellas que indican sentido de circulación tendrán un fondo negro y flechas de color blanco reflejante.

A continuación, se muestra una imagen de las señales de información general, indicando su código único, así como también la manera de sus características ya mencionadas.

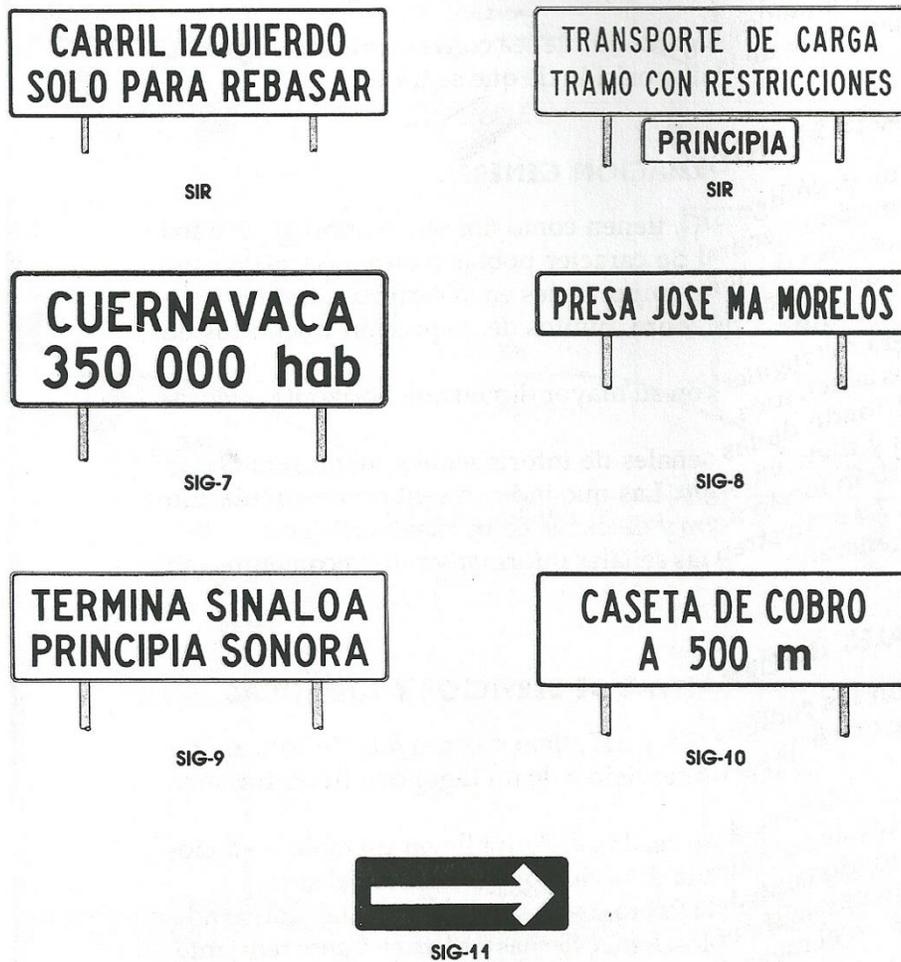


Imagen 1.6 – Señales Informativas de recomendación general.

Fuente: Manual de dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras, (SCT-1986)

#### 1.6.5.3.5. – Señales de servicios y turísticas.

Las señales de servicios serán identificadas con el código SIS, mientras que las señales de turísticas serán identificadas con el código SIT; ambas tienen como objetivo el de informar al usuario la existencia de un servicio o de un lugar de interés turístico

y/o recreativo. Estas señales tendrán una forma cuadrada, podrá llevar un tablero adicional rectangular indicando la dirección o distancia del sitio.

Tendrán un color azul mate tanto de fondo del tablero de señales como el del tablero adicional, tendrá símbolos, letras, flechas y filetes de color blanco reflejante, y serán colocadas en un lugar donde exista el servicio y a un kilómetro del mismo



Imagen 1.7 – Señales Informativas de servicios y turísticas.

Fuente: Manual de dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras,

(SCT-1986)

#### **1.6.5.4. – Dispositivos para protección en obras.**

“Los dispositivos para el control en obras, identificados con el código DP, son señales y otros medios que se usan transitoriamente para proporcionar seguridad a los usuarios, peatones y trabajadores y guiar el tránsito a través de calles y carreteras en construcción o conservación”. (Vargas; 2012: 139)

Estas señales son utilizadas a la hora de estar ejerciendo algún tipo de obra en una calle o carretera, las cuales se clasifican de la manera siguiente:

- Señales preventivas: estas señales son utilizadas para prevenir al usuario de la existencia de algún tipo de peligro como también de la misma naturaleza, motivada por la construcción o conservación de la calle o carretera.
- Señales restrictivas: estas señales son empleadas para indicar al usuario ciertas restricciones y prohibiciones para regular el uso de la vía vehicular de circulación en calles y carreteras que puedan estar en construcción o conservación.
- Señales informativas: estas señales tienen como objetivo el guiar al usuario hacia los conductores, de manera ordenada y segura, de acuerdo con los cambios temporales que surgen dentro de una calle o carretera en construcción o conservación.
- Canalizadores: estas señales se utilizan para indicar los cierres, estrechamientos y cambios de dirección de una ruta que pueda estar en construcción o en conservación. Estas señales se pueden sub-clasificar de la manera siguiente:
  - Barreras.

- Conos.
  - Indicadores de alineamiento.
  - Marcas en el pavimento.
  - Dispositivos luminosos.
  - Indicadores de obstáculos.
- Señales manuales: estas señales son principalmente banderas y lámparas que son operadas manualmente y sirven para controlar el tránsito de vehículos y peatones en la zona de trabajo.

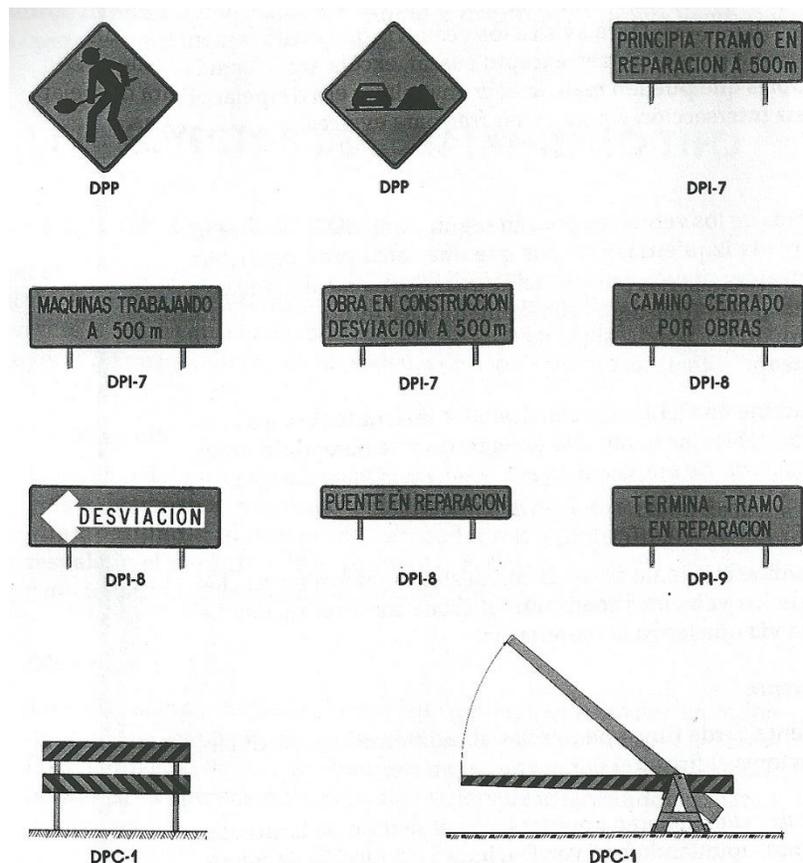


Imagen 1.8 – Dispositivos para el control en obras.

Fuente: Manual de dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras,  
(SCT-1986)

## **CAPÍTULO 2**

### **DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO**

En este capítulo se habla sobre los pasos a seguir para el diseño de un pavimento rígido, así como también se abordarán algunas generalidades de las vías terrestres, los diferentes tipos de caminos que pueden existir como también las señalizaciones y el tema de tránsito vial; enfocándose mayormente en la definición de un pavimento rígido y su clasificación.

#### **2.1. – Definición de vialidad urbana.**

Según la Ley de Caminos, Artículo 24°, Título III, una vialidad urbana se define como caminos públicos destinadas al libre tránsito situados en una población urbana y cuyas fajas son bienes nacionales de uso público. Además, para que una vía urbana sea declarada camino público debe cumplir con dos condiciones: la primera, es que esta vía o conjunto de vías al interior de áreas urbanas unan un camino público con otro. La segunda es que se promulgue un decreto supremo en que se señale la calle o avenida en cuestión.

#### **2.2. – Las vías terrestres en México.**

Actualmente en la República Mexicana, existen diferentes caminos y estos han sido modificados para sus diferentes usos hasta llegar a los que son actualmente; las vías de ferrocarril fueron construidas después de la segunda mitad en el siglo XIX, esta

obra fue de gran importancia para la sociedad, puesto que impulso el desarrollo económico del país.

Las vías férreas son un elemento que ya no son muy utilizables y que siguen en decadencia ya que no hay un conocimiento adecuado para su aprovechamiento. Con la llegada del automóvil los caminos ya existentes se fueron mejorando como ya fue mencionado anteriormente para su comodidad.

### **2.3. – Clasificación funcional de vialidades.**

Para que una vialidad sea funcional debe cumplir con los siguientes aspectos principales:

1. El tránsito permitido.
2. El uso de suelo (acceso a lotes urbanizados y establecimientos comerciales)
3. El espacio de la vialidad.

Además de acuerdo con las diversas etapas de clasificación, hay tres criterios fundamentales a ser establecidos y son:

1. El funcionamiento de la red vial.
2. Sus características físicas.
3. El nivel de servicio y la operación vial.

#### **2.4. – Clasificación del sistema de vialidades.**

El sistema de vialidades está conformado de subsistemas primarios y subsistemas secundarios, en donde, el subsistema primario es aquel que debe constituir una estructura celular, que aloje en su interior y conecte entre sí al conjunto de núcleos que forman la ciudad; mientras que el subsistema secundario tiene como función principal, el distribuir el tránsito de las propiedades colindantes al subsistema primario o viceversa.

Para el subsistema primario las vías que componen la red están destinadas a desplazamientos de más longitud y de mayor volumen de tránsito, de la manera más expedita que sea posible; uniendo los distintos sectores de la ciudad y asegurando la conexión entre la ciudad y la red nacional de carreteras; y en el caso del subsistema secundario los desplazamientos son cortos y los volúmenes del tránsito vehicular son de menor importancia.

Conforme a lo anterior se clasifican las vialidades urbanas de la siguiente manera:

- Vías de acceso controlado
- Arterias
- Calles colectoras
- Calles locales

#### **2.4.1. – Vías de acceso controlado.**

Las vías de acceso controlado es un subsistema principal en el cual todas las intersecciones o pasos con otros tipos de vías, son a desnivel. Todas las entradas y las salidas están conectadas de tal manera que, proporcionan una diferencia mínima entre la velocidad de la corriente principal y la velocidad del tránsito que converge o diverge.

#### **2.4.2. – Arterias.**

En el subsistema principal de vialidades urbanas hay dos tipos de arterias que serían arterias primarias y secundarias, para lo cual, la arteria principal es aquella vía de acceso controlado de manera parcial, es decir, las intersecciones que forman con otras arterias o calles pueden ser a nivel, controladas con semáforos o a desnivel. Para este tipo de vía una vez que la demanda del tránsito futuro lo amerite, se convertirán en vías de acceso controlado.

Las arterias secundarias son aquellas vías con intersecciones controladas con semáforos, en gran parte de su longitud. Dentro de estas vías su derecho de vía es menor al de las autopistas y arterias principales, además de que estas vías pueden ser con o sin faja separadora central (camellón) y puede ser de uno o dos sentidos de tránsito, además de contar con carriles ya sea reversibles o de uso exclusivos para el transporte colectivo (autobuses y trolebuses).

### **2.4.3. – Calles colectoras.**

Las calles colectoras son un subsistema de vialidad secundario en donde son aquellas vías que ligan el subsistema vial primario con las calles locales. Sus características geométricas son más reducidas que las arterias. Pueden tener un tránsito intenso de corto recorrido, movimientos de vueltas, estacionamiento, ascenso y descenso de pasaje, carga y descarga y acceso a las propiedades colindantes; además de que normalmente son de un solo sentido de tránsito.

### **2.4.4. – Calles locales.**

Este tipo de vialidad es utilizado para el acceso directo a las propiedades y están ligadas con las calles colectoras. Su tránsito es corto y los volúmenes son bajos. Generalmente son de doble sentido del tránsito y para evitar el tránsito de paso se diseñan con retorno en uno de sus extremos (calles cerradas).

### **2.5. – Clasificación administrativa.**

Siguiendo a Crespo Villalaz (1996), el aspecto administrativo puede clasificarse de cuatro maneras, a continuación, mencionadas:

1. Federales: aquellas que son costeadas por la Federación y están a su cuidado.
2. Estatales: aquellas las cuales el 50% es aportado por el Estado y el otro 50% es dado por la Federación.

3. Vecinales o Rurales: aquellas que son construidas por la vecindad para un beneficio, por lo cual aportan un tercio de su valor, otro tercio dado por la Federación y el último tercio aportado por el Estado.
4. De Cuota: aquellas que están a cargo de la dependencia oficial descentralizada.

## **2.6. – Clasificación técnica oficial.**

Como menciona Crespo Villalaz (1996), en esta clasificación se distinguen en una forma precisa la categoría física del camino tomando en cuenta volúmenes de tránsito y especificaciones geométricas; en México la Secretaría de Comunicación y Transportes (S.C.T.), clasifica los caminos de la manera siguiente:

- Tipo Especial: para un tránsito promedio anual superior a 3,000 vehículos, lo cual equivale a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos.
- Tipo A: para tránsito promedio diario anual de 1,500 a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos.
- Tipo B: para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500 vehículos, equivale a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos.
- Tipo C: para un tránsito promedio anual de 50 a 500 vehículos lo cual equivale a un tránsito horario máximo de 6 a 60 vehículos.

## **2.7. – Alineamiento.**

“En la Construcción de un camino se trata siempre de que la línea quede alojada en terreno plano la mayor extensión posible, pero siempre conservándola dentro de la ruta general” (Crespo Villalaz; 1996: 3). Dicho esto, es poco probable gracias a la

topografía de los terrenos; debido a esto es necesario la búsqueda de pasos adecuados, por lo que genera que el camino tome una mayor longitud que la señalada en la línea recta entre dos puntos.

