



# **UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.**

Incorporación No. 8727-15

a la Universidad Nacional Autónoma de México.

## **Escuela de Ingeniería Civil**

### **PROPUESTA DEL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO SOBRE LA CALLE APAHTZI EN LA COLONIA SANTA BÁRBARA EN URUAPAN, MICHOACÁN.**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

**Julio Zamora Ochoa.**

Asesor: Ing. Anastacio Blanco Simiano

Uruapan, Michoacán, a 12 de octubre del 2018.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# ÍNDICE

## **Introducción.**

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Antecedentes.....                | 1 |
| Planteamiento del problema. .... | 3 |
| Objetivos. ....                  | 4 |
| Pregunta de investigación. ....  | 5 |
| Justificación.....               | 5 |
| Marco de referencia.....         | 5 |

## **Capítulo 1.- Vías Terrestres.**

|  |    |
|--|----|
| 1.1. Historia de los caminos. ....                       | 7  |
| 1.2. Historia de los caminos en México. ....             | 8  |
| 1.3. Planeación de los caminos. ....                     | 10 |
| 1.3.1. Actividades político-social-administrativas. .... | 11 |
| 1.3.2. Actividades Económicas. ....                      | 11 |
| 1.4. Técnicas para la evaluación de proyectos. ....      | 13 |
| 1.4.1. Caminos de función social.....                    | 14 |
| 1.4.2. Caminos de penetración económica. ....            | 15 |
| 1.4.3. Caminos en regiones desarrolladas.....            | 16 |
| 1.5. Clasificación funcional de una red vial. ....       | 17 |

|  |    |
|--|----|
| 1.6. Sistema vial urbano.....                              | 18 |
| 1.7. Volumen de tránsito. ....                             | 19 |
| 1.8. Conteos de tránsito. ....                             | 20 |
| 1.8.1. De manera manual.....                               | 20 |
| 1.8.2. Conteos mecánicos. ....                             | 21 |
| 1.9. Tipos de caminos. ....                                | 23 |
| 1.10. Partes integrantes de un camino.....                 | 24 |
| 1.11. Especificaciones de la sección transversal. ....     | 26 |
| 1.12. Alineamiento. ....                                   | 27 |
| 1.13. Sistemas y modos de transporte. ....                 | 28 |
| 1.13.1. Ubicación.....                                     | 28 |
| 1.13.2. Movilidad.....                                     | 28 |
| 1.13.3. Eficiencia. ....                                   | 28 |
| 1.14. Capacidad de un camino.....                          | 29 |
| 1.15. Factores que reducen la capacidad de un camino. .... | 31 |

## **Capítulo 2.- Estudios Preliminares.**

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 2.1. Tránsito Vehicular.....     | 32 |
| 2.2. Problemas de tránsito.....  | 34 |
| 2.3. Soluciones al tránsito..... | 34 |

|  |    |
|--|----|
| 2.4. Elementos del tránsito.....                         | 37 |
| 2.4.1. El usuario.....                                   | 37 |
| 2.4.2.- El vehículo.....                                 | 41 |
| 2.5. Geotecnia del Sitio.....                            | 47 |
| 2.6. Velocidad.....                                      | 47 |
| 2.7. Velocidad de proyecto.....                          | 48 |
| 2.8. Propiedades de los Suelos.....                      | 48 |
| 2.9. Capas de los pavimentos.....                        | 48 |
| 2.10. Requisitos de las capas de apoyo.....              | 51 |
| 2.11. Elementos del concreto.....                        | 54 |
| 2.11.1. Cemento.....                                     | 54 |
| 2.11.2. Aditivos.....                                    | 55 |
| 2.11.3. Agregados.....                                   | 56 |
| 2.12. Control de calidad de los agregados y cemento..... | 56 |

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

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 3.1. Generalidades.....          | 58 |
| 3.1.1. Objetivo.....             | 59 |
| 3.1.2. Alcance del proyecto..... | 59 |
| 3.2. Resumen ejecutivo.....      | 59 |

|   |    |
|---|----|
| 3.3. Entorno geográfico. ....                               | 60 |
| 3.3.1. Macro y Micro localización. ....                     | 63 |
| 3.3.2. Geología Regional y de la zona en estudio. ....      | 64 |
| 3.3.3. Hidrología regional y de la zona en estudio. ....    | 64 |
| 3.3.4. Uso del suelo regional y de la zona en estudio. .... | 66 |
| 3.4. Informe fotográfico. ....                              | 66 |
| 3.4.1. Problemática. ....                                   | 66 |
| 3.4.2. Estado físico actual. ....                           | 68 |
| 3.5. Alternativas de solución. ....                         | 72 |
| 3.5.1. Planteamiento de alternativas. ....                  | 72 |

#### **Capítulo 4.- Metodología.**

|   |    |
|---|----|
| 4.1. Método empleado. ....                          | 77 |
| 4.1.1. Método Matemático. ....                      | 78 |
| 4.2. Enfoque de la investigación. ....              | 78 |
| 4.2.1. Alcance de la investigación. ....            | 79 |
| 4.3. Diseño de la Investigación. ....               | 80 |
| 4.4. Instrumentos de recopilación de datos. ....    | 81 |
| 4.5. Descripción del proceso de investigación. .... | 82 |

## **Capítulo 5.-Cálculo, análisis e interpretación de resultados.**

|  |            |
|--|------------|
| 5.1. Valor relativo de soporte (VRS).....                  | 84         |
| 5.2. Aforo Vehicular.....                                  | 87         |
| 5.2.1. Clasificación.....                                  | 87         |
| 5.2.2. Características.....                                | 87         |
| 5.3. Propuesta de Drenaje Sanitario.....                   | 90         |
| 5.3.1. Red de atarjeas.....                                | 90         |
| 5.3.2. Modelo de configuración para colectores.....        | 91         |
| 5.3.3. Normativa para el sistema de drenaje sanitario..... | 91         |
| 5.3.4. Dotaciones.....                                     | 92         |
| 5.3.5. Coeficientes de variación.....                      | 93         |
| 5.3.6. Análisis del diseño del drenaje sanitario.....      | 94         |
| 5.4. Diseño de la subestructura.....                       | 99         |
| 5.4.1. Regionalización.....                                | 102        |
| 5.5. Método de la PCA (Portland Cement Association).....   | 110        |
| 5.5.1. Factores de diseño.....                             | 110        |
| 5.5.2. Tránsito.....                                       | 110        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>                                   | <b>123</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                   | <b>126</b> |
| <b>ANEXOS</b>  |            |

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes.**

Desde que el hombre se volvió sedentario y creó aldeas, una de las principales necesidades fue comunicarse con otras aldeas, por la practicidad de negociar y vender productos generando ganancias, para ello se hicieron los primeros vehículos acarreados por animales y crearon caminos que facilitarían llegar de una aldea a otra con mayor comodidad y velocidad.

Anteriormente el uso de los pavimentos rígidos se daba exclusivamente en las zonas urbanas refiriéndonos a calles en su mayoría, debido a que su costo inicial era alto con respecto a los pavimentos flexibles, pero con la implementación de la tecnología su uso ha venido creciendo hasta usarse en carreteras con alto aforo vehicular y sus costos de mantenimiento se han ido reduciendo.

En el municipio de Uruapan se tienen graves problemas en lo relacionado a la falta de mantenimiento y conservación de los principales caminos haciendo que estos se degraden, ya que la degradación “es la propiedad de los materiales que indica el grado de desintegración y descomposición que sufren las partículas del suelo al ser sometidas a diferentes agentes físicos o a cargas por tránsito”. (Salazar; 1998: 04)

Debido a esto, se busca implementar un diseño que ayude a que dichas vías no se vean afectadas de manera prematura, comprendiendo que el mejoramiento de estas vías ayuda a que los productos circulen más rápido y sea más fácil llegar de un lugar a otro.

Acerca del diseño de pavimentos, en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C, se encuentran las investigaciones correspondientes al tema, la tesis realizada por Cristian Pérez Sepúlveda en el año 2011 con el siguiente título: Diseño de la Estructura de Pavimento Rígido para el Boulevard Industrial del Km 9+800 al 10+900 en la Ciudad de Uruapan, Michoacán, el cual, tiene como objetivo el diseñar la estructura de pavimento sustituyendo la superficie existente, llegando a la conclusión de los espesores que se deben de obtener para recibir las cargas de tránsito así como las características de los mismos.

También se encuentra la investigación realizada por Joaquín Galván Sierra en el 2012 con la tesis: Propuesta de Pavimento Rígido para las Vialidades del Fraccionamiento Campestre Zumpimito 2da. Etapa, en la Ciudad de Uruapan, Michoacán, el cual tiene como objetivo el diseño de las vialidades internas del fraccionamiento a través de los métodos principales de diseño, llegando a la conclusión del análisis de tres métodos distintos de diseño en cuestión de espesores propuestos.

Por último la investigación realizada por Salvador Adame Ruiz en el 2014 la cual lleva el siguiente título: Diseño de Pavimento Rígido para el Tramo Camino a Santa Rosa del Km 0+000 al 0+952 en la Ciudad de Uruapan, Michoacán, el cual tiene como objetivo el diseño del pavimento rígido sobre el camino a Santa Rosa, con la conclusión de utilizar el método Portland Cement Association (PCA) el cual implica el uso de gráficas y llegando al resultado deseado de una losa de concreto de 20 cm de espesor.

## **Planteamiento del problema.**

Como es el caso de la mayoría de las vías del país su planeación se va dando de acuerdo con el crecimiento de las comunidades por lo cual llegan a quedar sobrepasadas con el aumento de vehículos y personas que las transitan diariamente. Esto genera que se vuelvan deficientes a corto plazo y lo que era una solución ahora se vuelve un problema.

Ocasiona también que, con el rápido crecimiento de las poblaciones sobre la vía, se vuelva complejo hacer obras de ampliaciones sobre las mismas, así como el hecho de que dichas obras generan tráfico y malestar en la sociedad.

En el municipio de Uruapan se tienen graves problemas en lo relacionado a la falta de mantenimiento y conservación de los principales caminos, debido a esto, se busca implementar un diseño que ayude a que dichas vías no se vean afectadas de manera prematura, comprendiendo que el mejoramiento de estas vías ayuda a que la mercancía circule más rápido y sea más fácil llegar de un lugar a otro.

Dicho es el caso la calle Apahtzi sobre la cual se presentan graves problema relacionados con el poco mantenimiento de dicha calle. Por lo tanto ¿es necesario la elaboración de un diseño de pavimento rígido para dicha calle?

## **Objetivos.**

### **Objetivo general.**

Proponer el diseño de pavimento rígido sobre la calle Apahtzi en la Colonia Santa Bárbara.

La intención de dicha investigación no es abarcar en su totalidad todos los aspectos de diseño, pero si una introducción a las principales características y aspectos de ello.

Con la finalidad de analizar recomendaciones y especificar detalles en particular sobre el diseño de los pavimentos rígidos. Así como llevar a cabo el proceso constructivo adecuado para que la pavimentación se de en óptimas condiciones, tomando en cuenta los análisis correspondientes para su diseño y medidas de conservación de la misma.

### **Objetivos Particulares.**

1. Definir el concepto de las vías terrestres.
2. Determinar los problemas sobre las vías terrestres.
3. Determinar la clasificación de los caminos.
4. Determinar los factores que reducen la capacidad de un camino.
5. Determinar las capas de la estructura del pavimento.
6. Definir el diseño óptimo del pavimento.

### **Pregunta de investigación.**

Ya que se ha vuelto indispensable contar con caminos que sean lo suficientemente aceptables, en cuanto a su capacidad, es necesario hacer la siguiente pregunta. ¿Cuál deberá ser el diseño óptimo de la pavimentación rígido sobre la calle Apahtzi?

### **Justificación.**

La elaboración de dicha investigación trae consigo grandes beneficios a todos los sectores de la sociedad debido a que genera una aportación a las siguientes generaciones de la escuela de ingeniería civil de la Universidad Don Vasco A.C. sobre el desarrollo del diseño de una vía de concreto, así como una referencia a quien decida basarse en esta tesis sea un alumno o sea alguna persona interesada de la sociedad.

Esto debido a que la vida útil de un asfalto es menor que el de una pavimentación con concreto hidráulico, así como que se encárese la obra debido a que el mantenimiento del asfalto es mayor que el de los concretos hidráulicos.

Si se hace un diseño óptimo todavía se reduce de manera considerable los costos de la obra, esto considerando el tipo de camino que sea, el aforo vehicular que transita sobre ella y la topografía del sitio.

### **Marco de referencia.**

El tramo en estudio es una calle ubicada en la parte sureste de la Ciudad de Uruapan, es una zona habitacional llamada Santa Bárbara, con una gran cantidad de habitantes, en la cual también se encuentran varios negocios sobre las calles

principales, así como zonas de mercadeo y algunas escuelas, la mayoría de sus calles tienen como función alimentar a las calles principales las cuales son: Av. Quiríndavara y la Calle Lago de Pátzcuaro.

Tiene un clima templado con lluvias en verano. El área de mayor precipitación en el estado corresponde a la Ciudad de Uruapan siendo ésta en la cual se tiene el mayor registro. Este clima favorece a que en la región se siembre la planta de aguacate que es uno de los principales negocios y actividades económicas del municipio y los alrededores.

En la entidad, el sector servicio es la principal actividad de la región, ya que se cuenta con una gran tradición comercial, siendo esta favorecida por la actividad turística. Su actividad industrial está enfocada en la elaboración de alimentos, bebidas, calzados, cuero, productos de madera, entre otros.

# CAPÍTULO 1

## VÍAS TERRESTRES

Las vías terrestres son todas las estructuras que funcionan como piso sobre cualquier camino, sobre el cual transite cualquier vehículo, ya sea comercial o privado. Por ello, estas vías por sí solas no cuentan con las propiedades adecuadas para el tránsito de vehículos, se les deben aplicar o mejorar a base de materiales pétreos, para que se vuelvan caminos por los cuales transiten diariamente vehículos sin verse afectada. Y se debe de entender por camino “aquella faja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos”. (Cal; 1994: 114)

### **1.1. Historia de los caminos.**

De los primeros caminos que se tenga registro son los que conectaban a “los egipcios y a los asirios eran dos pueblos florecientes, que iniciaron el desarrollo de sus caminos, los cartagineses, construyeron caminos de piedra sobre la costa sur del Mediterráneo, 500 años A.C”. (Mier; 1987: 1)

Le siguieron después los romanos, quienes, a diferencia de los otros pueblos, desarrollaban caminos de manera científica, lo cual ayudó a que sus mercancías llegaran de manera rápida, a través de una red perfecta de caminos la cual estaba a cargo de sus ingenieros militares, quienes se enfrentaban de manera continua a obstáculos.

La caída del imperio romano trajo consigo un retroceso en los avances de los caminos, generando que los pueblos existentes perdieran la comunicación con otros pueblos, siendo los religiosos quienes se transportaban para dar sus

peregrinaciones, en los diferentes países como Inglaterra, Francia y España. La falta de avance en los caminos generó que estos se encontraran en condiciones deplorables para quienes se tenían que transportar.

## **1.2. Historia de los caminos en México.**

En México, la red de caminos se amplía a su capacidad económica, generando autopistas de altos requisitos hasta brechas nuevas para comunidades alejadas. Este proyecto de infraestructura de caminos empezó en el año de 1925, según Mier (1987).

A la llegada de los españoles a lo que actualmente es el país de México, se vieron con la sorpresa de que entre sus comunidades no contaban el uso de la rueda para sus actividades diarias, pero sí contaban con grandes cantidades de material rocoso, que se utilizaban en grandes calzadas de piedra.

Los que más usaban los caminos eran los aztecas, quienes los requerían para sus actividades bélicas, de comercio y también de expansión. Otra civilización que utilizaron caminos a base de piedra fueron los mayas, caminos que aún en la actualidad se conservan.

Estas civilizaciones se preocupan por el estado de sus caminos, por lo cual establecían los materiales que debían de usarse en la misma. Estos caminos, más tarde servirían a Cortes en su proceso de conquista de los Aztecas.

Con la colonización se vieron avances en los caminos, siendo algunos modernizados y otros se fueron creando por la necesidad de comunicarse con los puertos. La construcción de estos caminos fue con inversión de la nación

conquistadora, y debido a que los nuevos gobernantes requerían comunicarse con la sede de la Nueva España, para poder transportar las mercancías y materiales que extraían de los diferentes estados.

La colonización trajo grandes avances en el desarrollo de los caminos, esto también se debió a que los colonizadores cambiaron la forma de transporte de mercancías, introduciendo los animales para acarreo de materias y personas, a través de las carretas impulsadas por los caballos según Mier (1987).

De acuerdo con Mier (1987), durante la guerra de independencia, los caminos sufrieron grandes deterioros y no hubo la creación de nuevos caminos. Los distintos regímenes se encontraban concentrados en la elaboración de nuevas leyes que establecieran los procesos constructivos y de conservación de los caminos. Para 1853 se crea la secretaria de Fomento la cual recababa fondos a través de “peaje”, para poder seguir dándole mantenimiento a los caminos.

Durante el mandato del presidente Benito Juárez, sustituyó el peaje por un impuesto. Después el presidente Porfirio Díaz, creó la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

Durante la revolución iniciada en 1910, provocó una conmoción social, ya que durante este tiempo hubo muchos cambios e inestabilidades en todos los gobiernos que entraban y salían, debido a que sus periodos eran muy cortos y no tenían tiempo de generar programas y atender todos los problemas de la nación, solamente priorizaban los asuntos políticos y sociales. Dejando de lado los programas para el desarrollo de la infraestructura carretera, según Mier (1987).

La aparición del automóvil se dio en tiempos de la revolución, por ello cuando el vehículo llegó a México, éste se encontraba muy por encima de las capacidades que se tenían de los caminos sobre los cuales transitaban las carretas acarreadas con animales.

Esto generó que se buscara la ampliación de los caminos existentes, así como la creación de otros, esto a partir de la implementación de nuevos impuestos para poder cubrir los costos de dichas maniobras.

### **1.3. Planeación de los caminos.**

Con la ampliación y apertura de nuevos caminos, en los primeros proyectos fue fácil su realización, pero conforme se fueron aumentando los proyectos y su complejidad, se requirió una planificación adecuada de los caminos prioritarios.

Según Mier (1987), en dichas planeaciones prioritarias, entran las necesidades de particulares debido a que existen zonas en la nación con un nivel cercano a las naciones industrializadas, mientras que existen otros lugares dentro de la nación que están muy marginadas.

Las políticas establecidas en el país en materia de caminos están distribuidas de la siguiente manera: “conservar en buen estado la red existente de caminos; terminar las obras iniciadas al ritmo adecuado; construir ampliaciones, acortamientos y autopistas que mejoren el sistema vial”. (Mier; 1987: 9)

La conservación de los caminos es importante, principalmente en caminos con un alto flujo vehicular, por ello de ser necesario se requerirá la reconstrucción de

tramos nuevos, ya que muchos de estos caminos se hicieron para satisfacer las necesidades de otros tiempos.

Por ello es necesario la realización de una planificación vial satisfactoria en la cual se incluya una red principal que conecte con zona centro del país y vías alimentadoras que cuenten con las características adecuadas para su uso, así como la ampliación de vías alternas para que no se vean afectadas de manera prematura la red principal.

Por ello es necesario priorizar los caminos que conecten a las capitales de los diferentes estados, así como a los principales puertos del país.

La clasificación de la planificación vial de acuerdo con Mier (1987), se clasifica en 2 dependiendo de la actividad: Actividades político-social-administrativas y actividades económicas.

#### **1.3.1. Actividades político-social-administrativas.**

Las actividades político-social están relacionadas con establecer primero los caminos que conecten al centro del país con las capitales de los estados, en segundo lugar, conectar el centro del país con las zonas fronterizas y las zonas con puertos marítimos de gran importancia. Y, en tercer lugar, establecer ahora los caminos de las zonas fronterizas y de puertos con las capitales de los estados.

#### **1.3.2. Actividades Económicas.**

Esta red se presenta estableciendo las principales zonas de producción y comercio, dando mayor importancia a las actividades de agricultura, ganadería, industria y turismo. Quedando fuera actividades como la minería.

Las actividades productivas de la mayoría de las zonas dentro del país se analizan para una serie de estudios tomando en cuenta los datos del INEGI sobre las actividades actuales y los períodos de comercialización, ya que se vuelve necesario conocer la capacidad de producción de la zona, las concentraciones humanas que cuentan con los medios para distribuir los productos.

Según Mier (1987), después es necesario conocer los centros de distribución, los centros de consumo y los censos poblacionales para poder conocer la cantidad de producto consumido por familia y con ello poder determinar los egresos e ingresos, tomando en cuenta tanto las zonas urbanas como rurales.

Sigue la actividad ganadera que estudia los enlaces de la misma forma que la actividad agrícola solamente que se analizan las características de los animales, su especie y las explotaciones de los mismos.

La actividad industrial está enfocada principalmente en la elaboración de productos, considerando la mano de obra, disponibilidad de agua y las políticas de los diferentes municipios o estados para su establecimiento y concentración de industrias según Mier (1987).

Están después las actividades turísticas y culturales las cuales se identifican a través de los principales centros de entretenimiento, las principales zonas comerciales y los diversos atractivos ya sean naturales o producto del hombre.

Después de realizarse los diferentes estudios y consideraciones de las actividades de la zona, se distribuye la red de caminos en base a mapas considerando los caminos ya existentes, para posteriormente realizarse el estudio

político-social-económico con la finalidad de poder determinar que caminos van a ser alimentadores y que caminos van a ser tomados como principales.

Existen diversos métodos comparativos de estudio en la ingeniería de carreteras para establecer las prioridades de las obras, el primero de ellos es el método del costo anual, el cual consiste en determinar los costos anuales de las diversas obras y se toman como prioridad las obras de menor costo.

Está también el método del valor presente, el cual según Mier (1987), se basa en el análisis de los costos de las diferentes obras en el tiempo que se acordó ejecutar tomando en cuenta la suma de los costos totales.

Ambos métodos se ven afectados por la tasa de interés ya que una tasa de interés alta beneficia a una inversión mayor y una tasa de interés menor favorece a una inversión menor.

Existen otros métodos como es el método de la relación beneficio-costos que de acuerdo con Mier (1987), es el método con mejores resultados y es el más utilizado en México, pero tiene un inconveniente que la comparativa entre varias obras tiene que tener la misma tasa de interés debido a que de no ser así, no es muy opcional este método.

#### **1.4. Técnicas para la evaluación de proyectos.**

Estas técnicas están relacionadas con los efectos que causan las distintas inversiones provenientes de comunidades en vías de desarrollo, ya que dichas inversiones van enfocadas a aumentar su desarrollo, pero para poder lograrlo se

llega a sacrificar un porcentaje de las inversiones en caminos de mayor tránsito para aumentar su capacidad de progreso.

En México no todas las inversiones generan un mayor desarrollo, por ello es necesario invertir de manera correcta en los proyectos para que los efectos de las inversiones tengan niveles satisfactorios.

De acuerdo con los efectos que pueden traer este tipo de obras se da la siguiente clasificación:

- Caminos de función social.
- Caminos de penetración económica.
- Caminos en zonas en pleno desarrollo.

#### **1.4.1. Caminos de función social.**

En los caminos de función social, según Mier (1987), la elaboración de caminos tiene principal importancia en abastecer a la población de mejores caminos para que se vuelvan zonas de mayor crecimiento económico, trayendo consigo mejoras en los sistemas de educación, salud y comercio.

Por ello para la evaluación de este tipo de caminos se considera el tipo de inversión a realizar y la cantidad de personas beneficiadas.

La población beneficiada se le considerará dentro de la “zona de influencia del camino, la cual es aquella en que residen las personas que se considera pueden ser servidas en función de la máxima distancia que un habitante puede recorrer usando cualquier medio”. (Mier; 1987: 13)

Por ello, se consideran los tipos de caminos existentes ya sean brechas o caminos de terracería, así como la topografía del mismo y se toman los censos correspondientes a dichas comunidades beneficiadas agregando un porcentaje de personas que viven a los alrededores de la comunidad, como son las que viven en rancherías, ranchos y zonas de difícil acceso. Y por último el costo total de la obra se divide entre el total de los habitantes que se van a beneficiar.

#### **1.4.2. Caminos de penetración económica.**

Este tipo de carreteras se realiza debido a que existen muchas comunidades donde no se aprovechan de una mejor manera sus recursos naturales debido a la falta de caminos para su mejor transporte, es aquí donde entran los caminos de penetración económica ya que traen consigo inversiones a las comunidades, servicios de luz y mayor producción.

Las inversiones en este tipo de obras tienen grandes efectos principalmente en la actividad ganadera y agrícola, después en los demás sectores de la sociedad.

Para poder determinar qué beneficios traerá consigo esta obra, se tienen que identificar las principales zonas que se beneficiaran con su ejecución, sin considerar zonas de influencia donde ya se presenten estos beneficios por otros tramos carreteros.

Para cuantificar el potencial de los beneficios de dicho proyecto en el desarrollo económico de esa zona, se analizan los procesos de producción y los rendimientos de dichos procesos, esto sin considerar los avances en el proceso

productivo con respecto al tiempo con la finalidad de mantener un régimen en la producción de manera conservadora.

La cuantificación de los beneficios de producción de esas zonas se dará de acuerdo con los precios locales, que se considerarán a partir del 5° año de la entrada en funcionamiento del proyecto carretero tomando como base de datos, la migración de personas de diferentes partes de la localidad, los datos poblacionales y la capacidad económica de quienes viven en esa región.

Según Mier (1987), el valor que alcance la producción estará considerada como un índice del beneficio de la ejecución del proyecto carretero.

