



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

Incorporación No. 8727 – 15

a la Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela de Ingeniería Civil

## **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL HIDRATADA PARA USO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA ZONA ORIENTE DE LA CIUDAD DE URUAPAN, MICHOACÁN.**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniera Civil

presenta

**Olivia Vianney Martínez Najar.**

Asesor:

Ing. Anastacio Blanco Simiano

Uruapan, Michoacán, 9 de Mayo del 2014.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTOS.**

Sírvanse estas primeras líneas que van dirigidas con mucho cariño para todas las personas que formaron parte este proyecto de aprendizaje y formación tanto personal como académicamente.

### **A DIOS:**

Infinitas gracias a Dios por haberme dado la sabiduría y el entendimiento para poder llegar al final de mi carrera, por proveerme de todo lo necesario para salir adelante y por todo lo que me ha brindado.

### **A MIS PADRES:**

Mil gracias a mi Padre Pedro Martínez Rocha y a mi Madre Olivia Najar Ramos, quienes han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino, así como por su apoyo incondicional que me brindaron, por los sacrificios que hicieron a lo largo de mi carrera tanto en tiempo como económico, así como su comprensión y paciencia en momentos difíciles que tuve.

### **A MIS HERMANOS:**

Les quiero agradecer a mis hermanos Erika Alicia, María Selene y Pedro por ayudarme a salir adelante, ya que durante mi desarrollo académico y personal siempre han sido un ejemplo, así por su apoyo incondicional, su total comprensión y cariño.

A MI HIJO:

Gracias a ti Luis Daniel, eres una bendición enorme que me regalo Dios, por cada día en el que me regalas una sonrisa la cual me da fuerzas para seguir adelante y saber que tengo alguien por quien luchar.

A TODA MI FAMILIA:

Ya que estuvieron pendientes a lo largo de mi carrera así como dándome fuerzas para terminar este hermoso proyecto, en especial a mi Abuelita Alicia Ramos Ponce por su cariño y afecto.

A MI ASESOR EXTERNO:

Muchísimas gracias al M. en I. Esteban Brito Chávez por darme todo su apoyo incondicional en la realización de este proyecto, así como el proporcionarme la información necesaria. No puedo dejar de mencionar el tiempo que me regalo, a lo mismo que sus consejos, experiencias y revisión de la tesis.

A todo el personal de la empresa que lleva por nombre Esteban Brito Chávez (ISDECON), en especial al PIC. Rigoberto Morales González, ING. Joaquín Galván Sierra y PIC. César Augusto Zacarías Zepeda por su apoyo, conocimientos y tiempo tan valioso que compartieron conmigo.

A MIS ANGELES EN EL CIELO:

Gracias a mis abuelitos Pedro Martínez Soria y Francisco Najjar Rubio aunque no pudieron estar a mi lado en la culminación de mi carrera profesional siguen en mi mente y corazón, los recuerdo a cada instante con mucho cariño así como las

lecciones de vida que me enseñaron, las sonrisas que me regalaron y el tiempo que disfrutamos juntos.

#### A MIS AMIGOS:

No acabaría de mencionar los nombres de todos mis amigos a los que les agradezco por el tiempo y apoyo que me brindaron a lo largo de toda la carrera, ya sea desde niveles anteriores a la profesional como ya en la Ingeniería. Gracias César Miguel Quintero Contreras y Alan Daniel Maldonado Ramos por nunca dejarme abajo en cada proyecto que teníamos así como por darme su amistad y comprensión cuando más lo necesitaba.

#### A MIS MAESTROS:

Con enorme agradecimiento y respeto a mis Maestros, quienes fueron los que me transmitieron los conocimientos necesarios de cada una de sus importantes disciplinas, las cuales me abrirán puertas nuevas para continuar en el camino del éxito.

# ÍNDICE TEMÁTICO.

## **Introducción.**

Antecedentes. . . . .	1
Planteamiento del problema. . . . .	3
Objetivos. . . . .	5
Pregunta de Investigación. . . . .	6
Justificación . . . . .	7
Marco de referencia. . . . .	8

## **Capítulo 1.- Suelos.**

1.1. Concepto de suelo. . . . .	10
1.2. Naturaleza y origen de los suelos. . . . .	11
1.2.1. Tipo y origen de los suelos arcillosos y limosos. . . . .	13
1.2.2. Desventajas de las arcillas en la construcción. . . . .	14
1.2.3. Desventajas de los limos en la construcción. . . . .	15
1.3. Clasificación e identificación. . . . .	15
1.3.1. Identificación de suelos. . . . .	17
1.3.2. Granulometría en suelos. . . . .	20

1.3.3. S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).	. . .	23
1.4. Propiedades del suelo.	. . . . .	30
1.4.1. Suelos cohesivos, friccionantes, orgánicos y de relleno.	. . . . .	30
1.4.2. Propiedades hidráulicas.	. . . . .	31
1.4.2.1. Tensión superficial y capilaridad.	. . . . .	35
1.4.3. Deformabilidad.	. . . . .	36
1.4.4. Consolidación.	. . . . .	37
1.4.5. Resistencia al esfuerzo cortante.	. . . . .	39
1.4.6. Estados límite de consistencia.	. . . . .	39
1.5. Características generales.	. . . . .	43
1.5.1. Materia orgánica e inorgánica.	. . . . .	43
1.5.2. Estructura.	. . . . .	44
1.5.3. Expansión y contracción.	. . . . .	45

**Capítulo 2.- Estabilidad con Cal.**

2.1. Concepto de estabilización de suelos	. . . . .	46
2.2. Tipos de estabilidad de suelo.	. . . . .	47
2.3. Definición de Cal.	. . . . .	49
2.4. Estabilización de suelos con cal.	. . . . .	50

2.4.1. Ventajas y desventajas de los diferentes métodos de aplicación de cal.	53
2.5. Determinación del porcentaje óptimo de cal . . . . .	55
2.6. Modificación y secado de suelos utilizando cal. . . . .	56
2.7. La química del tratamiento con cal. . . . .	57
2.8. Precauciones de seguridad para el manejo de la cal . . . . .	59
2.8.1 Primeros Auxilios. . . . .	62

### **Capítulo 3.- Estructura de Pavimento.**

3.1. Definición de pavimento. . . . .	63
3.2. Pavimento rígido . . . . .	64
3.2.1. Estructura de un pavimento rígido. . . . .	65
3.2.1.1. Subrasante. . . . .	66
3.2.1.2. Subbase. . . . .	67
3.2.1.3. Losa de concreto hidráulico . . . . .	68
3.3. Características de un pavimento rígido. . . . .	68
3.4. Esfuerzos de un pavimento rígido. . . . .	74
3.5. Fallas en pavimentos rígidos. . . . .	75
3.6. Actividades de conservación en pavimentos rígidos. . . . .	76



## **Capítulo 4.- Resumen ejecutivo de macro y microlocalización.**

4.1. Generalidades.	79
4.2. Objetivo y alcance del proyecto.	81
4.3. Resumen ejecutivo.	81
4.4. Entorno geográfico.	83
4.5. Macro y microlocalización.	83
4.5.1. Macrolocalización.	85
4.5.2. Microlocalización.	86
4.6. Características del suelo de la zona de estudio.	87
4.6.1. Topografía.	88
4.6.2. Hidrografía.	89
4.6.3. Geotecnia.	90
4.6.4. Clima.	91

## **Capítulo 5.- Metodología de la investigación.**

5.1. Método empleado.	92
5.2. Enfoque de la investigación.	93
5.2.1. Alcance de la investigación.	94
5.3. Diseño de la investigación.	96

5.4. Instrumentos de recopilación de información. . . . .	97
5.5. Descripción del proceso de investigación. . . . .	98

**Capítulo 6.- Análisis de resultados y diseño de la estructura de pavimento.**

6.1. Exploración y muestreo . . . . .	101
6.1.1. Programa de trabajos de campo. . . . .	104
6.1.2. Reporte fotográfico. . . . .	105
6.2. Programa de ensayos de laboratorio . . . . .	106
6.2.1. Reporte fotográfico. . . . .	109
6.3. Resultados geotécnicos de la investigación. . . . .	112
6.4. Diseño de pavimento rígido. . . . .	124
6.4.1. Estructura de pavimento sin capa estabilizada. . . . .	127
6.4.2 Estructura de pavimento, capa estabilizada con cal . . . . .	128
6.4.2.1. Modulaci3n de la losa de concreto hidr3ulico. . . . .	130
6.5 Resultados Finales. . . . .	131
<b>Conclusiones.</b> . . . . .	134
<b>Bibliograf3a.</b> . . . . .	137

**Anexos**

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes.**

El crecimiento en las ciudades es cada vez mayor, con nuevas demandas como vías de comunicación, infraestructura urbana, servicios públicos, etc., es común en la actualidad ver que el flujo vehicular crece sin un control, y las características de las vialidades deberían de mejorar; pero por el contrario, se presentan deformaciones constantemente y por ende daños a la estructura del pavimento cuando no existe un buen diseño apegado a las condiciones locales y además no se lleva un buen control de calidad en el proceso de construcción.