Sin embargo, Crespo Villalaz (1996) afirma que debe tratarse siempre, hasta donde sea posible, que el alineamiento entre los dos puntos sea lo más recto con respecto a la topografía de la región y también de acuerdo con el tránsito local. También menciona que hay que tener visión al futuro con respecto al camino, ya sea para evitar fracasos económicos como algún tipo de desastre o accidente.

## **2.8. – Pendiente.**

“La pendiente que debe darse a un camino en sus diferentes tramos representa un problema que el ingeniero debe solucionar con mucho cuidado ya que pendientes bajas obligan a altos costos de construcción y pendientes altas influyen en el costo de transporte porque se disminuye la velocidad, aumenta el gasto de combustible por kilómetro y el desgaste de los vehículos, especialmente en los neumáticos”. (Crespo Villalaz; 1996: 29)

La pendiente para el camino debe escogerse de acuerdo al tipo de camino del mismo, para lo cual se recomienda tener presente los siguientes límites:

Topografía				
Tipo de Camino	Plana o con Lomerío	Con lomerío fuerte	Montañosa. Pero poco escarpada	Montañosa. Pero muy escarpada
Tipo especial	4%	4.50%	5%	5%
Tipo A	4%	5%	5.50%	6%
Tipo B	4.50%	5.50%	6%	6.50%
Tipo C	5%	6%	6.50%	7%

Tabla 2.1– Pendientes máximas recomendables.

Fuente: Rico Rodríguez, Alfonso (1998),

## 2.9. – Visibilidad.

La visibilidad es una de las principales tareas a la hora de la construcción de un camino, ya que generalmente están contruidos para velocidades muy inferiores a las corrientes de los vehículos modernos y que no resulten peligrosos. Es necesario tener una visibilidad adecuada, tanto en planta como en perfil, para poder tomar decisiones a la hora de algún problema.

## 2.10. – Tipo de Tránsito.

Según el tipo de camino por el cual se va a transitar, la clase de vehículo puede variar. Un ejemplo sería para un camino turístico, en el cual es casi seguro que el tipo de vehículo que transitará será de automóviles de pasajeros; mientras que, en un camino minero, la mayor parte de los vehículos a transitar serán de carga (mayor o menor tonelaje) para el material que se trabaje y las condiciones de la misma.

## 2.11. – Pavimento.

Un pavimento es aquella estructura que de forma directa recibe las cargas, las cuales son producidas por el tránsito y estas las transmiten a las capas inferiores; así siguiendo a Olivera (2009) define que un pavimento es un conjunto de capas con materiales seleccionados que toman de forma directa las cargas de tránsito y la transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad.

Los materiales utilizados para el pavimento deben cumplir con ciertas normas, generalmente no tan rigurosas, esto para permitir una construcción del terraplén más económico ya que se utilizan los materiales de los cortes adyacentes. El pavimento proporciona una capa en la superficie de rodamiento para que sobre en esta puedan circular vehículos con mayor rapidez y comodidad.

#### **2.11.1. – Tipos de pavimentos.**

Existen dos tipos de pavimentos: los flexibles y los rígidos; los pavimentos rígidos según Badillo (2004), son aquellos formados por una losa de concreto hidráulico, la cual ésta apoyada sobre una capa de material seleccionado o que está directamente puesta sobre una capa subrasante; mientras que los pavimentos flexibles están formados por materiales bituminosos (materiales de color negro, solidos o viscosos) apoyadas sobre la base y la subrasante, las cuales descienden su calidad conforme van alejándose de la superficie de rodamiento.

##### **2.11.1.1. – Pavimentos flexibles.**

Como indica Olivera (2009), una carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; las cargas se distribuyen por medio de características de fricción y cohesión de los materiales hacia las capas inferiores. Un pavimento flexible se conforma de una carpeta asfáltica, la base y sub-base; las cuales se construyen sobre una capa subrasante.

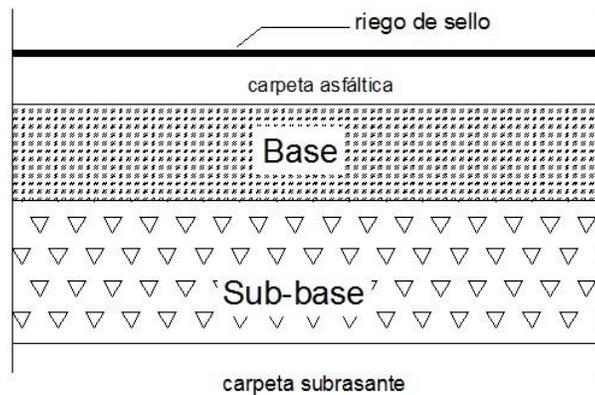


Figura 2.1 Capas que forma en general un pavimento flexible.

Fuente: Adaptación propia

También de acuerdo con Rico y Del Castillo (1996), un pavimento flexible son un conjunto de capas formadas por materiales que van desde la subrasante hasta la rasante de un camino, cuya función principal es que la superficie de rodamiento sea uniforme y cuente con características para resistir el tránsito y contra el intemperismo.

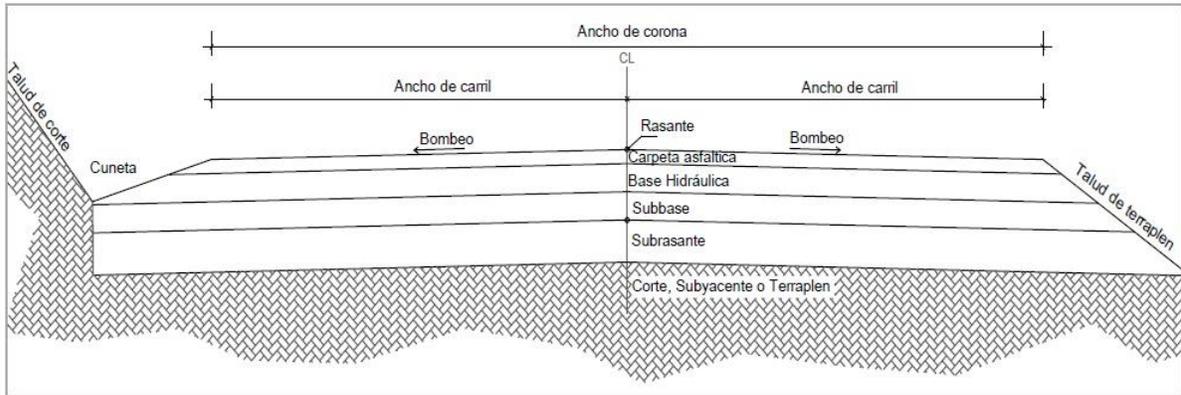


Figura 2.2 Sección típica de un pavimento flexible.

Fuente: Galván (2012); 30

Estos pavimentos cuentan con una estructura, así como los materiales utilizados para estas, para una gran variedad de posibilidades puesto que pueden estar formados desde una hasta varias capas.

#### 2.11.1.1.1. – Carpetas asfálticas.

“La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos”. (Olivera, 2009; 185)

### 2.11.1.1.2. – Características de los productos asfálticos.

El asfalto, que también es conocido como cemento asfáltico, es una destilación del petróleo que a temperaturas normales es sólido y de color café oscuro. De acuerdo con Olivera (2009), para mezclarse con materiales pétreos, se debe calentar a 140°C y para esto es necesaria una planta.

Características	Cemento asfáltico			
	Núm. 3	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8
penetración, 100 g 5s, 25°C, grados	180 - 200	80 - 100	60 - 70	40 - 50
viscosidad saybolt-furol: a 135°C,s,mínimo	60	85	100	120
punto de onflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo	220	232	232	232
punto de reblandecimiento, °C	37-43	45 - 52	48 - 56	52 - 60
ductilidad, 25°C,cm,mínimo	60	100	100	100
solubilidad en tetracloruro, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5
prueba de la película delgada, 50cm <sup>3</sup> , 5h, 163°C: penetración retenida, por ciento, mínimo	40	50	54	58
perdida por calentamiento, por ciento, máximo	1.4	1.0	0.8	0.8

Tabla 2.2. – Especificaciones para cementos asfálticos.

Fuente: Olivera, (2009), 186

### 2.11.1.1.3. – Tipos de carpetas asfálticas.

Dicho por Olivera (2009), hay tres tipos de carpetas asfálticas que son más usadas en el país:

- Por riegos.
- Mezclas en el lugar.
- Concretos asfálticos.

### 2.11.2. – Pavimentos rígidos.

“La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcional por las losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas”. (Olivera, 2009; 7)

Este pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que estas presenten falla estructural. Teóricamente las losas de concreto hidráulico pueden colocarse de manera directa sobre la subrasante, pero es necesario construir una capa de sub-base para evitar el bombeo de los materiales finos hacia la superficie de rodamiento.

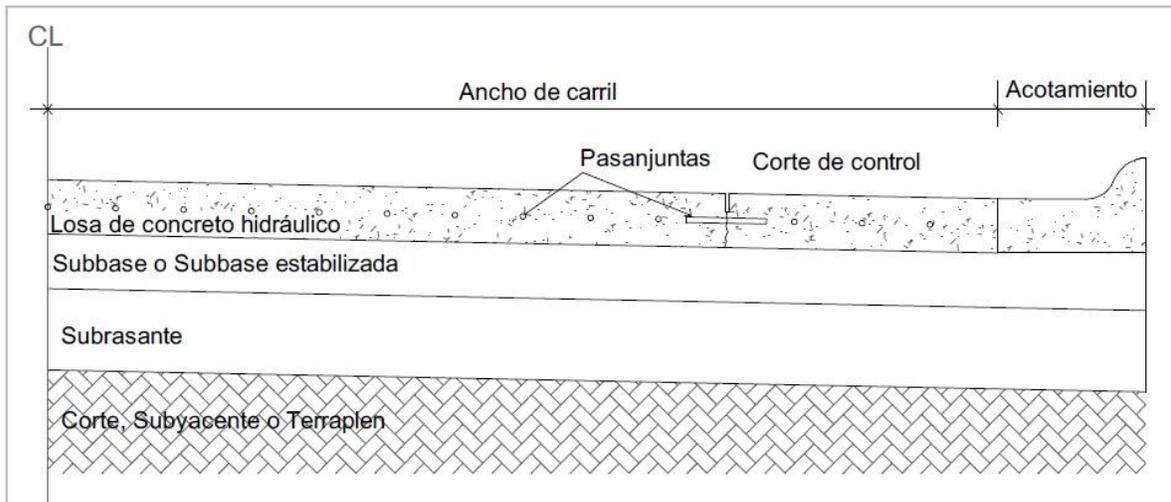


Figura 2.3. – Estructura de un pavimento rígido típica

Fuente: Galván (2012), 25

Según el Instituto Mexicano del Concreto Y el Cemento A.C. (IMCYC) (2002), el pavimento rígido debe cumplir con ciertos atributos funcionales, los cuales son:

- Resistencia al derrapamiento.
- Regularidad superficial.
- Eliminación del agua en la superficie del pavimento.
- Bajo nivel de desgaste de las llantas.
- Durabilidad.
- Resistencia a efectos combustibles.
- Propiedades de reflexión luminosa.
- Señalamientos horizontales.
- Buena apariencia de la capa de rodamiento.

#### **2.11.2.1. – Elementos de un pavimento rígido.**

Como se mencionó anteriormente, un pavimento rígido está conformado por varias capas, las cuales principalmente destacan la capa subrasante, la capa de sub-base y la losa de concreto hidráulico.

##### **2.11.2.1.1. – Capa subrasante.**

Esta capa está formada por la capa superior de una terracería, la cual está por encima de los cortes, la subyacente o los terraplenes. También puede estar formada por el terreno natural o por una capa traída de un banco de material; esta capa apoya

al pavimento, por lo que debe resistir los esfuerzos aun en condiciones desfavorables.

#### **2.11.2.1.2. – Sub-base.**

Su principal función es controlar los cambios de volumen de la capa subrasante e incrementar su módulo de reacción en apoyo de las losas, así como también formar una plataforma estable para el trabajo de construcción del pavimento, permitiéndole a ésta, una uniformidad del soporte de losas de concreto hidráulico. Los materiales utilizados para la elaboración de esta capa generalmente son granulares no cementados, traídos de bancos de material para el tránsito adecuado del proyecto.

#### **2.11.2.1.3. – Losa de concreto hidráulico.**

La losa de concreto hidráulico representa la capa de rodamiento del pavimento rígido, dicho elemento debe estar diseñado para resistir los esfuerzos producidos por el tránsito vehicular y proporcionar una superficie segura, cómoda y con un bajo costo. Dentro de las mismas losas de concreto hidráulico, y si el diseño lo permite, se encuentran las pasajuntas, las cuales pueden ser horizontales como también transversales; estos elementos son generalmente de acero y permitirán transmitir los esfuerzos que se generan por el tránsito entre las losas de concreto hidráulico.

##### **2.11.2.1.3.1. – Resistencia del concreto hidráulico.**

Esta resistencia constituye uno de los factores más importantes en el diseño de un pavimento rígido, puesto que las losas de concreto hidráulico toman parte en la superficie de rodamiento y al momento de imponerle cargas, se flexionan produciendo esfuerzos de tensión y compresión. Los esfuerzos de tensión son los más delicados ya que sin ellos es apenas del orden 10% de resistencia a compresión.

El Instituto Mexicano del Concreto Y el Cemento A.C. (IMCYC) (2002) menciona que para el diseño de pavimento rígidos los valores utilizados comúnmente varían entre  $35 \text{ kg/cm}^2$  a  $50 \text{ kg/cm}^2$ , así mismo los valores que se utilizan para carreteras de tránsito pesado y autopistas utilizan un valor de MR mayor a  $40 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **2.11.2.2. – Esfuerzos en pavimentos rígidos.**

El cálculo para el espesor de la losa es realizado por medio de nomogramas elaborados por los productores de cemento portland, considerando los esfuerzos sometidos los cuales se mencionan a continuación:

- Esfuerzos debido al tránsito.
- Esfuerzos debidos a la temperatura
- Esfuerzos debidos al apoyo.

Siguiendo a Olivera (2009), los esfuerzos debidos al tránsito se estudian en tres posiciones de una llanta: cuando la huella de una de las llantas es tangente en forma simultánea a 2 orillas, o sea, que la llanta este en una esquina; que la huella de la llanta sea tangente solo a una orilla de la losa; y por último cuando la llanta está en el centro de la losa.

### **2.11.2.3. – Proyecto ejecutivo para un pavimento rígido.**

Un proyecto ejecutivo es un conjunto de estudios generados por un equipo multidisciplinario, en donde abarcan los estudios preliminares, proyecto arquitectónico, estructural y obra civil. Dichos estudios están abarcados en planos, memorias de cálculo y memorias descriptivas en las cuales crean las especificaciones y recomendaciones para el desarrollo y correcta ejecución de la obra.