El costo de dicho camino estará en función de todos los elementos que lo formen, ya sean los drenajes, bases y sub-bases, pero de una manera económica debido a que este camino sólo será el principio, ya que conforme la zona beneficiada aumente sus producciones, este camino también deberá hacerlo para satisfacer las necesidades de distribución de mercancías.

Dentro del índice de productividad se descontarán los costos de mantenimiento, debido a que con su simple elaboración trae consigo demasiados beneficios económicos y sociales a una determinada zona.

#### **1.4.3. Caminos en regiones desarrolladas.**

Este tipo de caminos, según Mier (1987), viene dado por aquellos que fueron los primeros en realizarse en zonas donde desde hace muchos años ya se venían dando un incremento en su desarrollo productivo y económico, pero dichos caminos han tenido que soportar mayores cargas debido a que con el paso del tiempo se han

aumentado la cantidad de vehículos de carga pesada que transitan sobre ellas, provocando que se vean afectadas de manera prematura, es por ello que las carreteras en regiones desarrolladas se tienen que modernizar para que soporten a los vehículos que las transitan y que también funcionen como base de circulación para otras zonas de regiones en desarrollo.

Su principal aprovechamiento de este tipo de rehabilitación viene dado en función de la rentabilidad, ya que caminos modernizados traen consigo menores tiempos de traslado y reducción en los costos de transporte.

Sus beneficios son directos debido a que ayudan a aumentar la producción, lo que genera un continuo desarrollo en el proceso y generación de recursos provocando también mayores inversiones en las regiones desarrolladas.

### **1.5. Clasificación funcional de una red vial.**

Viene comprendida por el camino, que incluye las carreteras a nivel urbano y calles a nivel rural. La utilidad de estas vías es esencial para el crecimiento económico de cualquier pueblo, por ello la magnitud y calidad de dichos caminos representa la capacidad económica de dicho país. Por la necesidad de movilidad y accesibilidad de las personas y mercancías, es que se realizan los diferentes caminos ya sean calles o carreteras.

Según Cal (1994), las carreteras y las calles pueden clasificarse de acuerdo con su funcionalidad, en tres grupos de manera muy general: los principales, secundarias y locales.

La necesidad de poder clasificar la función de los caminos contribuye y soluciona problemas a través de la importancia de las distintas calles y carreteras, la evaluación de los factores que puedan afectar las vías de acceso, la determinación de las necesidades principales y los costos de las mejoras que se le puedan hacer.

Ya que con la clasificación funcional se pueden establecer parámetros para indicar que clase de camino será y asimismo determinar las dependencias encargadas y también conducir a una serie de programas para la planeación a largo plazo de los caminos existentes.

#### **1.6. Sistema vial urbano.**

El sistema vial urbano está dividido por las autopistas y vías rápidas, por las calles principales, calles colectoras y calles locales.

Las autopistas y vías rápidas son las que en su mayoría rodean las ciudades y contienen grandes cantidades de volumen de tránsito dándole mayor flujo a la salida y entrada de mercancías, según Cal (1994), no están en contacto directo con propiedades cercanas. Y las vías rápidas se encuentran cerca de las zonas de alto flujo y pueden o no contar con desniveles.

Las calles principales son las que conectan las diferentes zonas de la ciudad y se conectan entre sí para formar un sistema que de circulación a todas partes de la ciudad y en todas direcciones. Éstas están conectadas con las autopistas y vías rápidas de la ciudad y funcionan como alimentadoras de las autopistas.

Luego están las calles colectoras que según Cal (1994), funcionan como conectoras de las calles principales hasta las propiedades colindantes.

Y las calles locales son las que permiten el paso de los vehículos entre las propiedades, ya sea zonas residenciales, zonas industriales y zonas comerciales. Se conectan con las calles principales y las calles colectoras.

### **1.7. Volumen de tránsito.**

El volumen de tránsito es la cantidad de vehículos que transitan sobre un carril o sobre varios carriles en un sentido y que a su vez pasan sobre un punto determinado, la manera como se contabilizan los periodos de tránsito son: la hora y el día.

El volumen promedio diario anual “es el número de vehículos que pasan por un punto dado del camino, durante un año dividido entre 365 días”. (Mier; 1987: 59)

Mientras que el relacionado a la hora es el volumen máximo horario anual “que es el volumen horario más alto que acontece para un determinado año”. (Mier; 1987: 59)

No es muy recomendable usar el método del volumen promedio diario anual (VPDA), debido a que este no maneja las variaciones en cuanto al volumen vehicular en ciertas horas, días y meses del año.

Mientras que el volumen máximo horario anual, es el método de mayor uso, aunque cuenta con el inconveniente del volumen máximo y es que los resultados que presenta generan obras con proyectos muy sobrados.

## **1.8. Conteos de tránsito.**

Los métodos para la obtención de conteo de tráfico son dos, el primero es la obtención de datos estadísticos y la otra es ir a contar de manera directa el tráfico vehicular.

El conteo de manera directa se realiza de dos formas: de manera manual o de manera mecánica.

### **1.8.1. De manera manual.**

Esta es la forma más sencilla y de menor costo, estos también son conocidos como muestreos según Mier (1987). Para la realización de estos muestreos es necesario realizarlos durante 5 a 10 días de manera consecutiva, considerando que la primera etapa coincida en un fin de semana.

Estos muestreos se deben realizar durante 24 horas diariamente, y de no ser posible los 10 días de 24 horas se deberán tomar 5 días de 24 horas y los otros 5 días de 7 am a 7 pm.

El problema de este método es que no considera el hecho que un mayor o menor volumen de tránsito se deba a obras que afecten a esa vía o a vías alternas, provocando que no se tomen en cuenta todos esos factores, ya que solo implica la contabilización y clasificación de los vehículos como se muestra en la tabla 1.1.

|  |   |  |
|--|---|--|
| Vehículos ligeros<br>(menos de 2.5 Ton.) | A | Automoviles<br>pick, ups,<br>panel, ca--<br>miones lige<br>ros, etc. |
| Vehículos pesados<br>(mas de 2.5 ton)    | B | Camiones   |
|  | C | Autobuses  |

Tabla 1.1. Clasificación vehicular a través de muestreos.

Fuente: Salazar; 1987: 47.

## 1.8.2. Conteos mecánicos.

El conteo mecánico se realiza mediante mecanismos o dispositivos que contabilizan los vehículos existiendo los contadores neumáticos, contadores electromagnéticos, contadores de presión-contacto.

### 1.8.2.1. Contadores neumáticos.

Este tipo de dispositivos están constituidos por un tubo que contiene una goma que es flexible, esta se coloca de forma transversal al eje del camino. Y su funcionamiento es debido a que el tubo contiene una cierta cantidad de aire el cual al ser presionado por la llanta del vehículo genera una sobrepresión.

Esa sobrepresión es transmitida a una membrana que por medio de un circuito eléctrico contabiliza la cantidad de ejes.

El inconveniente con este tipo de aparatos es que solo contabiliza la cantidad de ejes dejando de lado la clasificación de los vehículos y también tiene el problema de que registra, en el caso de que pasaran dos vehículos al mismo tiempo, a uno de los dos.

### 1.8.2.2. Contadores electromagnéticos.

Estos van dentro de la plancha de pavimento y cuentan con un detector magnético, y este funciona cuando pasa un vehículo sobre el aparato, este genera un desequilibrio en las ondas emitidas y provoca una distorsión, la cual es capturada por el aparato como un vehículo en movimiento.

Cuenta con el inconveniente de que tampoco clasifica el tipo de vehículo que transita sobre el camino.

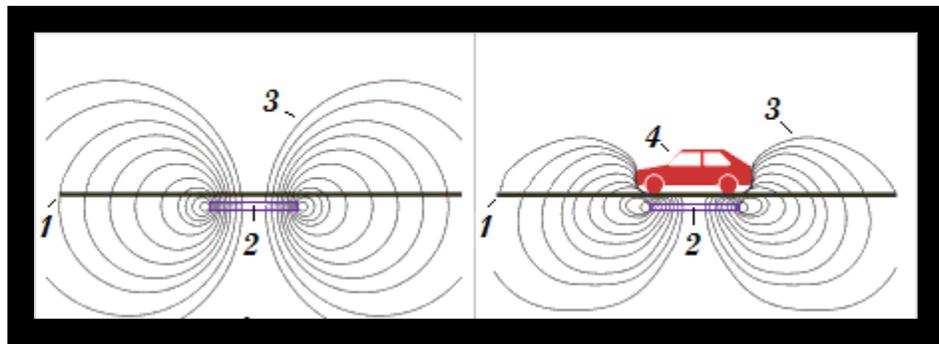


Figura 1.1. Contador electromagnético.

Fuente: <https://es.wikipedia.org> (2017).

### **1.8.2.3. Contadores de presión-contacto.**

Este tipo de contadores se utiliza principalmente en las carreteras de cuota y su funcionamiento es, que a través de un electroimán cubierto con una caja de tapa metálica contabiliza la cantidad de vehículos que pasan, se le protege debido a que se puede dañar muy fácilmente si se encuentra expuesto a la intemperie este aparato.

### **1.9. Tipos de caminos.**

La clasificación de los caminos se maneja de diferentes formas dependiendo de su transitabilidad, función administrativa y su clasificación técnica. Según Cal (1994), existen los siguientes tipos de caminos:

Clasificación por transitabilidad.

- Caminos de tierra o en terracerías: son aquellos que solo son transitables en tiempo de secas.
- Caminos revestidos: son aquellos que son transitables todo el año.
- Caminos pavimentados: que son aquellos que tienen una carpeta ya sea de asfalto o concreto.

Clasificación administrativa.

- Caminos federales: se realizan con inversión de la federación y quedan a su cargo dichos caminos.

- Caminos estatales: esta se realiza con un porcentaje del estado y otro porcentaje la federación y queda a cargo de la Junta Local de Caminos.
- Caminos vecinales: se realiza con inversión tanto federal, estatal como de los beneficiarios y queda a cargo de la Junta Local de Caminos.
- Caminos de cuota: Está a cargo de Caminos y Puentes Federales que para poder recuperar la inversión montan el pago por cuotas.

#### Clasificación Técnica Oficial.

- Tipo A4: Con un tránsito promedio diario anual de 5000 a 20000 vehículos
- Tipo A2: con un tránsito promedio diario anual de 3000 a 5000 vehículos.
- Tipo B: Con un tránsito promedio diario anual de 1500 a 3000 vehículos.
- Tipo C: Con un tránsito promedio diario anual de 500 a 1500 vehículos.
- Tipo D: Con un tránsito promedio diario anual de 100 a 500 vehículos.
- Tipo E: Con un tránsito promedio diario anual de hasta 100 vehículos.

#### **1.10. Partes integrantes de un camino.**

Las partes que integran un camino según Cal (1994), están formadas por la calzada que es aquella que se acondiciona para el tránsito de vehículos donde esta superficie, en carreteras principales, se encuentra pavimentada.

El carril es aquella que forma parte de la calzada en la superficie de rodamiento y que va dirigida en un solo sentido de los vehículos.

A las laterales de los carriles van los acotamientos, que su función es la de dar confinamiento lateral, así como proporcionar un estacionamiento temporal cuando un vehículo se encuentre dañado o sufra un accidente.

La corona según Cal (1994), es la superficie terminada del proyecto de un camino, esto incluyendo los acotamientos y los carriles. Le siguen las cunetas que forman parte del drenaje longitudinal del camino y tienen como función la conducción del agua en la superficie de la carretera.

La rasante es parte del desarrollo vertical real del eje de la superficie de rodamiento menciona Cal (1994). Está también la subrasante que es la superficie especialmente adaptada para sobre ella apoyarse la estructura de pavimento.

El pavimento relacionado a una vía terrestre es la superficie que cuenta con materiales duraderos y los cuales tienen las características de impermeabilidad y rugosidad necesarios para que los vehículos transiten sin complicaciones sobre ella de manera segura de acuerdo con Cal (1994).

Los primeros pavimentos fueron usados por civilizaciones como los mayas en América y los Romanos en Europa, quienes los usaban con piedras. De aquí se fueron realizando diversas variaciones, así como que sus técnicas se han modernizado en el área de las vías terrestres implementando el uso de tratamientos superficiales y los que son a base de concreto.

En los tratamientos superficiales se encuentran los que son a base de asfalto y grava. Mientras que en los concretos rigen los concretos asfálticos y los concretos hidráulicos.

Por ello se debe de entender por concreto “a la mezcla de un aglutinante y un agregado”. (Cal; 1994: 109)

El concreto hidráulico es una mezcla de cemento Portland, grava, arena y agua, que dependiendo del caso para el cual se llegue a utilizar puede o no llevar el refuerzo de acero.

### **1.11. Especificaciones de la sección transversal.**

Las especificaciones de las dimensiones tanto del proyecto geométrico como de la estructura de la carretera vienen en función o están establecidas por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), de acuerdo con Cal (1994), donde se establecen condiciones tales como el ancho de los carriles que deberán contar con una superficie de rodamiento de 7.20 metros de ancho, así como que sus acotamientos contarán con un ancho de 2.50 metros.

Estos requisitos están en función del volumen de tránsito que a través de varios estudios se espera circule sobre un camino. Todos los requisitos se toman en base a la experiencia y al uso que pueda tener la carretera, así como su velocidad de proyecto y los tipos de vehículos que puedan transitar sobre ella.

Según Cal (1994), los factores principales que se deben tomar para el diseño funcional de un camino son la velocidad de proyecto, el volumen de tránsito y los tipos de tránsito. La tabla 2.1 que se muestra más adelante muestra las dimensiones que puede tener una carretera de 2 carriles considerando lo ya mencionado.

### Anchura mínima para carreteras de dos carriles

| Velocidad de proyecto km/h | Vehículos por hora (proyecto) |      |          |      |           |      |           |      |            |      |
|----------------------------|-------------------------------|------|----------|------|-----------|------|-----------|------|------------|------|
|                            | 10 a 50                       |      | 50 a 100 |      | 100 a 200 |      | 200 a 400 |      | Más de 400 |      |
|                            | A                             | B    | A        | B    | A         | B    | A         | B    | A          | B    |
| 48                         | 5.40                          | 6.00 | 5.40     | 6.00 | 6.00      | 6.00 | 6.00      | 6.60 | 6.60       | 7.20 |
| 64                         | 5.40                          | 6.00 | 5.40     | 6.00 | 6.00      | 6.60 | 6.60      | 6.60 | 6.60       | 7.20 |
| 80                         | 5.40                          | 6.00 | 6.00     | 6.00 | 6.00      | 6.60 | 6.60      | 7.20 | 7.20       | 7.20 |
| 96                         | 6.00                          | 6.00 | 6.00     | 6.60 | 6.60      | 6.60 | 6.60      | 7.20 | 7.20       | 7.20 |
| 112                        | 6.00                          | 6.00 | 6.00     | 6.60 | 6.60      | 7.20 | 7.20      | 7.20 | 7.20       | 7.20 |

NOTA:

A indica un tránsito exclusivamente de automóviles o en donde el pequeño porcentaje de vehículos comerciales influye muy poco en el movimiento general.

B carreteras principales. Se considera tránsito importante de vehículos pesados

Tabla 1.2. Anchura mínima de carreteras.

Fuente: Cal; 110: 1994.

#### 1.12. Alineamiento.

Según Crespo (2004), en todo proyecto carretero siempre se busca que la faja adaptada para soportar el paso vehicular sea lo más plano que la topografía del sitio permita, ya que si se desarrollaran los caminos conforme a el relieve del sitio, se tendrían caminos muy accidentados, por ello se buscan alternativas las cuales generan que, visto desde la perspectiva de la unión entre dos puntos en línea recta, los caminos tiendan a ser más largos que lo fueran si estos resultaran ser totalmente rectos.

Otro factor importante en el alineamiento al cual hace mención Crespo (2004), es que, si este se realiza pensando en el presente proyecto y un futuro, se evitan

hacer gastos innecesarios ya que, de no ser así, podría ocasionarse que el camino actual sufra grandes cambios, o llegue a deshabilitarse algún tramo.

### **1.13. Sistemas y modos de transporte.**

La actividad del transporte de mercancías se realiza a nivel global en 5 grandes formas: carreteras, vías férreas, acuáticas, aéreas y de flujo continuo. Estos a su vez se dividen en 3 atributos de los que se mencionarán a continuación:

#### **1.13.1. Ubicación.**

Este viene regido por la accesibilidad que tiene el medio de transporte, así como de la versatilidad con la que cuente el vehículo ya que los diferentes medios de transporte tienen características diferentes que les permiten transportar diferentes tipos de cargas.

#### **1.13.2. Movilidad.**

Esta viene dada por la facilidad con la que circula el tránsito y la cantidad que circula sobre el sistema.

#### **1.13.3. Eficiencia.**

Se refiere a la relación que existe entre el costo total realizado del transporte y el beneficio que trajo consigo.

En la tabla 1.3 se observan las diferentes características de los sistemas de transporte de acuerdo con diversos factores.

| 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 del 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.  |
|                  |                     |   |  |  | Bicicleta          | Local y recreacional.                            | Insignificante.  |
| 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 carretera.   | Generalmente alta, pero los costos laborales pueden bajar la eficiencia.           | Ferrocarril        | Interurbano.                                     | Interurbano. En volumen. Contenedores  |
|                  |                     |   |  |  | Metro              | Regional y urbano.                               | Ninguno.   |
| 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                    | Aviación comercial | Interurbano a grandes distancias. Transoceánico. | Mercancías de alto valor. Contenedores.  |
|                  |                     |   |  |  | Aviación general   | Interurbano, recreacional y de negocios.         | Poco.  |
| Acuático         | Mares y ríos        | Rutas directas. Accesibilidad limitada por la disponibilidad de mares y ríos navegables y puertos seguros.      | Baja velocidad. Capacidad muy alta por vehículo.   | Muy alta por los bajos costos y poco consumo de energía. La seguridad es variable. | Barcos             | Tránsito de crucero.                             | En volumen (petróleo). Contenedores.   |
|                  |                     |   |  |  | Cabotaje y fluvial | Transbordo en lanchas y barcas.                  | Volúmenes medianos de carga  |
| Flujos Continuos | Ductos              | Limitadas a pocas rutas y puntos de acceso.   | Bajas Velocidades. Alta capacidad.   | Generalmente alta. Bajos costos por consumo de energía                             | Ductos             | Ninguno.   | Líquidos y gases.  |
|                  | Rodillos            |   |  |  | Bandas             | Escaleras y bandas a nivel                       | Manejo de materiales.  |
|                  | Cables              |   |  |  | Cables             | Transporte en cabinas.                           | Manejo de materiales.  |

Tabla 1.3. Sistema Global de Transporte.

Fuente: Cal; 1994: 34.

### 1.14. Capacidad de un camino.

La capacidad de un camino, según Crespo (2004), es el volumen máximo que puede soportar un camino antes de congestionarse o reducirse su velocidad de proyecto. Es necesario para el ingeniero ya que en futuros proyectos puede conocer cuál será la capacidad con la que trabajará ese camino, o para proyectos donde ya se tenga sobrepasada su capacidad.

La capacidad de un camino se mide en vehículos por hora, el Departamento de Caminos Federales de los Estados Unidos cuenta con datos de la capacidad máxima que son de 900 vehículos en dos carriles considerando que estos tienen condiciones óptimas en relación con el alineamiento, pendiente y carriles de 3.66 m, según Crespo (2004).

Se tiene valores teóricos para obtener la capacidad de un camino considerando una velocidad proyecto de entre 70-80 km/h con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V * 1000}{S}$$

Donde, V es la velocidad de los vehículos de proyecto, y la S es la distancia que existe entre ellos, siendo de 30 metros entre cada uno.

La capacidad del camino como se mencionó anteriormente también viene influenciada por el congestionamiento, el cual puede darse durante ciertas horas y ciertas fechas, ocasionando que los vehículos lleguen al punto de pararse totalmente.

En relación con los estudios hechos por el Departamento de Caminos Federales se considera una capacidad máxima de 900 vehículos por hora en caminos de dos carriles, 1500 vehículos por hora en carreteras de 3 carriles y carreteras de 4 carriles se tienen 1000 vehículos por hora por carril, de mayor flujo vehicular.

### 1.15. Factores que reducen la capacidad de un camino.

Con respecto a los factores que reducen la capacidad se tiene que considerar que muchos caminos se encuentran realizados en zonas de alta población, por lo que esto al igual que otros factores reducen su capacidad. Entre los otros factores más importantes que reducen la capacidad se encuentran: “el ancho de sección, visibilidad, pendiente, ancho de los acotamientos (hombros), porcentaje de vehículos pesados en la vía y la obstrucción lateral”. (Crespo; 2004:14)

| <b>EFFECTOS DEL ANCHO DEL CARRIL</b> |  |   |
|--------------------------------------|--|---|
| <b>Ancho del carril, en metros.</b>  | <b>Vehículos por hora, total en los caminos de dos carriles.</b> | <b>Porcentaje de la capacidad con respecto a la sección óptima.</b> |
| 3.66 (óptima)                        | 900  | 100   |
| 3.35                                 | 774  | 86  |
| 3.05                                 | 693  | 77  |
| 2.75                                 | 630  | 70  |

Tabla 1.4. Efecto del ancho de carril.

Fuente: Crespo; 2004: 15.

## CAPÍTULO 2

### ESTUDIOS PRELIMINARES

Son una serie de estudios que se realizan previo a la ejecución de la obra, estos estudios se elaboran con la intención de optimizar los procesos constructivos, así como conocer todos los factores que intervienen en su desarrollo. Económicamente estos estudios ayudan a generar un ahorro en la obra civil.

#### **2.1. Tránsito Vehicular.**

La rama de la Ingeniería encargada de los procesos y métodos sobre las vías terrestres es la Ingeniería de Tránsito, la cual “se dedica al estudio del movimiento de personas y vehículos en las calles y los caminos, con el propósito de hacerlo eficaz, libre, rápido y seguro”. (Mier; 1987: 21)

Para el diseño óptimo de la sección de concreto se recomienda, según Salazar (1998), un aforo vehicular confiable. Por ello los municipios que estén interesados en desarrollar este tipo de obras deberán poner especial atención a las sobrecargas de ejes de los camiones. Debido a que la zona urbana crece de manera muy irregular y particular, es difícil tener una tabla de valores en los cuales ya se tenga definido el tipo de sección de concreto.

Existen zonas que cuando se obtiene su aforo vehicular de manera rutinaria debido a la identificación de sus vialidades, si es posible crear una tabla en la cual se establezcan el volumen de tránsito que pasa sobre ella, tanto así, que se puede utilizar para futuros proyectos de creciente población.

Ya cuando se realiza este tipo de estudio del aforo vehicular, se diseña la vida del proyecto para poder tipificar los espesores de los suelos que conformaran parte de la estructura del pavimento, así como el espesor del pavimento que se empleara.

Las cargas por tránsito son uno de los factores que más importancia se le debe dar a la hora de diseñar una pavimentación. “Existen tres formas básicas de considerar los efectos de los vehículos: tránsito fijo, vehículo fijo y vehículos y tráfico variables”. (Salazar; 1998: 95)

El tránsito fijo se hace a través de un método que se llama "llanta sencilla equivalente". Este método consiste en considerar el mayor tamaño de carga que se pueda predecir que va a transitar sobre ella, y es con el que se da una orientación del diseño, el espesor del pavimento se utiliza comúnmente en aeropuertos y caminos con altos volúmenes vehiculares, esto dicho por Salazar (1998).

Para el método de vehículo fijo se considera la cantidad de ejes con la que cuenta el automóvil, la cual se hace pasar varias veces para determinar la carga del transporte. Las repeticiones de los ejes de carga sean simples o múltiples, al multiplicarse por un factor, se vuelven efectos reales que se consideran dentro del diseño. Ya que se pueden establecer distintas cargas y distintos ejes relacionados con los diferentes vehículos que transitan sobre los caminos, hace de este método uno de los más usados.

En el método de los vehículos y tráfico variable se separan los distintos tipos de vehículos, así como las diferentes cargas y se hacen estudios sobre cada uno de los grupos para observar las deformaciones, deflexión y desgaste que pueda sufrir la

estructura de pavimento, para después irse sumando con los otros grupos, así lo comenta Salazar (1998). Esto se realiza empleando cargas distintas y todo ello realizado a través de computadoras observando los distintos resultados.

## **2.2. Problemas de tránsito.**

Según Mier (1987), el principal problema en las vías de la nación es que en su mayoría son antiguas y de mucho tránsito sobre las mismas, también radica el hecho de que el diseño de dichas vías en zonas urbanas son en forma cuadrangular lo que genera que para los vehículos grandes sea difícil dar vuelta, generando tráfico y congestión.

Existe una gran cantidad de factores que afectan en el problema del tránsito, tales como “La existencia de diferentes tipos de vehículos en el mismo camino, vías de comunicación inadecuadas, falta de planificación en el tránsito, falta de educación vial y ausencia de leyes y reglamentos de tránsito”. (Mier; 1987:21)

Estos factores son de mucha importancia, ya que el no considerarlos genera pérdidas en el tiempo de trayecto, así como el hecho de que también genera la pérdida de vidas sobre las carreteras.

## **2.3. Soluciones al tránsito.**

Ya que los problemas de tránsito afectan de manera directa la vida de las personas, es necesario solucionarlo a la mayor brevedad, según Mier (1987), existen 3 posibles soluciones relacionadas siempre con los costos de realización.