Cuando se trata de construir o diseñar una estructura de pavimento en muchas ocasiones se encuentra que el suelo del sitio al nivel en el que se requiere apoyar o cimentar la estructura, se encuentra formado por un material de características inadecuadas para los fines de diseño; y en varias o en la mayoría de las obras de pavimentación se desperdician recursos económicos por la falta de un conocimiento del tema de mejoramiento de suelos. Estas obras de Ingeniería Civil son promovidas por los gobiernos locales; éstas representan grandes cantidades de movimiento de tierra, así mismo de inversión y definitivamente estos movimientos no garantizan la estabilidad y durabilidad de la obra si no hay un pleno conocimiento del procedimiento más adecuado para resolver el problema de suelos no aptos o no recomendables para la construcción de una vialidad.

El suelo es considerado como uno de los recursos naturales más importantes, su clasificación se basa en factores como contenido de materia orgánica, granulometría, plasticidad, resistencia en estado seco y deformabilidad.

En la Universidad Don Vasco A.C., no existe tesis relacionada con el tema de mejoramiento de suelos para vialidades urbanas, así mismo en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) sólo se encontró una, la cual se realizó en el año de 1999, llevando como título: Estabilización de suelos arcillosos de la Ciudad de Morelia, Michoacán, con el empleo de Cal, realizada por Betzabee de los Ángeles Castillo Ortiz, en la que se plantea como objetivo la estabilización de los suelos en dicha Ciudad, logrando así tener como resultado el porcentaje de cal que se debe de colocar en ese tipo de material.

En la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), existen varias tesis relacionadas con este tema, algunas de revisión, investigación y aplicación de cal. Estas investigaciones se realizaron en diferentes años, la más actual se efectuó en el año 2004, teniendo de título: Estabilización de suelos en laboratorio con diferentes tipos de cementantes para uso como material de base y sub-base en pavimentos asfálticos, realizada por Raúl Beltrán Martínez.

Por tanto, la presente investigación plantea como objetivo principal la estabilización de suelos en la zona oriente de la Ciudad de Uruapan, Michoacán; para obtener él o los porcentajes de cal más adecuados en función del tipo de material encontrado; para mejorar la vida útil de los pavimentos en esta zona de la ciudad.

## **Planteamiento del problema.**

La presente tesis se encuadra en el marco de la investigación desarrollada en un proyecto centrado en la estabilización de los suelos con cal en una zona con mucha vulnerabilidad a los asentamientos a causa del elevado porcentaje de agua que tiene dicho suelo. Dentro de este marco, el objetivo final es la estabilización de los suelos.

Con frecuencia en las obras civiles, los ingenieros se han encontrado con diversos tipos de suelos, sobre los cuales se edifican y construyen presas, edificios, puentes, casa-habitación, carreteras, de esta misma manera siendo utilizados como materias primas para elaborar materiales de construcción como lo son los tabiques, tabicón, cemento, entre otros y así cubrir las necesidades y la demanda de la población por poseer más y mejores servicios, estos pueden ser desde un camino o puente, hasta una habitación confortable.

Sin embargo, la problemática en la zona oriente es la construcción de sus calles y avenidas, generando en algunos casos inundaciones dentro de las viviendas y asentamientos por deformación en las mismas, por causa del tipo de material que existente y por su falta de mejoramiento para ser suelo de cimentación de la vialidad.

Por lo anterior, los elementos que se tomarán en cuenta para la búsqueda de la estabilización de estos suelos y así proponer un diseño de pavimento más adecuado y óptimo, se mencionan a continuación:

a) Tipo de suelo: identificar y conocer el tipo de suelo existente, su comportamiento y reacción al realizar la mezcla con la cal hidratada.

b) Material estabilizador: para realizar las pruebas necesarias para estabilizar, es necesario saber si dicho material es el adecuado para cumplir con lo establecido y poder proponer una estructura de pavimento que soporte el tráfico del diario.

c) Maquinaria y equipo técnico: es necesario e importante conocer y saber utilizar el correcto uso y limitante del equipo que se utilizará en las diferentes pruebas, ya que se nos permitirán representar las características de campo en laboratorio y así aproximar los resultados al máximo, optimizando los recursos materiales y de inversión en los resultados finales aplicables en las nuevas vialidades.

Por tanto, ¿es conveniente estabilizar un suelo para mejorar su comportamiento?

## **Objetivo.**

En este trabajo de investigación se cuenta con un objetivo general y varios particulares, que se describen enseguida:

### **Objetivo general:**

Mejorar las condiciones del subsuelo de las colonias de la zona Oriente, para construir en un futuro estructuras de pavimento con la optimización de materiales y costos, además de asegurar la vida útil de los mismos.

### **Objetivos particulares:**

- Establecer una técnica de estabilización para que al momento que se desee construir un pavimento en la zona de estudio, o en donde se encuentre este tipo de suelo sea seguro y práctico para el Ingeniero Civil, Arquitecto, Constructor, Supervisor del H. Ayuntamiento o cualquier persona en lo general.
- Conocer si la cal tiene una reacción importante con el suelo y la humedad, con el fin de lograr una estabilización para convertir a eso que se le llama un problema en un recurso factible al momento de aplicar los materiales necesarios.
- Transmitir el conocimiento de que los suelos son diferentes y deben ser tratados de manera diversa en función de su tipo y comportamiento, promoviendo los mejoramientos como mejor inversión, que buscar un reemplazo de suelo, lo que a la larga afecta otra zona de extracción y eleva los costos de construcción.

## **Pregunta de Investigación.**

Para poder llegar a tener una mayor claridad del tema de investigación, es necesario seguir el procedimiento de hacer una pregunta principal y una serie de preguntas secundarias, las cuales se mencionan a continuación:

### **Preguntas principales:**

¿Se verá beneficiada la zona oriente?

¿Es la cal un elemento importante para mejorar el suelo de la zona oriente en función de optimizar la inversión de un pavimento?

### **Preguntas secundarias:**

¿Es adecuada la zona donde se harán los PCA?

¿Con que objeto estabilizamos un suelo?

¿Es adecuado el material utilizado en la estabilización?

¿Son adecuadas tanto la maquinaria como el equipo técnico utilizados en la realización de las pruebas?



## **Justificación.**

Como ya se sabe, dentro de todo lo que estudia tanto la mecánica de suelos como el comportamiento de suelos, el tipo de suelo más incierto a la hora de trabajar con él, es la arcilla combinada con un porcentaje alto de humedad, ya que al construir una estructura de pavimento sobre un suelo de estas características puede llegar a deformarse o en su caso fracturarse; es por este problema que surge la necesidad de realizar la investigación extensa, así como las pruebas necesarias para comprobar que se puede mejorar el suelo sin tanta complicación.

El actual trabajo está encaminado principalmente a los estudiantes de ingeniería, así como profesionistas ingenieros, arquitectos y la sociedad en general que se encuentran interesados en saber cómo se realiza y para qué sirve una estabilización de suelos especialmente los de tipo limoso con este producto natural químico denominado cal.

Cabe tomar en cuenta que dentro de la rama de la Ingeniería, en particular la Civil, nunca se está exento de trabajar con materiales tan complicados, pasando por materiales granulares como lo es una grava o una arena y materiales finos como los limos y arcillas o las turbas.

Principalmente, la realización de este trabajo quiere llegar a ser un instrumento más de consulta para las actuales y futuras generaciones de ingenieros acerca de lo que es una estabilización de un tipo de suelo como lo es el limo con cal y que beneficios obtendrán al hacerlo.

## **Marco de Referencia.**

El marco de referencia de este proyecto, será utilizado para la investigación de los diferentes porcentajes de cal hidratada que necesita un determinado suelo para lograr su estabilización, mejorando así el diseño de la estructura de pavimento, optimizando al máximo los recursos. Para dicha investigación se tomará como caso práctico la zona Oriente de la ciudad de Uruapan del Progreso, estado de Michoacán.