El desarrollo de un proyecto ejecutivo incluye lo siguiente:

- Estudios Preliminares
- Anteproyecto
- Proyecto Arquitectónico
- Proyecto Ejecutivo
- Ejecución de Obra

Para el desarrollo de un proyecto es necesario contar con la información necesaria que nos permita conocer las características del terreno donde se planea hacer la obra, para esto es necesaria la topografía y la mecánica de suelos.

“La topografía es la ciencia y el arte de efectuar las mediciones necesarias para determinar las posiciones relativas de los puntos, ya sea arriba, sobre o debajo de la superficie de la tierra, o para establecer tales puntos.” (Merritt S. Frederick, 2014, 12.1)

Para la siguiente investigación la topografía nos ayudará a representar gráficamente la superficie, para poder conocer los niveles y características superficiales del área de investigación.

La definición de mecánica de suelos según Juárez Badillo (2004) menciona que la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de la ingeniería, los cuales tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, dentro de las cuales ya sea independiente que tengan o no contenido orgánico.

La mecánica de suelos es una parte fundamental en cualquier proyecto ya que nos muestra los límites de capacidad del suelo, los cuales, al ser sobrepasados, producen esfuerzos secundarios en cualquier estructura. Otra de las importancias de realizar un estudio de suelo es revisar la estabilidad del suelo, ya que por su deformación y flujo de agua (desde el exterior, hacia el interior y a través de su masa) se determinará si es económicamente factible su uso para construcción.

Juárez Badillo (2004) menciona que la clasificación del suelo es de suma importancia ya que, identificar un suelo es, en rigor, encasillarlo dentro de un sistema previo de clasificación de suelo. Dicho sistema es conocido como el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS), el cual nos permite conocer, en forma cualitativa, propiedades mecánicas y hidráulicas del suelo. (ANEXO 2)

Dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelo hay diferentes criterios para clasificar el suelo, esto según su granulometría, sus características plásticas. Los suelos son clasificados de acuerdo al SUCS, las cuales se dividen en cuatro tipos:

- Arenas y gravas
- Limos
- Arcillas
- Orgánicos

Para la presente investigación se pretende hacer un estudio de mecánica de suelos el cual va a definir los parámetros significativos y clasificar adecuadamente el tipo de suelo, así como también definir la estratigrafía obteniendo las propiedades físicas, mecánicas y geoquímicas.

Para el anteproyecto, se determinan aspectos generales, así como también se representa de manera que pueda decidir si esa es el proyecto óptimo y/o si cumple con las expectativas; en el anteproyecto en donde se pueden hacer todos los cambios necesarios hasta llegar a un acuerdo. Una vez que el anteproyecto queda definido se procede con el Proyecto Básico o Proyecto Arquitectónico.

Dentro de este apartado es donde se incluye el diseño del pavimento ya que con este se justifica y se sustenta en términos de viabilidad financiera, técnica y sostenibilidad, o, dicho de otra forma, se sientan las bases del mismo.

Una vez adquirido lo aspectos generales y los preliminares se determinan los aspectos más específicos como:

- Formas.
- Dimensiones.
- Áreas.
- Sistemas constructivos.

Ahora bien, una vez obtenido lo anterior se realizan planos arquitectónicos en los cuales se muestran: plantas, cortes, alzados, fachadas; así como memorias descriptivas. Toda esta información debe estar completa y detallada para así poder iniciar el proyecto ejecutivo.

El Proyecto Ejecutivo ya es un proyecto ejecutable, es decir, ya cumple con todos los requisitos para poder iniciar la obra, el cual cuenta con planos, esquemas, dibujos, memorias descriptivas, sistemas constructivos, especificaciones técnicas, presupuesto, etc. Este proyecto puede ser ejecutado por uno o varias personas que estén enfocados en las diferentes disciplinas que abarca la ingeniería civil.

La ejecución de obra se refiere a los procesos constructivos para la ejecución de la misma, dentro de los cuales se tienen que contemplar ciertos parámetros para poder la obra los cuales son:

- Permisos de construcción.
- Programa de obra

#### **2.11.2.3.1. – Proceso constructivo de pavimento rígido.**

En la construcción de una losa de concreto se emplean una serie de pasos adecuados y de manera ordenada, ya que sin estos el camino pueda presentar problemas o no poder cumplir con las características mencionadas anteriormente.

Olivera (2009), menciona los siguientes pasos a seguir:

- I. Se eligen los bancos de materiales según sus estudios previos junto a sus estudios económicos, para determinar cuál será usado para la extracción del material.
- II. Se escoge un tipo de cemento portland, considerando sus proporciones, el agua, la arena y gravas; así como los aditivos que pueda llevar.
- III. Se extrae el material a utilizar, estos ya sean arenas, gravas o rocas para lo cual se utilizará maquinaria especial en su extracción.
- IV. Se hace un tratamiento previo al material extraído como el cribado y el lavado.
- V. Se acarrean los materiales al sitio donde serán mezclados, ya sea que se transporten a pie o a tres sacos, o a plantas especializadas.
- VI. Se mezclan los materiales, pero sin antes revisarlos y hacer correcciones durante el proceso como lo puede ser la humedad, la calibración, dosificación, etc.
- VII. Una vez compactada la sub-base, se humedece para evitar absorber el agua del concreto fresco; se coloca la mezcla en moldes o encofrados, los cuales son colocados de tal manera que resistan el empuje creado por el concreto; y si es necesario utilizar acero de refuerzo, se colocará de igual manera, previamente indicado por los cálculos.

- VIII. La mezcla vaciada, ya sea en el encofrado o en moldes, se compacta por medio de vibradores para darle la densidad que requiere.
- IX. Se le da a la superficie un acabado, el cual es necesario para obtener un coeficiente de rugosidad. De ser posible se utilizarán maquinas acanaladoras para realizar el trabajo preciso y aumentar la fricción entre la superficie de rodamiento y las llantas de los vehículos.
- X. Por último, se elaboran juntas transversales de contracción las cuales son formadas por una cortadora de sierra en los lugares señalados. Este proceso se realiza entre 24 y 36 horas según lo requiera y de tal manera que no provoque desprendimientos de concreto.

#### **2.11.2.4. – Pavimento rígido por método AASHTO.**

Para el diseño un pavimento, lo normal es suponer un espesor y empezar a realizar tanteos, una vez obtenido un espesor deseado se calculan los ejes equivalentes y de ahí evaluar los posibles factores adicionales para el diseño; una vez obtenido un equilibrio en la ecuación, el espesor supuesto es aceptado ya que de lo contrario hay que seguir realizando tanteos para obtener el equilibrio deseado. Las variables de diseño para un pavimento rígido son las siguientes:

- a) Tránsito.
- b) Resistencia al concreto.
- c) Resistencia a la subrasante.
- d) Condiciones ambientales.

- e) Nivel de confianza y desviación estándar
- f) Serviciabilidad.

El tránsito es uno de los factores de diseño para un pavimento, la cual debe ser lo más apegado a lo real. Una característica principal de este método es la transformación de cargas de eje de los diferentes tipos de vehículos a cargas por ejes sencillos, lo cual es equivalente a 18 kips (8.2 ton) de peso, comúnmente denominados ESAL's. A continuación, se describen las diferentes categorías donde se menciona el volumen de vehículos por día:

- Calle residencial (locales o casas pequeñas): son calles con un promedio de 20 a 30 casas, en la cual el volumen de vehículos transitados es de 200 vehículos por día, con un porcentaje de 1 a 2% de vehículos pesados.
- Calle residencial (casas grandes): parecido al tránsito residencial de casas pequeñas, pero con un mayor número de vehículos por día, el cual es de 700 vehículos por día.
- Calle residencial colectoras: estas calles son aquellas las cuales conducen a vialidades principales o colectoras, dentro de las cuales el volumen de tránsito por día es de 700 a 1,500 por día, con un porcentaje del 1 al 2% de vehículos pesados.
- Calles colectoras: son aquellas calles que captan el tránsito de diversas áreas y tienen longitudes grandes. El volumen de tránsito en estas calles es de 2,000 a 6,000 vehículos diarios ya que por estas calles es por donde transitan los vehículos de transporte público, llegando de 3 al 5% de tránsito pesado.

A continuación, se representa en una tabla el porcentaje de ejes simples equivalentes de 82kN para el diseño:

Nº de carriles en una dirección	Porcentaje de ejes
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Tabla 2.3 Porcentaje de ejes equivalentes

Fuente: <http://www.iingen.unam.mx>

Otro factor importante que debe de ser analizado es el factor de crecimiento, para lo cual es necesario saber la vida útil del pavimento. La vida útil para un pavimento rígido es de 20 años aproximadamente, pero la tasa de crecimiento varía según el caso, a continuación, se muestra una tabla representando lo anterior:

Caso	Tasa de crecimiento
Crecimiento normal	1% - 3%
Vías Saturadas	0% - 1%
Vías con tráfico inducido*	4% - 5%
Alto crecimiento	mayor al 5%

Tabla 2.4. Valores de tasa de crecimiento.

Fuente: <http://www.iingen.unam.mx>

La fórmula correspondiente para calcular el factor de crecimiento del tráfico (FCT), toma en consideración los años de vida útil del pavimento más un adicional debido al crecimiento propio de la vía.

$$FCT = \frac{(1+g)^n - 1}{g}$$

donde  $g$  = tasa de crecimiento  
 $n$  = años de vida útil

La caracterización del concreto es empleada a través de la resistencia a la flexión o lo que se conoce como módulo de ruptura ( $M_r$ ), el cual deberá ser medido durante 28 días; así mismo otra caracterización del concreto es el módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ).

Dado que los pavimentos rígidos trabajan a flexión, se recomienda especificar su resistencia acorde a ellos ya que el diseño considera la resistencia a flexión, la cual es conocida como resistencia a flexión por tensión ( $S'c$ ) o módulo de ruptura ( $M_r$ ) especificado a 28 días.

Tipo de Pavimento	(Mr) recomendado - kg/cm <sup>2</sup> psi	
Autopistas	48	682.7
Carreteras	48	682.7
Zona Industrial	45	640.1
Zonas Urbanas principales	45	640.1
Zonas Urbanas secundarias	42	597.4

Tabla 2.5. Módulo de ruptura en kg/cm<sup>2</sup>-psi

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, ASSTHO, 1993

Dentro de la misma resistencia de concreto se encuentra la transferencia de carga ( $J$ ) la cual, en una losa de pavimento, trasmite las fuerzas cortantes con sus losas adyacentes; esto con la finalidad de minimizar deformaciones y esfuerzos en la estructura del pavimento.

Para que la transferencia de carga entre losas adyacente sea aceptable y lo más segura posible, debe de contar con 3 factores los cuales son:

- La cantidad de tráfico.
- La utilización de pasajuntas, la cual, dependiendo del tipo de pavimento que se diseñe, se recomienda por el paso de vehículos pesados.
- Soporte lateral de losas.

En la tabla que se muestra a continuación, se presentan algunos valores típicos de la transferencia de carga en función de estos parámetros:

Millones de ejes equivalentes	Con pasajuntas y reforzada con malla		Junta sin pasajuntas (fricción entre agregados)		Con refuerzo continuo		Tipo de pavimento
	No	Si	No	Si	No	Si	
Hasta 0.3	3.2	2.7	3.2	2.8	-	-	Calles y caminos vecinales
0.3 - 1	3.2	2.7	3.4	3.0	-	-	
1 a 3	3.2	2.7	3.6	3.1	-	-	
3 a 10	3.2	2.7	3.8	3.2	2.9	2.5	Caminos principales y autopistas
10 a 30	3.2	2.7	4.1	3.4	3.0	2.6	
Más de 30	3.2	2.7	4.3	3.6	3.1	2.6	

Tabla 2.6. Coeficientes de transmisión de carga.

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, ASSTHO, 1993

Dentro del coeficiente de transmisión de carga es considerado el esfuerzo a través de la junta, la cual se clasifica de la siguiente manera:

- Transversales de contracción.
- Transversales de construcción.

- Transversales de expansión.
- Longitudinales de contracción.
- Longitudinales de construcción.