La primera solución es una de idea integradora ya que considera un camino en el cual se integren las propiedades del vehículo moderno, pero esto implicaría que

requieren garantizar la seguridad relacionada a las exigencias de los nuevos vehículos, para llevar a cabo dichos requisitos y también el hecho de que la mayoría de las vías urbanas se fueron haciendo conforme crecieron las ciudades sin atender las necesidades futuras.

Estaría también la solución de alto costo, que a lo mencionado por Mier (1987), esta requiere fuertes inversiones debido a que su realización está basada en el ensanchamiento de las calles y carreteras, mayor cantidad de estacionamientos tanto públicos como privados, realización de obras de intersección a desnivel para el rápido flujo vehicular, mejoras en los sistemas de drenaje y mayores sistemas de control vehicular como son los semáforos.

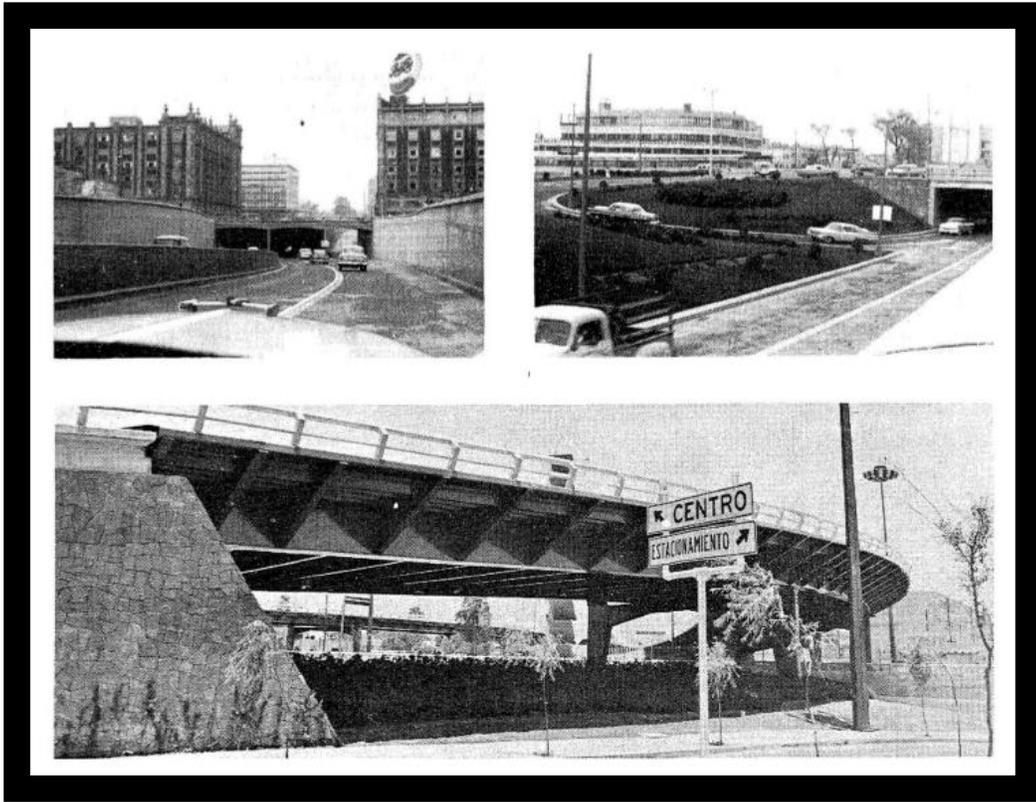


Figura 2.1. Solución de alto costo.

Fuente: Cal; 1994: 18.

Por otra parte, estaría la solución de bajo costo en la cual se buscarían maximizar las capacidades de las vías con un bajo costo, implicando en todo momento a la sociedad con reglamentos y normas de tránsito que ayuden a que los conductores mejoren las condiciones de flujo de tránsito, por ello es necesario generar campañas de consentimiento, generar vías de un solo sentido y estacionamientos con tiempo limitado ya que ayudarían al rápido desahogo de las calles según Mier (1987).

## **2.4. Elementos del tránsito.**

Estos están formados principalmente por 3 elementos que son: el usuario, el vehículo y el camino. Ya que son los que interactúan de manera directa y diaria con la vía.

### **2.4.1. El usuario.**

Para definir este tipo se deben dividir en 2 debido a que el tipo de manera de transitar sobre el camino es distinto, por ello es necesario dividirlo en peatón y conductor.

El peatón transita a una velocidad mucho menor a la de un vehículo, este transita sobre una estructura de pavimento llamada banqueta la cual va sobre las laterales del camino para que el peatón no peligre, de otra forma los vehículos pasarían de manera peligrosa al estar en contacto con los transeúntes. También como lo indica Mier (1987), que los peatones por su naturaleza son los sujetos que corren más peligro al ocurrir un accidente sobre la carretera, ya que muchas estadísticas indican que muchos de estos accidentes radican en la falta de conducción por parte del propietario del vehículo.

Por ello es necesario que los peatones sean conscientes de que son susceptibles a sufrir el mayor daño en un accidente vehicular y a considerar que los vehículos transitan a una velocidad mucho mayor que la de ellos.

El conductor es el individuo que maneja el vehículo, tiene los conocimientos de las partes que forman el vehículo, así como las velocidades que puede alcanzar, pero según Mier (1987), estos se vuelven como niños con juguete nuevo debido a

que no son conscientes de la peligrosidad, así como del impacto o fuerzas que generan dichos vehículos, así como sus límites.

Los conductores tienen la capacidad de adaptarse con la experiencia que van adquiriendo, pero como seres humanos se llegan a tener deficiencias tales como la velocidad de reacción y la visibilidad que se tenga sobre el camino.

#### **2.4.1.1. La visibilidad.**

La visibilidad forma parte esencial en el desarrollo de los caminos ya que es necesario determinar la capacidad que tienen los conductores a observar, así como su reacción a obstáculos que se puedan presentar sobre el camino. Esta capacidad está delimitada por “la capacidad de sus ojos, la agudeza visual, la percepción de los colores, la visión periférica, la recuperación al deslumbramiento y la profundidad de percepción”. (Mier; 1987:23)

Se dice que los conductores desarrollan habilidad con su visión debido a que las personas en su mayoría tienen una visión sobre la carretera de 180° y que las personas que tienen un ángulo de visión menor, de 140°, no es recomendable que manejen, esto debido a que las personas con un ángulo de 180° al ir aumentando la velocidad, su capacidad de visión se va reduciendo y se vuelve más fácil accidentarse, y por lo mismo, si con ese grado de visibilidad así, se vuelve difícil percibir todo alrededor, ahora más a las personas con un ángulo de visión menor.

Según Mier (1987), este efecto se llama “visión de túnel”, este corresponde a que de los 180° de percepción, solamente 20° están enfocados, y de esos 20° solo el 3-6° son los que tienen mayor agudeza visual. Esta se presenta en todos los

conductores que implica el aumento de la velocidad, generando una disminución en el ángulo de visión, pero aumentando la distancia de visión.

| LETREROS COLOCADOS DENTRO DEL CONO DE VISION CUYO ANGULO HORIZONTAL ES: | PORCENTAJE DE RESPUESTAS CORRECTAS |
|---|------------------------------------|
| 5.8°  | 98                                 |
| 7.6°  | 95                                 |
| 9.6°  | 90                                 |
| 11.4°   | 84                                 |
| 13.4°   | 74                                 |
| 15.4°   | 66                                 |

Tabla 2.1. Cono de visión de letreros en diferentes posiciones.

Fuente: Mier; 1987: 24.

#### 2.4.1.2. Tiempo de reacción.

Es necesario conocer las diferentes reacciones que sufren los conductores al encontrarse con algún obstáculo o distracción, según Mier (1987), existen dos tipos de reacciones: las condicionadas y las psicológicas.

Según esto, las reacciones condicionadas se pueden representar como cuando un individuo transita de manera continua sobre un camino, esto genera en dicho individuo una costumbre, en la cual el conductor ya reconoce el camino, así como las distintas vías alternas sobre dicho camino, para este tipo de conductores

les es más sencillo tomar una decisión cuando se enfrentan a un obstáculo, ya que el transitar seguido le proporciona herramientas para evitar accidentarse.

Luego están las reacciones psicológicas que según Mier (1987), estas se encuentran relacionadas con la reacción que toma el conductor ante un peligro, ya que se le genera un estímulo que ocasiona que dicho individuo tome una decisión que llega a su cerebro y en cuestión de segundos regresa esa información en forma de impulso, esto trae consigo que el conductor haga un movimiento brusco o medido dependiendo de su propia reacción, así como el tiempo que tenga para tomar dicha decisión.

Este último proceso se le llama “PIEV”, el cual está constituido por: “percepción del estímulo, análisis de las soluciones posibles, elección de la más adecuada y ejecución del acto ordenado por el cerebro”. (Mier; 1987: 25)

El tiempo de reacción va de la mano con la dificultad a la que se enfrente, existen casos en los cuales es fácil tomar una decisión, como son la incorporación a otra vía, alguna persona cruzando o algún animal, en las cuales se cuenta con el tiempo necesario para poder frenarse o evadir el obstáculo. También es necesario considerar el estado en que se encuentre el conductor, ya sea por haber ingerido bebidas alcohólicas, estar bajo los efectos de las drogas, si este se encuentra distraído, así como el clima ayuda a que la visibilidad disminuya y sea más susceptible a producirse un accidente.

La mayoría de los conductores ya tienen nociones sobre cómo reaccionar ante algún imprevisto, según Mier (1987), esto se debe considerar por el proyectista ya

que es necesario en el caso de una carretera, donde se vaya a presentar una curva cerrada, generar con anterioridad a esa curva una serie de medidas o en este caso algunos reductores como curvas suaves antes de llegar a dicha curva, esto genera que el conductor no se vea sorprendido a la hora de llegar a una sección donde se tenga que ver forzado a actuar de manera improvisada.

Generando en el conductor reacciones condicionadas que son de gran ayuda tanto para el proyectista como para el conductor. La existencia permanente de semáforos, continuidad en el sentido del camino y las intersecciones ayudan también a provocar dichas reacciones.

#### **2.4.2.- El vehículo.**

El incremento de la cantidad de vehículos, menciona Mier (1987), es sinónimo de crecimiento económico, ya que el aumento de los vehículos de carga significa mayor producción de mercancías y mayores inversiones, en el caso de los EUA (Estados Unidos de Norteamérica) la cantidad de vehículos que hay por habitantes es de 1 vehículo por cada 2 habitantes, el problema en México es que estadísticamente la cantidad de vehículos que se compran en su mayoría son automóviles, después camiones y en menor medida autobuses, lo cual indica que hay malos servicios de transporte público e ineficientes.

Los tipos de vehículos se clasifican de 2 maneras de forma general: Vehículos ligeros, que están compuestos por un eje y dos o cuatro ruedas, pueden entrar en esta clasificación camionetas, motos, vehículos de carga ligera. La otra categoría según Mier (1987), sería la de los vehículos pesados conformada por los vehículos de 2 o más ejes, con más de 4 llantas, en ella entrarían los autobuses, camiones de



El uso del vehículo ha ido cambiando, así como su tamaño, debido a que su orientación es hacia los vehículos pequeños y a la falta de recursos, que nos indica que hay un cambio radical en el uso de los vehículos, ya que pasaron de ser un lujo a formar parte de una necesidad, debido a que su uso en su mayoría es para cumplir una necesidad del usuario y en menor medida para divertirse, como se muestra en la siguiente tabla 2.2.

| Motivo del viaje |       |                         |       |       |
|------------------|-------|-------------------------|-------|-------|
| Trabajo          | 41.2% | Actividades productivas | 28.2% | 84.0% |
| Negocios         | 14.6% |                         |       |       |
| Compras          | 11.8% | Actividades necesarias  | 28.2% | 84.0% |
| Visitas médicas  | 1.3%  |                         |       |       |
| Ir a la Escuela  | 1.3%  |                         |       |       |
| Servicios varios | 9.6%  |                         |       |       |
| Comida           | 4.2%  |                         |       |       |
| Diversiones      | 16.4% |                         |       |       |

Tabla 2.2. Actividades en las que se usa un automóvil.

Fuente: Mier; 1987: 30.

Como en todo vehículo existen factores que intervienen en el diseño del camino en la relación día a día del automóvil con el camino, sobre todo su peso y velocidad ya que de ellos depende la distancia que puede recorrer el vehículo, así como el tiempo que tarde en frenarse. Por ello es necesario conocer la relación peso/potencia dicho por Mier (1987), la cual está directamente relacionada con la rapidez de aceleración y frenado de los vehículos, esta interviene en el diseño del alineamiento.

La aceleración depende de varios factores según el criterio del conductor tales como pendientes suaves, a la hora de rebasar a otro vehículo, tangentes largas en la cuales no se presenten cambios pronunciados en el camino o el simple hecho de querer aumentar la velocidad.

La desaceleración se presenta por varios factores como pendientes muy pronunciadas esto cuesta arriba o cuesta abajo para camiones pesados o en general, el que se presente algún obstáculo sobre el camino, transitar sobre un camino con mucho tráfico y el que el conductor observe algún peligro sobre el camino sea cual sea.

Otro factor importante es la resistencia al rodamiento, “producida por la fricción entre llanta y pavimento y por la deformación de la propia llanta; depende del tipo de rodamiento, de la medida, estado, dibujo, presión de inflado y velocidad de rotación de las llantas y del peso del vehículo”. (Mier; 1987: 33)

| Superficie de rodamiento | Constante de resistencia al rodamiento. |
|--------------------------|---|
| Concreto o asfalto       | 0.008 a 0.010                           |
| Revestimiento            | 0.020 a 0.025                           |
| Tierra                   | 0.080 a 0.160                           |

Tabla 2.3. Constante de resistencia al rodamiento dependiendo del tipo de camino.

Fuente: Mier; 1987: 34.

#### **2.4.2.1. Características de operación.**

Estas características, están relacionadas principalmente con la capacidad máxima del vehículo, esto relacionado con la carga máxima que soporte y a la potencia del motor. Según Mier (1987), la relación que existe en el peso/potencia tiene que ver con la distancia y la velocidad de los camiones cargados sobre alguna carretera, así como el tiempo que tardan en recorrerla. Los vehículos que tienen una relación peso/potencia parecidas también tienen características de operación muy similares entre estas. La ventaja que existe en que estas relaciones se estén volviendo similares son, que traen consigo la estandarización de los caminos.

#### **2.4.2.2. Resistencia a la fricción.**

Es la relación que existe entre la llanta y el pavimento del camino, según Mier (1987), esta resistencia está en función del peso del vehículo y de un coeficiente de fricción dependiendo del tipo de camino. La Secretaria de Comunicaciones y Transportes recomienda que se use siempre un coeficiente en pavimento mojado. A continuación, se mostrará en la tabla 2.4 para definir el coeficiente de fricción aplicado a la velocidad a la que pueda viajar el vehículo.

| Velocidad<br>(KPH) | Coeficiente de fricción longitudinal |                  |
|--------------------|--------------------------------------|------------------|
|                    | Pavimento seco                       | Pavimento mojado |
| 30                 | 0.650                                | 0.400            |
| 40                 | 0.630                                | 0.380            |
| 50                 | 0.620                                | 0.360            |
| 60                 | 0.600                                | 0.340            |
| 70                 | 0.590                                | 0.325            |
| 80                 | 0.580                                | 0.310            |
| 90                 | 0.560                                | 0.305            |
| 100                | 0.560                                | 0.300            |
| 110                | 0.550                                | 0.295            |

Tabla 2.4. Coeficientes de fricción respecto a la velocidad.

Fuente: Mier; 1987: 34.

#### 2.4.2.3. Resistencia por pendiente.

Se presenta en las pendientes existentes en las tangentes del proyecto de camino, debido al relieve accidentado del terreno, esta resistencia se presenta cuando en el sentido del camino la tangente queda cuesta arriba. Esta resistencia se vuelve mayor en vehículos pesados y caso contrario cuando es cuesta abajo, generando mayor velocidad en los vehículos.

## **2.5. Geotecnia del Sitio.**

Ya que como en todas las estructuras se colocan sobre el suelo, es necesario conocer las características del suelo, su permeabilidad, resistencia al esfuerzo cortante para así mismo definir los criterios de construcción del pavimento. Como la mayoría de los tipos de suelos naturales de apoyo, son material que cuenta con mejores características para obras específicas, que las del suelo que se llega a encontrar en el sitio según Salazar (1998). Para ello se utiliza la tabla del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS, a través de la cual se hace pasar el material por distintas mallas para conocer su granulometría e identificar el tipo de suelo.

Los suelos gruesos son aquellos conformados por gravas y arenas que, según su clasificación con el SUCS, más de la mitad del material es retenido en la malla No. 200. En el caso de la grava, más de la mitad de su fracción gruesa es retenido en la malla No. 4, mientras que las arenas más de la mitad de su fracción gruesa se queda en la malla No. 200. Los suelos finos están conformados por limos y arcillas, donde más de la mitad de su fracción gruesa pasa la malla No. 200.

## **2.6. Velocidad.**

La velocidad, vista desde el punto de los caminos, tiene mucho que ver con el desarrollo de un proyecto de un camino, debido a que es con la velocidad con la que se determinan los límites para que todo vehículo que transite sobre el camino llegue integro a su lugar de destino. La velocidad que se elige en la mayoría de las carreteras es muy inferior a la velocidad máxima que pueden alcanzar los vehículos.

## **2.7. Velocidad de proyecto.**

La velocidad de proyecto es la velocidad máxima que otorga un camino con seguridad y este rige todo el proyecto.

La velocidad puede no ser igual en todo el camino esto debido a diferentes factores como la topografía del sitio, la cantidad de vehículos que transitan sobre el mismo, si dicho camino pasa por alguna zona muy poblada, así como el tipo de camino que pueda ser. Al no ser igual en todo el trayecto es necesario hacer transiciones suaves que permitan al conductor reaccionar de manera adecuada y no con transiciones bruscas.

## **2.8. Propiedades de los Suelos.**

Según lo dicho por Salazar (1998), es necesario determinar las características de resistencia y esfuerzo de los materiales que van a servir de apoyo de la pavimentación, por ello es por lo que se realizan estudios por diferentes métodos como: el valor relativo de soporte y la resistencia al esfuerzo cortante.

Algunos otros elementos por considerar dentro de la factibilidad de los suelos son, la contracción lineal de los finos, que esta se da de manera cualitativa y es la disminución de la masa de un suelo cuando se le reduce su contenido de agua, dependiendo de donde se encuentre la zona granulométrica del suelo, la SCT maneja valores para las capas de los pavimentos de manera porcentual.

## **2.9. Capas de los pavimentos.**

Estas se dividen en capa sub-rasante, sub-base, base y carpeta, según lo indica Salazar (1998). La sub-rasante no es más que el suelo después del corte que

se hace al terreno natural debidamente compactado, pero también existen casos en los que el material del sitio tiene muy malas características por lo cual se retira y se trae otro material de mejor calidad que cumpla con las normas de calidad.

La sub-base es una de material pétreo la cual tiene buena graduación y cumple con la calidad de las normas y con su debido proceso de compactación. Como lo indica Salazar (1998), esta capa es la que se encuentra por debajo de la base, y comenta que existen casos en los cuales el espesor de la base se reduce debido a que se aumenta el espesor a la sub-base como es el caso de los pavimentos flexibles. Pero en el caso de los pavimentos rígidos como base, no es muy conveniente utilizar espesores pequeños en el concreto debido a que las especificaciones para dichos pavimentos son muy estrictas.

| Normas de calidad ( Granulometría )<br>Sub-base |            |
|---|------------|
| Denominación de la Malla                        | % que pasa |
| 1½"   | 100        |
| ¾"  | 72 - 100   |
| 3/8"  | 50 - 84    |
| Nº 4  | 37 - 70    |
| No 20   | 16 - 45    |
| No 60   | 9 - 35     |
| No 200  | 5 - 25     |

Tabla 2.5. Normas de calidad de sub-base.

Fuente: Salazar; 1998: 7.

A lo dicho por Salazar (1998), en el caso de la base esta se encuentra entre la capa de superficie de rodamiento y la sub-base. Esta, al igual que la anterior, está compuesta de materiales pétreos de muy buena graduación y posterior compactación. Su uso se da principalmente en pavimentos flexibles, debido a que tiene muy buena función como drenaje, ayudando a reducir la cantidad de agua sobre el pavimento, así como que ayuda a reducir el espesor de la carpeta y tiene muy buen comportamiento con respecto a los esfuerzos que se transmiten de la carpeta hacia las capas inferiores.

La carpeta es la parte superior de la superficie de rodamiento por la cual transitan de manera directa los vehículos y personas. Ésta puede ser de asfalto o concreto hidráulico según sea el caso, lleva un proceso de endurecimiento para reducir los esfuerzos que se transmiten a las capas inferiores.

Estas capas deben cumplir con ciertos requisitos dependiendo del tipo que sean, empezando por los materiales que no requieren tratamiento como son las limos y arenas que se encuentran sueltas y que contienen más de un 5 % de material mayor a 2" como lo indica Mier (1987).

Luego le siguen los materiales no disgregados que son los que al compactarse también contienen más del 5% de material, y que en su mayoría forman terrones siendo muy cohesivos.

Están también según Mier (1987), los materiales cribados que son aquellos como las gravas con arena y finos que en su contenido tiene entre un 5 y 25% de

material mayor a las 2" por ello es necesario pasarlo por las mallas para utilizar dicho material.

Luego están los materiales que deben ser cribados o triturados estos son una mezcla de gravas con arenas que son poco o nada cohesivos, para su utilización requieren ser triturados de manera parcial ya que contiene más del 25% de su material que pasa la malla de 2", esto como lo indica Mier (1987).

Están también los materiales que deben ser triturados de manera total, estos son principalmente los compuestos por rocas sueltas a lo comentado por Mier (1987), que exceden en su contenido lo que pasa por la malla, generando que dichos materiales tengan que ser triturados sin perder la composición granulométrica que se haya fijado, hasta pasar por dichas mallas, estos son suelos que se obtienen de mantos rocosos o zonas donde existe una gran cantidad de roca. Siendo también producto de desperdicio de otras obras.

#### **2.10. Requisitos de las capas de apoyo.**

Las capas de apoyo son el suelo mismo en caso de que éste sea de buena calidad, ya que cumplen con la función de estabilizar el suelo con la sub-base de material granular, ya que ayudará a la carpeta a disminuir su espesor y contener el nivel de aguas freáticas.

Según lo comentado por Salazar (1998), existen casos en los que los suelos son de muy mala calidad y presentan grandes deformaciones, así que tendrá que realizarse una estabilización adicional a las capas de sub-base.

Los materiales que se pueden usar como sub-rasante “deberán de ser de preferencia del tipo: GW (Grava bien graduada), SW (Arena bien graduada), SM (Arena limosa), ML (Limos inorgánicos) e incluso SC (Arena arcillosa), siempre que la porción fina no sea de alta plasticidad”. (Salazar; 1998: 6)

Los terraplenes son parte especial de las sub-rasantes debido a que conllevan un reto especial cuando son empleados para hacer una elevación del terreno, para ello no se debe de exceder un Limite Liquido de más del 60% en sus materiales usados. El material OH (Arcillas orgánicas) nunca deberá emplearse en este tipo de capas o apoyos. Cuando el terreno en su mayoría este constituido por arcillas, Salazar (1998), recomienda espesores de 10 cm para el caso de calles y patios, y de 15 cm para carreteras.

Las bases estabilizadas se están empleando cada vez más, con motivo de que ya es más difícil encontrar materiales de buena calidad que cumplan con las especificaciones. Este proceso permite utilizar materiales de menor calidad y cercanas al sitio de trabajo, esto permitiendo un fuerte ahorro en el volumen de material a tender en las diferentes capas. La ventaja de mejorar las capas de base y sub-base es el empleo de los materiales de menor calidad, que le otorgan a la estructura carretera características de tales que vuelve a la sub-base menos erosionable, así como una mejor distribución de las cargas en las zonas de juntas.

Las bases de arena se utilizan principalmente para las calles con adoquines ya que estas trabajan como una capa de apoyo de transición, esta base de arena no deberá tener más de un 5% de finos sin importar si son limos o arcillas, así como que

la humedad con la que cuente no sea mayor a un 10%, esto dicho por Salazar (1998).

| <b>Bases de arena<br/>( Requisitos granulométricos )</b> |                   |
|--|-------------------|
| <b>Denominación de la Malla</b>                          | <b>% Que pasa</b> |
| 3/8"   | 100               |
| No. 4  | 95 - 100          |
| No.8   | 80 - 100          |
| No.16  | 50 - 95           |
| No. 30   | 25 - 60           |
| No. 50   | 10 - 30           |
| No. 100  | 5 - 15            |
| No. 200  | 0 -10             |

Tabla 2.6. Requisitos de las bases de arena.

Fuente: Salazar; 1998: 7.

Para la preparación de estas bases de apoyo se utilizarán equipos que sean los adecuados para los volúmenes y características propias del terreno, aunque también afecta el hecho de que con que equipo se cuente para dicha obra.

De ser un terreno virgen será necesario retirar el material que no se pueda usar para los procesos siguientes, considerando el hecho de que en el sitio pueda haber rocas y como se encuentra en una zona rural también se puede dar el caso de que se lleguen a encontrar cimentaciones antiguas, o se tenga que remover un tramo de carretera ya existente como es el caso de esta investigación.

Para esta etapa de la construcción, será necesario el uso de equipo de ataque frontal para la remoción de escombros, así como el retiro de material o suelo ahí existente. Por ello es necesario contar con un sitio donde se pueda llevar el material producto de escombros, también será necesario tener en cuenta la cantidad camiones de volteo o bulldozer que se utilizaran en el sitio, así como también el uso de un cargador frontal para estar llenando los camiones.