Cabe mencionar que este proyecto hace referencia a esta zona como caso práctico y de investigación, gracias a que la zona ya nombrada cuenta con un Nivel de Agua Freática (NAF) muy superficial, lo que ocasiona humedad en exceso en el suelo y que genera hundimientos, asentamientos y enormes baches en las calles. Dichas calles son muy importantes para los habitantes de la zona ya que es una zona en vías de desarrollo y por lo tanto encontrándose en las condiciones ya citadas, no podrían avanzar a causa de la gran inversión que harían para realizar una pavimentación con las condiciones actuales.

Al realizar los mejoramientos en esta zona, los principales beneficiados serán los habitantes de las colonias que conforman la zona, en segundo lugar se menciona al Hospital General Regional de Uruapan “Dr. Pedro Daniel Martínez”, logrando tener así mejores accesos para la población de la ciudad. También beneficiará los accesos para la ya existente Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Santa Bárbara, la cual cuenta con un ingreso deficiente. Este proyecto provocará un impacto de bienestar social en la vida de los Uruapenses de manera económica, ya que

disminuirá los costos por construcción, además de facilitar el comercio, aumentar la introducción de servicios públicos, como de salud, educación y cultura, todo esto al realizar pavimentaciones con carácter óptimo de recursos permitiendo construir más con menos, no olvidemos que esta necesidad proviene de una demanda de la sociedad.

El proyecto como ya se mencionó en los párrafos anteriores se aplicó para el caso práctico de investigación en la zona Oriente de la ciudad, conformando esta zona, las siguientes colonias: La Laguna del Ahogado, 10 de Abril, Zapatista, San Luis 1 y 2, Bosques del Oriente, Planetario, Predio Calderón y Las Casuarinas.

# CAPÍTULO 1

## SUELOS

En el presente capítulo, se hará énfasis en la teoría de la mecánica de suelos necesaria para la estabilización de suelos correspondiente de acuerdo a las necesidades del suelo, así como para el uso que se le vaya a dar, ya que es importante tener una idea clara de lo que es una estabilización y así facilitar al lector una visión más amplia de lo que se desea lograr con esta tesis.

### 1.1 Concepto de suelo.

“La palabra Suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidas de la definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por la acción de la intemperie.” (Juárez Badillo; 2011: 34).

La Geología, rama de la ingeniería define al suelo como: el material no consolidado compuesto de la mezcla de partículas de diferentes tamaños y minerales, así como de compuestos litológicos, y con diferentes clases de materiales orgánicas.

## 1.2 Naturaleza y origen de los suelos.

De acuerdo al Ingeniero Civil, la corteza terrestre está formada por dos tipos de materiales los cuales se clasifican como suelo y roca. El primero se conoce como el agregado natural de partículas minerales separables por medios mecánicos de baja intensidad como lo es el agua. En lo referente al texto anterior, se puede señalar que “un suelo es un conjunto con organización definida y propiedades que varían vectorial.” (Juárez Badillo; 2011: 34). El segundo define que la roca es un agregado constituido por minerales los cuales están unidos fuertemente.

Por otro lado y tomando desde el punto de vista de Bañón Blazquez (2001), “los suelos provienen de la alteración tanto mecánica como químicamente de las rocas más superficiales de la corteza terrestre”.

El proceso por el que se obtienen los suelos, es llamado “*meteorización*”. Como ya se mencionó en el párrafo anterior, los suelos son el resultado final de las descomposiciones mecánicas y químicas de las rocas.

La descomposición mecánica destroza las rocas sin alterar su composición, resulta principalmente de los cambios de temperatura; tales como lo son el calor intenso, la acción de congelación de agua en las grietas de las rocas, la acción de algunos organismos vivos tales como las raíces de los árboles. Los cambios de temperatura se expanden y contraen las rocas de manera alternada, causando así la rugosidad y laminación de las capas exteriores.

Por otro lado, la descomposición química descompone las rocas alterando y modificando lentamente la estructura mineralógica que las integran principalmente

por medio del agua. En este proceso los granos de minerales pierden la adherencia y se disuelven ante la acción de los agentes físicos, que son:

a) **Disolución:** es la incorporación de las moléculas de un cuerpo sólido a un disolvente como el agua.

b) **Hidratación:** el agua aquí se combina químicamente con un compuesto. Al introducirse las moléculas de agua a través de las redes cristalinas de las rocas se produce una presión que causa un aumento de volumen (en ocasiones puede llegar al 50%). Al secarse estos materiales, se produce el efecto contrario, generando una contracción y agrietamiento.

c) **Oxidación:** se produce por la acción del oxígeno cuando es liberado en el agua. Existe una reducción simultánea, ocasionando que los sustratos rocosos de tonalidades rojizas u ocreas, se produzca la oxidación del hierro contenido en las rocas.

d) **Hidrólisis:** es la descomposición por el agua, que a su vez también se descompone. El agua se transforma en iones que pueden reaccionar con determinados minerales, los cuales rompen sus redes cristalinas. Se origina principalmente en los materiales arcillosos.

e) **Carbonatación:** es la capacidad del dióxido de carbono para actuar por sí mismo, disolverse en el agua y formar ácido carbónico en pequeñas cantidades, dando como resultado los carbonatos y bicarbonatos.

La figura 1.1 muestra de una manera más clara lo descrito en los párrafos anteriores.

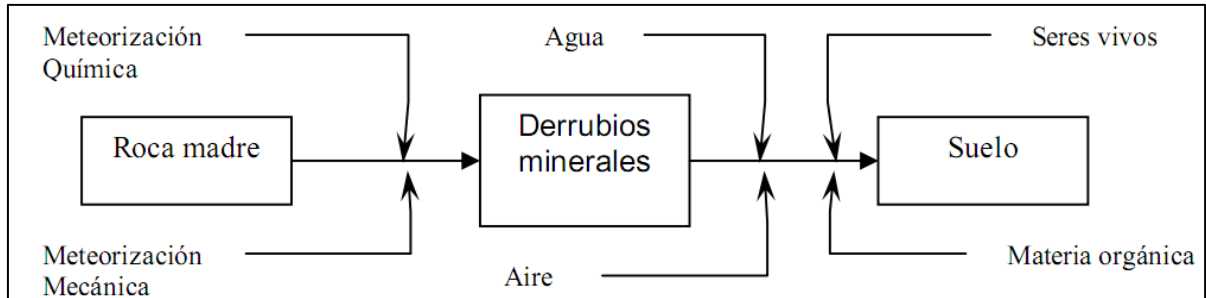


Fig. 1.1 Etapas y procesos en la formación del suelo: M. de S. (2001), pág. 4

### 1.2.1 Tipo y origen de los suelos arcillosos y limosos.

Para fines de este trabajo de investigación, se tiene que explicar de una manera clara y concisa el origen de los diferentes suelos finos, para esto se considera primeramente los suelos arcillosos.

Los suelos arcillosos son grupos minerales definidos, tales como la caolinita, illita y montmorillonita. La caolinita es moderadamente plástica, muy permeable y con una fricción interna grande, su formación se debe principalmente a la descomposición del feldespato por la acción del agua y el dióxido de carbono. Se define como silicato de aluminio hidratado, produciéndose con pH un poco más alcalinos.

La illita es expansiva, el coeficiente de fricción interna y la permeabilidad que presenta es menor a la caolinita. Para su formación necesita un pH ligeramente alcalino.

La montmorillonita es muy expansiva y plástica que al secarse se contrae, mejorando su resistencia y dándole permeabilidad. Necesita un medio alcalino como componente indispensable. Está compuesto principalmente de óxido de sodio.

Ahora los suelos limosos son producto de la sedimentación de suelos muy finos arrastrados por las aguas o depósitos por el viento. Un suelo limoso es estéril, pedregoso y filtra agua con rapidez.

### **1.2.2 Desventajas de las arcillas en la construcción.**

Así como se mencionó anteriormente las ventajas y origen de las arcillas, es bueno señalar que las arcillas no servirán como elemento de cimentación de una construcción.

En las vías terrestres, la arcilla es una de las más grandes dificultades para la colocación de la carpeta asfáltica o losa de concreto ya que, somete al concreto a esfuerzos para los que no fue diseñado, presentando deformaciones, grietas y rupturas; y para evitar lo anterior se realiza la estabilización.



### 1.2.3 Desventajas de los limos en la construcción.

Al no tener cohesión, es un terreno problemático para edificar sobre él, y en obras de arquitectura o ingeniería, es necesario adoptar sistemas especiales de cimentación. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas. Los limos, de no encontrarse en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para cimentar.