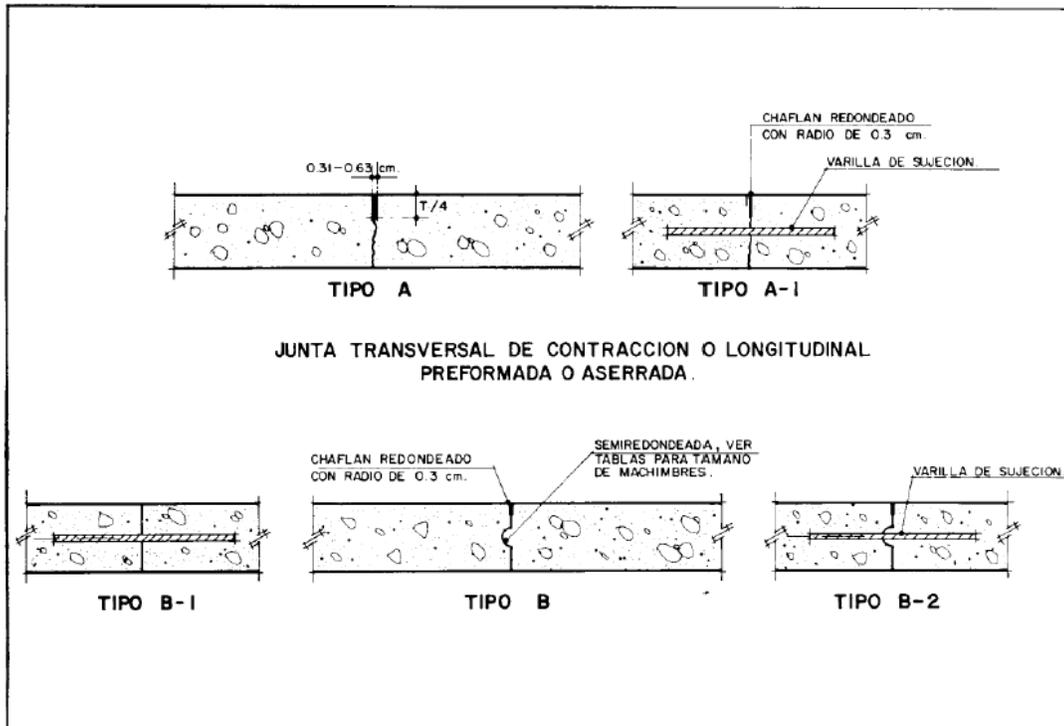


Imagen 2.1. – Juntas Longitudinales

Fuente: Instituto de Ingeniería, 2002, 120

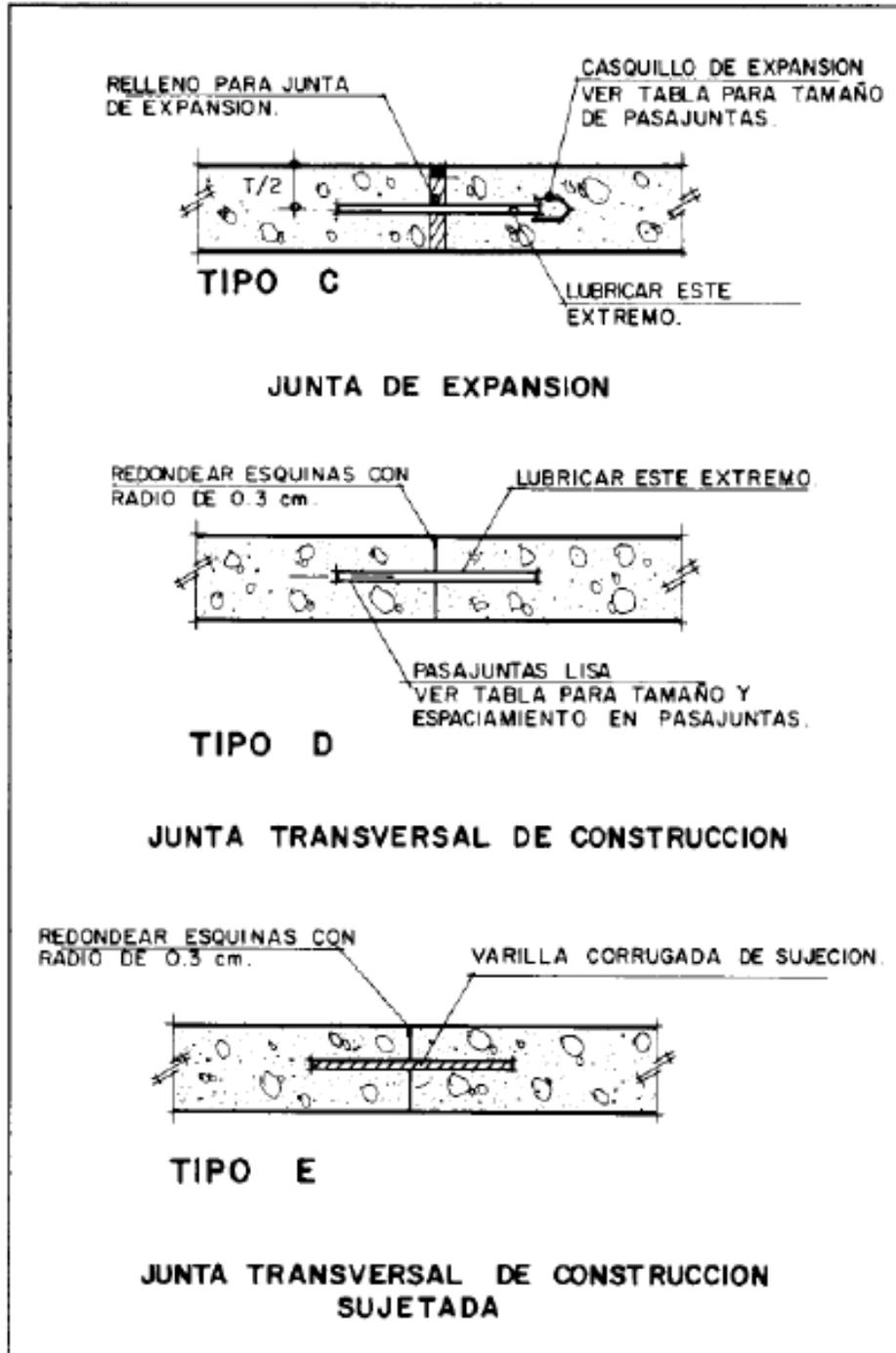


Imagen 2.2. – Juntas transversales

Fuente: Instituto de Ingeniería, 2002, 119

Para el módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ) se relaciona con su módulo de ruptura, el cual se determina mediante la norma ASTM C469; para lo cual se determina con la siguiente fórmula:

$$E_c = 21000\sqrt{f'_c}$$

Para obtener la resistencia de la subrasante, es necesario obtener el módulo de reacción del suelo ( $k$ ) que es la capacidad portante que tiene el terreno natural que soportará el pavimento; este dato puede ser obtenido directamente del área de estudio por medio de la prueba de placa ASTM D1195 Y D1196.

Dicha prueba indica, mediante su resultado, la característica de resistencia en la cual implica la elasticidad del suelo; esto es equivalente al coeficiente del esfuerzo aplicado por una placa entre las deformaciones correspondientes, producida por este esfuerzo. Puesto que este procedimiento es muy tardado, el valor de “ $k$ ” se obtiene por una prueba simple de correlación, como la Relación de Soporte de California (CBR) también conocida como Valor Relativo de Soporte (VRS).

En el diseño de un pavimento hay diferentes valores de “ $k$ ” en todo el tramo a diseñar, por lo cual, se recomienda utilizar un promedio de los módulos “ $k$ ”.

Para la utilización de “ $k$ ”, se necesitan algunos datos en relación al suelo, los cuales son proporcionados por un estudio de mecánica de suelos. El estudio de mecánica de suelo obtenido cerca del área de investigación muestra el valor en porcentaje del VRS, así como el tipo de suelo para lo cual en este caso muestra que es de tipo 3, lo cual es un tipo de arena limosa o material fino; este tipo de suelo puede soportar altas cargas para la vialidad.

La capacidad de carga del suelo de dicho estudio es de 13 kg/cm<sup>2</sup>, dato obtenido de un estudio de mecánica; para obtener el valor “k” se necesita transformar a libra sobre pulgada cuadrada (PSI), el cual da un valor de 184.903 PCI. Este valor obtenido es ubicado en un rango similar con el tipo de suelo del estudio, para lo cual se muestra la siguiente tabla:

TIPO DE SUELO	SOPORTE	Valores de "k"
Suelo de grano fino en el cual el tamaño de las partículas de limo y arcilla predominan	Bajo	75 - 120
Arenas y mezclas de arena con gravas, con una cantidad considerable de limo y arcilla	Medio	130 - 170
Arenas y mezclas de arena con grava, relativamente libre de finos.	Alto	180 - 220
Subbase tratada con cemento	Muy Alto	250 - 400

Tabla 2.7. Tipos de suelo de subrasante y valores aproximados de k.

Fuente: Guía para diseño y construcción de pavimentos rígidos, 1993

Dentro del método de diseño se deben de tomar 3 factores, los cuales dependiendo de facilidad con que sale el agua, su comportamiento y los cambios en las características físicas y mecánicas en las cuales se verá afectado el pavimento; estos factores son:

- Temperatura.
- Lluvia.

- Drenaje.

Dentro del criterio de diseño AASHTO, se toman valores los cuales dependen de la precipitación media anual y las condiciones para el drenaje, estos valores se representan de la siguiente manera:

Drenaje Excelente	el suelo libera el 50% de su agua en 2 horas
Drenaje Bueno	el suelo libera el 50% de su agua en 1 día
Drenaje Regular	el suelo libera el 50% de su agua en 7 días
Drenaje Malo	el suelo libera el 50% de su agua en 1 mes
Drenaje muy Malo	el suelo no drena

Tabla 2.8. Calidades de drenaje

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, ASSTHO, 1993

El coeficiente de drenaje ( $C_d$ ) empleado en el diseño para el pavimento tiene que ser mayor a 1, ya que de ser así no tendría impacto en el espesor del pavimento. Dicho valor al ser mayor a 1, indica un buen drenaje y reduce el espesor del pavimento, a continuación, se muestra una tabla con el valor del coeficiente de drenaje recomendado para el diseño de pavimentos rígidos.

Calidad de drenaje	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento se expone a niveles de humedad cercana a la saturación			
	menor que 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	Más del 25%
Exelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Tabla 2.9. Valores recomendados del coeficiente de drenaje para el diseño de pavimentos rígidos.

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, ASSTHO, 1993

Dentro de todos los factores para el diseño de un pavimento el nivel de confianza y la desviación estándar son los que tienen el mayor impacto en el dimensionamiento. La confiabilidad o nivel de confianza es la probabilidad de que el pavimento se comporte correctamente durante toda su vida útil. Este valor será elegido considerando el camino, los parámetros de resistencia de cada capa y las predicciones de diseño del tránsito.

En la siguiente tabla se muestra la confiabilidad que se utiliza en México, donde muestra el tipo de camino y el valor de confiabilidad en porcentaje:

Tipo de Camino	ConfiabilidadR
Autopistas	95%
Carreteras	80%
Caminos Rurales	70%
Zona Industrial	65%
Zn. Urbana Principal	60%
Zn. Urbana Secundaria	50%

Tabla 2.10. Valores confiabilidad recomendados en México.

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, ASSTHO, 1993

La confiabilidad puede relacionarse con un Factor de Seguridad y va asociada con la desviación estándar (So) o también llamado error estándar. Este último representa el número de ejes que puede soportar el pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado índice de servicio final (Pt). La desviación estándar (So) relacionada con la confiabilidad (R) se muestra a continuación:

Desviación estándar (So)	CONFIABILIDAD					
	50%	60%	70%	80%	90%	95%
0.30	1.00	1.19	1.44	1.79	2.42	3.12
0.35	1.00	1.23	1.53	1.97	2.81	3.76
0.39	1.00	1.26	1.60	2.13	3.16	4.38
0.40	1.00	1.26	1.62	2.17	3.26	4.55

Tabla 2.11. Desviación estándar y confiabilidad.

Fuente: Guía para diseño y construcción de pavimentos rígidos, ASSTHO, 1993

La serviciabilidad es utilizada como medida para el comportamiento del pavimento, la cual está relacionada con la seguridad y la comodidad. También está relacionada con las características físicas del pavimento, lo cual es representado en grietas, fallas, peladuras, etc.

En la tabla que se presenta a continuación especifica el índice de serviciabilidad (PSI) de acuerdo su clasificación:

Índice de Serviabilidad (PSI)	Clasificación
5.0 - 4.0	Muy Buena
4.0 - 3.0	Buena
3.0 - 2.0	Regular
2.0 - 1.0	Mala
1.0 - 0.0	Muy Mala

Tabla 2.12. Índice de serviabilidad (PSI)

Fuente: Guía para diseño y construcción de pavimentos rígidos, ASSTHO, 1993

#### 2.11.2.5. – Concreto hidráulico.

“Es un material pétreo artificial, elaborado al mezclar agua, cemento portland, arena y grava, en proporciones tales que se produzca la resistencia y la densidad deseada” (Olivera Bustamante, 2009; 211).

#### 2.11.2.6. – Cemento Portland.

Para la fabricación de este elemento, existen diferentes tipos que varían en su implementación para pavimentos rígidos; los más comunes son los cementos portland de tipo I y tipo II, los cuales se refieren a los cementos portland normales o de uso general; y de acuerdo al Instituto Mexicano del Concreto Y el Cemento A.C. (IMCYC) (2002) los cementos portland de calor moderado generan menor cantidad de calor y desarrolla una resistencia más lenta que el cemento tipo I; además a estos tipos de cementos encontramos de tipo III, los cuales son de rápida resistencia, los de tipo IV,

que son de bajo calor de hidratación, y los tipo V que son resistentes a los sulfuros; también hay cementos portland puzolanicos y con escoria de alto horno.

Tipo de Cemento	Resistencia relativa de los cemento portlan			
	1 día	7 días	28 días	3 mese
Tipo I	100	100	100	100
Tipo II	75	85	90	100
Tipo III	190	120	110	100
Tipo IV	55	55	75	100
Tipo V	65	75	85	100

Tabla 2.13. – Evolución de Resistencia Relativa entre los Cementos Portland

Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/>

Siguiendo al Instituto Mexicano del Concreto Y el Cemento A.C. (IMCYC) (2002), para obtener un concreto hidráulico durable, resistente a factores ambientales y al paso vehicular; se recomienda que el contenido de cemento por metro cúbico de concreto hidráulico sea de 300kg.

La cantidad de agua para la elaboración del concreto hidráulico, no debe tener impurezas ya que estas pueden intervenir en la hidratación del cemento portland, causando retardar el fraguado y reduciendo la resistencia del concreto hidráulico.

Cerca del 75% del volumen de la mezcla pertenece a los agregados pétreos, por consiguiente, la calidad de estos agregados influye de manera proporcional en sus características, principalmente en su trabajabilidad, resistencia y durabilidad.

El agregado grueso, definido como la “grava”, corresponde a una fracción de partículas mayores a 4.76mm (malla No. 4), hasta un tamaño de 63.50 mm ( $2\frac{1}{2}$ ”). Su

característica principal debe tener dureza, ser agregados sanos, resistentes al intemperismo e inmunes a la reacción química de dichos elementos. Los agregados con características blandas, ya sean disgregables o laminares, son inapropiados para la elaboración del concreto hidráulico.

Un dato importante es la forma de las partículas que se presentan en los agregados, ya que las formas planas y alargadas requieren una mayor cantidad de agregado fino y un mayor consumo de cemento, esto para una mezcla más trabajable. Para partículas en forma redonda o equidimensionales, que normalmente se obtienen en los cribados, y las formas de las partículas que mediante un proceso de trituración pueden reunir características más adecuadas.

El agregado fino o “arenas”, forma parte en un 50% del volumen total de los agregados que se utilizan en la mezcla para el concreto hidráulico. Sus partículas son menores de 4.76 mm (malla No. 4) y estas tienen influencia en la dosificación de la mezcla. Además según el Instituto Mexicano del Concreto Y el Cemento A.C. (IMCYC) (2002), los aspectos más importantes que deben cuidarse para un agregado fino son:

- Su granulometría
- Su módulo de finura
- El contenido de sustancias perjudiciales
- La resistencia al intemperismo
- El contenido de materiales que puedan reaccionar y perjudicar los álcalis del cemento.

Estas arenas naturales presentan regularmente formas redondas, pero las arenas que pasan por un proceso como la trituración, presentan formas más angulosas; al contrario de los agregados gruesos, las mezclas con arenas naturales requieren menor cantidad de cemento hidráulico a comparación de las arenas trituradas que requieren de mayor cantidad de cemento.

Tamaño máximo nominal	9.5 a 37.5 mm
Modulo de Finura	2.3 a 3.1
Masa específica (Densidad)	2.3 a 2.8 kg/m <sup>3</sup>
Absorción	0.5 a 4.0 %
Materia orgánica	Máximo Nivel 3
Contenido de finos que pasa la criba No. 200	AF: 5 a 7%
	AG: 1 a 2%
Coefficiente de forma (Grava)	Mínimo 0.20
Petrografía	Inocuo(No Reactivo)
Desgaste de los Ángeles	Máximo 50%
Intemperismo Acelerado (Sanidad)	AF: Máximo 10%
	AG: Máximo 12%
Partículas Deleznales	AF: Máximo 1%
	AG: Máximo 4%

Tabla 2.14. – Especificaciones recomendadas para agregados de peso normal usados en el concreto hidráulico.