Para el proceso de mezclado será necesario contar con una moto conformadora la cual le esté dando varias pasadas al material producto del tiro, así como la humedad óptima esto en conjunto con la pipa.

## **2.11. Elementos del concreto.**

Estos son todos los componentes que conforman al concreto hidráulico ya que para poder analizar sobre qué tipo de concreto usar, es necesario saber las características del concreto, sus calidades y sus normativas con relación a las dependencias encargadas de dichas obras.

### **2.11.1. Cemento.**

Para este tipo de obras los concretos de mayor uso son los de tipo común. Solo en casos especiales donde se requiera un fraguado rápido del concreto se utilizarán concretos especializados. Los concretos que se vayan a emplear deberán cumplir con las normas establecidas por la SCT como la tabla 2.7 de la página siguiente que se muestra a continuación:

| Normas comunes en pavimentos de concreto |  |
|--|--|
| NORMA                                    | DESCRIPCION  |
| NMX - C - 45                             | Muestreo de aditivos para concreto.  |
| NMX - C - 81                             | Curado: compuestos líquidos que forman membrana.   |
| NMX - C - 199                            | Terminología y clasificación de aditivos para concreto y materiales complementarios.                                   |
| NMX - C - 200<br>( ASTM - C- 260 )       | Aditivos inclusores de aire para concreto.   |
| NMX - C - 255                            | Aditivos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado del concreto.                             |
| NMX - C - 304                            | Determinación de la retención de agua por medio de compuestos líquidos que forman membrana para el curado de concreto. |
| NMX - C - 309                            | Determinación del factor de reflectancia de membrana de color blanco para el curado de concreto.                       |
| NMX - C - 14                             | Determinación de la uniformidad y equivalencia.  |

Tabla 2.7. Normas comunes de la SCT.

Fuente: Salazar; 1998: 14.

Las recomendaciones para el proceso de construcción con el concreto que se vaya a usar son: que dicho concreto no tenga más de 90 días guardado, que el cemento que se vaya a usar sea el mismo para todo el proyecto y también que dicho almacenaje garantice que no se pierdan las propiedades del cemento por factores externos esto basado en lo dicho por Salazar (1998).

### 2.11.2. Aditivos.

Estos son sustancias que se utilizan para modificar las propiedades de los concretos tales como “la trabajabilidad, reducción de agua de mezclado, incorporación de aire, modificación de los tiempos de fraguado, proporcionar diferentes grados de impermeabilidad”. (Salazar; 1998: 12)

Sin embargo, se deben de tomar una serie de factores que son comunes en la mayoría de los aditivos tales como, justificación de su costo, así como, que su uso no tenga efectos nocivos, tanto de manera inmediata como a largo plazo.

### **2.11.3. Agregados.**

Según Salazar (1998), los agregados son materiales que, para su determinación de utilidad, se deberán cuantificar en cuanto a su distribución granulométrica. Dichos materiales deberán estar bien establecidos sobre superficies limpias que no permitan que otros materiales se combinen con ellos. Estos agregados tales como la grava y la arena son esenciales en dichas obras ya que forman parte de la estructura del pavimento otorgándole propiedades que el cemento por sí solo no tiene.

En obras como las carreteras los agregados se juntan en montones que deberán estar perfectamente identificados en un terreno con gran capacidad de almacenaje, en el caso de ser una zona urbana se recomienda distribuir en porciones los agregados ya que el campo con el que se pueda contar va ser muy limitado.

### **2.12. Control de calidad de los agregados y cemento.**

En el caso de los cementos, los encargados de la producción de dicho material son los principales sujetos que se adaptan a las normativas establecidas, primeramente, de forma mundial y de manera nacional, para adaptarse a los mercados de las naciones.

En el caso de los agregados se extrae una muestra obtenida de los bancos de material que se tengan almacenado, donde se realizan pruebas tanto de “su granulometría, contenido de partículas extrañas, absorción, densidad, desgaste en el de las gravas”. (Salazar; 1998: 14)

## CAPÍTULO 3

### RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN

En el presente capítulo se ubica el sitio donde se analiza la presente investigación, partiendo de su localización geográfica, considerando los aspectos físicos y las condiciones en las que se encuentra el predio y un reporte fotográfico.

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

La presente investigación se realiza para la propuesta de un diseño de pavimento rígido sobre la calle Apahtzi en la Colonia Santa Bárbara en la Ciudad de Uruapan, Michoacán. Para ello el diseño debe tomar en cuenta los aspectos teóricos y la normativa con la que se diseñe dicha estructura.

Es de vital importancia para el diseño de la estructura del pavimento considerar un estudio de mecánica de suelos, ya con él se pueden obtener las características de capacidad del suelo para el desplante o cimentación de dicha estructura, para fines de estudio.

Para poder realizar el diseño de la pavimentación es también necesario contar con los conteos o aforos vehiculares, con la finalidad de proporcionar el número de vehículos que se proyectan estarán transitando dicha calle mencionada anteriormente, considerando también la cantidad total de ejes que generarán afectaciones al pavimento durante su vida útil.

### **3.1.1. Objetivo.**

El objetivo principal de la presente investigación es la propuesta de un diseño de pavimentación tipo rígido, con la finalidad de que este tenga las condiciones adecuadas de servicio y funcionalidad durante su vida útil. Además, dicho diseño se debe adecuar a los factores teóricos que tienen influencia en la estructura del pavimento.

### **3.1.2. Alcance del proyecto.**

En el presente trabajo se da a conocer el procedimiento para el análisis y el diseño de una pavimentación tipo rígida, considerando base y sub base. Realizando el diseño con base en la PCA (Portland Cement Association).

### **3.2. Resumen ejecutivo.**

Lo primero que se realizó fue una visita al sitio de estudio para poder observar las condiciones de la calle, así como la cantidad de habitantes establecidos en la misma, para estimar la cantidad de vehículos que puedan transitar dicha calle.

Para la realización de la investigación fue necesario ubicar el sitio, el cual se encuentra en la Zona Suroriente de la Ciudad de Uruapan, Michoacán. En el sitio fue indispensable realizar el levantamiento topográfico para que este ayude a estimar el tránsito futuro y relacionarlo con la capacidad de soporte del pavimento y que es el motivo de investigación.

Por consiguiente, es necesario complementar esta información con un estudio de mecánica de suelos para poder así recopilar información que nos permita conocer

la capacidad del sitio en estudio y conocer los factores necesarios para el diseño de los pavimentos.

El siguiente proceso es realizar el conteo vehicular para conocer la capacidad actual y así determinar un tránsito futuro sobre el sitio de estudio.

### **3.3. Entorno geográfico.**

Michoacán de acuerdo con el portal de internet <https://es.wikipedia.org> (2017), es uno de los treinta y dos estados federativos que forman a los Estados Unidos Mexicanos, siendo su capital Morelia. Con una población de 4 584 471 habitantes, siendo un 69% de sus pobladores en zonas urbanas y un 31% en zonas rurales. En cuanto a su extensión Michoacán representa el 2.99% con un total de 59 928 km<sup>2</sup> ocupando el lugar 16 entre los 32 estados. Se divide en 133 municipios, de los cuales algunos de los que más sobresalen son Zamora de Hidalgo, Lázaro Cárdenas, Uruapan del Progreso, La Piedad, Apatzingán de la Constitución, entre otros.



Imagen 3.1. Ubicación del estado de Michoacán.

Fuente: <https://es.wikipedia.org> (2017).

Michoacán se ubica en el centro-oeste del país, limita al norte con Guanajuato y Querétaro, al este con el Estado de México, en el sur limita con Guerrero, al suroeste con el Océano Pacífico y el noreste con Colima y Jalisco.

En cuanto a su relieve, Michoacán es una de las más accidentadas de México y contiene una gran cantidad de volcanes siendo esta un 44.98% de su superficie y también por el estado pasa la Sierra Madre del Sur que ocupa un 55.02% de la superficie. Tiene también altitudes que van desde los 0 msnm hasta los 4145 msnm siendo el Pico de Tancítaro el de mayor altitud.

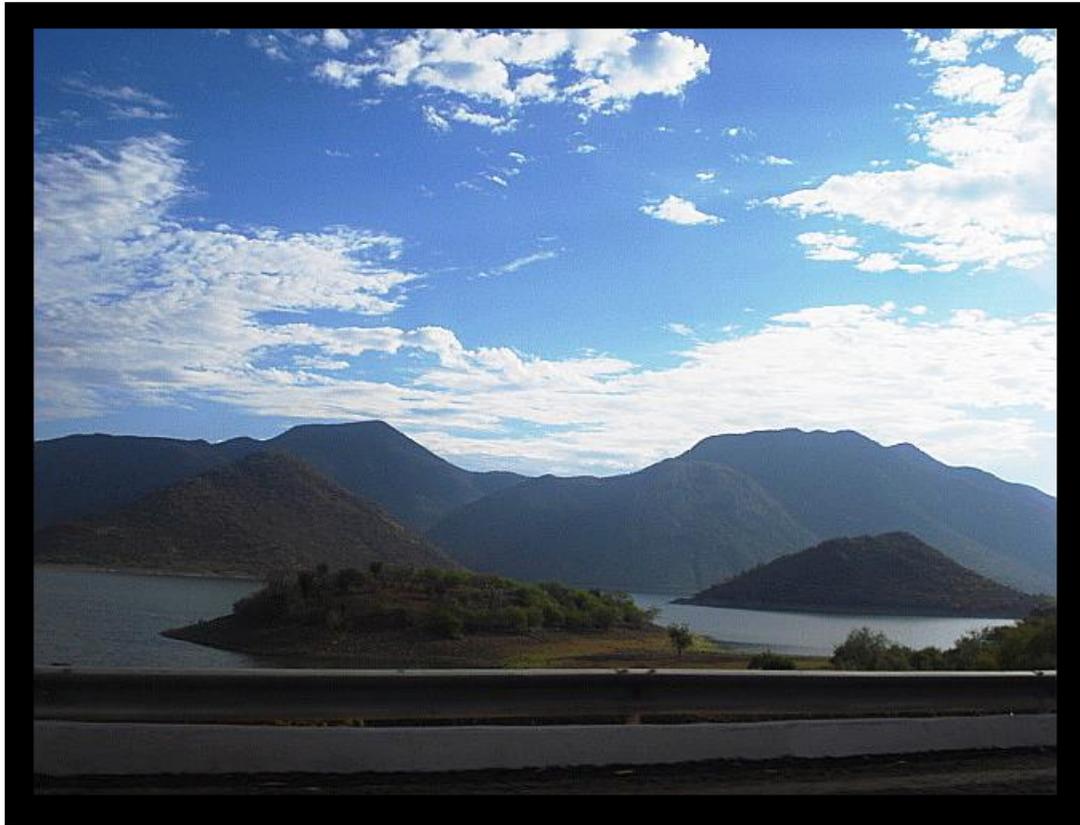


Imagen 3.2. Sierra Michoacana.

Fuente: <https://es.wikipedia.org> (2017)

La ciudad de Uruapan se encuentra ubicada al Centro-occidente del Estado de Michoacán, en las coordenadas 19° 25' 10" en la latitud norte y en la longitud oeste 102° 03' 30" con una altitud de 1620 msnm. Es la segunda Ciudad más importante y también la segunda más poblada del estado detrás de la Capital Morelia. Su nombre oficial proviene de la palabra purépecha "Uruapani" que tiene por significado, lugar de la abundancia de flor y fruto. La Ciudad de Uruapan tiene una extensión de 954.17 km<sup>2</sup>. Este limita al norte con los municipios de Charapan, Paracho y Nahuatzen, al este con Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan, al oeste con Nuevo Parangaricutiro, Peribán y Los Reyes.

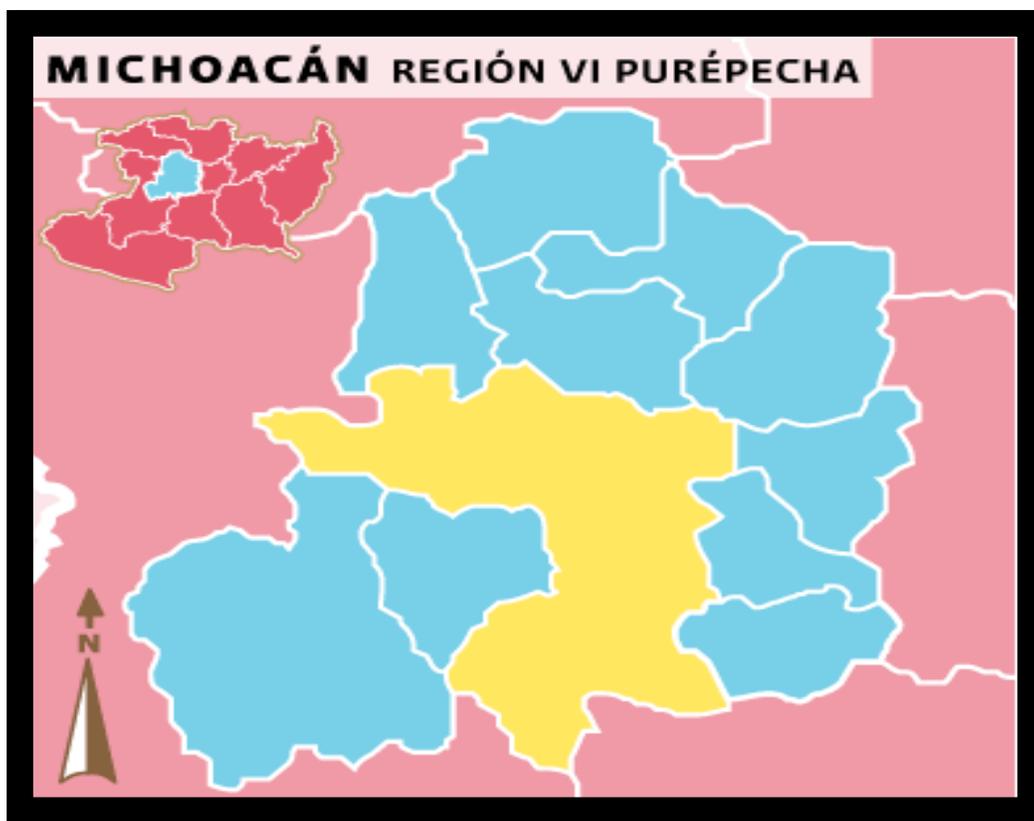


Imagen 3.3. Ubicación de Uruapan, Mich.

Fuente: <https://www.inafed.gob.mx> (2016).



### **3.3.2. Geología Regional y de la zona en estudio.**

En la zona de Uruapan se presenta en mayor medida, producto de la actividad volcánica con la que ha contado la región del Eje Neovolcánico, las rocas ígneas volcánicas o extrusivas entre las que se encuentran el basalto en mayor medida y plutónicas o intrusivas como el granito, así como también las rocas sedimentarias tales como la arenisca-conglomerada

En el sitio de estudio, el suelo es un suelo transportado ya que toda esa zona queda en el parte baja de la ciudad debido al proceso geológico externo o exógeno, también, cuenta con un nivel freático a poca profundidad ya que toda esa zona antes del cambio de uso de suelo era una zona pantanosa.

### **3.3.3. Hidrología regional y de la zona en estudio.**

En cuanto a la hidrología de la zona se cuenta con el río Balsas, el cual nace desde el estado de Puebla y desemboca en el Océano Pacífico. Y se drena con numerosos afluentes tales como del río Cupatitzio, el río Santa Bárbara. Los principales cuerpos de agua son: el lago de Cuitzeo, el lago de Pátzcuaro, el lago de Zirahuén. Entre las diferentes obras hidráulicas con las que cuenta el estado son la Presa de Infiernillo, Cointzio, Zicuirán, entre otros.

En la ciudad de Uruapan se cuenta con una red de ríos perennes como el Río Cupatitzio, perteneciente a la región hidrológica del río Balsas, formando parte de la cuenca del río Tepalcatepec-infiernillo.

Presenta diferentes tipos de climas, en la zona central se presenta un clima templado húmedo, así como también un clima semicálido húmedo con lluvias en

verano, en el sur se presenta un clima semicálido y en la zona sur extrema se presenta un clima cálido subhúmedo. Tiene un rango de temperatura que va desde los 12° C hasta los 26° C, así como también un rango de precipitación que va de los 800 mm hasta los 2000 mm.

De acuerdo con las temperaturas que existen en la zona, éstas afectan a la cinta asfáltica por ello es necesario que las construcciones de este tipo se hagan con materiales de calidad.

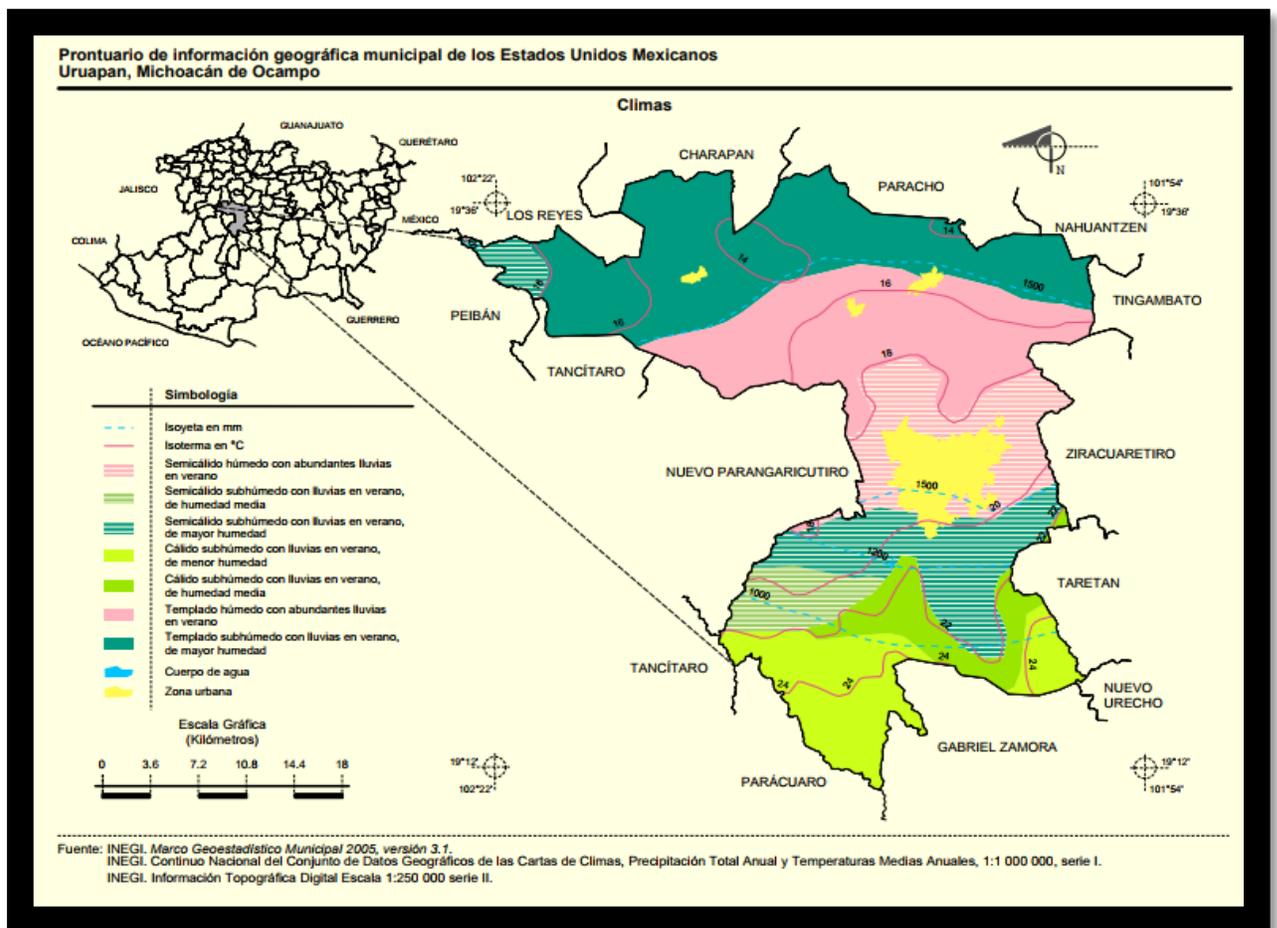


Imagen 3.5. Climas de la ciudad de Uruapan, Mich.

Fuente: <http://www.inegi.org.mx/> (2016).

### **3.3.4. Uso del suelo regional y de la zona en estudio.**

A nivel estado, ocupa los primeros lugares en las actividades primarias tales como la agricultura, que a nivel de municipio es la actividad que más se produce con un 30.57% del total del uso del suelo y un 5.57% en zona urbana, producto de la comercialización del aguacate, por ello es por lo que este fruto adoptó el nombre de “oro verde”, debido a su color y costo. Cuenta con una vegetación de bosques (54.19%), pastizales (4%) y selva (5.43%) esto de acuerdo con el prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos.

En la zona donde se encuentra la calle, el uso de suelo es de tipo zona habitacional interés social ya que lo forman las viviendas en serie.

### **3.4. Informe fotográfico.**

Se presenta un informe fotográfico de la calle Apahtzi en la colonia Santa Bárbara, donde se observa las condiciones en las que se encuentra la vialidad, el tipo de vehículos que transitan sobre ella y los problemas en la estructura del pavimento.

#### **3.4.1. Problemática.**

Dentro del tramo se presentan graves problemas de la calle debido a la falta de mantenimiento y a los efectos destructivos tanto de los vehículos como de los efectos climatológicos existentes en la zona.



Imagen 3.6. Tramo en estudio.

Fuente: Propia.

En la imagen 3.6. se observa la calle, así como el estado en el que se encuentra la vía, donde la alcantarilla que se tiene se encuentra tapada debido a los sedimentos que son arrastrados por el efecto erosivo del agua.

### 3.4.2. Estado físico actual.

En las imágenes 3.7 y 3.8 se puede observar el estado en el que se encuentra la calle en tiempo de lluvias, se vuelve una calle de difícil de transitar debido a los graves problemas que presenta y se puede observar que en ese tramo de la calle no se cuenta con una pendiente adecuada que permita darle una salida al agua.



Imagen 3.7. Daños a la carpeta.

Fuente: Propia.



Imagen 3.8. Presencia de baches.

Fuente: Propia.

Se puede observar en las imágenes 3.9 y 3.10, que hasta para poder cruzar de un lado a otro de la calle se vuelve complicado debido a que la calle contiene mucha agua y se vuelve difícil transportarse. Cabe señalar que las fotos fueron tomadas en época de lluvias y se puede apreciar de mejor forma los inconvenientes que pasan los habitantes para poder transitar dicha calle.



Imagen 3.9. Transeúntes afectados.

Fuente: Propia.



Imagen 3.10. Problemas para cruzar la calle.

Fuente: Propia.



Imagen 3.11. Dificultades por los baches.

Fuente: Propia.



Imagen 3.12. Vehículo transitando la calle.

Fuente: Propia.

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

La continuidad de la calle se ve interrumpida por el camellón de la Av. Maruata, en la parte norte de la calle se puede ver, que una alternativa sería implementar un drenaje longitudinal adecuado como es el bombeo, ya que con él se puede controlar el cauce del agua de lluvia. O la solución a dicha afectación es la de la propuesta de pavimento rígido sobre esta calle ya que los daños que presenta la calle son muy significativos al grado de que en algunas partes la estructura de la pavimentación ha sido removida.

#### **3.5.1. Planteamiento de alternativas.**

Como se puede ver en la imagen 3.13 y 3.14 la pendiente con la que cuenta la calle en la parte sur es mayor que la que tiene la parte norte, por ello basándose en lo observado, podría ser esa una solución o una consideración en el diseño de la pavimentación.



Imagen 3.13. Parte norte de la calle.

Fuente: Propia.



Imagen 3.14. Parte sur de la calle Apahtzi.

Fuente: Propia.



Imagen 3.15. Habitantes de la zona.

Fuente: Propia.



Imagen 3.16. Vista de la calle en la parte sur.

Fuente: Propia.



Imagen 3.17. Presencia de baches.

Fuente: Propia.

Como se puede apreciar en las imágenes el daño que se presenta en la calle Apahtzi en la parte sur es menor, debido a que la calle cuenta con una buena pendiente, aunque en ciertos tramos presenta grandes baches debido también al poco mantenimiento que se le da a la calle, en algunas partes es posible ver que se le ha aplicado concreto a ciertos tramos para tapar los baches existentes.



Imagen 3.18. Vista panorámica de la calle.

Fuente: Propia.



Imagen 3.19. Vehículos estacionados.

Fuente: Propia.

### **3.6. Procesos de análisis.**

En los métodos de diseño de los pavimentos se consideran factores como el TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual), con los cuales se clasifican los vehículos y se conocen el efecto destructivo que tienen estos sobre los pavimentos.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA**

En este capítulo se hará mención y explicación de las bases y los tipos de investigación que se llegaron a utilizar en este trabajo, así como también se hablará acerca de los instrumentos que se utilizaron en la recopilación de datos para que esta investigación fuese eficaz.

#### **4.1. Método empleado.**

El método que se usó para la realización de esta investigación fue el método científico, ya que este permite descubrir el porqué de algún suceso en específico, dicho método viene caracterizado por ser verificable, de razonamiento riguroso, autocorrectivo, es objetivo y requiere de observación empírica.

Según Tamayo (2003), el método científico no es más que la aplicación de la lógica a un hecho observado. Se puede decir que este método viene de la mano del conocimiento científico y la investigación científica, ya que este método asegura ambos casos.