### 1.3 Clasificación e identificación.

El suelo se puede clasificar según su textura: fina o gruesa, y por su estructura: flocculada, agregada o dispersa, lo que define su porosidad que termine una mayor o menor circulación del agua, por lo tanto la existencia de especies vegetales que necesiten concentraciones más o menos elevadas de agua o de gases.

Se sabe que el suelo también se puede clasificar tanto por sus características químicas, por su poder de absorción de coloides y su grado de acidez (pH) que permite la existencia de una vegetación más o menos necesitada de ciertos compuestos.

Los suelos se clasifican en 3 partes: los no evolucionados, poco evolucionados y evolucionados, los cuales se describen a continuación:

a) **Suelos no evolucionados:** son los suelos brutos, muy cerca de la roca madre y apenas tienen aporte de materia orgánica. Son resultados de los fenómenos

erosivos o de la acumulación reciente de aportes aluviales. Como ejemplo son los suelos polares y desiertos.

b) **Suelos poco evolucionados:** son los que dependen de la roca madre. Este tipo de suelos tiene una clasificación básica la cual se menciona a continuación:

✓ Suelos Ránker: son más o menos ácidos, como por ejemplo los suelos de la tundra.

✓ Suelos Rendzina: estos suelos se forman sobre la roca madre carbonatada, como por ejemplo la roca caliza. Proviene del fruto de la erosión nombrándolos así como suelos básicos.

✓ Suelos de Estepa: este tipo de suelos se desarrolla en el clima del mediterráneo y según sea la aridez del clima pueden variar el color, siendo desde castaños hasta llegar a los rojos. Su aporte de materia orgánica es muy alto.

c) **Suelos evolucionados:** este tipo de suelos tiene indiscutible independencia de la roca madre. Existe una gran variedad de suelos entre ellos los de bosques templados, los de regiones con gran abundancia de precipitaciones, los de climas templados y los de suelo rojo mediterráneo. En general la mayoría de estos suelos están explotados agrícolamente.

Según Bañón Blazquez (2001), los suelos se clasifican de una manera específica, pero se pueden diferenciar en una aproximación, en diversos tipos de suelo en función de la naturaleza de la roca madre y por último en el tamaño de las partículas que lo componen como lo muestra la figura 1.2.

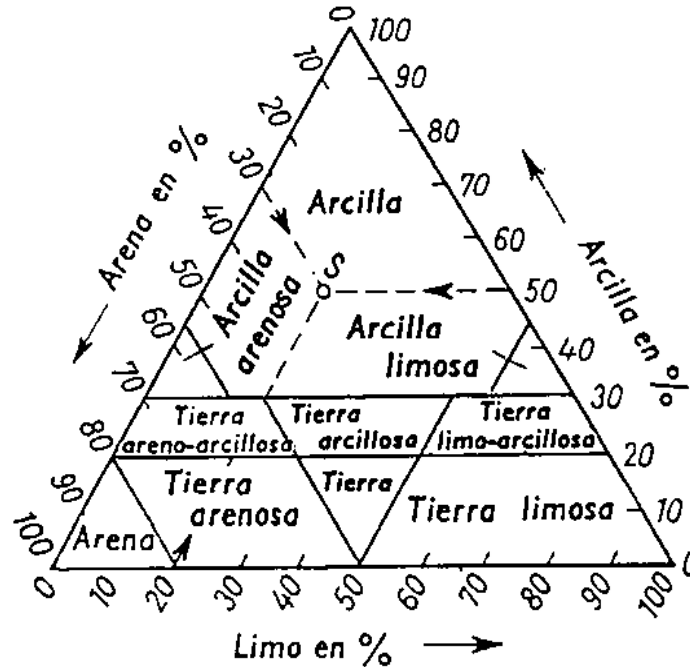


Fig. 1.2 Clasificación composicional de un suelo: Bañón Blazquez (2001), pág. 15-2

### 1.3.1 Identificación de suelos.

La identificación de suelos es ahora en día un problema de gran importancia y fundamental en la Ingeniería. El identificar un suelo es encasillarlo en un sistema previo hacia la clasificación de un suelo. Nos da permiso de conocer en forma cualitativa tanto sus propiedades mecánicas como las hidráulicas, dándoles un grupo. Cuenta con los siguientes criterios:

a) **Identificación de suelos gruesos:** “Los materiales constituidos por partículas gruesas se identifican en el campo sobre una base prácticamente visual.” (Juárez Badillo; 2011: 158). En la actualidad para distinguir las gravas de las arenas se utiliza la malla N° 4 (4.76 mm) y para dividir los finos de las arenas la malla N° 200 (0.074 mm), esta actividad se realiza en laboratorio.

Para realizar la actividad de identificación de suelos en campo se necesita tener una gran experiencia visual para diferenciar los suelos bien graduados a los mal graduados.

b) **Identificación de suelos finos:** de la misma forma que el método anterior, la clasificación de este tipo de suelos, es la experiencia. Para adquirir esa experiencia según Juárez Badillo (2011); es el aprendizaje al lado de alguien que ya la posea; en falta de tal apoyo, es aconsejable el comparar sistemáticamente los resultados de la identificación de campo realizada, con los del laboratorio, cuando se presente o exista la oportunidad.

Para identificar este tipo de suelos en campo, existen las siguientes pruebas:

✓ Dilatancia: en esta prueba se hace una pastilla con la muestra de suelo previamente cribado por la malla N° 40 (0.42 mm) y con el contenido de agua necesario para que el material alcance una consistencia suave, no viscosa, ésta se agita de manera horizontal, agitándolo fuertemente contra la otra mano varias veces, manteniendo los dedos fuertemente unidos. Se debe observar que el agua salga a la superficie de la muestra, debiéndose esto a la compactación de los suelos limosos, y aún en mayor grado de los arenosos, bajo la acción dinámica de los golpes contra la mano. Los suelos arcillosos no originan efectos bajo cargas dinámicas.

✓ Tenacidad: esta prueba se hace en una muestra de consistencia suave. También se hace con material previamente cribado por la malla N° 40 (0.42mm), haciendo rollito de aproximadamente 3 mm de diámetro apretándose cada vez más, aumentándose la rigidez y acercándose al límite plástico y “en cuanto más alta sea la

posición del suelo a la *línea A* (*CL, CH*), es más rígido y tenaz el rollito cerca del límite plástico y más rígida también se nota la muestra al romperse entre los dedos, abajo del límite plástico. En suelos ligeramente sobre la *línea A*, tales como arcillas glaciales (*CL, CH*), los rollos son de media tenacidad cerca de su límite plástico y la muestra comienza pronto a desmoronarse en el amasado, al bajar su contenido de agua. Los suelos que caen bajo la *Línea A* (*ML, MH, OL y OH*) producen rollitos poco tenaces cerca del límite plástico, casi sin excepción; en el caso de suelos orgánicos y micáceos, que caigan muy debajo de la *Línea A*, los rollitos se muestran muy débiles y esponjosos. También en todos los suelos bajo la *línea A*, excepto los *OH* próximos a ella, la masa producto de la manipulación entre los dedos posterior al rolado, se muestra suelta y se desmorona fácilmente, cuando el contenido de agua es menor que el correspondiente al límite plástico.” (Juárez Badillo; 2011: 160).

✓ Resistencia en estado seco: se define cuando la resistencia del suelo, con un secado previo, rompiéndose bajo las presiones que ejercen los dedos, nombrándole así como índice del carácter de su fracción coloidal.

✓ Color: este es un dato demasiado importante al realizar las exploraciones en campo, sirviendo para comparar los diferentes estratos y si se tiene experiencia hasta identificar los tipos de suelos existentes en el terreno.

✓ Olor: sirve para diferenciar los suelos orgánicos de los inorgánicos, los inorgánicos (*OH* y *OL*) tienen un olor distintivo, siendo éste intenso si el suelo se encuentra húmedo y va disminuyendo a la exposición del sol.

### **1.3.2 Granulometría en suelos.**

En cualquier tipo de suelos la distribución de las partículas varía enormemente; por esa razón, se buscó de una manera especial un método para lograr una adecuada distribución.

Para efectuar la distribución de todas las partículas de un suelo respecto a su masa retenida en cada malla, se realiza la granulometría por medio de las mallas o tamices, siendo esta la herramienta fundamental; el tamiz es un elemento compuesto de un marco rígido en el que se encuentra una malla con espaciamentos uniformes entre hilos de acero nombrados aberturas. Se calcula su porcentaje respecto al total y se clasifica mediante la determinación de la curva granulométrica.

Procedimiento.