Fuente: <http://www.acimexico-snem.org/>

Al utilizar aditivos o retardantes en la mezcla de concreto hidráulico, estos dependerán de la necesidad de modificar o mejorar en todo caso una de las características del concreto, ya sea en estado plástico o endurecido. Dentro de los

aditivos más utilizados, según el Instituto Mexicano del Concreto Y el Cemento A.C. (IMCYC) (2002), se encuentran los siguientes:

- Incursores de aire: estos introducen micro burbujas de aire en la mezcla para mejorar la trabajabilidad y la durabilidad; su eficiencia se ve afectada por diversos factores como lo pueden ser la concentración del aditivo, la acción de otro aditivo, el tiempo, la velocidad de mezclado, entre otros.



Imagen 2.3. – Aditivo de aire para concreto, tipo MNC-AE2

Fuente: <http://concrete-admix.es/>

- Reductores de agua: tiene como finalidad minimizar las cargas eléctricas entre partículas de cemento, disgregado, y dispersando las partículas en la mezcla mejora su eficiencia; todo esto sin perjudicar su trabajabilidad.
- Retardantes de fraguado: retardan el tiempo de fraguado del concreto hidráulico y se emplean regularmente en trabajos realizados en climas cálidos o cuando se coloca el concreto en diversas capas.

- Acelerantes de fraguado: al contrario de la anterior, este aditivo se emplea al inicio para obtener un fraguado inicial rápido y/o con una alta resistencia; se utilizan en climas fríos.
- Aditivos puzolanicos: para este aditivo el tipo más utilizado es la ceniza volante, la cual reacciona químicamente formando un compuesto cementante y se combina con el concreto. Este aditivo reemplaza una determinada cantidad del concreto para así, disminuir el costo de la mezcla y ayuda a su trabajabilidad como también aumenta la resistencia y reduce el calor de hidratación.

Material	Intervalo			
	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %
Metacaolín	49.55 - 73.53	23.11 - 45.29	0.57 - 4.32	0.00 - 2.71
Humo de Silicio	96.00	0.30	0.20	0.03
Polvo de perlita	76.89	10.51	2.48	0.12
Escorias de alto horno	32.71	15.75	1.38	42.11
Cenizas volantes	49.80 - 53.36	26.40 - 26.99	4.94 - 9.30	0.00 - 1.40
cemento blanco	15.60 - 22.90	4.14 - 4.89	0.21 - 0.29	67.40 - 74.10
cemento gris	19.50 - 28.00	1.52 - 9.47	1.75 - 4.11	51.20 - 65.60

Tabla 2.15. – Composición química de algunos materiales puzolanicos, cemento blanco, cemento gris.

Fuente: <http://www.scielo.org.co>

### 2.11.2.7. – Revenimiento.

El revenimiento es una prueba que se le realiza al concreto fresco para determinar su consistencia, la cual se relaciona directamente con su trabajabilidad e indirectamente con la relación agua cemento del diseño de concreto aportado al proyecto.

Siguiendo al Instituto Mexicano del Concreto Y el Cemento A.C. (IMCYC) (2002), el concreto utilizado para la conformación de pavimento rígidos deben tener cierto cuidado de no tener exceso de agua en la mezcla a la hora de su elaboración, esta deberá producir sangrado durante su colocación y grietas de contracción al endurecer, así como también mantener un equilibrio para no afectar su trabajabilidad.

Los principales factores que afectan el revenimiento son varios, pero los más resaltantes son el contenido de agua, la composición granulométrica del material, así como también la relación entre agregados gruesos y finos, la forma y textura de las partículas, los aditivos y la temperatura del ambiente.

En conclusión, a lo previamente mencionado en el capítulo, se puede apreciar la importancia de las vialidades urbanas en la actualidad y el impacto que toma en la sociedad. Así mismo se toman los temas de pavimentación, centrándose más en el pavimento rígido puesto que éste será el utilizado para la generación del presupuesto económico.

## CAPÍTULO 3

### RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN

Dentro de este capítulo se presenta la localización del área de estudio para la presente investigación, así como también las características y condiciones en las que se encuentra.

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

La presente investigación se realiza para la generación de un diseño de un pavimento a base de pavimento rígido para la calle 20 de noviembre, propuesta que tomará en cuenta todos los aspectos necesarios, así como también las normas necesarias para dicha propuesta.

Dentro de los aspectos que se tomaron en cuenta para la generación de la propuesta fueron las cargas generadas por el tránsito vehicular, ya que es necesario proporcionar un número de vehículos que se estima puedan transitar por dicha calle, así como el total de ejes equivalentes que puedan afectar al pavimento.

A continuación, se presenta en la imagen 3.1 los diferentes tipos de vehículos que pueden pasar a través de la obra, así como también se les dará una clasificación de acuerdo a su tamaño y a su capacidad de carga.

Ap



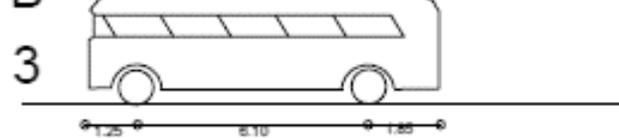
Ac

Carga =2.5 ton



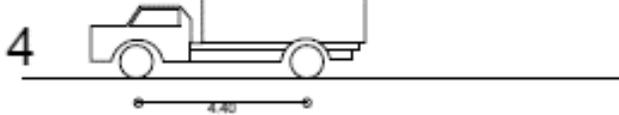
B

25 pasajeros



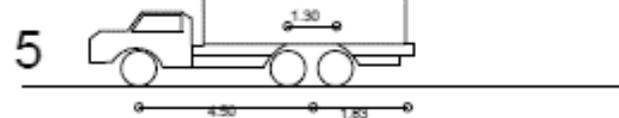
C2

Carga =5.1 ton



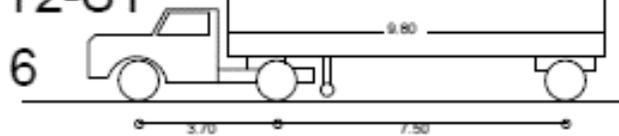
C3

Carga =9.7 ton



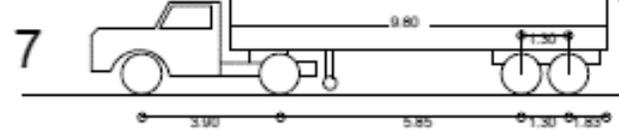
T2-S1

Carga =9.7 ton



T2-S2

Carga =13.3 ton



T3-S2

Carga =16.0 ton

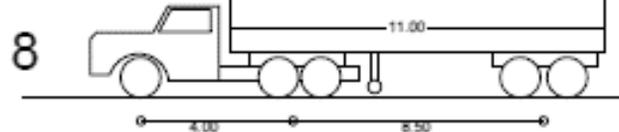


Imagen 3.1.- Vehículos de proyecto SCT

Fuente: Crespo; 2004; 55

### **3.2.- Objetivo.**

El principal objetivo de la presente investigación es generar un diseño que cumpla con las condiciones necesarias, así como de funcionalidad y servicio adecuados durante la vida útil de este. Dentro de este se considerarán todos los factores necesarios para evitar su mal funcionamiento o aquellos que puedan influenciar a la estructura.

### **3.3.- Resumen ejecutivo.**

La localización del área de estudio para la presente investigación se encuentra en una zona central de la ciudad de Uruapan, Michoacán, así mismo para la presente investigación se lograron obtener planos preliminares de la zona de estudio, el cual nos ayudará a estimar el tránsito vehicular que a futuro tendrá que pasar por la zona de estudio.

### **3.4. Entorno geográfico.**

El estado de Michoacán está ubicado en el centro-oeste del territorio mexicano; el cual limita al norte con los estados de Guanajuato y Querétaro, al este con el Estado de México, al sur con Guerrero, al noroeste con Colima y Jalisco y al suroeste con el Océano Pacífico.

El estado de Michoacán cuenta con una superficie de 59,928 km<sup>2</sup>, el cual representa el 3% de la superficie del país, tomando el lugar número 16 en extensión entre las 31 entidades federativas de México.



Imagen 3.2.- Localización del Estado de Michoacán dentro del país.

Fuente: <https://es.wikipedia.org/>

La ciudad de Uruapan está localizada al Oeste del estado de Michoacán a una altura de 1,620 metros sobre el nivel del mar. La ciudad cuenta con una extensión territorial de 954.17 km<sup>2</sup>; limita con los municipios de Los Reyes, Charapan, Paracho, Nahuatzen, Tingambato, Ziracuaretiro, Taretan, Nuevo Urecho, Gabriel Zamora, Parácuaro, Nuevo Parangaricutiro, Tancítaro y Peribán.



Imagen 3.3.- Localización de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Fuente: Carta topográfica E13B39, INEGI.

### 3.5.- Macro y Micro localización.

La ubicación geográfica de la zona de estudio queda comprendida en las coordenadas  $19^{\circ}25'16.3''$  de latitud Norte y  $102^{\circ}03'53.9''$  de longitud Oeste, la zona de estudio cuenta con una distancia de 1.03 km.



Imagen 3.4.- Localización de la zona de estudio.

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps/>

### 3.6.- Informe fotográfico.

En las imágenes 3.5 y 3.6 se puede observar la entrada y salida de la avenida la cual es el área de estudio para dicha investigación, se puede observar una superficie de rodamiento con ciertos problemas en ella los cuales se mostrarán más adelante.



Imagen 3.5.- Vialidad de acceso a la calle por la Av. Emilio Carranza.

Fuente: Propia.



Imagen 3.6.- Vialidad de salida de la calle.

Fuente: Propia.

En la siguiente imagen se puede apreciar un registro ubicado en el acceso a la vialidad por la Avenida Emilio Carranza, la cual no fue colocada de manera correcta y su mantenimiento no es el adecuado lo cual será objeto a evaluar para el mejoramiento de la avenida y para una mejor comodidad.



Imagen 3.7.- Registro ubicado en la calle 20 de noviembre esquina con Emilio Carranza.

Fuente: Elaboración propia.

En las siguientes imágenes se pueden apreciar algunas irregularidades que presenta la superficie de rodamiento lo cual impide su transitabilidad y genera una incomodidad para los usuarios, lo cual se genera al no colocar la carpeta de una manera correcta.



Imagen 3.8.- Mal colocación de carpeta asfáltica.

Fuente: Propia.



Imagen 3.9.- Fracturas y orificios en la superficie de rodamiento de la calle.

Fuente: Propia.



Imagen 3.10.- Desgaste de la carpeta asfáltica con agrietamiento superficial.

Fuente: Propia.



Imagen 3.11.- Irregularidad en la superficie de rodamiento.

Fuente: Propia.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA**

En el presente capítulo se abordará el tema de la metodología utilizada en la presente investigación, se mencionan los métodos empleados, el enfoque al cual va dirigida la investigación, así como los elementos o herramientas utilizadas para la realización de la misma.

#### **4.1.- Método empleado.**

El método empleado para la presente investigación es el método científico, el cual según Tamayo (2005) se fundamenta estrictamente en técnicas experimentales, operaciones lógicas y la imaginación racional, todo esto para servir como instrumentos de la adquisición del conocimiento científico. El método científico consta de tres fases las cuales son las siguientes:

- I. La observación, la cual consiste en examinar detalladamente y con mucha atención todos los hechos y fenómenos naturales que puedan presentarse en el lugar de estudio; esta a su vez exige un orden.
- II. La hipótesis, que viene después de la observación en donde el científico se plantea el cómo y por qué han ocurrido los fenómenos y a su vez formula una hipótesis.
- III. La experimentación, que es hecha a voluntad del investigador para representar el fenómeno deseado.

#### **4.1.1.- Método matemático.**

En ciencias aplicadas, ya sea un modelo matemático o método matemático, es uno de los tipos de modelos científicos el cual emplea un tipo de formulismo matemático para poder expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades, esto con la finalidad de estudiar comportamientos sistemáticos complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.

En la mayoría de los casos, la construcción o creación de modelos matemáticos útiles sigue una serie de fases bien determinadas:

a) Identificación de un problema o situación compleja, la cual requiera ser simulada o controlada, y por tanto requeriría un modelo matemático predictivo.

b) Elección del tipo de modelo, en esta fase se requiere precisar qué tipo de respuesta se pretende obtener, así como también el saber cuáles son los datos de entrada o factores relevantes y para qué pretende usarse el modelo. Esta elección debe ser bastante simple como para permitir un tratamiento matemático asequible con los recursos disponibles. Además, esta fase requiere identificar el mayor número de datos fidedignos, rotular y clasificar las incógnitas (variables independientes y dependientes) y establecer consideraciones, físicas, químicas, geométricas, entre otras que puedan representar adecuadamente el fenómeno en estudio.

c) Formalización del modelo, en esta fase se detallarán y mostraran la forma tienen los datos de entrada, así como el tipo de herramienta

matemática a usar, como también se adaptan a la información previa existente. En esta fase es probable que se introduzcan simplificaciones suficientes para que el problema matemático de modelización sea tratable computacionalmente.

d) Comparación de resultados, en esta fase aquellos resultados obtenidos como predicciones necesitaran ser comparados con los hechos observados, esto para ver si el modelo está prediciendo correctamente. Si los resultados no se ajustan bien, frecuentemente se vuelve a la fase “a”.

También es importante mencionar que la gran cantidad de modelos matemáticos existentes no son exactos y tienen un alto grado de idealización y simplificación, esto ya que una modelización muy exacta tiende a ser más complicada de tratar de una simplificación conveniente y, por lo tanto, es menos útil.

Este método se centrará, básicamente, en la implementación de algoritmos matemáticos para la resolución de problemas planteados y analizados con las diversas herramientas de distintos procesos matemáticos para llegar al fin deseado. Por lo tanto, la presente investigación se basa en el método matemático, ya que, para las respuestas de las hipótesis, así como de los objetivos, se recurrirá a los métodos matemáticos adecuados, incluyendo los diversos procesos de análisis.

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

“La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno” (Hernández y Colaboradores, 2010; 4); por consiguiente, es necesario el identificar hacia donde se dirige la investigación, que, en

otras palabras, es buscar el enfoque de la misma. Se han definido dos enfoques para la investigación, el cualitativo y el cuantitativo, los cuales tienen sus particularidades y diferencias uno con el otro.

Usando como base el enfoque cuantitativo, el cual es utilizado en la presente investigación, se pretende describir a grandes rasgos el método mencionado, el cual se basa en la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

Para un análisis cuantitativo, se requiere del seguimiento de una serie de pasos secuenciales que no pueden ser pasados por alto a lo largo de su ejecución, comenzando con generar una idea y plantear el problema de la misma, revisar la literatura y el desarrollo del marco teórico seguido de visualizar el alcance de estudio, la elaboración de hipótesis y la definición de las variables para posteriormente desarrollar el diseño de la investigación; una vez definida y seleccionada la muestra se recolectan los datos obtenidos y así posteriormente, poder analizarlos con el fin de elaborar el reporte de resultados, el cual es el objetivo del método previamente descrito.