El método científico también implica una serie de pasos para poder descubrir nuevos conocimientos, ya que con este método se puede comprobar y realizar diversas hipótesis de fenómenos que se llegan a desconocer en el momento. Lo importante en el método científico no es el descubrimiento de verdades sino el método aplicado para llegar a ellas.

#### **4.1.1. Método Matemático.**

El método matemático es el estudio formal necesario para resolver un problema, explorar una idea o descubrir un nuevo axioma matemático, lo cual requiere dedicación, paciencia e ingenio. El método matemático viene desarrollado en 2 versiones prácticas, la primera de ellas es aquella que se apoya en resultados suficientemente desarrollados que se aplican con mayor o menor esfuerzo con la finalidad de dar una respuesta a una demanda concreta. Y la segunda se apoya en la idea de construir modelos matemáticos para cada situación propuesta esto según Bastero (1999).

Este tipo de investigación según Mendieta (2005), en el método en las matemáticas, es el que indica el origen del objeto, en número entero es originado por la adición indefinida de la unidad misma.

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

El enfoque que se utilizó para la realización de esta investigación es el cuantitativo, ya que es por medio de este enfoque, el cual consiste en buscar el uso de la recolección de datos con la finalidad de probar hipótesis, y realizar el análisis estadístico, y con ello establecer patrones de comportamiento y así poder probar una teoría.

Dentro del enfoque cuantitativo van el desarrollo de las hipótesis que en un principio se generarán con anterioridad a la recolección de datos. Y la recolección de datos viene a partir de la medición de las diferentes variables que implican las diferentes hipótesis. Esta recolección de datos tiene que estar aprobada por la

comunidad científica, ya que ésta tiene que ser aceptada o acreditada por otros investigadores con la finalidad de corroborar los procedimientos que se llegaron a seguir.

El enfoque cuantitativo requiere el planteamiento de un problema concreto. Y la elaboración de preguntas de investigación tienen objetivos específicos. Esta investigación tiene el enfoque cuantitativo debido a que su realización requiere la recolección de datos numéricos así como el análisis mediante procesos estadísticos.

Mientras que el enfoque cualitativo va más enfocado en la recolección de datos sin la intervención numérica ya que este no busca descubrir o realizar preguntas que tengan relación numérica con la investigación. Este no requiere el planteamiento de un problema en específico.

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

El estudio que se utilizó para la realización de esta investigación es con base a los estudios descriptivos, los cuales según Sampieri (2006), buscan especificar algunas características y propiedades de personas, comunidades, objetos o cualquier fenómeno que sea de estudio. Este tipo de estudios consiste en describir un suceso, situación o acción, es decir, detallar lo analizado.

La finalidad de dicha investigación es la recolección de información con el objetivo de buscar el por qué de lo que se está investigando. El estudio descriptivo no relaciona las variables medidas.

Los estudios descriptivos son muy útiles cuando se requiere mostrar algunos ángulos o dimensiones con precisión de alguna situación. Se requiere en este tipo de

estudios, definir los datos a tomar en cuenta para poder señalar de cuáles se esta hablando.

### **4.3. Diseño de la Investigación.**

Para que la investigación cumpla un fin dado es necesario establecer un diseño ya que este forma la estrategia que se desarrollará para poder obtener información que se llegue a requerir.

Por ello será necesario identificar los diferentes tipos de diseños de investigación formados por los grupos que son investigación experimental e investigación no experimental según Sampieri (2006), y la investigación cuasi experimental.

Esta investigación es del tipo no experimental ya que esta se clasifica por su dimensión temporal o el tiempo en el que se llega a recolectar la información. Este tipo de diseño se centra en analizar o estudiar, una o más variables para observar los cambios a través del tiempo.

La investigación no experimental se puede clasificar en dos: transeccionales y longitudinales, de acuerdo con Sampieri (2006). Ambas recolectan información en un solo momento de tiempo. El propósito de ambas es describir y analizar los fenómenos e interacciones que existan en un momento determinado.

Los diseños transeccionales o transversales son investigaciones que se recopilan en un momento únicamente. Dentro de los diseños transeccionales estos se dividen en tres que son: Exploratorios, descriptivos y correlacionales-causales.

Los diseños transeccionales exploratorios son aquellos que tienen como propósito conocer un evento o una situación. Este tipo de diseños se aplica principalmente en investigaciones nuevas o muy poco conocidas.

Mientras que los diseños longitudinales o evolutivos son, según Sampieri (2006), estudios que recaban información en diferentes periodos de tiempo para después analizar los efectos o cambios. Cuando se explora y se logra tener una visión más específica del problema se llega a tener el inconveniente de que los resultados obtenidos sean válidos exclusivamente en el tiempo y lugar en que se realizaron sus estudios.

Los diseños transeccionales descriptivos, su objetivo es investigar la razón o motivo de un suceso y son estudios exclusivamente descriptivos. Y por último se encuentran los diseños transeccionales correlacionales-causales, los cuales describen la relación que pueda existir entre uno o más variables en un momento determinado esto también viene de las relacionales causales las cuales tienen que ver con la relación causa y efecto.

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

En este apartado se mencionarán los distintos instrumentos usados para la realización de esta investigación, así como fueron de uso para la recopilación de datos.

AutoCAD: Es un software asistido por computadora el cual realiza dibujos de nivel profesional en dos dimensiones o tres dimensiones, es una herramienta de

mucho uso en el área de la construcción debido a que otorga herramientas con las cuales se pueden desarrollar todo tipo de planos.

Excel: Es un software el cual permite realizar tablas y formatos los cuales incluyen cálculos matemáticos con la implementación de fórmulas. Este también permite realizar tareas financieras y contables en un lenguaje programático.

Estación total: Es un aparato electroóptico usado en topografía, el cual consiste en la unión de un distancio metro y un microprocesador. Este instrumento realiza la medición de ángulos con el apoyo de un instrumento llamado estadal, con el cual captura las lecturas de las distancias a partir de una onda electromagnética que generalmente es un infrarrojo, el cual sale de la estación hacia el estadal y regresa, a lo cual el instrumento captura la diferencia o el tiempo entre ondas.

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

Los procesos que se siguieron para la realización de esta investigación fueron primero hacer un estudio de los principales problemas que afectan la zona, determinando que de los mayores problemas son debidos a que existe infraestructura, pero en malas condiciones, por ello se eligió como solución el implemento del cambio de pavimento asfaltico a pavimento con concreto hidráulico como alternativa para la Carretera Uruapan-Pátzcuaro.

Considerando las propiedades con las que cuentan dichos pavimentos ya que ambos requieren de una fuerte inversión y su mala planeación y elaboración conlleva a la insatisfacción de la población. Se toma en cuenta para esta investigación el tipo

de camino en que entra dicho tramo. Y las proyecciones a futuro de la cantidad de vehículos que puedan transitar sobre ella.

Se plantearon los antecedentes que dicho tramo presentaba para con ello darse a la búsqueda de una solución satisfactoria, considerando objetivos principales y objetivos secundarios, con la finalidad de poder identificar las zonas de mayor impacto y poder determinar una solución adecuada, que en este caso consideraría el espesor de la capa de pavimento, así como de las capas de base y sub-base con las que debe contar.

## CAPÍTULO 5

### CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Como parte de los análisis de la calle Apahtzi en la Colonia Santa Bárbara, que se requieren para poder entrar al diseño del pavimento rígido, es necesario contar con un levantamiento topográfico que permita poder dimensionar y conocer las características geométricas del sitio, tipos de vehículos que pasan por el sitio, características del suelo, todo esto para poder elaborar el diseño del pavimento.

#### 5.1. Valor relativo de soporte (VRS).

Según Rico y del Castillo (1977), el ensaye de Valor Relativo de Soporte (VRS), fue originalmente realizado por el Departamento de Carreteras de California, esta prueba se realiza a través de la penetración del material con un vástago con dimensiones de  $19 \text{ cm}^2$  de área, pero antes, este material debe estar debidamente compactado. Ya compactado se realiza la penetración a una velocidad de  $0.127 \text{ cm/min}$ , registrándose cuando éste llegue a cada  $0.25 \text{ cm}$ .

El recipiente sobre el cual se deposita el material es un molde de acero con un área de  $15.2 \text{ cm}$  de diámetro y tiene una altura de  $20.3 \text{ cm}$ .

Lo primero es contar con el material seco para poder después agregarle agua hasta el punto de que este cuente con una humedad óptima para compactarlo, éste tiene que pesar  $4 \text{ kg}$ , después se vierte el material sobre el molde y se le da una ligera compactada con alguna varilla punta de bala. La compactación máxima se la da una prensa la cual aplica una carga de  $140 \text{ kg/cm}^2$ .

Existen diferentes factores que afectan a la prueba VRS, como lo son la textura con la que cuente el suelo de la superficie del molde, la cantidad de agua cuando este no sea óptimo y la capacidad de compactación del suelo en estudio.

**SUELO TOTALMENTE SATURADO**

LECTURAS DE ENSAYE

| CTE CARGA: | EN KG.    |            |
|------------|-----------|------------|
| DEF. (MM)  | LEC. (MM) | CARGA (KG) |
| 0.00       | 0         | 5.22       |
| 2.00       | 33        | 109.5      |
| 4.00       | 100       | 321.22     |
| 6.00       | 190       | 605.62     |
| 8.00       | 260       | 826.82     |
| 10.00      |           |            |
| 12.00      |           |            |
| 14.00      |           |            |

| OBSERVACIONES                |           |                |
|------------------------------|-----------|----------------|
| DATOS EN ENSAYE AASHTO _____ |           |                |
| PVSM. =                      |           | kg/m3          |
| Wopt =                       |           | % (porcentaje) |
| CONSIDERACIONES:             |           |                |
|                              | VRS (MIN) | EXP (MAX)      |
| TERRAPLEN                    | 5         | 5              |
| SUBYACENTE                   | 10        | 3              |
| SUBRASANTE                   | 20        | 2              |
| SUBBASE                      | 50/60     | -              |
| BASE                         | 80        | -              |

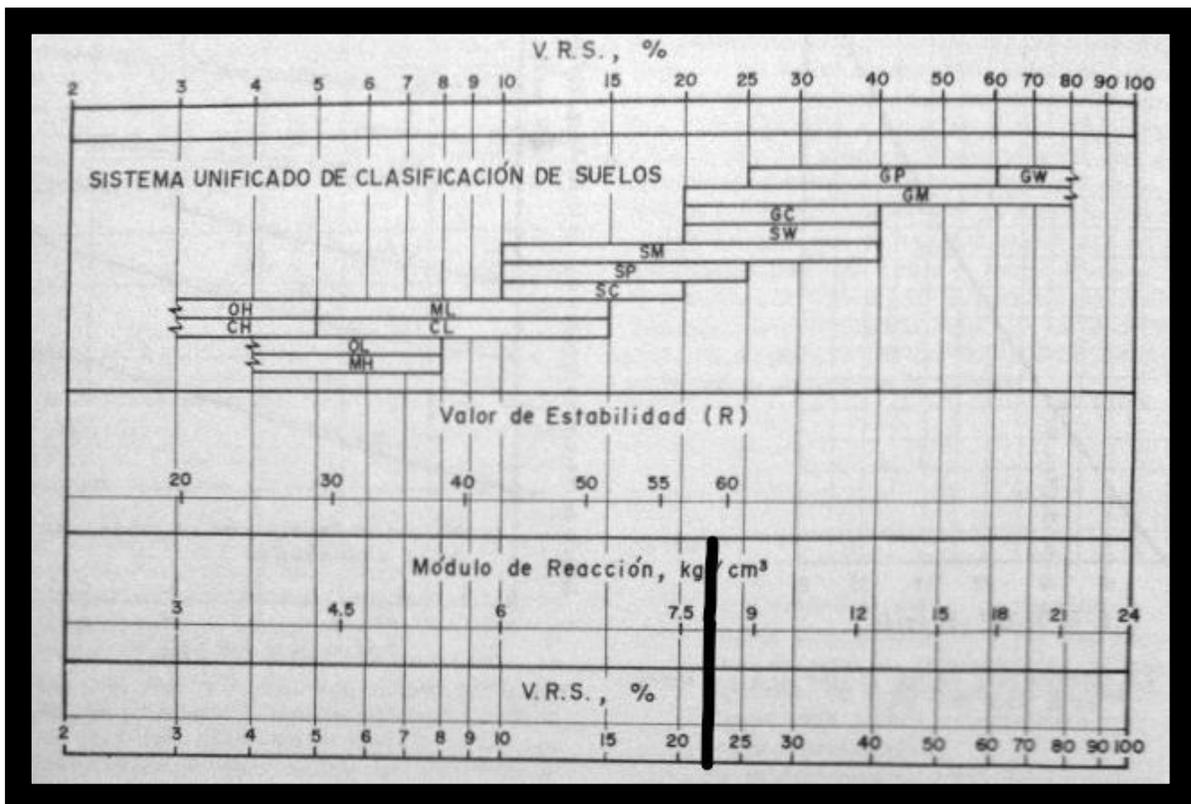
| VALOR RELATIVO DE SOPORTE |        |
|---------------------------|--------|
| VRS (%) 2a lectura        | 22.54% |
| CALIDAD DE LA MUESTRA     |        |
| SUBRASANTE                |        |

| FORMULA DEL VRS                                   |
|---|
| $VRS = \frac{2da \text{ Lect.}}{1425} \times 100$ |

Imagen 5.1. Lecturas para la obtención del VRS.

Fuente: Propia.

De acuerdo con las pruebas hechas en el laboratorio en el cual se dejó saturar el material para poder trabajar con un valor desfavorable, se llegó a un VRS de 22% y como se puede ver en la gráfica 5.1, con el valor de 22% se entra a la gráfica y se obtiene el módulo de reacción K el cual queda con un valor de 8.0 kg/cm<sup>3</sup>.



Gráfica 5.1. Obtención del módulo de reacción del VRS.

Fuente: Rico y del Castillo; 1977: 212.

## **5.2. Aforo Vehicular.**

Para el diseño de todo proyecto carretero es necesario poder contar con un aforo vehicular ya que éste permite conocer las características geométricas y de operación de todo vehículo que transite el camino. Así como también con las condiciones en las que se clasifican los vehículos.

### **5.2.1. Clasificación.**

De manera muy general los vehículos se clasifican en tres categorías que son vehículos ligeros, pesados y especiales, siendo los vehículos ligeros los que pueden llevar pasajeros y/o equipaje y cuentan con 2 ejes. Los vehículos pesados son aquellos que se especializan en el transporte de pasajeros o mercancías y cuentan con 2 o más ejes, y los vehículos especiales son aquellos que no transitan de manera continua una carretera.

### **5.2.2. Características.**

Las características geométricas están relacionadas según el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (2014), con las dimensiones del vehículo y el radio de giro con el que cuente, mientras que las características de operación tienen que ver con la relación entre el peso y la potencia del vehículo.

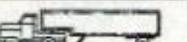
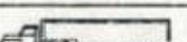
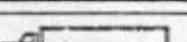
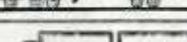
| TIPO DE VEHICULO     | NUM. DE EJES                      | ESQUEMAS  |   | SIMBOLO                        | PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE CAMIONES | PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE VEHICULOS |    |    |
|----------------------|-----------------------------------|---|---|--------------------------------|--|---|----|----|
|                      |                                   | PERFIL  | PLANTA  |                                |  |   |    |    |
| VEHICULOS LIGEROS    | AUTOMOVILES                       | 2   |  | Ap                             | —  | 46  | 58 |    |
|                      | CAMIONETAS                        | 2   |  | Ac                             |  | 12  |    |    |
| VEHICULOS PESADOS    | AUTOBUSES                         | 2   |  | B                              | —  | 12  | 42 |    |
|                      | CAMIONES                          | 2   |  | C2                             | 73                                       | 100                                       |    | 30 |
|                      |                                   | 3   |  | C3                             | 13                                       |   |    |    |
|                      |                                   |   |  | T2-S1                          |  |   |    |    |
|                      |                                   |   |  | T2-S2                          |  |   |    |    |
|                      |                                   | 5   |  | T3-S2                          | 7  |   |    |    |
|                      |                                   |  | T2-S1-R2  |                                |  |   |    |    |
|                      | OTRAS COMBINACIONES               |   |   |                                |  |   |    |    |
| VEHICULOS ESPECIALES | CAMIONES Y/O REMOLQUES ESPECIALES | VARIABLE  |   | E <sub>n</sub><br>n = variable | VARIABLE                                 |   |    |    |
|                      | MAQUINARIA AGRICOLA               |   |   |                                |  |   |    |    |
|                      | BICICLETAS Y MOTOCICLETAS         |   |   |                                |  |   |    |    |
|                      | OTROS                             |   |   |                                |  |   |    |    |

Imagen 5.2. Clasificación vehicular.

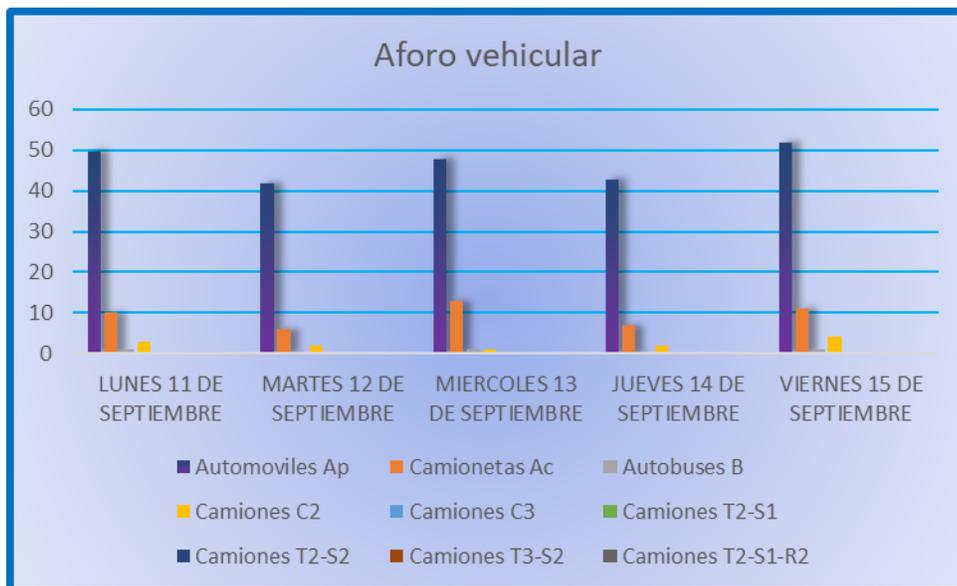
Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras; 2004: 69.

Se muestra a continuación en la tabla 5.1, el aforo vehicular realizado en la calle Apahtzi entre los días 11 al 15 de septiembre del 2017.

| FORMATO DE CAMPO |          |                        |                         |                            |                         |                          |
|------------------|----------|------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| TIPO DE VEHICULO |          | LUNES 11 DE SEPTIEMBRE | MARTES 12 DE SEPTIEMBRE | MIERCOLES 13 DE SEPTIEMBRE | JUEVES 14 DE SEPTIEMBRE | VIERNES 15 DE SEPTIEMBRE |
|                  |          | 13:00 A 14:00          | 14:00 A 15:00           | 15:00 A 16:00              | 16:00 A 17:00           | 13:00 A 14:00            |
| Automoviles      | Ap       | 50                     | 42                      | 48                         | 43                      | 52                       |
| Camionetas       | Ac       | 10                     | 6                       | 13                         | 7                       | 11                       |
| Autobuses        | B        | 1                      | -                       | 1                          | -                       | 1                        |
| Camiones         | C2       | 3                      | 2                       | 1                          | 2                       | 4                        |
|                  | C3       | -                      | -                       | -                          | -                       | -                        |
|                  | T2-S1    | -                      | -                       | -                          | -                       | -                        |
|                  | T2-S2    | -                      | -                       | -                          | -                       | -                        |
|                  | T3-S2    | -                      | -                       | -                          | -                       | -                        |
|                  | T2-S1-R2 | -                      | -                       | -                          | -                       | -                        |

Tabla 5.1. Aforo vehicular.

Fuente: Propia.



Grafica 5.2. Formato de campo.

Fuente: Propia.

Se trabaja con los vehículos que transitan sobre dicha calle y se procede a hacer un promedio del total de cada vehículo entre los días en que se realizó el aforo, con duración de 5 días para esta investigación.

| CALCULO DEL TPDA |                    |         |
|------------------|--------------------|---------|
| TIPO             | PROM. DE VEHICULOS | PERIODO |
| Ap               | 47.0               | 564     |
| Ac               | 9.4                | 112.8   |
| B                | 0.6                | 7.2     |
| C2               | 2.4                | 28.8    |
| C3               | -                  | -       |
| T2-S1            | -                  | -       |
| T2-S2            | -                  | -       |
| T3-S2            | -                  | -       |
| T2-S1-R1         | -                  | -       |
| TPDA=            |                    | 712.8   |

Tabla 5.2. Promedio vehicular.

Fuente: Propia.

### 5.3. Propuesta de Drenaje Sanitario.

Como parte de la investigación se incluye el análisis de una red de drenaje ya que en toda obra carretera siempre será necesario la realización o revisión de dicha estructura, ya sea para comprobar que ésta cuenta con las pendientes y diámetro de tubería necesario, o en la realización de un drenaje nuevo.

#### 5.3.1. Red de atarjeas.

De acuerdo con el Manual de Alcantarillado Sanitario (2009), las atarjeas tienen como objetivo recolectar y conducir las descargas de aguas negras

domésticas, comerciales e industriales, hacia los puntos más bajos que la topografía permita, apoyados por los pozos de visita, ya que estos permiten inspeccionar, ventilar y dar una limpieza a las redes de drenaje de una cierta zona.

Los sistemas de alcantarillado son de dos tipos, convencionales y no convencionales.

En los sistemas convencionales entran lo que es el alcantarillado separado que son el alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial, siendo los primeros aquellos que solo recolectan las aguas residuales domésticas y las industriales. Mientras que el alcantarillado pluvial como su nombre lo dice es exclusivo para aguas producto de la escorrentía superficial del agua.

Y en los sistemas de alcantarillado no convencional se clasifican de acuerdo con la tecnología con la que cuentan y al desecho de las aguas residuales, como son las alcantarillas simplificadas que su diseño es igual al de una alcantarilla convencional solo que en este sistema se tiene la posibilidad de reducir su diámetro, así como reducir la distancia entre los pozos de visita.

### **5.3.2. Modelo de configuración para colectores.**

Para el diseño de la recolección de aguas residuales de una comunidad o una zona se deben considerar aspectos tales como la topografía, el trazo de las calles, la disposición con la que se cuente para la ubicación de una planta de tratamiento.

### **5.3.3. Normativa para el sistema de drenaje sanitario.**

Para poder realizar un proyecto de drenaje sanitario es necesario conocer parte de los datos que se proporcionan en la Tabla 5.3.

| <b>Datos para el diseño de proyecto de drenaje sanitario.</b> |   |   |
|---|---|---|
| <b>1</b>  | <i>Tipo de desarrollo</i>                   | <i>Industrial<br/>Domestico<br/>Comercial<br/>Mixto</i> |
| <b>2</b>  | <i>Número de lotes</i>                      | <i>Cantidad de lotes en total</i>                       |
| <b>3</b>  | <i>Densidad de población</i>                | <i>Hab/lote</i>   |
| <b>4</b>  | <i>Poblacion de proyecto</i>                | <i>Total de habitantes del proyecto</i>                 |
| <b>5</b>  | <i>Dotacion</i>                             | <i>l/hab/dia</i>  |
| <b>6</b>  | <i>Aportaciones de aguas negras</i>         | <i>l/s</i>  |
| <b>7</b>  | <i>Gasto medio</i>                          | <i>l/s</i>  |
| <b>8</b>  | <i>Gasto Minimo</i>                         | <i>l/s</i>  |
| <b>9</b>  | <i>Coficiente de Harmon</i>                 | <i>M</i>  |
| <b>10</b>   | <i>Gasto Max. Inst.</i>                     | <i>l/s</i>  |
| <b>11</b>   | <i>Gasto Max. Ext.</i>                      | <i>l/s</i>  |
| <b>12</b>   | <i>Tipo de tuberia</i>                      | <i>Caracteristicas</i>                                  |
| <b>13</b>   | <i>Coficiente de rugosidad del material</i> | <i>Funcion del material de la tuberia</i>               |

Tabla 5.3. Datos necesarios para el diseño.

Fuente: Propia.

#### **5.3.4. Dotaciones.**

Las dotaciones son la cantidad de agua o volumen de agua que considera el consumo que se tiene por habitante por día, esto incluyendo las perdidas físicas y estas se obtiene de acuerdo con el consumo.

| CLIMA      | CONSUMO POR CLASE SOCIOECONÓMICA (l / HAB / DIA) |       |         |
|------------|--|-------|---------|
|            | RESIDENCIAL                                      | MEDIA | POPULAR |
| CÁLIDO     | 400  | 230   | 185     |
| SEMICALIDO | 300  | 205   | 130     |
| TEMPLADO   | 250  | 195   | 100     |

Tabla 5.4. Dotaciones de acuerdo con la temperatura.

Fuente: <http://www.siapa.gob.mx> (2014).

### 5.3.5. Coeficientes de variación.

Los coeficientes de variación son según el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (2016), son valores ya establecidos que permiten determinar, de acuerdo con los días laborales y las otras actividades de la población, la variación horaria y diaria en la demanda de agua de una localidad.

| Concepto  | Valor       |
|---|-------------|
| Coeficiente de variación diaria (CV <sub>d</sub> )  | 1.20 a 1.40 |
| Coeficiente de variación horaria (CV <sub>h</sub> ) | 1.55        |

Imagen 5.3. Coeficientes de variación.