#### **a) Suelos gruesos:**

1. Del material que se trae de campo, se cuartea y se toman de 5 a 10 kilogramos de la muestra de suelo.

2. Se hace pasar la muestra de material a través de las mallas para suelos gruesos colocadas en orden decreciente [3" (76.2 mm), 2" (50.8 mm), 1 ½" (36.1 mm), 1" (25.4 mm), ¾" (19.05 mm), ½" (12.7 mm), ⅜" (9.52 mm), No.4 (4.76 mm) y charola].

3. Se pesa el material retenido en cada malla y se anota en la hoja de registro.

**b) Suelos finos:**

1. Del material que pasa la malla No. 4 (4.75 mm), se toman 500 gramos.
2. La muestra de suelo se coloca en el juego de mallas para suelos finos ordenada de forma decreciente [No. 10 (2 mm), 20 (0.84 mm), 40 (0.42 mm), 60 (0.25 mm), 100 (0.149 mm), 200 (0.074 mm) y charola].
3. Una vez colocada la muestra en el juego de mallas, se hace vibrar el conjunto durante un tiempo mínimo de 10 min. en forma manual o en un agitador mecánico (Ro-Tap).
4. Se pesa toda la fracción retenida en cada malla y también se anota en la hoja de registro.

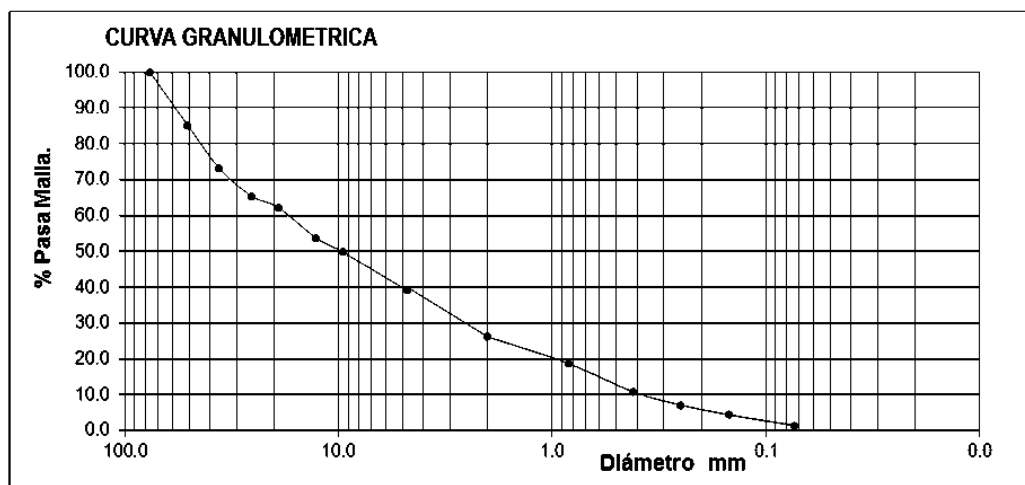
**c) Análisis por lavado:**

1. De la fracción de material que pasa por la malla No.4 (4.75 mm), se toma una muestra representativa con un peso aproximado de 300 gramos de suelo seco, el cual se coloca en un vaso de aluminio, con la finalidad de saturarlo con agua hasta quedar totalmente cubierto por un tiempo aproximado de 24 horas.
2. Pasado el tiempo de saturación, se procede al lavado de la siguiente forma:
  - ✓ Se toma una muestra de material saturado y con mucho cuidado, para no perder material, se coloca en la malla No. 200 (0.074 mm), misma que se coloca debajo del agua y se procede al lavado de este material, procurado disgregar en lo más posible las partículas que lo permitan mediante la aplicación de presión con los

dedos, el material se considera lavado cuando el agua que pasa por la malla No. 200, sale con una tonalidad clara, se repite esta operación hasta terminar con el material saturado de la muestra. Se recupera el suelo retenido en la malla y se coloca en el vaso dejándolo sedimentar eliminando el agua excedente y se pone a secar.

3. Al encontrarse el material totalmente seco, se procede a pasarlo por las mallas para suelos finos en el orden como ya se mencionó anteriormente.
4. Se anota el peso del material retenido en cada una de las mallas.
5. Se procede a calcular, tomando en cuenta el material eliminado por el lavado a través de la malla No. 200 (0.074 mm) por diferencia de pesos.

Los resultados del análisis granulométrico como ya se dijo se expresa por medio de una gráfica semilogarítmica, siendo ésta la comparación del diámetro de las partículas en el lado de las abscisas con el porcentaje que pasa (%) en las ordenadas (grafica 1.1).



Grafica 1.1 Grafica granulométrica; apuntes Ingeniería Civil, UDV. (2007), s/p.



Lo anteriormente citado se rige por la normativa de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) en su apartado **M-MMP-1-02-03 “Suelos y Materiales para Terracerías” 02 Clasificación de fragmentos de Roca y Suelo.**

### **1.3.3 S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).**

Este sistema fue propuesto por Arthur Casagrande como modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación en el año 1942 basado en el de aeropuertos. Cubre los materiales gruesos y finos distinguiéndose mediante el tamiz No. 200 (0.074 mm).

Se considera un suelo grueso si más del 50% de las partículas son retenidas en el tamiz No. 200 (0.074 mm) y fino si más del 50% es menor que dicho tamiz.

Los suelos se eligen por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo está conformado por un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en el idioma inglés de los 6 tipos principales de suelos, que son grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos y turbas, mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

La clasificación de los suelos es como se explica a continuación, mencionando en primer lugar a los suelos gruesos:

a) **Suelos gruesos:** se dividen en gravas y arenas, separándose con el tamiz No. 4 (4.75 mm), nombrando gravas si el 50% de las partículas se retienen en el tamiz mencionado y arenas si el 50% son menores a éste.

El símbolo del grupo está formado por 2 letras mayúsculas como a continuación se especifica:

- ✓ Gravas: teniendo como nombre genérico *G (gravel)*.
- ✓ Arenas: el símbolo genérico de éste es *S (sand)*.

Cabe mencionar que este tipo de suelo se clasifica en 4 tipos:

1. *W (well graded)*: se caracteriza por ser un material limpio de finos y bien graduado. Puede tener la combinación con las arenas y gravas, llamándolo *GW* y *SW*.
2. *P (poorly graded)*: en diferencia con la *W*, éste tiene que ser mal graduado. La combinación con las arenas y gravas da lugar a *GP* y *SP*.
3. *M (mo y mjala)*: es la cantidad de finos no plásticos. Su combinación con los símbolos genéricos son *GM* y *SM*.
4. *C (clay)*: es la cantidad de finos plásticos. La combinación con los símbolos genéricos es *GC* y *SC*.

Los grupos anteriormente mencionados se describen uno a uno a continuación:

- *Grupos GW y SW*: como ya se mencionó, estos suelos se identifican por ser bien graduados y con muy poco material fino, teniendo en cuenta que la presencia de éstos no deben producir cambios en sus características conforme su resistencia y capacidad de drenaje. Este grupo se caracteriza en su contenido de

partículas finas siendo éstas menor al 5% del peso total, la graduación está relacionado con los coeficientes de uniformidad y curvatura; requiriendo así que su coeficiente de uniformidad sea mayor a 4 y el de curvatura entre 1 y 3 para las gravas, mientras que para las arenas el coeficiente de uniformidad será mayor que 6 y el de curvatura debe estar entre los mismos límites anteriores.

- *Grupos GP y SP:* a estos suelos se les denomina mal graduados, teniendo como característica principal una apariencia uniforme, es decir, un tamaño de partículas casi iguales. Deben de cumplir con los requisitos anteriormente mencionados respecto a su contenido de partículas, pero no cumpliendo el requisito de la graduación.

- *Grupos GM y SM:* en estos suelos el contenido de partículas sobresalta las características de la resistencia, esfuerzo-deformación y capacidad de drenaje de la parte gruesa, siendo esto el 12% del peso total, por lo que este porcentaje se toma como frontera inferior del contenido de partículas finas. La plasticidad de finos puede denominarse “nula” y “media”.

- *Grupos GC y SC:* es parecido al grupo anterior, solo con la diferencia de que los finos son de media a alta plasticidad, condicionando además el índice plástico sea mayor a 7.

b) **Suelos finos:** estos se dividen en un criterio parecido al usado para los suelos gruesos, clasificándolos en 3 tipos como se menciona a continuación:

1. *M (mo y mjala):* estos suelos se denominan Limos orgánicos.

2. C (clay): se entiende a éstas con el nombre de arcillas inorgánicas.
3. O (*organic*): son los limos y arcillas orgánicas.