Debido a lo descrito anteriormente, se llega a la conclusión de enfocar la investigación dentro del carácter cuantitativo, debido a que, para responder la pregunta de investigación, así como las hipótesis propuestas, se emplean métodos numéricos o matemáticos en los cuales se basará la investigación

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

La presente investigación se considerada de un alcance descriptivo, debido a que de todos los tipos de investigación que se conocen, la exploratoria, descriptiva, correlacional y explicativa, es la que presenta los parámetros o condiciones del alcance mencionado anteriormente.

Dicho por Hernández y Colaboradores (2010), el alcance del estudio se relaciona con el método de investigación del mismo; y el diseño, los procedimientos entre otras cosas variaran en los estudios si estos tienen enfoque exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. En la práctica, es muy común encontrar estudios que puedan tener más de uno de los alcances, sin embargo, el estudio se centrará en su mayoría a uno de estos, los cuales se explicaran a continuación.

Los estudios exploratorios son utilizados de forma para preparar el terreno para investigaciones futuras, este método se utiliza usualmente para preceder un estudio de enfoque descriptivo, correlacional o explicativo.

Los estudios descriptivos generalmente preceden de investigaciones correlacionales, las cuales a su vez preceden de investigaciones de enfoque explicativo que generalmente tienen un amplio entendimiento y están bien estructurados. Anteriormente se indicó que una investigación realizada en campo de un conocimiento más específico puede incluir diferentes alcances en las etapas de su desarrollo, y como menciona Hernández y Colaboradores (2010) los estudios exploratorios se realizaran cuando el objetivo es el de examinar un tema o un problema de investigación que no ha sido muy estudiado, en el cual surgen muchas dudas y no han sido abordadas antes.

Cuando la revisión con respecto a la literatura ha demostrado que sobre el tema existen solo guías no investigadas a fondo o vagas ideas que están relacionadas con el problema del estudio, pueden utilizarse para indagar más a fondo sobre el problema y las áreas desde un diferente enfoque.

Un ejemplo a tomar sería investigaciones cuyo objetivo y fin es analizar fenómenos desconocidos y/o novedosos, como puede ser una enfermedad cuyo brote fue reciente o alguna catástrofe en algún lugar la cual nunca se había visto.

Usualmente el investigador trata de describir los fenómenos, situaciones, contextos y/o eventos, detallándolos y explicando cómo se manifiestan, y para esto se realiza una investigación de alcance descriptivo. “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de las personas, de grupos, comunidades, procesos, objetivos o cualquier otros fenómeno que se someta a un análisis.” (Hernández y Colaboradores, 2010; 79)

Para una investigación de este tipo, se pretende medir o recoger información en conjunto, o ya sea independiente sobre las variables del problema que se pretende investigar. Por lo tanto, la investigación se considera dentro del régimen descriptivo, debido a las características previamente mencionadas.

#### **4.3.- Diseño de la investigación.**

Existen diferentes tipos de diseño de una investigación de los cuales destacan tres que son: experimental, no experimental y casi (o cuasi) experimental.

Para la presente investigación se utilizará el diseño no experimental debido a que no se manipularan las variables a estudiar puesto que solo se observará cómo interactúan sin alteración alguna para posteriormente analizarlas.

“El diseño experimental podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables para ver su efecto sobre otras variables”. (Hernández y Colaboradores, 2010; 149) Para la investigación no experimental se observa algún fenómeno tal y como es en su estado natural sin alteración alguna, para posteriormente analizarlo y llegar a una conclusión de acuerdo a ello.

Para un diseño experimental, se crea una situación en la que son expuestas diferentes variables, con el fin de poder probarlas ante determinadas circunstancias para posteriormente evaluar los efectos provocados a dichas variables. En cambio, en un estudio no experimental, no se genera situación alguna, sino que se observa alguna ya existente, que no sea provocada por quien la realiza. Para este tipo de estudio según Hernández y Colaboradores (2010), las variables simplemente ocurren y no se pueden manipular, por lo que no hay control directo sobre dichas variables y no se puede tener una influencia sobre ellas.

Hay diversos criterios para clasificar una investigación no experimental, por lo que en el presente documento se considera la siguiente manera de clasificar dicha investigación: por su dimensión temporal o el número de momentos o puntos en el tiempo, en los cuales se recolectan datos.

Para el caso del diseño apropiado (que es bajo enfoque experimental) es el transversal o transeccional, puesto que su alcance inicial o final será exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. En otras ocasiones la investigación se concentra en estudiar cómo evolucionan las variables o las relaciones que existen entre ellas y, en su caso, también analizar los cambios los cambios a través del tiempo de un evento o situación, en situaciones como éstas el diseño apropiado (para un enfoque experimental) es el longitudinal. Es decir, los diseños no experimentales se pueden clasificar en transaccionales y longitudinales.

En los diseños de investigación transaccional se recolectan datos en un solo momento y tiempo único. El propósito de ésta es describir variables y analizar su comportamiento dado. Es como tomar una fotografía en un momento dado de un evento que sucede. A su vez los diseños transaccionales se dividen en tres: transaccionales, descriptivos, y correlacionales-causales.

De esta manera, se define que la presente investigación es de orden no experimental, debido a que no se presentan las características para que se considere una investigación experimental o casi experimental, de la misma forma que no se pretende hacer experimentos o pruebas para la búsqueda de resultados.

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

Para la recopilación, análisis y resolución de datos, es indispensable el uso de herramientas y programas que facilitan la correcta búsqueda de las respuestas que se

buscan. Por tanto, a continuación, se presentan algunas de estas herramientas con un breve contenido de su funcionalidad a lo largo de la investigación.

Excel: Esta herramienta es muy útil al momento de hacer tablas o cálculos cuyo proceso requiere conexión o relación de variables, por lo que el uso del mismo es vital al momento de realizar el análisis de datos para el cálculo de los elementos a revisar en la investigación.

Word: el programa ayuda a la redacción principal de la investigación, ya que es el programa principal para escribir toda la parte teórica y, de la misma manera, presentar de manera organizada los cálculos y análisis necesarios en la obtención de respuestas y resultados.

AutoCAD: Este software es indispensable para todo proyecto de ingeniería, debido a su multifuncionalidad y versatilidad al momento de hacer trazos, dibujos y planos, los cuales será necesario presentar a lo largo de esta investigación.

Estación total: Este instrumento es utilizado para hacer levantamientos topográficos, para lo cual se requerirá al momento de presentar el plano y la estructura del lugar donde se proyectarán los análisis propuestos en la presente investigación.

#### **4.5.- Descripción del proceso de investigación.**

Para la presente investigación se utilizó un proceso metódico para el cual se realizó una visita de campo en la cual se analizaron las condiciones, posteriormente se sacaron variables de estudio con las cuales se plantearán objetivos e hipótesis de investigación para resolver.

Se habla sobre la teoría necesaria para encontrar y resolver las variables propuestas, así como también dar a conocer al lector lo básico del tema y este pueda juzgarlo adecuadamente. Toda esta información se encuentra en los capítulos 1 y 2 de la presente investigación. Así una vez concretada toda la teoría, se empezará a centrar todo con respecto al lugar de estudio para resolver los problemas presentes en el sitio.

## CAPÍTULO 5

### CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

En el presente capítulo se analizarán los cálculos necesarios para obtener el espesor de la carpeta para la calle 20 de noviembre, el cual será de concreto; además para complementar los cálculos se incluyen planos topográficos, mostrando la sección de la calle, vista en planta y el perfil del terreno, así como también se incluyen datos del estudio de mecánica de suelos proporcionados por parte del laboratorio de Ingeniería y Laboratorio para la Construcción y Estudio de Mecánica de Suelos (ILCEMS).

#### 5.1. – Plano topográfico.

Para poder calcular y analizar ciertas variables del proyecto, es necesario un plano topográfico, el cual brinda algunas características del lugar de estudio, así como el perfil y las dimensiones de la calle, el cual se muestra en el Anexo.

Dicho plano representa parte del terreno natural con una escala determinada, en el cual se presentan de tres maneras:

- Vista en planta, la cual muestra una representación del lugar de estudio desde una vista aérea.
- Vista de perfil, en esta vista se observan los diferentes desniveles o cambios de pendiente que presenta el área de estudio.
- Secciones, las cuales están tomadas a una distancia de 20 m

Dicho plano, el cual es una representación del terreno natural a una cierta escala, las cuales se presentan de tres maneras diferentes:

- vista en planta; es una representación en vista aérea del sitio de estudio.
- vista en perfil, la cual muestra el desnivel del área de estudio
- vista en secciones, las cuales están a cada 20 m, siendo esta un corte transversal de la planta.

Para la vista en planta, se muestra la longitud de la calle, la cual tiene 1.03 km, con secciones a cada 20 m.

## 5.2. – Diseño de pavimento.

Dentro de este apartado se realizarán los cálculos para el diseño del pavimento mediante el método AASHTO, para lo cual se utilizarán los datos proporcionados anteriormente:

- Resistencia a la compresión del concreto –  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del concreto  $E_c$

$$E_c = 21000\sqrt{f'c}$$

- Módulo de reacción del suelo “k”: Al ser la capacidad de carga del suelo 13 kg/cm<sup>2</sup>, se transforma a libra sobre pulgada cuadrada (PSI), el cual da un valor de 184.903 PSI, por lo tanto, se ubica en el rango 3 el cual es mostrado en la tabla siguiente:

TIPO DE SUELO	SOPORTE	Valores de "k"	
Suelo de grano fino en el cual el tamaño de las partículas de limo y arcilla predominan	Bajo	75	120
Arenas y mezclas de arena con gravas, con una cantidad considerable de limo y arcilla	Medio	130	170
Arenas y mezclas de arena con grava, relativamente libre de finos.	Alto	180	220
Subbase tratada con cemento	Muy Alto	250	400

Tabla 2.7. Tipos de suelo de subrasante y valores aproximados de  $k$ .

Fuente: Guía para diseño y construcción de pavimentos rígidos, 1993

Por lo tanto, se tomará un valor para "**K**" de **200 PCI**.

- Módulo de ruptura  $M_r$  o  $S'c$ : la calle 20 de noviembre es una de las calles principales del centro de la ciudad, por ende, se considera una zona urbana principal y como lo marca la tabla 2.5 el  **$M_r = 640.1 \text{ psi}$**
- Coeficiente de transmisión de carga: al ser una de las calles principales del centro, la cantidad de tráfico sobre la calle es grande, por lo tanto, se requiere de un pasa juntas y soporte lateral en la calle; por lo cual, como muestra la tabla 2.6, se obtiene un valor de  **$J = 2.5$** .
- Coeficiente de drenaje: al ser una calle con pendiente prolongada, su porcentaje de tiempo expuesto a humedad es grande, dando así un valor de  **$C_d = 1.10$**  correspondiente a un drenaje excelente con más de 25%

- Desviación estándar: la tabla 2.10 nos muestra los valores de confiabilidad recomendados en México y, al ser una zona urbana principal, su confiabilidad es del 60%, dando así, un valor de desviación estándar de  **$S_o = 0.30$**
- Índice de serviciabilidad inicial –  **$P_o = 4.5$**
- Índice de serviciabilidad final –  **$P_t = 1.5$**

$$\Delta PSI = 4.5 - 1.5 = 3.0$$

El valor del peso total del pavimento se obtiene al calcular la cantidad de vehículos transitados por la calle a lo cual se transforma a un número de ejes, lo cual es necesario para obtener dicha carga, este dato se obtuvo al hacer un aforo vehicular el cual muestra los datos siguientes:

Día de estudio	Hora de estudio	TIPO DE VEHICULO							
		A	A <sub>1</sub>	B	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	T <sub>2</sub> -S <sub>3</sub>	T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>	
lunes, 16 de abril de 2018	08:00 a. m. a 09:00 a. m.	198	71	3	3	0	0	0	
lunes, 23 de abril de 2018	02:00 p. m. a 03:00 p. m.	211	88	8	1	0	0	0	
viernes, 13 de abril de 2018	07:00 p. m. a 08:00 p. m.	200	110	10	0	0	0	0	
miércoles, 11 de abril de 2018	05:00 a. m. a 06:00 a. m.	74	55	0	1	0	0	0	
sábado, 14 de abril de 2018	11:00 a. m. a 12:00 p. m.	119	77	3	1	0	0	0	
domingo, 15 de abril de 2018	09:00 p. m. a 10:00 p. m.	71	40	2	0	0	0	0	

Tabla 5.1 – Aforo vehicular.

Fuente: Propia.

Al obtener los datos anteriores se realiza la siguiente tabla con el promedio de vehículos que circulan por la calle:

<i>Tipo de Vehiculos</i>	<i>%</i>	<i>VPD</i>
A	75.0	200.0
A1	20.0	120.0
B	4.0	10.0
C2	1.0	3.0
C3	0.0	0.0
T2 - S2	0.0	0.0
T3 - S2	0.0	0.0

Tabla 5.2 Porcentaje de Aforo Vehicular.

Fuente: Propia

El siguiente valor a calcular es el volumen de Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), este valor equivale en ejes sencillos a 8.2 ton mediante la aplicación de los coeficientes de daño por tránsito de vehículos; se toma en cuenta el tránsito en un solo sentido, por lo tanto para obtener el valor se utiliza lo siguiente:

- Coeficiente de distribución – 100% (1 sólo carril)

<i>Tipo de Vehiculo</i>	<i>TDPA en 1 dirección</i>	<i>N° de vehiculos</i>	<i>Coeficiente de daño</i>	<i>N° de ejes equivalentes</i>
A	200.00	200.00	0.0046	0.920
A <sub>1</sub>	120.00	120.00	0.34	40.800
B	10.00	10.00	2.0	20.000
C <sub>2</sub>	3.00	3.00	0.88	2.640
C <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.88	0.000
T <sub>2</sub> - S <sub>2</sub>	0.00	0.00	4.0	0.000
T <sub>3</sub> - S <sub>2</sub>	0.00	0.00	5.0	0.000
TOTAL =				64.360

Tabla 5.3 Cálculo para el número de ejes equivalentes

Fuente: Propia.