Fuente: Manual de agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento; 2016: 18.

### 5.3.6. Análisis del diseño del drenaje sanitario.

Para determinar el diseño, primero se determinó gráficamente la distribución de los lotes para así mismo poder comenzar a realizar el análisis.

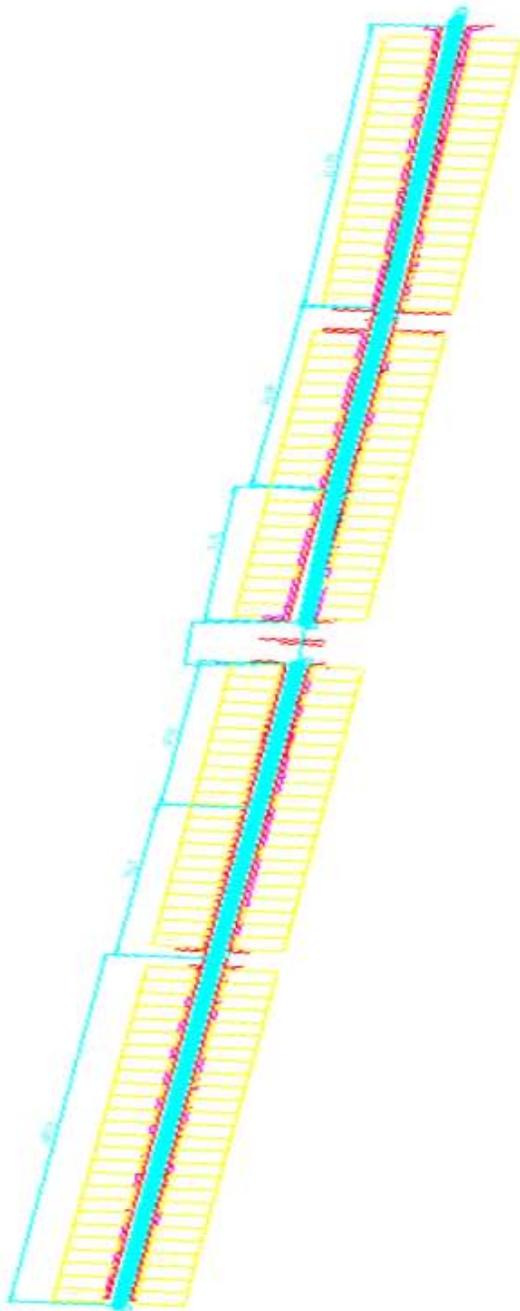


Imagen 5.4. Drenaje sobre la calle Apahtzi.

Fuente: Propia.

Para la propuesta del diseño del drenaje se realizó el conteo de los habitantes de la zona de proyecto.

|       |  |       |  |
|-------|--|-------|--|
| 1 - 2 | No de lotes = 42 (Propios)<br>Indice de hacinamiento = 4.3 Hab/lote (CONAGUA)<br>Hab. Propios = 180.6 Hab. | 5 - 6 | No de lotes = 22 (Propios)<br>Indice de hacinamiento = 4.3 Hab/lote (CONAGUA)<br>Hab. Propios = 94.6 Hab.  |
| 2 - 3 | No de lotes = 24 (Propios)<br>Indice de hacinamiento = 4.3 Hab/lote (CONAGUA)<br>Hab. Propios = 103.2 Hab. | 6 - 7 | No de lotes = 22 (Propios)<br>Indice de hacinamiento = 4.3 Hab/lote (CONAGUA)<br>Hab. Propios = 94.6 Hab.  |
| 3 - 4 | No de lotes = 20 (Propios)<br>Indice de hacinamiento = 4.3 Hab/lote (CONAGUA)<br>Hab. Propios = 86 Hab.    | 7 - 8 | No de lotes = 52 (Propios)<br>Indice de hacinamiento = 4.3 Hab/lote (CONAGUA)<br>Hab. Propios = 223.6 Hab. |

Comprobacion :

Lotes Totales = 782.6 Hab/lote

Tabla 5.5. Población de proyecto.

Fuente: Propia.

|                                |   |  |                                 |
|--------------------------------|---|--|---------------------------------|
| <b>Poblacion de proyecto</b>   | = | <b>782.6</b>                               | Habitantes                      |
| <b>Gasto Medio</b>             | = | $Pob. Proyecto \times Aportacion / 86400$  | = <b>1.81157407</b> Its/seg     |
| <b>Raiz cuadrada de "P"</b>    | = | 0.7826 Mil Hab.                            | = <b>0.88464682</b>             |
| <b>Coficiente de variacion</b> | = | $(1) + (14 / (4 + P 1/2))$                 | = <b>3.86612329</b>             |
| <b>Gasto Max. Inst.</b>        | = | $Gasto medio \times Coef. De variacion$    | = <b>7.00376871</b> Its/seg     |
| <b>Gasto Max. Ext.</b>         | = | $Gasto max. Inst. \times Coef. Seguridad$  | = <b>10.5056531</b> Its/seg     |
| <b>Poblacion Servida Unit.</b> | = | $Total de habitantes / Longitud de la red$ | = <b>1.35679612</b> Its/seg/mt. |

Imagen 5.5. Gasto Máximo Extraordinario.

Fuente: Propia.

Para poder realizar el análisis del drenaje se utilizó un programa llamado EPA SWMM, el cual permite a partir de un modelo dinámico realizar la simulación de precipitaciones, ya sea para un único acontecimiento o para simulación en un periodo extendido.

EPA SWMM permite diseñar y dimensionar los elementos que componen a una red de drenaje para evitar inundaciones. Ya que la calle cuenta con diferente topografía, en la parte norte cuenta con una pendiente muy suave y en la parte sur cuenta con una pendiente pronunciada, por ello se revisó en ambas partes.

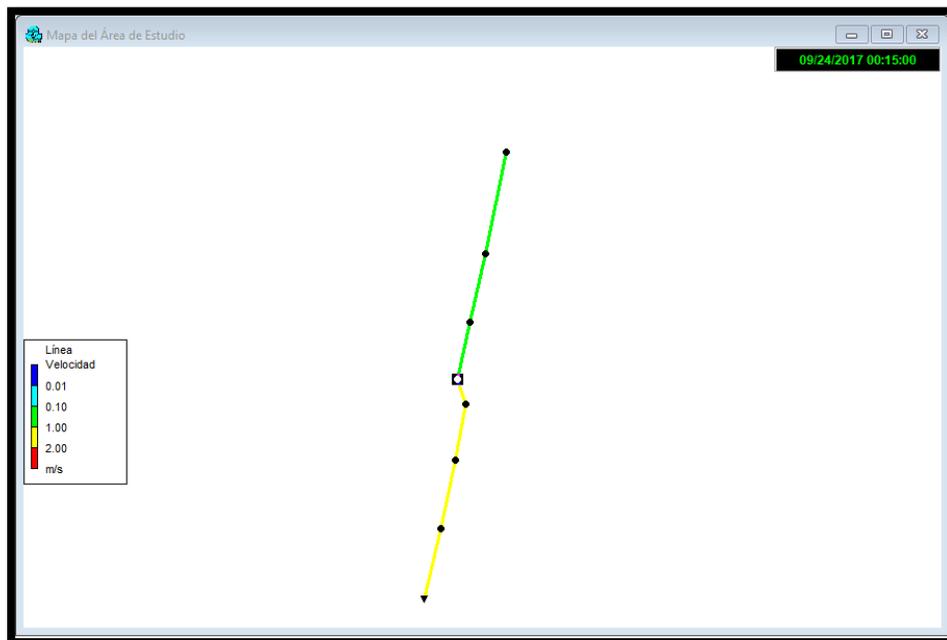


Imagen 5.6. Límites de velocidad.

Fuente: Propia.

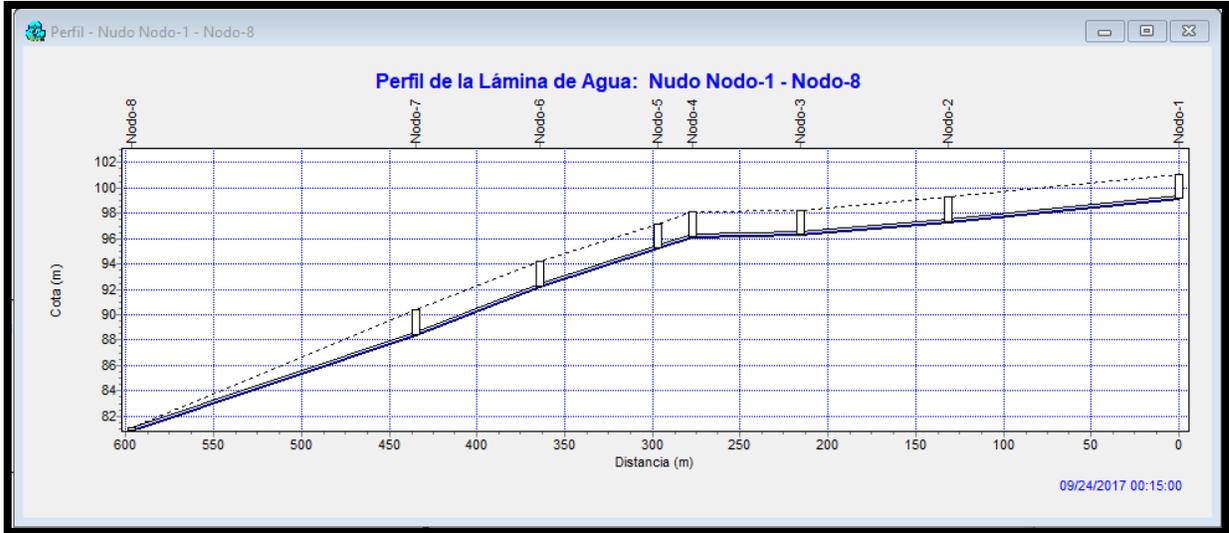


Imagen 5.7. Modelación del drenaje en EPA SWMM.

Fuente: Propia.

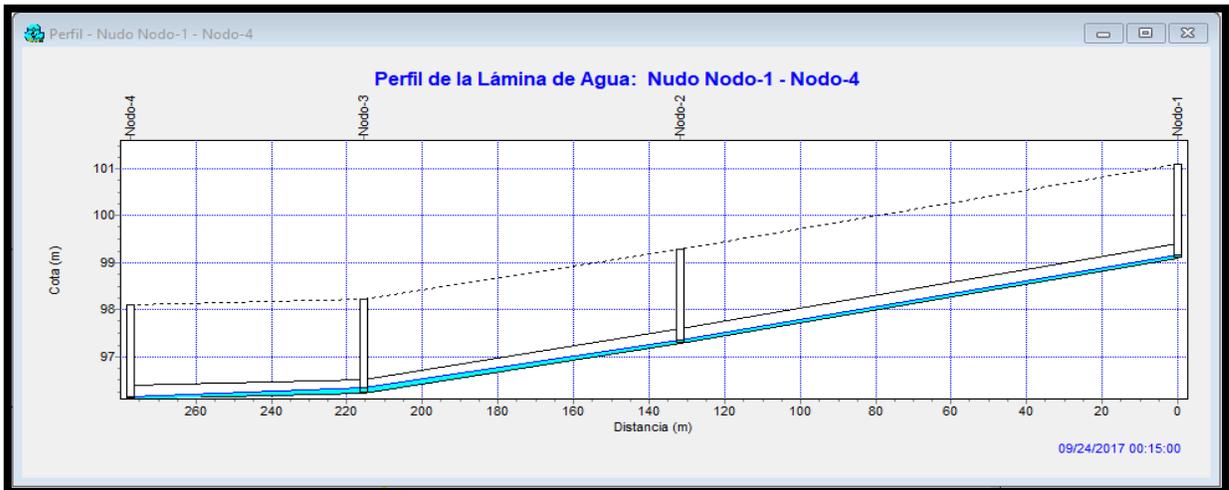


Imagen 5.8. Modelación del drenaje parte norte.

Fuente: Propia.

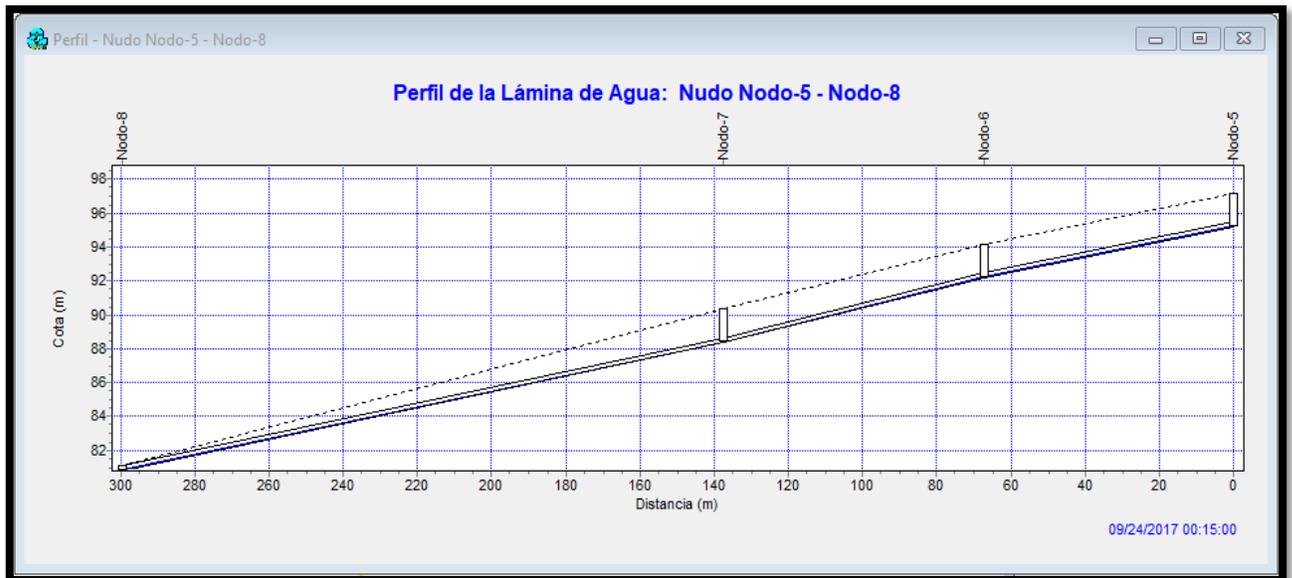


Imagen 5.9. Modelación del drenaje parte sur.

Fuente: Propia.

| TRAMO      | Cota Nudo Inicial | Cota Nudo Final | Profundidad Máxima PV | Longitud | Rugosidad | Diametro |
|------------|-------------------|-----------------|-----------------------|----------|-----------|----------|
|            | (mts)             | (mts)           | (m)                   | (m)      | (m)       | (m)      |
| <b>A-B</b> | 99.095            | 97.29           | 2                     | 131.65   | 0.015     | 0.3      |
| <b>B-C</b> | 97.29             | 96.22           | 2                     | 84.06    | 0.015     | 0.3      |
| <b>C-D</b> | 96.22             | 96.1            | 2                     | 61.61    | 0.015     | 0.4      |
| <b>D-E</b> | 96.1              | 95.19           | 2                     | 19.92    | 0.015     | 0.3      |
| <b>E-F</b> | 95.19             | 92.18           | 2                     | 67.03    | 0.015     | 0.3      |
| <b>F-G</b> | 92.18             | 88.35           | 2                     | 70.42    | 0.015     | 0.3      |
| <b>G-H</b> | 88.35             | 80.79           | 2                     | 162.03   | 0.015     | 0.3      |

Tabla 5.6. Diámetros determinados.

Fuente: Propia.

#### 5.4. Diseño de la subestructura.

Las concentraciones máximas de las cargas según el Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos (2013), que dañan a los pavimentos por eje, de acuerdo con el tipo de camino en que éstos transitan, son las conocidas como peso máximo por eje. Y éstas se clasifican de acuerdo con la configuración de ejes, ya que cada tipo de vehículo cuenta con una carga máxima permitida.

El espesor de la sub-base de todos los pavimentos rígidos, no es un proceso de cálculo sino una receta establecida. Éstas nunca se construyen menores a 10 ó 15 cm ya que éstas son las dimensiones mínimas, si se hicieran menores espesores sería inevitable las irregularidades en la construcción por que podrían provocar que en algún lugar el espesor quedara muy pequeño.

Un valor para considerar es el periodo de diseño ya que este será seleccionado de acuerdo con una serie de factores determinantes, normalmente un pavimento se diseña para un periodo de 20 años, se considera una tasa de crecimiento anual de 1%.

Es necesario considerar un factor de proyección el cual se va a obtener con la formula siguiente.

$$TD = TDPA_{actual} \times CT = TDPA_{actual} \times 365 \left[ \frac{(1 + TC)^n - 1}{TC} \right]$$

Fórmula 5.1. Obtención del tránsito de diseño.

Fuente: Propia.

Donde:

TD= Tránsito de diseño.

TC= Tasa de crecimiento, en decimales.

n= Número de años de servicio (horizonte de proyecto).

TDPA actual= Último dato registrado del Tránsito Diario Promedio Anual.

CT= Coeficiente de acumulación del tránsito =  $365 \left[ \frac{(1+TC)^n - 1}{TC} \right]$

$$712.8 \times 365 \left( \frac{(1 + 0.01)^{20} - 1}{0.01} \right) = 5\,728\,728.3$$

Ya con este valor se procede a determinar los ejes equivalentes considerando que los coeficientes de daño están en función de la profundidad la cual se obtiene a partir del daño que le causa al eje analizado respecto a un eje equivalente con un peso de 8.2 t, con la siguiente fórmula 5.2

$$\sum EE = (TD) \times (Cd) \times (CD) \times (Ci)$$

Fórmula 5.2. Suma de ejes sencillos.

Fuente: Propia.

Donde:  $\sum EE$ = Suma de ejes sencillos equivalentes de 8.2 t, esperados en el proyecto.

TD= Tránsito de diseño.

Cd= Coeficiente de daño (en función del tipo de vehículo).

CD= Coeficiente de distribución por carril (en decimales).

Ci= Coeficiente de distribución direccional.

El valor de CD va a variar de acuerdo con el número de carriles. Y el Ci se trata del sentido de circulación en el que va el mayor porcentaje de vehículos, se recomienda según el Catálogo de secciones estructurales de pavimentos un valor de 0.5.

| Coeficiente de distribución por carril (CD) |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Número de carriles en cada sentido          | Porcentaje en el carril de proyecto |
| 1   | 100                                 |
| 2   | 80-100                              |
| 3   | 60-80                               |
| 4 ó más                                     | 50-75                               |

Tabla 5.7. Coeficiente de distribución.

Fuente: Catálogo de Secciones Estructurales para Pavimentos; 2013: 7.

Entonces conociendo los valores se procede a obtener el valor sustituyendo los valores en la fórmula 5.3.

$$\sum EE = (5\,728\,728.3) \times (8.2) \times (0.5) \times (0.8) = 18\,790\,228.85$$

Obtenido el valor  $\sum EE$ , este valor se busca ubicar en la siguiente tabla donde vienen los rangos del tránsito en los que se encuentra el tramo de estudio, quedando en  $\sum EE2$ .

| Rangos de tránsito en función de ejes sencillos equivalentes ( $\sum EE$ ) |                                 |                                 |                                 |                |
|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|
| $\sum EE1$   | $\sum EE2$                      | $\sum EE3$                      | $\sum EE4$                      | $\sum EE5$     |
| $\leq 10,000,000$  | $>10,000,000 - \leq 20,000,000$ | $>20,000,000 - \leq 40,000,000$ | $>40,000,000 - \leq 80,000,000$ | $> 80,000,000$ |

Tabla 5.8. Rangos del tránsito.

Fuente: Catálogo de Secciones Estructurales para Pavimentos; 2013: 7.

#### 5.4.1. Regionalización.

Según el Catálogo de Secciones Estructurales para Pavimentos (2013), para poder continuar con el diseño se tiene que considerar los siguientes 3 parámetros:

- 1). Tipo de terreno natural.
- 2). Precipitación pluvial máxima (PPm)
- 3). Temperatura máxima y mínima (Tmax y Tmin).

El catálogo considerando los 3 parámetros antes mencionados elaboró un mapa en el cual se pueden observar cinco regiones con la letra R. donde R1 cuenta con las condiciones más favorables para el diseño de un pavimento, y por otra parte la R5 representa las condiciones más difíciles para el diseño. Las demás 3 regiones presentan condiciones intermedias como se puede apreciar en la imagen 5.10.

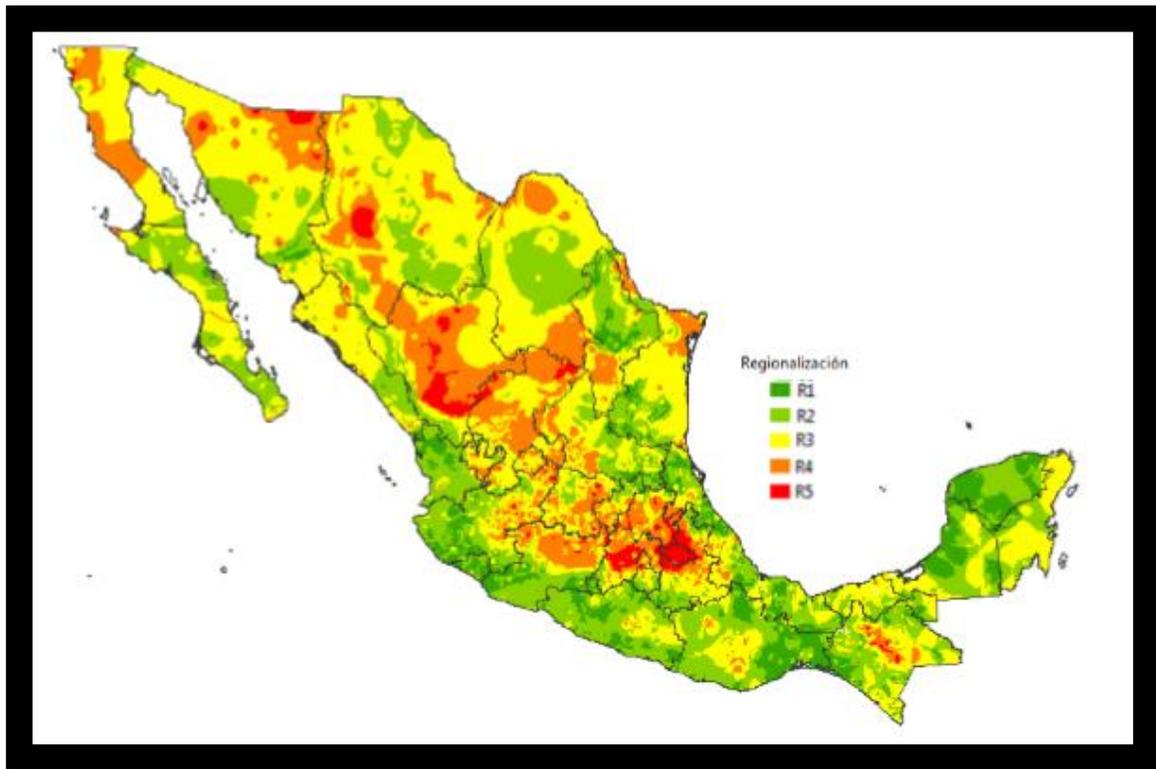


Imagen 5.10. Regionalización de la República Mexicana.

Fuente: Catálogo de Secciones Estructurales para Pavimentos; 2013: 8.

Los datos obtenidos de la temperatura máxima se obtuvieron de las estaciones climatológicas en la página <https://www.gob.mx/conagua> (2016), así como corroborando con las imágenes que se mostrarán a continuación.

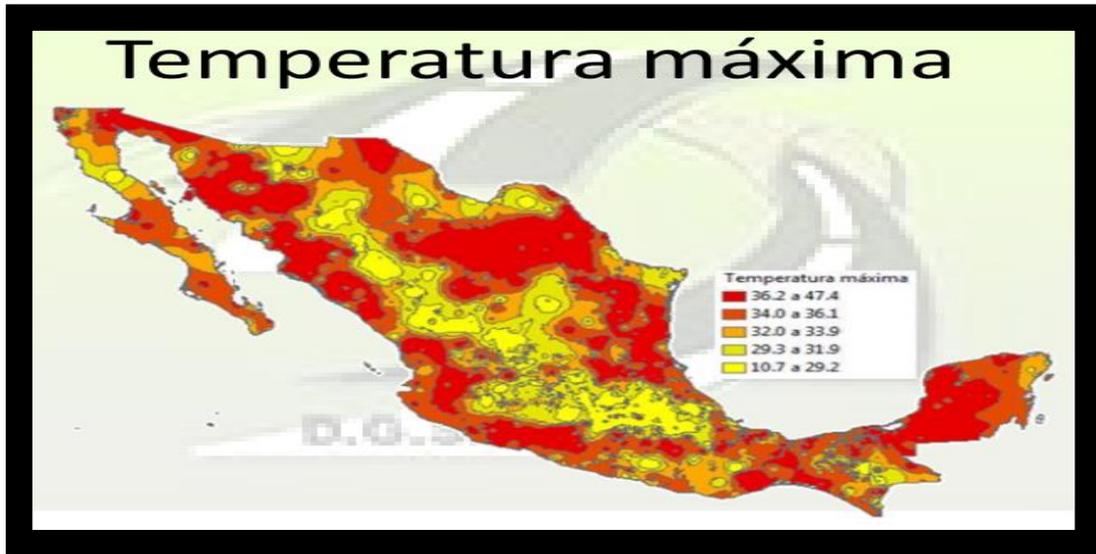


Imagen 5.11. Temperatura máxima.