Cabe decir que cada uno de estos 3 tipos de suelos descritos anteriormente se subdividen en 2 grupos, tomando en cuenta su límite líquido, teniendo entonces que si éste es menor que 50%, se agrega el símbolo genérico *L* (*low compressibility*) denominándose de baja compresibilidad, teniéndose como resultado los grupos *ML*, *CL* y *OL*. Ahora si los suelos finos son mayores al 50%, se llaman de alta compresibilidad, se le coloca el símbolo genérico *H* (*high compressibility*), formándose así los grupos *MH*, *CH* y *OH*.

Es preciso tener en cuenta que los suelos altamente orgánicos, como lo son las turbas y los suelos pantanosos, que son altamente compresibles, forman un grupo aparte denominado con el símbolo *Pt* (*del inglés peat; turba*).

Como se hizo anteriormente con los suelos gruesos, se describen a continuación de manera más explicada los distintos grupos de suelos finos:

- *Grupos CL y CH*: el grupo *CL* es la zona arriba de la *Línea A*, clasificándola como  $LL < 50\%$  e  $I_p > 7\%$ . Mientras que el grupo *CH*, se describe como  $LL > 50\%$ , son las arcillas conformadas por las cenizas volcánicas, por ejemplo la bentonita.

- *Grupos ML y MH*: estos grupos se encasillan debajo de la *Línea A*, definiendo al grupo *ML* como  $LL < 50\%$  y una porción sobre la *Línea A* con  $I_p < 4$  y al grupo *MH* se define solamente como  $LL > 50\%$ .

Es interesante mencionar que a los suelos finos se les puede asignar un símbolo doble como *CL-ML*, si éstos caen sobre la *Línea A* y con  $4\% < I_p < 7\%$  considerándose “casos de frontera”.

- *Grupos OL y OH*: son parecidos con los grupos *ML* y *MH*, teniendo solo una pequeña diferencia, que se presenta en una adición de materia orgánica, que es la que hace que el límite líquido inorgánico aumente pero sin afectar al índice plástico, pasando así a ocupar una posición más retirada de la *Línea A* (figura 1.3).

- *Grupos Pt*: el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos no ubica al material dentro de alguno de los grupos mencionados anteriormente. Para tener la clasificación en los suelos gruesos, se debe de proporcionar el nombre típico, los porcentajes de la grava y arena, así como el tamaño máximo de agregados, su dureza y angulosidad de las ya mencionadas, las características de su superficie como lo son el nombre local y geológico.

Para identificar cual material es el encontrado, y así obtener sus siglas y características, las cuales fueron citadas anteriormente, se debe de realizar la prueba como lo marca la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) en su libro **M-MMP-1-07/07 “Suelos y materiales para terracerías” 02 límites de consistencia.**

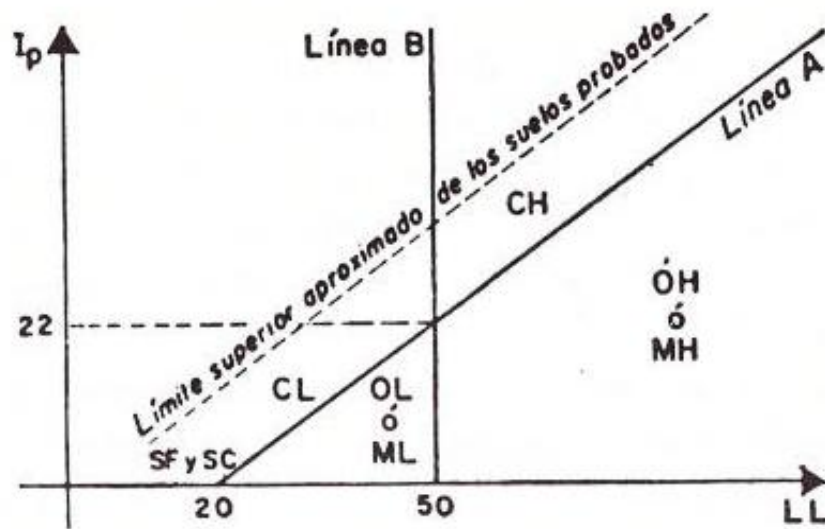


Fig. 1.3 Carta de Plasticidad: Juárez Badillo (2011), pág. 152

En los suelos finos solamente se indican los datos siguientes: nombre típico, el grado y carácter de su plasticidad, la cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, el olor y color del suelo húmedo, nombre local y geológico (tabla 1.1) de la siguiente página.

Tipo	Sub-Tipos		Identificación		Simbolo de Grupo		
Suelos (partículas menores de 7.5 cm)	SUELOS GRUESOS Más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 (0.075 mm)	GRAVA Más de la mitad e la fracción gruesa se retiene en la malla N°4	GRAVA LIMPIA	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor a 1 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW	
			(Poco o nada de partículas finas)	Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP	
			GRAVA CON FINOS	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más del 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véase abajo los grupo ML y MH)	GM	
			(Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava limosa; mezcla de grava, arena y arcilla.	Más del 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véase abajo los grupo CL y CH)	GC	
			ARENA LIMPIA	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW	
			(Poco o nada de partículas finas)	Arena mal graduada; mezcla de arena y Grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SP	
		ARENA Más de la mitad e la fracción gruesa pasa la malla N°4	ARENA CON FINOS	Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Más del 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véase abajo los grupo ML y MH)	SM	
			(Cantidad apreciable de partículas finas)	Arena limosa; mezcla de arena, grava y arcilla.	Más del 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véase abajo los grupo CL y CH)	SC	
			SUELOS FINOS Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0.075 mm)	LIMO Y ARCILLA Límite líquido	Menor de 50%	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	ML
						Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CL
		Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.			OL		
	Mayor de 50%			Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	MH		
				Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CH		
				Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OH		
	ALTAMENTE ORGÁNICOS		Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P <sub>t</sub>			

Tabla 1.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos S.U.C.S

(Incluyendo identificación y descripción.)

Juárez Badillo (2011), Anexo VII - A.

## **1.4 Propiedades del suelo.**

Las propiedades que tiene un suelo son especiales y únicas para cada suelo en particular, por lo que entonces se puede mencionar que no existen más de dos suelos iguales en todo el planeta, ni aun siendo el suelo de una misma región, por lo que presenta diferentes propiedades y composición tanto mineralógica como de origen; así que entonces se llamará al suelo como un compuesto natural y no como se mencionó anteriormente definido como una masa uniforme.

### **1.4.1 Suelos cohesivos, friccionantes, orgánicos y de relleno.**

Bañón Blázquez (2001) menciona que los *suelos cohesivos* se caracterizan por un tamaño más fino de sus partículas constituyentes (arcillas y limos), lo que les confiere unas propiedades de superficie ciertamente importantes. Esto se debe a que la superficie específica de dichas partículas es más que considerable.

La cohesión es la principal propiedad desde el punto de vista mecánico de este tipo de suelos y se define como la fuerza interparticular producida por el agua de constitución del suelo, siempre y cuando no esté saturado.

Dentro de los suelos cohesivos se establece una subdivisión en dos grupos: limos (origen físico) y arcillas (procedentes de la meteorización química de las rocas).

Los *suelos friccionantes* están formados por partículas agregadas y sin cohesión entre ellas a causa del gran tamaño de las mismas. Proviene de la



meteorización física: lajamiento, termoclastia, hialoclastia o fenómenos de hidratación física.

Las principales características son su buena capacidad portante y su elevada permeabilidad, por lo que permite una rápida evacuación del agua en presencia de cargas externas.

Dentro de esta clase de suelos se distinguen dos clases: las gravas y arenas; y como ya se mencionó se diferencian por la granulometría, considerándose arena la fracción de suelo de tamaño inferior a 2 mm.

Bañón Blázquez (2001) también nos define a los *suelos orgánicos* de origen animal o vegetal que generalmente cubren los primeros metros de la superficie. Se caracterizan por su baja capacidad portante, alta compresibilidad y mala tolerancia al agua, a lo que se le une la existencia de procesos orgánicos que pueden reducir sus propiedades resistentes. El material debe eliminarse por completo si es que se decide realizar cualquier obra de infraestructura en ese sitio.

#### **1.4.2 Propiedades hidráulicas.**

El suelo cuenta con propiedades hidráulicas que refieren principalmente al flujo del agua de manera libre. Sabiendo lo anterior, se menciona que el flujo del agua se divide en dos tipos llamados *flujo laminar* y *flujo turbulento*.

Poblete Freire (2006) menciona que el flujo es laminar cuando las líneas de flujo permanecen sin ajustarse entre sí en toda su longitud. Este tipo de flujo es

característico en suelos finos (limos y arcillas); mientras que el flujo turbulento es lo contrario o cuando no se cumple lo anteriormente mencionado.