El coeficiente de daño mostrado en la tabla anterior se obtiene multiplicando el tránsito diario promedio anual por el coeficiente de distribución, el cual se obtuvo de la tabla siguiente:

N. de carriles	Coef. De distribución
2	50%
4	40 - 50%
6 o mas	30 - 40%

Tabla 5.4 Coeficiente de distribución

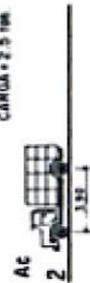
Fuente: Instituto de Ingeniería (2010), 34

El número de ejes equivalentes es diferente para cada región es determinado multiplicando el número de vehículos de carril de diseño por el coeficiente de daño, el cual es obtenido en las siguientes tablas:

NOTA  
 $K_1$ : Coeficiente de exposición para el vehículo vacío  
 $K_2$ : Coeficiente de exposición para el vehículo completo



AP  
1



AC  
2

CARGA = 2.5 Tm.



B  
3

25 PASAJEROS

CARACTERÍSTICAS			COEFICIENTES DE DAÑO		
Eje	Pase, ton		VACIO, F <sup>1</sup>		
	Carga	Vacio	z = 0	z = 15	z = 30
1	1.0	0.8	0.0023	0.000	0.000
2	1.0	0.8	0.0023	0.000	0.000
3					
Σ	2.0	1.6	0.0046	0.000	0.000

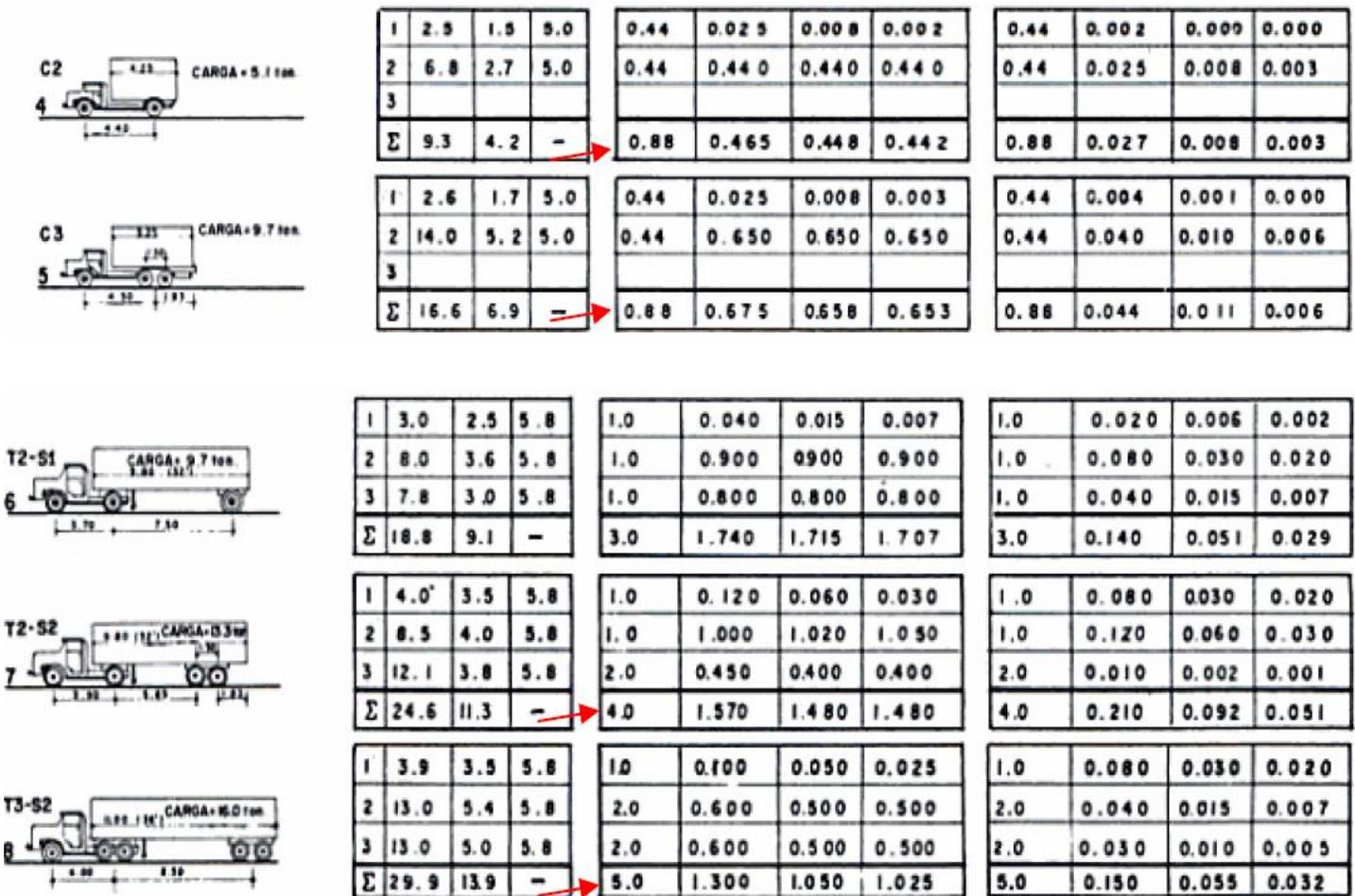
CARACTERÍSTICAS			CARGADO, F		
Eje	Pase, ton		VACIO, F <sup>1</sup>		
	Carga	Vacio	z = 0	z = 15	z = 30
1	1.6	1.2	0.17	0.002	0.001
2	3.3	1.2	0.17	0.040	0.010
3					
Σ	4.9	2.4	0.34	0.042	0.010

CARACTERÍSTICAS			COEFICIENTES DE DAÑO		
Eje	Pase, ton		VACIO, F <sup>1</sup>		
	Carga	Vacio	z = 0	z = 15	z = 30
1	4.2	3.0	1.0	0.040	0.015
2	8.3	7.0	1.0	0.600	0.500
3					
Σ	12.5	10.0	2.0	0.640	0.515

Imagen 5.1 Coeficiente de daño por tránsito para vehículos.

Fuente: Instituto de Ingeniería (2010), 35

Imagen 5.2 Coeficiente de daño por tránsito para vehículos tipo C<sub>2</sub> - T<sub>2</sub>-S<sub>3</sub>  
 Fuente: Instituto de Ingeniería (2010), 35



En las tablas anteriores se muestra con una flecha el valor de  $z=0$ , el cual es la suma de los coeficientes de daño bajo carga máxima más desfavorable; estas sumas representan el tránsito equivalente en ejes simples de 8.2 ton.

El siguiente valor a calcular es el tránsito equivalente acumulado; para obtener dicho valor se utilizan los 8.2 ton por un periodo "n" de tiempo, el cual se calcula mediante la siguiente fórmula:

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

En donde:

- $\Sigma In$  = tránsito acumulado en un periodo "n" años de servicio, con una tasa de crecimiento "r" (en ejes equivalentes de 8.2 ton).
- $T_o$  = tránsito medio diario durante el primer año de servicio (en ejes equivalentes de 8.2 ton).
- $C'$  = coeficiente de acumulación de tránsito en "n" años de servicio, con una tasa de crecimiento "r", el cual se obtiene de la siguiente ecuación:

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

Tomando en cuenta un periodo de diseño de 25 años con una tasa de crecimiento anual del 3%, por lo cual queda de la siguiente manera:

$$C' = 365 \left[ \frac{(1 + 0.03)^{25} - 1}{0.03} \right]$$

$$C' = 13,307.63$$

Entonces ahora, reemplazando los valores en la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\Sigma In = 64.36 \times 13,307.63 = 856,479.06$$

Esto indica que el número total de ejes equivalentes de 8.2 ton es de 856,479.06; por lo cual se utiliza la siguiente tabla donde se muestran las variables obtenidas para así poder entrar al nomograma y obtener el espesor deseado para la carpeta:

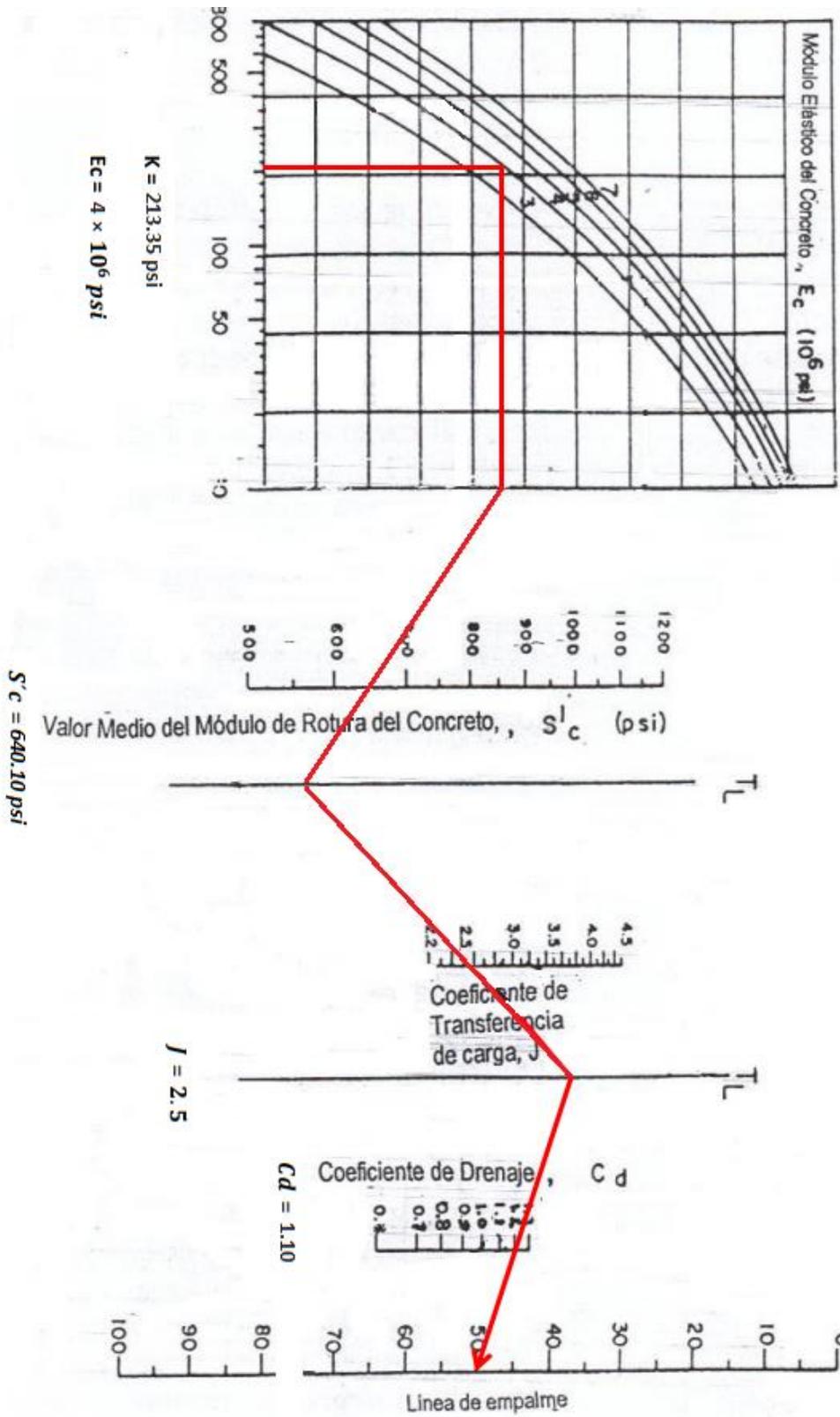
VARIABLE	UNIDAD	VALOR DE LA VARIABLE
Módulo de reacción del suelo	k = PCI	213.35
Módulo de elasticidad del concreto	Ec = PCI	4x10 <sup>6</sup>
Módulo de ruptura	Mr = PSI	640.10
Coficiente de transferencia de carga	J = adm.	2.50
Coficiente de drenaje	Cd = adm.	1.10
Serviciabilidad	ΔPSI =adm.	3.00
Confiability	R = %	95.00
Desviación estándar	So = adm.	0.30
Carga equivalente	ESAL'S= kip10 <sup>6</sup>	856479.06

Tabla 5.5. Variables obtenidas.

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, una vez obtenido lo anterior se hará una relación de valores dentro del nomograma; este nomograma son un conjunto de gráficas las cuales se utilizan para obtener el espesor del pavimento. A continuación, se muestra el nomograma, en donde, entrando con el valor de “k” que equivale a 213.35 hasta llegar a la curva con del módulo de elasticidad del concreto, posteriormente se alinea con el módulo de ruptura siguiendo hasta el valor del coeficiente de carga “J” y de ahí se pasa al coeficiente de drenaje, esto hasta llegar a una “línea de empalme”; llegado a este punto se debe de continuar en la misma trayectoria hasta llegar a la pérdida de Serviciabilidad para así, continuar la recta hasta la tabla de espesores.

Para la segunda recta, se debe de intersectar con la anterior, para entonces empezar a partir de la confiabilidad del proyecto, trazando una línea hacia la desviación estándar; de ese punto hacia la carga equivalente respectivamente indicada en el nomograma; una vez hecho esto se introduce la recta en la tabla de espesores e intersecta con la primera, punto en donde ocurre la intersección de estas dos líneas es el espesor deseado el cual esta expresado en pulgadas:



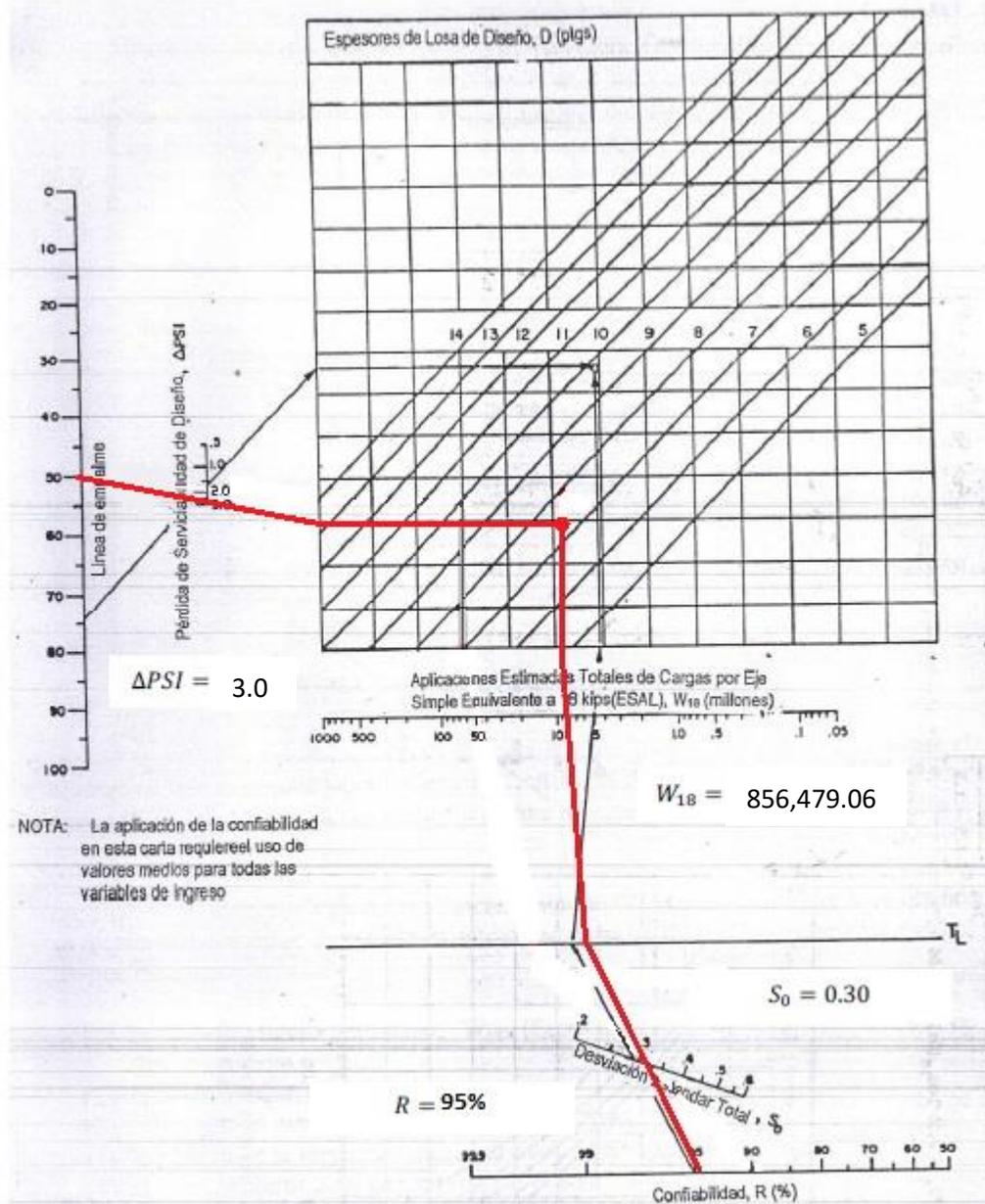


Imagen 5.2. – Nomograma para el cálculo del pavimento.