Fuente: Catálogo de Secciones Estructurales para Pavimentos; 2013: 8.

De acuerdo con lo investigado en la región de estudio se presentan temperaturas máximas que van desde los 26 °C hasta los 12 °C.

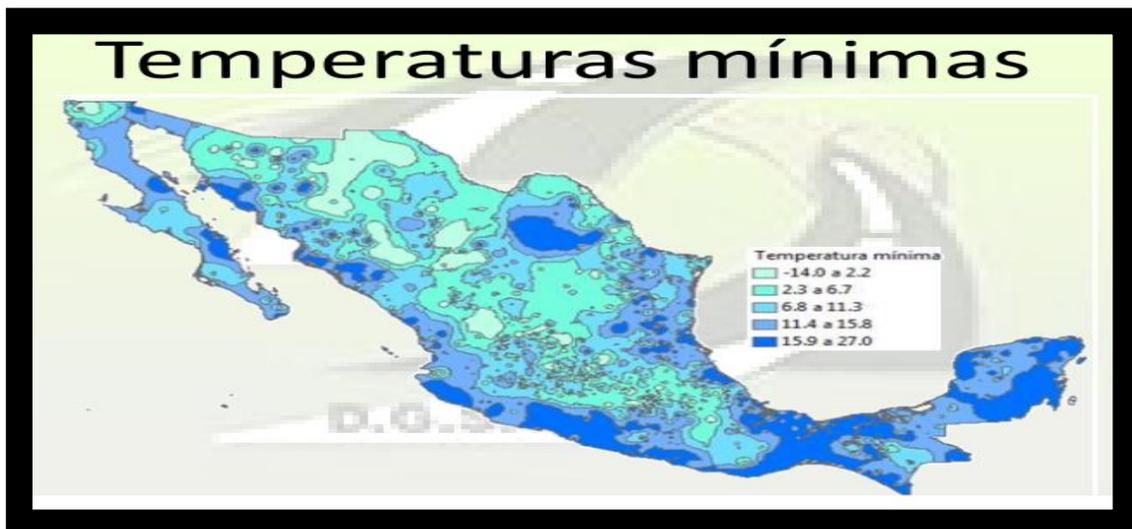


Imagen 5.12. Temperatura máxima.

Fuente: Catálogo de Secciones Estructurales para Pavimentos (2013).

Y en cuanto a la precipitación la región de Uruapan presenta valores que van desde los 800 mm hasta los 2000 mm.

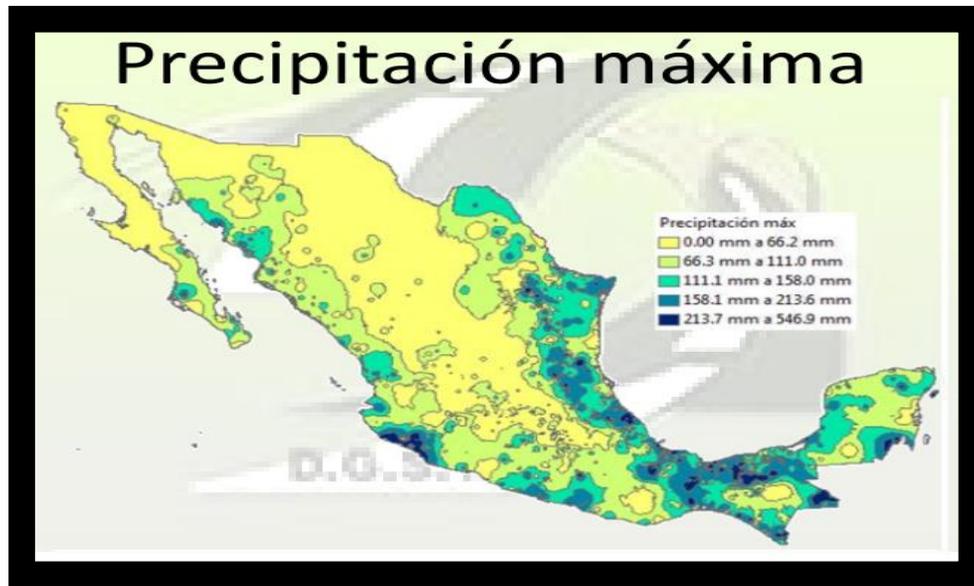


Imagen 5.13. Precipitación máxima.

Fuente: Catálogo de Secciones Estructurales para Pavimentos (2013).

Los datos recabados en cuanto al tipo de terreno se obtienen de la información recabada en campo. Que, de acuerdo con la prueba realizada del suelo del sitio, resultó que se trataba de un SP (Arena mal graduada).

Ya teniendo determinado el tipo de suelo, el catálogo asigna la aptitud del terreno, como la capacidad que tiene para soportar las cargas que pudieran actuar sobre ella, esto sin presentarse deformaciones muy considerables.

| No. | SUCS | Descripción                                    | Aptitud  |
|-----|------|--|----------|
| 1   | OH   | Limos o arcillas orgánicas de alta plasticidad | Muy Baja |
| 2   | OL   | Limos o arcillas orgánicas de baja plasticidad | Muy Baja |
| 3   | CH   | Arcilla de alta plasticidad                    | Baja     |
| 4   | CL   | Arcilla de baja plasticidad                    | Media    |
| 5   | MH   | Limo de alta plasticidad                       | Baja     |
| 6   | ML   | Limo de baja plasticidad                       | Media    |
| 7   | SC   | Arena arcillosa                                | Alta     |
| 8   | SM   | Arena limosa                                   | Muy Alta |
| 9   | SP   | Arena mal graduada                             | Alta     |
| 10  | GC   | Grava arcillosa                                | Muy Alta |
| 11  | GM   | Grava limosa                                   | Muy Alta |
| 12  | GP   | Grava mal graduada                             | Muy Alta |
| 13  | -    | Rocas  | Muy Alta |

Tabla 5.9. Aptitud del suelo o rocas.

Fuente: Catálogo de Secciones Estructurales para Pavimentos; 2013: 10.

Una vez obtenidos todos los valores se pasa según el Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos (2013), a la calificación particular (Cp) la cual viene en una escala del 0 al 100 donde se consideran las condiciones más desfavorables y favorables para el comportamiento de la estructura del pavimento.

| Parámetro                                     | Valor máximo     | Valor mínimo | Calificación particular (Cp) |
|---|------------------|--------------|------------------------------|
| Temperatura máxima, °C                        | 50.0             | 36.2         | 0                            |
|   | 36.1             | 34.0         | 25                           |
|   | 33.9             | 32.0         | 50                           |
|   | 31.9             | 29.3         | 75                           |
|   | 29.2             | 10.0         | 100                          |
| Temperatura mínima, °C                        | 2.2              | -14.0        | 0                            |
|   | 6.7              | 2.3          | 25                           |
|   | 11.3             | 6.8          | 50                           |
|   | 15.8             | 11.4         | 75                           |
|   | 27               | 15.9         | 100                          |
| Precipitación pluvial máxima, mm              | 550.0            | 213.7        | 0                            |
|   | 213.6            | 158.1        | 25                           |
|   | 158.0            | 111.1        | 50                           |
|   | 111.0            | 66.3         | 75                           |
|   | 66.2             | 0.0          | 100                          |
| Clasificación de suelos y rocas (ver tabla 4) | Aptitud Muy baja |              | 0                            |
|   | Aptitud Baja     |              | 25                           |
|   | Aptitud Media    |              | 50                           |
|   | Aptitud Alta     |              | 75                           |
|   | Aptitud Muy alta |              | 100                          |

Tabla 5.10. Clasificación según condiciones del sitio.

Fuente: Catálogo de Secciones Estructurales para Pavimentos; 2013: 9.

Ya obtenidos los diferentes valores para la clasificación particular de acuerdo con los 3 parámetros antes mencionados, se necesita obtener la Clasificación por Influencia ( $C_i$ ), que, según el Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos (2013), representa el impacto que tienen los diferentes parámetros en la estructura del pavimento. La fórmula es la siguiente:

$$C_i = C_p \times F_i$$

Donde:

$C_i$ = Clasificación por influencia.

$C_p$ = Clasificación particular.

$F_i$ = Factor de influencia, en decimales.

$F_i$  se obtiene de la consideración del porcentaje de influencia que pueda tener en el comportamiento del pavimento como se muestra en la siguiente tabla.

| Parámetro                    | Factor de Influencia ( $F_i$ ) |
|------------------------------|--------------------------------|
| Temperatura mínima           | 15%                            |
| Temperatura máxima           | 30%                            |
| Precipitación pluvial máxima | 20%                            |
| Terreno natural              | 35%                            |

Tabla 5.11. Factor de Influencia.

Fuente: Catálogo de Secciones Estructurales para Pavimentos; 2013: 10.

Según el Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos (2013), es necesario sacar la clasificación global (Cg), para poder determinar los espesores que puedan ser propuestos para el diseño de la pavimentación, y este valor se saca solamente sumando cada una de las calificaciones por influencia.

| Parámetro                    | Cp x Fi |
|------------------------------|---------|
| Temperatura mínima           | 0       |
| Temperatura máxima           | 22.5    |
| Precipitación pluvial máxima | 0       |
| Terreno natural              | 26.25   |
| $\Sigma=$                    | 48.75   |

Tabla 5.12. Obtención de la calificación por influencia y el Cg.

Fuente: Propia

| Calificación Global | Clasificación de la región |
|---------------------|----------------------------|
| 80 a 100            | R1                         |
| 60 a 79.9           | R2                         |
| 40 a 59.9           | R3                         |
| 20 a 39.9           | R4                         |
| 0 a 19.9            | R5                         |

Tabla 5.13. Clasificación de la región.

Fuente: Catálogo de Secciones Estructurales para Pavimentos; 2013: 11.

Quedando en la clasificación R3 y ya conociendo la cantidad de ejes equivalentes se procede a ubicar de acuerdo con el catálogo, los espesores de las diferentes capas que forman el pavimento.

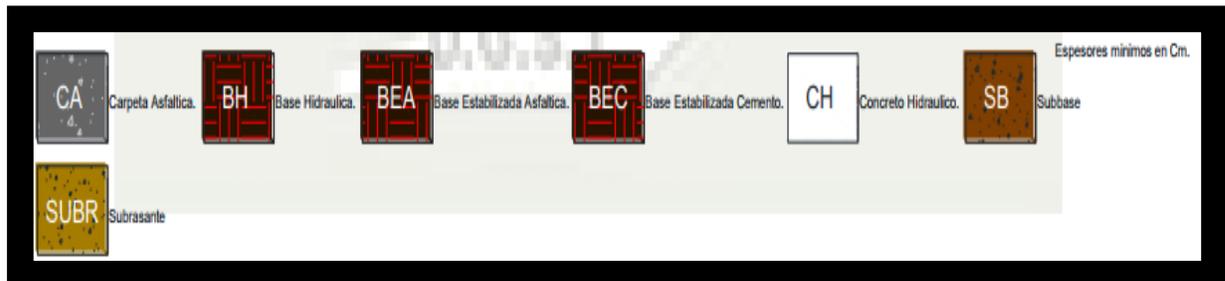
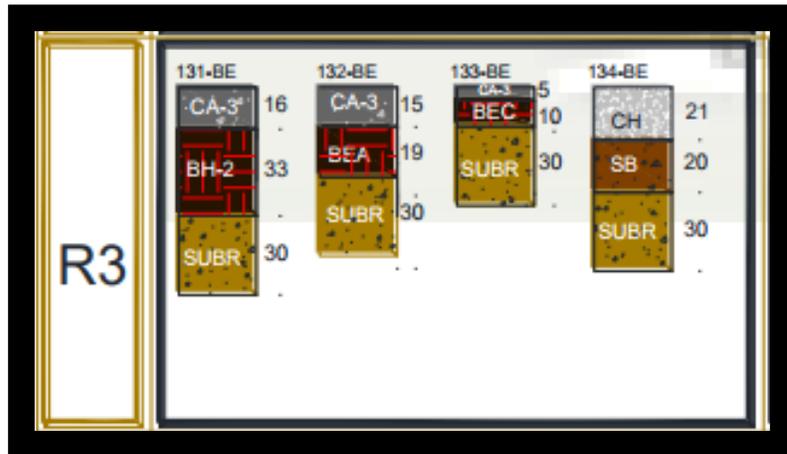


Imagen 5.14. Espesores propuestos.

Fuente: Catálogo de Secciones Estructurales para Pavimentos; 2013: 14.

De acuerdo con el Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos (2013), los espesores serían los que se pueden apreciar en la imagen 5.14 en la sección de concreto hidráulico considerando los espesores de la subbase y subrasante. Donde se tiene para la estructura de la sub-estructura, una sub-base de 20 cm y una sub-rasante de 30 cm de espesor.

## **5.5. Método de la PCA (Portland Cement Association).**

Para el análisis de los pavimentos rígidos se utilizan diversos métodos, para esta investigación se utilizó el método de la PCA (Portland Cement Association). Este método se basa en analizar el esfuerzo-deflexión crítico producto de la posición de las cargas.

En este método se consideran el concepto de resistencia utilizada del pavimento respecto a las distintas solicitaciones, ya sea por carga y por factores ambientales. En este método se calculan los esfuerzos por cada rango de carga y se comparan con las resistencias de diseño. A esta relación se le conoce como relación de esfuerzos.

### **5.5.1. Factores de diseño.**

En los factores de diseño se consideran: “el tránsito, resistencia de diseño del concreto, módulo de reacción de la subrasante, tipo de acotamientos y juntas transversales, periodos de diseño, criterio de fatiga y criterio por erosión”. (Salazar; 1998: 137)

### **5.5.2. Tránsito.**

Este es el número de ejes que pasan por el camino de diseño, para ello es necesario clasificar el tipo y carga por eje. Con este dato es el parámetro que se considera en el cálculo del espesor.

La realización del aforo vehicular proporciona el Tránsito Promedio Diario Anual, aunque estos valores deberán ser sometidos a factores de distribución por

carril y factores de crecimiento. Ya que todos los caminos se proyectan para un cierto periodo de vida útil de 20 y 40 años.

Es necesario considerar el impacto de obra nueva, el cual es generado por los mismos usuarios, ya que una vía nueva genera la sensación de mayor seguridad y más comodidad.

También el tránsito inducido que es aquel que llega por recomendación de otros usuarios. Y el tránsito nuevo generado, producto del cambio de uso de suelo de la zona y a la construcción de dicha vialidad. Por ello, es necesario que las diferentes dependencias se encarguen de realizar el estudio de impacto vial para poder determinar el factor de crecimiento.

Un factor por considerar es el periodo de diseño del pavimento, éste se saca en función del tipo de vía, nivel de tránsito y análisis económico, como se mencionó anteriormente, los pavimentos se diseñan para periodos de 20 a 40 años, en este caso se considerará un periodo de 20 y una tasa de crecimiento anual de 1.2%.

Con estos datos es necesario conocer el factor de proyección (FP), como se muestra a continuación:

$$FP = (1 + Tasa\ de\ crecimiento)^{periodo\ de\ diseño}$$

Pasando los valores a la fórmula:

$$FP = (1 + 1.2)^{20}$$

$$FP = 1.27$$

De acuerdo con diseño del pavimento, se tomará un factor de seguridad de 1.2. Esto se hace con la finalidad de poder realizar la siguiente fórmula para poder determinar el volumen total de vehículos que puedan transitar sobre la calle en estudio.

$$V_t = \left[ \frac{TPDA (FP)}{N} \right] \left( \frac{TCP}{100} \right) \left( \frac{CCP}{100} \right) (365)(n)$$

Donde:

V<sub>t</sub>= Volumen total de vehículos esperados.

FP= Factor de proyección.

N= Número de carriles.

n= Periodo de diseño.

TCP= Porcentaje de vehículos pesados (Valor obtenido de la suma de los porcentajes de los vehículos B=1.01% y C2=4.04%).

TPDA= Tránsito Promedio Diario Anual.

CCP= Factor corrección de tránsito en el carril de diseño. (Factor de seguridad establecido al tipo de vialidad, siendo este, camino local con poco tránsito pesado).

Sustituyendo los valores en la fórmula antes mencionada:

$$V_t = \left[ \frac{712.8 (1.27)}{1} \right] \left( \frac{5.051}{100} \right) \left( \frac{1}{100} \right) (365)(20) = 166\ 803.6752$$

El valor obtenido que fue de 166 803.6752 permite ser utilizado para determinar las repeticiones esperadas.

El método establece que, de acuerdo con la distribución de los diferentes vehículos esperados durante el periodo de proyecto, se busca determinar los ejes equivalentes, ya sean ejes sencillos o ejes tándem, así como el peso que tiene cada uno sobre la estructura.

Con ello se determinará el total de ejes por cada 1,000 vehículos y por consiguiente las repeticiones de cargas esperadas de acuerdo con el tipo de vehículo y el peso de cada uno.

Para determinar los porcentajes de la clasificación del tránsito se parte desde el TPDA, contando con el conteo manual, tomando el número total de vehículos de acuerdo con su clasificación, proceso siguiente es dividirlo entre los días que se realizó el conteo, que para este proyecto fue de 5 días y así mismo con el total de los demás vehículos.

Una vez realizada esta operación que da como resultado el promedio de vehículos totales por semana, este se multiplica por un periodo de 12 horas, este proceso se repite con cada clasificación vehicular y ya calculados los valores, se realiza el promedio de cada uno de ellos.

A continuación, se presentará una tabla que contiene los datos antes mencionados:

| DATOS DEL AFORO VEHICULAR.                                    |                  |  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
|---|------------------|--|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|----------|--|
| CLASIFICACION DEL TRANSITO (%):                               |                  |  |                       |                             |                          | DATOS GENERALES:       |                      |          |  |
| Ap=   | 79.12 %          | Ac=  | 15.82 %               | B=                          | 1.010101 %               | TPDA=                  | 712.8                |          |  |
| C2=   | 4.040 %          | C3=  | 0 %                   | T2-S1=                      | 0 %                      | TASA CRECIMIENTO ANUAL | 1.2 %                |          |  |
| T2-S2=  | 0 %              | T3-S2=   | 0 %                   | T3-S3=                      | 0 %                      | PERIODO DE DISEÑO AÑOS | 20                   |          |  |
| CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE VEHICULOS EN LA VIDA DE PROYECTO |                  |  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| TPDA=   | 712.8            | Transito promedio diario anual                       |                       |                             | n=                       | 20                     | P. de diseño (años). |          |  |
| FP=   | 1.27             | Factor de proyeccion.                                |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| N=  | 2.0              | Numero de carriles en un sentido                     |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| r=  | 1.2              | Tasa de crecimiento anual.                           |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| Tcp=  | 5.051            | Porcentaje de vehiculos pesados.                     |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| CCP=  | 1.0              | Factor corrección de tránsito en el carril de diseño |                       |                             | vt= 166803.6752          |                        |                      |          |  |
| DETERMINACIÓN DE REPETICIONES ESPERADAS.                      |                  |  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| Tipo de Vehiculo.   | Peso Total (Ton) | Composición de Tránsito                              | Número de Vehículos   | Número de Ejes del Vehículo |                          | Peso de los Ejes (Ton) |                      |          |  |
|   |                  |  |                       | Delanteros                  | Traseros                 | TOTALES                | Delanteros           | Traseros |  |
| EJES SENCILLOS  |                  |  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| A2  | 2                | 94.95  | 677                   | 677                         | 677                      | 1354                   | 1                    | 1        |  |
| B   | 15.5             | 1.01010101   | 7                     | 7                           | 7                        | 14                     | 5.5                  | 10       |  |
| C2  | 15.5             | 4.040  | 29                    | 29                          | -                        | 29                     | 5.5                  | -        |  |
| C3  | 23               | 0  | 0                     | 0                           | -                        | 0                      | 5.5                  | -        |  |
| T2-S1   | 24.5             | 0  | 0                     | 0                           | -                        | 0                      | 5.5                  | -        |  |
| T2-S2   | 31.5             | 0  | 0                     | 0                           | -                        | 0                      | 5.5                  | -        |  |
| T3-S2   | 39               | 0  | 0                     | 0                           | -                        | 0                      | 5.5                  | -        |  |
| Tipo de Vehiculo.   | Peso Total (Ton) | Composición de Tránsito                              | Clasificación de Ejes |                             | Total Ejes C/1000 Vehic. | REPETICIONES ESPERADAS |                      |          |  |
|   |                  |  | Peso Eje              | Total Ejes                  |                          | TOTALES                | Delanteros           | Traseros |  |
| A2  | 2                | 94.95  | 1                     | 1354                        | 1899                     | 316758.49              |                      |          |  |
| B2  | 15.5             | 1.01   | 5.5                   | 451                         | 633                      | 105586.16              |                      |          |  |
| C2  | 15.5             | 4.040  | 10                    | 169                         | 237                      | 39594.81               |                      |          |  |
| C3  | 23               | 0  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| T2-S1   | 24.5             | 0  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| T2-S2   | 31.5             | 0  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| T3-S2   | 39               | 0  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| DETERMINACIÓN DE REPETICIONES ESPERADAS.                      |                  |  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| Tipo de Vehiculo.   | Peso Total (Ton) | Composición de Tránsito                              | Número de Vehículos   | Número de Ejes del Vehículo |                          | Peso de los Ejes (Ton) |                      |          |  |
|   |                  |  |                       | Delanteros                  | Traseros                 | TOTALES                | Delanteros           | Traseros |  |
| EJES TANDEM   |                  |  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| C2  | 15.5             | 4.040  | 29                    | -                           | 29                       | 29                     | -                    | 18       |  |
| C3  | 23               | 0  | 0                     | -                           | 0                        | 0                      | -                    | 18       |  |
| T2-S1   | 24.5             | 0  | 0                     | 0                           | 0                        | 0                      | 18                   | 18       |  |
| T2-S2   | 31.5             | 0  | 0                     | 0                           | 0                        | 0                      | 18                   | 18       |  |
| T3-S2   | 39               | 0  | 0                     | 0                           | 0                        | 0                      | 18                   | 22.5     |  |
| Tipo de Vehiculo.   | Peso Total (Ton) | Composición de Tránsito                              | Clasificación de Ejes |                             | Total Ejes C/1000 Vehic. | REPETICIONES ESPERADAS |                      |          |  |
|   |                  |  | Peso Eje              | Total Ejes                  |                          | TOTALES                | Delanteros           | Traseros |  |
| C2  | 15.5             | 4.040  | 18                    | 29                          | 40                       | 6739.54                |                      |          |  |
| C3  | 23               | 0  | 22.5                  | 0                           | 0                        | 0                      |                      |          |  |
| T2-S1   | 24.5             | 0  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| T2-S2   | 31.5             | 0  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |
| T3-S2   | 39               | 0  |                       |                             |                          |                        |                      |          |  |

Tabla 5.14. Datos del aforo vehicular.

Fuente: Propia.

Se determinan los valores y los porcentajes obtenidos en relación con la tabla y se realizan los cálculos necesarios para determinar el volumen total esperado de vehículos.