La figura 1.4 muestra lo que es el flujo laminar (1) y el flujo turbulento (2) respectivamente a través del suelo.



Fig. 1.4 Flujo laminar y turbulento: Juárez Badillo (2011), pág. 191.

Se menciona que otra de las propiedades hidráulicas es la *permeabilidad* y es la propiedad que tiene el suelo para transmitir el agua y el aire. Mientras más permeable el suelo, mayor será la filtración.

Se llama *tubificación* al arrastre de granos de suelo que tiene como consecuencia la formación de tubos dentro de una masa de suelo.

Para Zea Constantino (2005) el gradiente hidráulico es una medida de la energía que impulsa el agua a moverse dentro del suelo. El siguiente ejemplo (figura 1.5) muestra un suelo dentro de un tubo de cierto diámetro; el agua se desplaza dentro del espécimen a una velocidad media “ $v$ ”, pasando de la sección 1 a la sección 2, recorriendo la distancia “ $L$ ”; despreciando la carga de la velocidad, la carga hidráulica en cualquiera de las dos secciones es:

$$h_i = z_i + \frac{P_i}{\gamma_w}$$

Tomando en cuenta la ecuación de Bernoulli que dice:

$$h_1 = h_2 + h$$

Se sabe que:

$$h = h_1 - h_2$$

Siendo “ $h$ ” la pérdida de carga hidráulica que tiene lugar cuando el agua pasa de la sección 1 a la 2.

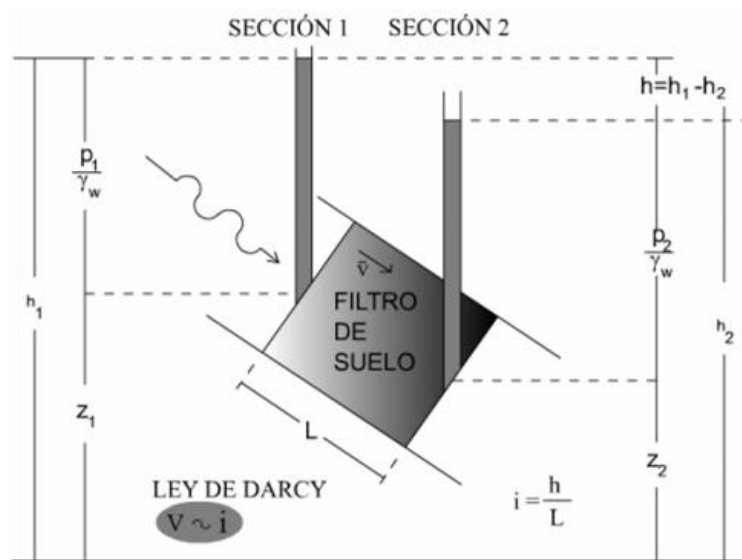


Fig. 1.5 Dispositivo experimental de Darcy: Zea Constantino (2005), pág. 22.

Por último, al gradiente hidráulico ( $i$ ), se define como un concepto adimensional y representa la pérdida de carga hidráulica por unidad de longitud, esto es:

$$i = \frac{h}{L}$$

La figura 1.6 muestra el comportamiento del agua al variar su velocidad.; si el agua parte de velocidades bajas, en la zona I (laminar), cambia de régimen turbulento en el punto B a velocidades mayores en la zona II (transición), al seguir la trayectoria inferior que se indica hasta el punto C; ahora, si se parte de velocidades fuertes a la zona III (turbulenta) a velocidades menores en la zona de transición, el agua cambia de comportamiento a régimen laminar.

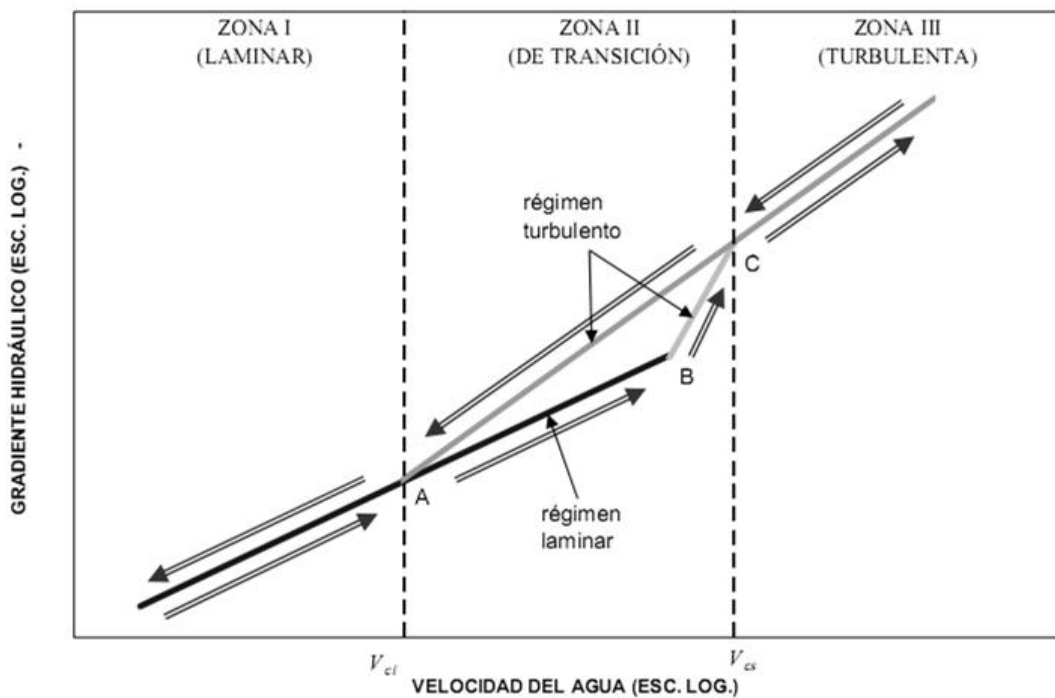


Fig. 1.6 Variación de velocidad: Zea Constantino (2005), pág. 23.

Ahora de la figura 1.5 se extrae la Ley de Darcy en el régimen del flujo laminar:

$$v = k i$$

Donde  $k$  es una constante de proporcionalidad, nombrada como coeficiente de permeabilidad. Dicha constante tiene dimensiones de velocidad gracias a que el

gradiente hidráulico es adimensional, siendo numéricamente igual a la velocidad media del agua cuando el gradiente hidráulico es igual a uno; M. I. Zea Constantino (2005) comenta que físicamente representa la “facilidad” con la que fluye el agua a través del suelo.

$Q$  es el gasto, se define como el volumen de agua que atraviesa el suelo en la unidad de tiempo y puede expresarse de la siguiente manera:

$$Q = k A$$

$A$  es el área de la sección.

La tabla siguiente muestra el rango de valores de  $k$  de acuerdo con el tipo de suelo:

k en cm/s =	10 <sup>+2</sup>	GRAVAS LIMPIAS		MUY BUEN DRENAJE
	10 <sup>+1</sup>			
	10 <sup>0</sup>			
	10 <sup>-1</sup>			
	10 <sup>-2</sup>	ARENAS LIMPIAS MEZCLAS GRAVA-ARENA		BUEN DRENAJE
	10 <sup>-3</sup>			
	10 <sup>-4</sup>	ARCILLAS FISURADAS Y ALTERADAS	MAL DRENAJE	
	10 <sup>-5</sup>			ARENAS MUY FINAS, LIMOS Y
	10 <sup>-6</sup>			ARENAS LIMOSAS
	10 <sup>-7</sup>	LIMOS ARCILLOSOS		PRÁCTICAMENTE IMPERMEABLES
10 <sup>-8</sup>	ARCILLAS			
10 <sup>-9</sup>	(NO FISURADAS)			

Tabla. 1.2 Valores de  $k$  según el tipo de suelo (cm/s): Zea Constantino (2005), pág. 26.

#### 1.4.2.1 Tensión superficial y capilaridad.

La “*tensión superficial*” es la propiedad de un líquido en la interface “líquido – gas”, por la cual las moléculas de la superficie soportan fuerzas de tensión. Por ella, una masa de agua, acomodándose al área mínima forma gotas esféricas.

El trabajo que se necesita para aumentar el área de una superficie cualquiera que sea líquida resulta ser en proporción al aumento, especificándose al coeficiente de la tensión superficial como la relación entre ambos conceptos.

$$dW = T_s dA$$

Por lo tanto:

$$T_s = \frac{dW}{dA}$$

La “*capilaridad*” es un fenómeno que se debe a la tensión superficial, en virtud del cual un líquido asciende por tubos de pequeño diámetro y por entre láminas muy próximas. Pero no ocurre así siempre debido a la atracción entre moléculas iguales y las diferentes son fuerzas que dependen de las sustancias.