Fuente: Universidad Nacional Autónoma de México (2010), 38

De acuerdo a lo obtenido en el nomograma, da un resultado de 7.5 pulgadas, lo cual corresponde a 19.05 cm, por lo cual se tomarán 20 cm. La norma considera como mínimo para un pavimento rígido de 15 cm de espesor (si como resultado del

nomograma se obtuviera un valor menor a 15 cm), esto con la finalidad de resistir los esfuerzos de las cargas a las cuales será sometido el pavimento y así, cumplir con lo marcado en las normas de la SCT como también en el AASHTO.

### **5.2.1. – Base y sub-base.**

Otros elementos a analizar para un pavimento rígido son la base y la sub-base; se entiende por base a la capa superior la cual recibe la una parte de los esfuerzos y sobre la cual es colocado el pavimento, ya que la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento.

La sub-base es aquella capa del pavimento la cual ésta destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la subrasante pueda soportar absorbiendo las variaciones que puedan afectar a la sub-base; también debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que puedan dañar para el pavimento.

Para un pavimento rígido, no es importante estudiar a fondo la sub-base puesto que la losa es la que va a soportar la mayor parte de los esfuerzos de los vehículos, por lo tanto, no se estudió a fondo la sub-base para el diseño del pavimento.

Entonces, dado que no se estudió a fondo la sub-base, existen ciertas recomendaciones con respecto al espesor, el cual, no debe ser menor de 10 cm y en condiciones regulares no debe de exceder de 20 cm. Estas recomendaciones son impartidas para el diseño de pavimentos por método AASHTO como también lo es para el método PCA (Asociación de Cementos Portland).

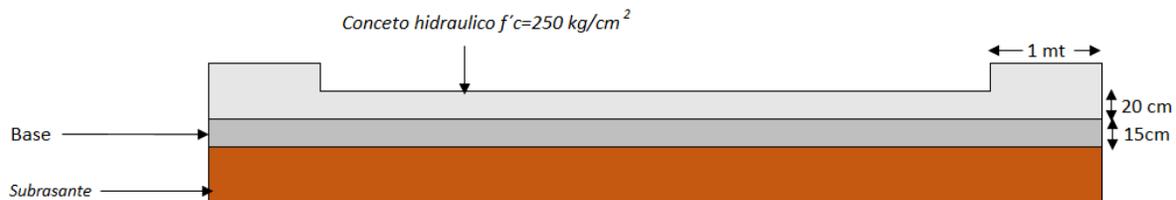
En la tabla siguiente se puede apreciar el espesor indicado para el numero de ejes equivalentes:

ESAL'S (Transito en Ejes Equivalentes)	Carpeta de Concreto	Bases (en Pulg.)
Menos de 50,000	1.0	4.0
50,001 - 150,000	2.0	4.0
150,001 - 500,000	2.5	4.0
500,001 - 2,000,000	3.0	6.0
2,000,001 - 7,000,000	3.5	6.0
Mayores a 7,000,000	4.0	6.0

Tabla 5.6.- Espesores mínimos y bases en pulgadas, para pavimentos rígidos

Fuente: Guía para diseño y construcción de pavimentos rígidos, 1993

Como se muestra en la tabla 5.16, el tránsito en ejes equivalentes es de 856,479.06, por lo tanto, corresponde un espesor de base de 6", lo cual es aproximadamente 15 cm, por ende, se utiliza ese espesor de base; esto con la finalidad de mantener la seguridad y funcionalidad el pavimento. A continuación, se muestra el espesor, tanto de la subrasante como de la base, para un pavimento rígido con un  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ .



Los resultados obtenidos por medio de los cálculos en la presente investigación determinan que, para la realización del diseño de un pavimento rígido para la calle 20 de noviembre se debe de utilizar una base de 15 cm de espesor, de acuerdo a las normas establecidas anteriormente; por otro lado, los diversos factores que intervienen en el diseño del pavimento transito promedio diario anual (TPDA), módulo de reacción del suelo, coeficiente de drenaje, confiabilidad y módulo de ruptura, establecen los parámetros para obtener un espesor de carpeta de 20 cm utilizando concreto con una resistencia  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ .

## **CONCLUSIÓN**

De acuerdo con los cálculos realizados para la presente investigación, se cumple con el objetivo general, el cual era determinar la mejor propuesta de diseño

para el reencarpetamiento con pavimento rígido de la calle 20 de Noviembre localizada en Uruapan Michoacán, que abarca desde la hasta la calle Emilio Carranza hasta la calle Lic. Primo Verdad; ya que al llevar a cabo ciertos estudios para obtener la información necesaria, además de la información proporcionada por parte del laboratorio de Ingeniería y Laboratorio para la Construcción y Estudio de Mecánica de Suelos (ILCEMS); el objetivo es cumplido habiendo obtenido un espesor de concreto de 20 cm, incluyendo una base de 15 cm.

Para los objetivos particulares, se empieza por definir un concepto adecuado de Vías Terrestres, pues en base a la información obtenida se determinó que las vías terrestres son una adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido condicionada.

El segundo objetivo particular mencionado era el determinar cómo está formado el pavimento rígido, para lo cual, dentro de la presente investigación se obtuvo que un pavimento rígido está conformado por una serie de capas las cuales son la capa subrasante, que es la capa del terreno la cual soporta toda la estructura de un pavimento y su profundidad no afecta a la carga de diseño; la sub-base, la cual se determinó que es aquella capa del pavimento la cual ésta destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento; y la losa de concreto hidráulico, que está definida como la capa superior de la estructura del pavimento, la cual está hecha de concreto.

El último objetivo particular, el cual es el tema principal de la presente investigación, que era diseñar un pavimento óptimo para la calle 20 de noviembre;

dado los datos obtenidos mediante el método AASHTO da como resultado una losa de concreto de 20 cm de espesor, con una base de 15 cm de espesor; ya que la subrasante no afecta a la carga de la estructura no se define su espesor.

Así mismo también se planteó una pregunta de investigación, la cual mediante la presente investigación se fue resolviendo y se llegó a una respuesta. Dicha pregunta de investigación dice ¿Cuál sería una propuesta de diseño óptimo de un pavimento para la calle 20 de noviembre ubicada en la ciudad de Uruapan, Michoacán?; por la presente investigación y los datos obtenidos se llegó a la conclusión que se debe de colocar un espesor de losa de 20 cm así como una base de 15 cm de espesor, utilizando un concreto  $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ .

De igual manera, otras preguntas en dicha investigación es el por qué se optó por un pavimento rígido y no uno flexible; una de las ventajas con respecto a un pavimento rígido sobre uno flexible es el mantenimiento de la carpeta ya que, además dado el tipo de vehículos que transita sobre la calle, el pavimento rígido es más favorable; sin embargo, con respecto al costo, un pavimento rígido es más costoso que un flexible.

## **BIBLIOGRAFÍAS.**

Bañón Blázquez, Luis. (2010)  
Manual de Carreteras.  
Ed. Universal, Chile.

Cal y Mayor Reyes Spindola, Rafael. (1994)  
Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones.  
Editorial Alfaomega, México.

Cal y Mayor Reyes Spindola, Rafael. (1998)  
Ingeniería de Tránsito: fundamentos y aplicaciones.  
Editorial Alfaomega, México.

Crespo Villalaz, Carlos. (1996)  
Vías de Comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes Y Puertos  
3ra Edición  
Ed. Limusa, México.

Hernández Sampieri, Roberto y Colaboradores. (2010)  
Metodología de la investigación.  
Ed. Mc Graw Hill. México.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. (2002)  
Pavimentos de concreto para carreteras.  
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., México.

Juárez Badillo, Eulalio. (2004)

Mecánica de Suelos, Tomo 1  
Editorial Limusa, México.

Olivera Bustamante, Fernando. (2009)  
Estructuración de Vías Terrestres.  
Ed. Continental, México.

Rico Rodríguez, Alfonso. (1998)  
La ingeniería se suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas.  
Volumen 1  
Ed. Limusa, México.

Rico Rodríguez, Alfonso. (1998)  
La ingeniería se suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas.  
Volumen 2  
Ed. Limusa, México.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2000)  
El proceso de la investigación científica.  
Ed. Limusa. México.

Vargas Vargas, Wilson Ernesto. (2012)  
"Ingeniería de Tránsito: Conceptos Básicos".  
Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

## **OTRAS FUENTES**

<http://www.amivtac.org/>

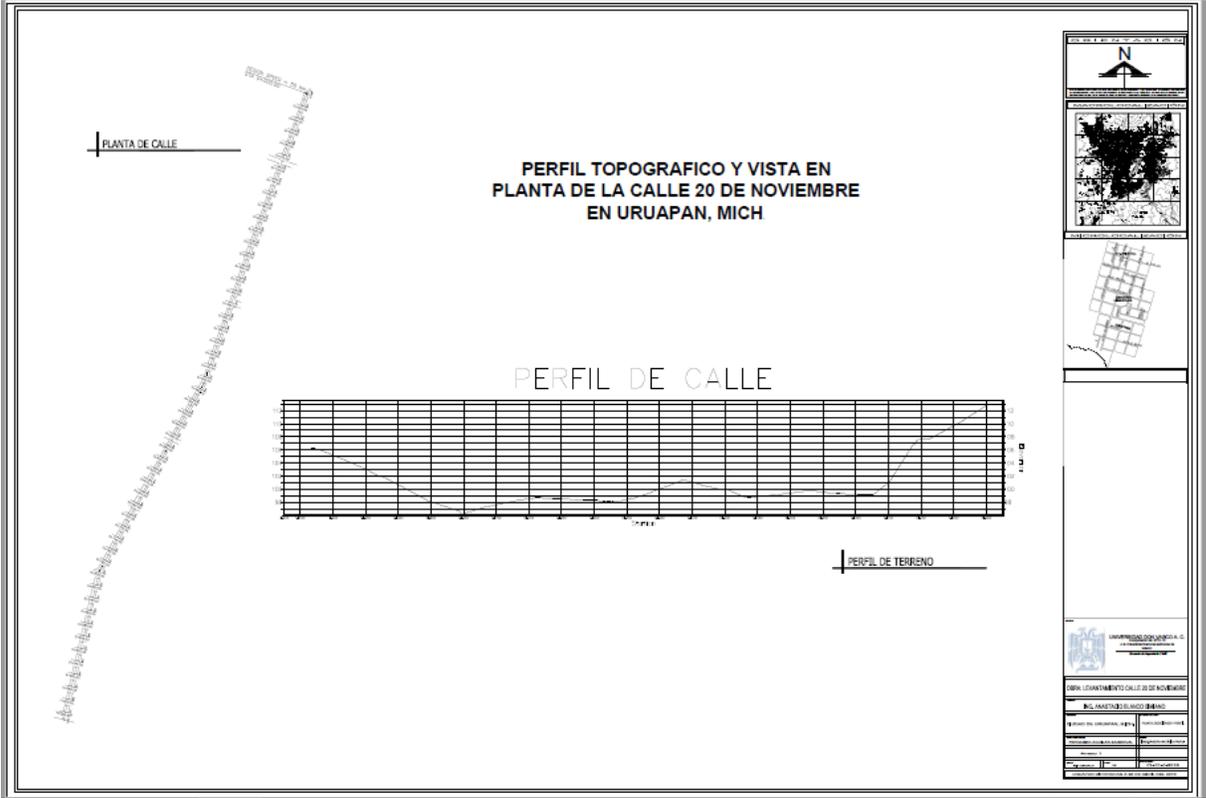
<http://www.acimexico-snem.org/>

<http://concrete-admix.es/>

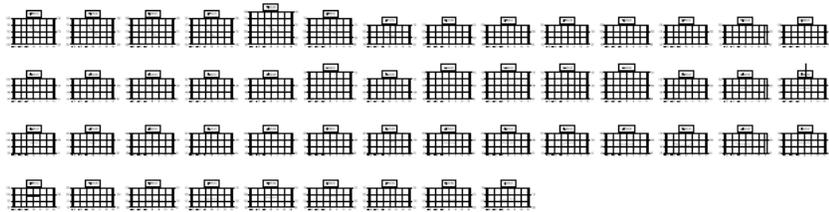
<http://www.avingenieria.com/>

<http://www.ptolomeo.unam.mx/>

# ANEXOS



# SECCIONES DE LA CALLE 20 DE NOVIEMBRE EN URUAPAN, MICH



SECCIONES DE TERRENO

Map information block containing:

- North arrow pointing up with the letter 'N'.
- Aerial photograph of the area.
- A schematic street grid diagram.
- Logo of the State of Michoacán.
- Logo of the Municipality of Uruapan.
- Text: "DISTRITO DE CALLE 20 DE NOVIEMBRE"
- Text: "MUNICIPIO DE URUAPAN, MICHOACÁN"
- Text: "URUAPAN, MICHOACÁN"
- Text: "2011"