Para determinar la composición de tránsito se suma de la clasificación del tránsito en porcentaje en este caso para poder hacer  $A2 = A_c + A_p$ .

$$A2 = (79.12 + 15.8) = 94.95\%$$

En la determinación del número de vehículos se multiplica el TPDA por el porcentaje de cada tipo de vehículos:

$$\text{Número de vehículos} = (712.8)(94.95\%) = 677$$

En el número de ejes del vehículo se multiplica en este caso 1 eje, por el número de vehículos, a partir del tipo C2 se desprecia para fines de cálculo los ejes traseros:

$$\text{Número de ejes} = (1)(677) = 677$$

Después se determina la clasificación de ejes se suman los pesos de los ejes, donde se propone dividir en 3 partes la cantidad de ejes.

$$1 : 1354$$

$$5.5 : 451$$

$$10 : 169$$

La forma de obtener el total de ejes, lo que se hace es que, ya que se tiene el peso total de los ejes, se realiza la siguiente operación:

$$\text{Total de ejes } C/1000 = \frac{(1000)(\text{Total Ejes.})}{TPDA}$$

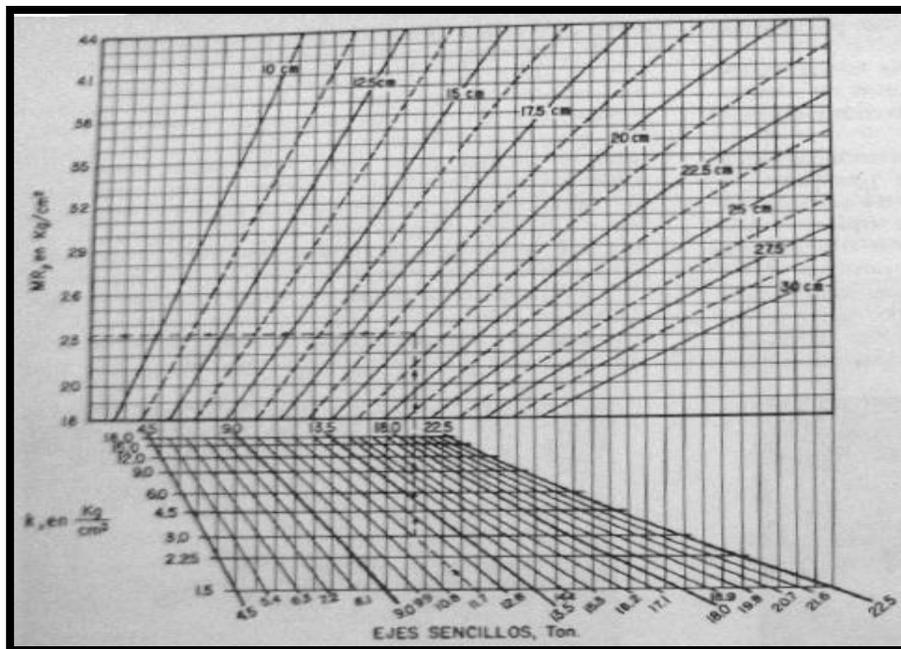
$$\text{Total de ejes} \frac{C}{1000} = \frac{(1000)(1354)}{712.8} = 1899$$

Y la forma de poder determinar la cantidad de repeticiones esperadas se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Rep. esperadas} = \frac{(\text{Total de ejes } C/1000)(Vt)}{1000}$$

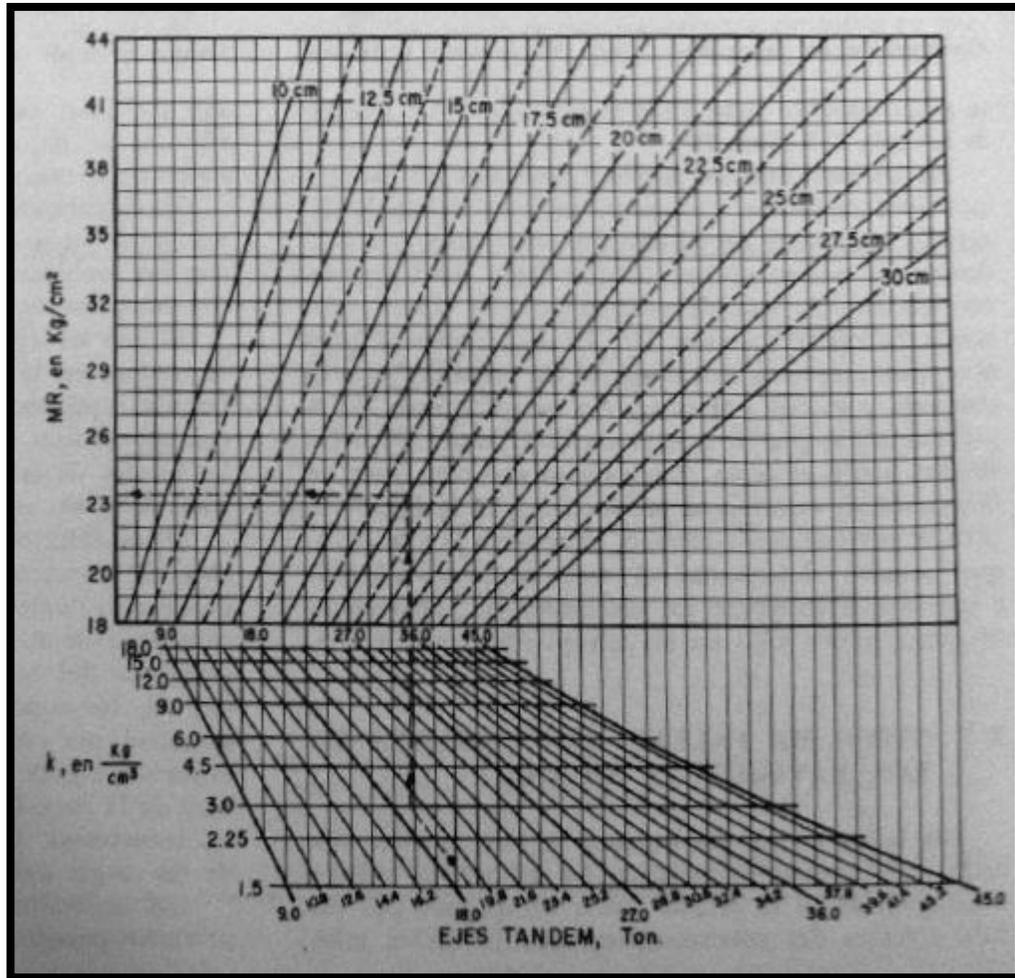
$$\text{Rep. esperadas} = \frac{(1899)(166\ 803.6752)}{1000} = 316,758.49$$

Lo que se realiza a continuación con el análisis, es obtener el valor necesario con la siguiente gráfica, que permite conocer el esfuerzo actuante en ejes sencillos (MR), para ello se propondrá un espesor de 17.5 cm y el Módulo de reacción (K) es de 8 kg/cm<sup>3</sup>. Los pesos según el tipo de vehículo van desde 2.5, 9.7, 18 y 22.5 ton.



Gráfica 5.3. Diseño para cargas en ejes sencillos.

Fuente: Rico y del Castillo;1977: 222.



Gráfica 5.4. Diseño para cargas en ejes tándem.

Fuente: Rico y del Castillo; 1977: 222.

Al entrar a la gráfica de acuerdo con tipo de vehículo y con el espesor propuesto, se tiene que para pesos de 2.5 toneladas el valor de MR es menor a 18 kg/cm<sup>2</sup> en ejes sencillos, para 9.7 toneladas se obtiene un MR menor de 18 kg/cm<sup>2</sup>, en ejes tándem, para 18 toneladas se tiene un MR de 22 kg/cm<sup>2</sup> y para 22.5 toneladas se obtiene un MR 25 kg/cm<sup>2</sup>.

Una vez obtenidos los valores de MR tanto para ejes sencillos como para ejes tándem, es necesario calcular la relación de resistencia con la siguiente fórmula:

$$Rr = \frac{MR_{ACTUANTE}}{MR_{DISPONIBLE}}$$

Los valores de MR menores a  $18 \text{ kg/cm}^2$  se tomarán como una relación de 0.5 de acuerdo con lo obtenido en la gráfica anteriormente mencionada.

Para ejes sencillos:

$$Rr = \frac{18}{35} = 0.51$$

Para ejes tándem:

$$Rr = \frac{22}{35} = 0.62$$

$$Rr = \frac{25}{35} = 0.71$$

Se procede a vaciar los datos obtenidos en la siguiente tabla donde se propondrá el espesor de pavimento adecuado de acuerdo con las gráficas y a la cantidad de repeticiones esperadas por cada tipo de vehículo.

| CALCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO         |                       |                   |                            |                          |                                |                  |
|---|-----------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|
| Modulo de Ruptura $kg/cm^2 =$             |                       | 35                | Concreto $F'c =$           |                          | 300 $kg/cm^2$                  |                  |
| Factor de seguridad =                     |                       | 1                 | Camino o calle secundaria. |                          |                                |                  |
| SUPONIENDO UN ESPESOR DE LOSA DE 17.5 CM. |                       |                   |                            |                          |                                |                  |
| Peso por eje                              | Peso afectado por F.S | Esfuerzo actuante | Relación de esfuerzos      | Repeticiones permisibles | Porcentaje de fatiga consumido |                  |
| EJE SENCILLO                              |                       |                   |                            |                          |                                |                  |
| 1.0                                       | 1.0                   | <18               | 0.50                       | Sin limite               | 0.0                            |                  |
| 5.5                                       | 5.5                   | <18               | 0.50                       | Sin limite               | 0.0                            |                  |
| 10  | 10                    | 18                | 0.51                       | 400000                   | 9.9                            |                  |
| EJE TÁNDEM                                |                       |                   |                            |                          |                                |                  |
| 18  | 18                    | 21.5              | 0.62                       | 18000                    | 37.44190241                    |                  |
| 22.5                                      | 22.5                  | 25                | 0.72                       | 1500                     | 0.0                            |                  |
| <b>SUMA=</b>                              |                       |                   |                            |                          | <b>47.3</b>                    | <b>SE ACEPTA</b> |

Tabla 5.15. Espesor del pavimento.

Fuente: Propia.

Una vez realizado los análisis correspondientes y haber sumado el porcentaje de fatiga, se llega que el espesor adecuado para la calle en estudio es de 17.5 cm de espesor, ya que al realizar otros tanteos con otros espesores no cumplían de acuerdo con el método de la PCA.

Ahora ya que se tiene el espesor del pavimento se realiza lo que es el armado de las varillas, para ello se toma de referencia el manual del constructor para poder determinar el espacio entre varillas considerando también el tamaño de la varilla.

| ESPESOR PAVIMENTO (cm) | TAMAÑO DE VARILLA (cm) | Distancia al extremo libre |        |        |        |
|------------------------|------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|
|                        |                        | 305 cm                     | 366 cm | 427 cm | 732 cm |
| 12.7                   | 1.27 x 61              | 76 cm                      | 76 cm  | 76 cm  | 71 cm  |
| 14.0                   | 1.27 x 64              | 76 cm                      | 76 cm  | 76 cm  | 64 cm  |
| 15.2                   | 1.27 x 66              | 76 cm                      | 76 cm  | 76 cm  | 58 cm  |
| 16.5                   | 1.27 x 69              | 76 cm                      | 76 cm  | 76 cm  | 53 cm  |
| 17.8                   | 1.27 x 71              | 76 cm                      | 76 cm  | 76 cm  | 51 cm  |
| 19.1                   | 1.27 x 74              | 76 cm                      | 76 cm  | 76 cm  | 46 cm  |
| 20.3                   | 1.27 x 76              | 76 cm                      | 76 cm  | 76 cm  | 43 cm  |
| 21.6                   | 1.27 x 79              | 76 cm                      | 76 cm  | 71 cm  | 41 cm  |
| 22.9                   | 1.59 x 76              | 91 cm                      | 91 cm  | 91 cm  | 61 cm  |
| 24.1                   | 1.59 x 79              | 91 cm                      | 91 cm  | 91 cm  | 58 cm  |
| 25.4                   | 1.59 x 81              | 91 cm                      | 91 cm  | 91 cm  | 56 cm  |
| 26.7                   | 1.59 x 84              | 91 cm                      | 91 cm  | 91 cm  | 53 cm  |
| 27.9                   | 1.59 x 86              | 91 cm                      | 91 cm  | 91 cm  | 51 cm  |
| 29.2                   | 1.59 x 89              | 91 cm                      | 91 cm  | 91 cm  | 48 cm  |
| 30.5                   | 1.59 x 91              | 91 cm                      | 91 cm  | 91 cm  | 46 cm  |

Tabla 5.16. Separación de varillas.

Fuente: Manual del constructor; 2003: 180.

Con la tabla anterior, se determina la separación y el tamaño de las varillas de acuerdo con espesor del pavimento que para fines de esta investigación es de 17.5 cm y una distancia al extremo libre de 3.5 metros, quedando varillas longitudinales de 1.27 x 71 con una separación de 76 cm.

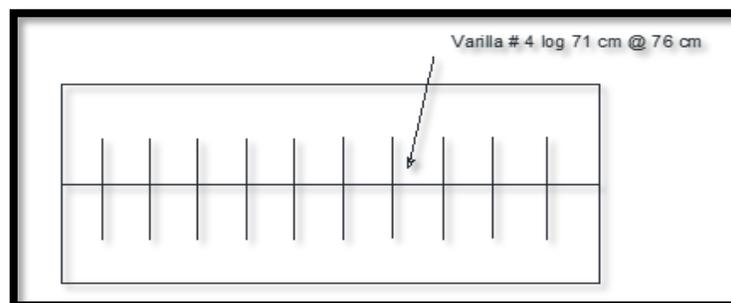


Imagen 5.15. Juntas longitudinales para pavimento rígido.

Fuente: Propia.

Para las pasa juntas se toma como referencia teórica los valores dados por las dimensiones comunes de pasa juntas como se muestra en la imagen 5.16.

| Tabla 7.4 Dimensiones comunes en pasajuntas |                                 |                           |
|---|---------------------------------|---------------------------|
| Espesor de losa, cm                         | Diámetro de pasajunta, Pulgadas | Longitud de pasajunta, cm |
| 12.5  | 5/8                             | 30                        |
| 15  | 3/4                             | 36                        |
| 18  | 7/8                             | 36                        |
| 20  | 1                               | 36                        |
| 23  | 1 1/8                           | 40                        |
| 25  | 1 1/4                           | 46                        |
| 28  | 1 3/8                           | 46                        |
| 31  | 1 1/2                           | 51                        |

Imagen 5.16. Dimensiones comunes en pasa juntas

Fuente: Salazar; 1998: 80.

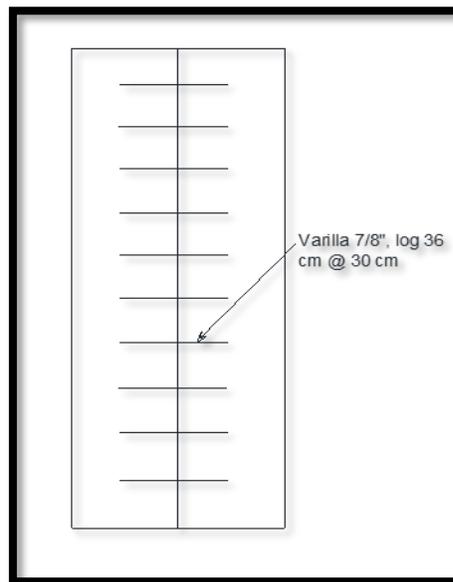


Imagen 5.17. Pasa juntas para pavimento rígido.

Fuente: Propia.

De esta forma se llega a las dimensiones de acuerdo al criterio para el diseño utilizado en la estructura del pavimento, contando con un MR:  $35 \text{ kg/cm}^2$ , con un espesor de capaz de la sub-estructura de 20 cm en la sub-base y una sub-rasante de 30 cm.

De acuerdo con los criterios de diseño de la PCA, y considerando las repeticiones esperadas durante la vida del proyecto se llega a la obtención de un espesor de 17.5 cm con juntas longitudinales de var #4 log 71 cm @ 76 cm y pasajuntas con var 7/8" log 36 cm @ 30 cm.

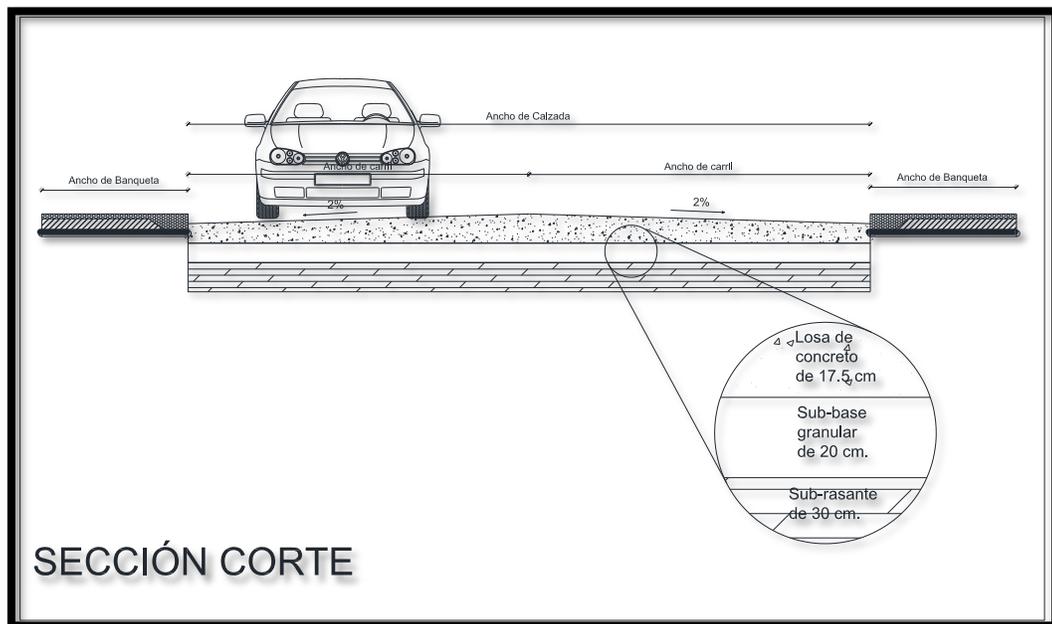


Imagen 5.18. Sección corte.

Fuente: Propia.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con lo investigado y considerando el objetivo general que se pretendía que era el diseño del pavimento rígido de la calle Apahtzi en la colonia Santa Bárbara, ubicada en la zona oriente de la ciudad de Uruapan, Michoacán, se llegó a la conclusión de que el objetivo general sí se cumplió. Este objetivo se logró por medio de la investigación de fuentes de información teóricas y prácticas, ya que éstas fueron necesarias para lograr conocer el procedimiento con el cual se diseñó dicho pavimento rígido, posteriormente se extrajeron muestras inalteradas del suelo existente en el sitio, éstas fueron analizadas en un laboratorio de mecánica de suelos con la finalidad de obtener el Valor Relativo de Soporte (VRS), obteniéndose el módulo de reacción necesario para el diseño.

También se realizó un aforo vehicular en el sitio de estudio para determinar la cantidad de vehículos que transitan sobre la vía, así como el tipo de vehículos y así poder calcular el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

Ya obtenidos los datos necesarios, se realizó el cálculo del pavimento rígido por el método de la Portland Cement Association (PCA), ya que fue con éste con el que se determinó el espesor de la losa del pavimento rígido, quedando un espesor de 17.5 cm.

Con respecto a los objetivos particulares, en el primero, el concepto de vías terrestres, que no son más que una estructura cuya función es ser la adaptación de un piso sobre cualquier camino, con la intención de que éste cuente con las propiedades adecuadas para que los vehículos transiten de manera cómoda y segura.

Los problemas sobre las vías terrestres vienen dados porque en su mayoría son antiguas y de mucho tránsito sobre las mismas, otro factor es que en las zonas urbanas las vías tienden a ser cuadriculadas lo cual ocasiona que para los vehículos grandes sea difícil maniobrar generando tráfico. Otro factor que dentro de la nación genera gran impacto en los problemas, es la falta de cultura vial.

Otro objetivo era determinar la clasificación de los caminos, quedando que estos se clasifican de manera general en 3 tipos: de acuerdo con su transitabilidad, a su función administrativa y de acuerdo con su clasificación técnica oficial.

El siguiente objetivo era determinar los factores que reducen la capacidad de un camino, los cuales son, el ancho de carril, la visibilidad, la pendiente del camino, ancho de los acotamientos, el porcentaje de vehículos pesados y la obstrucción lateral. Dentro de los objetivos, otro era el determinar las capas que conforman el pavimento rígido quedando conformada por una sub-rasante, una sub-base y la carpeta. Que de acuerdo con el Catalogo de Secciones Estructurales para Pavimentos (2013), quedan de 30 cm sub-rasante y 20 cm sub-base. El último objetivo era definir el diseño del pavimento óptimo quedando una losa de 17.5 cm, de acuerdo con los cálculos realizados.

En cuando a la pregunta de investigación ¿Cuál deberá ser el diseño óptimo del pavimento rígido sobre la calle Apahtzi?, se concluyó que se diseñó por el Método PCA (Portland Cement Association), el cual se consideró como el más adecuado ya que este método considera el porcentaje de fatiga de acuerdo con las repeticiones esperadas por los vehículos analizados.

Ahora bien, los hallazgos más relevantes que se encontraron es el método utilizado, que es de la PCA, ya que no se tenía el conocimiento de cómo se hacía el diseño y el cálculo de los pavimentos que una vez entendido resulta muy interesante y más por el hecho de que para poder entrar al método es necesario contar con datos de campo como es el aforo vehicular y la clasificación vehicular, establecida en las normas de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes).

Así como también la prueba que se le realiza al suelo del sitio de estudio, llamado Valor Relativo de Soporte (VRS), con la cual se diseñan los pavimentos y que es necesaria para conocer el Módulo de Reacción.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Rodríguez Salazar, Aurelio. (1998)

Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C, México.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2003)

El proceso de la Investigación Científica.

Ed. Limusa, México.

Hernández Sampieri, Roberto y Colaboradores. (2006)

Metodología de la Investigación.

Ed. McGraw Hill, México.

Suarez Mier, José Alfonso. (1987)

Introducción a la Ingeniería de caminos

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

Rico Rodríguez, Alfonso y Del Castillo, Hermilo. (1977)

La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas.

Ed. Limusa, México.

Cal, Rafael y Reyes Spíndola, Mayor. (1994)

Ingeniería de tránsito.

Ed. Alfaomega, México.

## OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

### Capítulo 3

<https://es.wikipedia.org/wiki/Uruapan>

<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem06/info/mic/m102/mapas.pdf>

[http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/16/16102.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/16/16102.pdf)

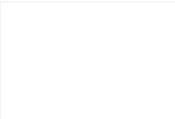
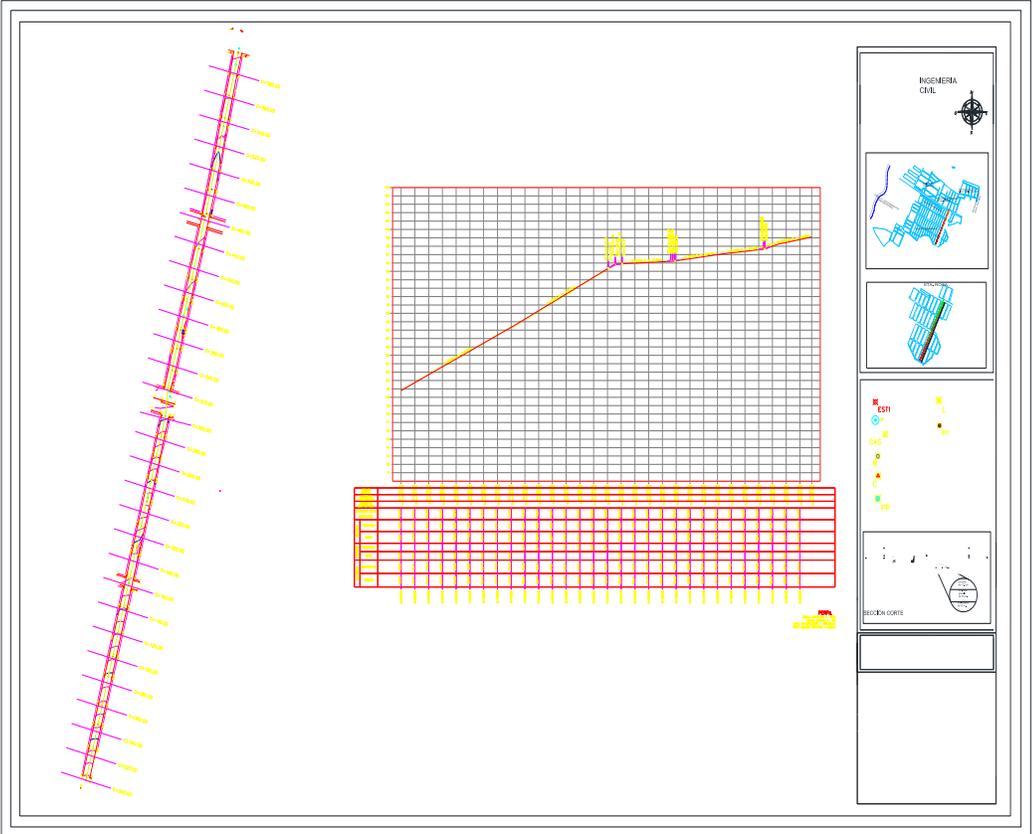
### Capítulo 5

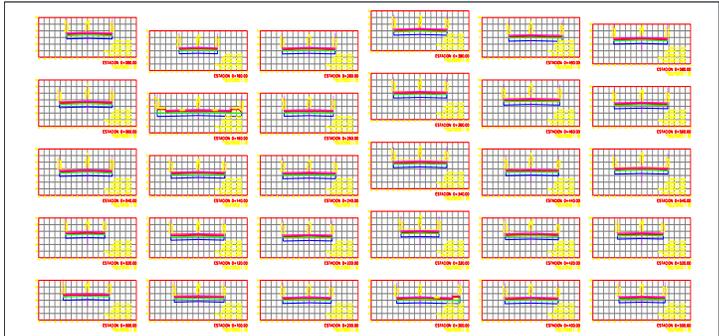
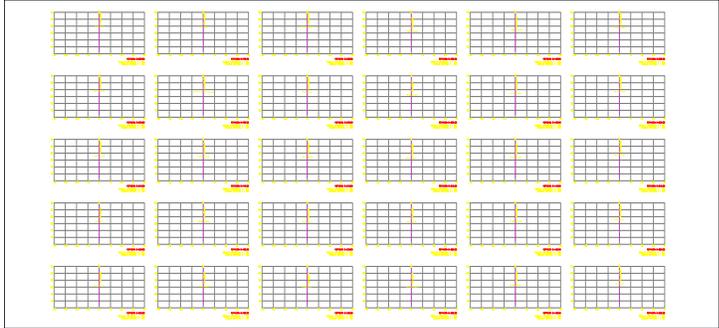
<http://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#009>

<http://www.sct.gob.mx/normatecaNew/manual-de-proyecto-geometrico-de-carreteras/>

<http://www.mapasconagua.net/previ.aspx?nm=SGAPDS-1-15-Libro20.pdf>

**ANEXOS**





**ASOCIACION MEXICANA DE INGENIEROS CIVILES**  
 INGENIERIA CIVIL

**LEYENDA**  
 - Línea roja: Límite del terreno  
 - Línea azul: Límite del proyecto  
 - Línea verde: Límite del lote  
 - Línea amarilla: Límite del lote  
 - Línea negra: Límite del lote  
 - Línea roja: Límite del terreno  
 - Línea azul: Límite del proyecto  
 - Línea verde: Límite del lote  
 - Línea amarilla: Límite del lote  
 - Línea negra: Límite del lote

**ANEXO 3**

**DESCRIPCION DEL PROYECTO**  
 OBRA DE PAVIMENTO HECHO EN LA CALLE AMATELLEN EN SANTA BARBARA URMIPAN, MEX.

**FECHA DE ELABORACION**  
 2018/01/18