### 1.4.3 Deformabilidad.

Existen tres tipos básicos de comportamiento mecánico esfuerzo-deformación en los suelos, denominados como se muestra a continuación:

a) **Comportamiento elástico:** “es aquel que al aplicarle un sistema de cargas, se deforma, pero que al retirar las cargas el material regresa a su configuración geométrica inicial.” (Zea Constantino; 2005: 34).

b) **Comportamiento plástico:** es cuando el cuerpo se mantiene deformado, aun cuando se retiran todas las cargas que provocaron la deformación presentada. En este comportamiento no depende del tiempo.

c) **Comportamiento viscoso:** es este tipo de comportamiento, las deformaciones no solo dependen de la magnitud de los esfuerzos, sino también del tiempo transcurrido desde la aplicación de la carga.

#### **1.4.4 Consolidación.**

“A un proceso de disminución de volumen, que tenga lugar en un lapso, provocado por el aumento de las cargas sobre el suelo, se le llama *proceso de consolidación*” (Juárez Badillo; 2011: 247).

Frecuentemente la posición de las partículas sólidas cambia, teniendo este cambio en una sola dirección de forma vertical, nombrándole a ésta la *consolidación unidireccional* o *unidimensional*. En la consolidación anteriormente mencionada el volumen de la masa de suelo disminuye, teniendo así desplazamientos horizontales de las partículas nulas.

“Una prueba de consolidación unidimensional se realiza sobre una muestra labrada en forma de cilindro aplastado. La muestra se coloca en el interior de un anillo, generalmente de bronce, que le proporciona un completo confinamiento lateral. El anillo se coloca entre dos piedras porosas, una en cada cara de la muestra; las piedras son de sección circular y de diámetro ligeramente menor que el

diámetro interior del anillo. El conjunto se coloca en la cazuela de un consolidómetro (Fig. 1.6) se aplican cargas a la muestra, repartiéndolas uniformemente en toda su área con el dispositivo formado por una esfera metálica y la placa colocada sobre la piedra porosa. Las cargas se aplican en incrementos, permitiendo que cada incremento obre por un periodo de tiempo suficiente para que la velocidad de deformación se reduzca prácticamente a cero. En cada incremento de carga se hacen lecturas para conocer la deformación correspondiente a diferentes tiempos. Los datos de estas lecturas se dibujan en una gráfica que tenga por abscisas los valores de los tiempos transcurridos, en escala logarítmica y como ordenadas las correspondientes lecturas de extensómetro, en escala natural. Estas curvas se llaman de consolidación y se obtiene una para cada incremento de carga aplicado.” (Juárez Badillo; 2011: 250).

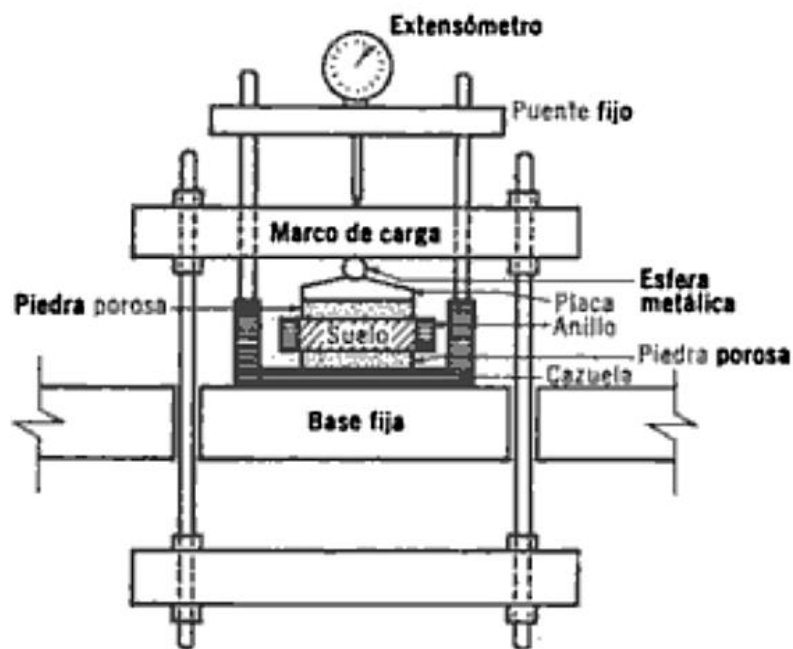


Fig. 1.6 Consolidómetro: Juárez Badillo (2011), pág. 248



#### **1.4.5 Resistencia al esfuerzo cortante.**

Juárez Badillo (2011) comenta que el problema de la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos puede decirse que constituye uno de los puntos fundamentales de toda la Mecánica de Suelos.

En el año de 1776, el Ingeniero francés Coulomb, propone un mecanismo para estudiar la resistencia del suelo, que consiste en aceptar que el material falla por esfuerzo cortante a lo largo de un desplazamiento. Observó que en dicho plano la resistencia al esfuerzo cortante de cierto tipo de suelos, resultaba proporcional al esfuerzo normal actuante. Para quitar el signo de proporcionalidad propuso un coeficiente  $f$  que representa una constante del material conocido como “*ángulo de fricción interna*”, también observó que otros suelos como las arcillas saturadas, parecían tener una resistencia al esfuerzo cortante constante, independiente del esfuerzo normal aplicado.

La resistencia al esfuerzo cortante en un suelo se debe a dos componentes que son: la cohesión (fracción fina del suelo y encargada del comportamiento plástico del mismo) y el rozamiento interno entre partículas granulares.

#### **1.4.6 Estados límite de consistencia.**

La plasticidad de las arcillas se debe de medir, para eso Atterberg desarrolló un criterio para realizarlo, mencionó en primer lugar que la plasticidad no es una propiedad permanente, sino circunstancial de las arcillas y dependiente de su

contenido de agua, en segundo lugar, hizo ver que la plasticidad exige dos parámetros en lugar de uno.

Atterberg definió los siguientes cinco estados de consistencia, dejando claramente en cuenta que son las fases por las que pasa el material al irse secando, expresándolo como:

1. Estado líquido: la presencia de una cantidad excesiva de agua anula las fuerzas de atracción interparticular que mantenían unido al suelo y lo convierte en un líquido viscoso con capacidad resistente.

2. Estado plástico: el suelo es sencillamente moldeable, presentando grandes deformaciones con la aplicación de esfuerzos pequeños. Su comportamiento es plástico. Mecánicamente no es capaz para resistir cargas adicionales.

3. Estado semisólido: en este estado el suelo deja de ser moldeable, pues presenta fracturas antes de cambiar su forma. Su comportamiento mecánico es aprobado.

4. Estado sólido: aquí el suelo alcanza la estabilidad total, debido a que su volumen no varía con los cambios de humedad. El comportamiento mecánico en comparación al estado anterior es óptimo.

Se le denomina con el nombre de *límite líquido* a la frontera entre los estados semilíquido y plástico con una humedad correspondiente a 25 golpes, y se determinará interpolando en una gráfica normalizada las dos determinaciones

obtenidas experimentalmente. Se realiza mediante el método de la *Copa de Casagrande*. El método se basa en la determinación de la cantidad de agua mínima que puede contener una pasta formada por 150 g. aproximadamente de suelo fino y seco que se coloca una cápsula de porcelana para homogeneizar el material con la ayuda de una espátula. Para realizar esta prueba se deja en reposo el material necesario saturándose aproximadamente por 24 horas en un recipiente, en un lugar fresco, cubriéndolo con un paño o algún material que lo mantenga húmedo para evitar la pérdida de agua por la evaporación. Al *límite plástico* se le nombra cuando existe la frontera entre los estados plástico y semisólido. Los límites mencionados anteriormente llevan por nombre "*límites de plasticidad*". Atterberg encontró también que la diferencia que existe entre los valores de los límites de plasticidad, se relacionaba con la cantidad de arena añadida y es llamada *índice plástico* o *índice de plasticidad*. Por todo lo anteriormente mencionado se presenta la siguiente tabla (tabla 1.3).

PARÁMETRO		TIPO DE SUELO		
		Arena	Limo	Arcilla
LL	Límite líquido	15 - 20	30 - 40	40 - 150
LP	Límite plástico	15 - 20	20 - 25	25 - 50
LR	Límite de retracción	12 - 18	14 - 25	8 - 35
<b>IP</b>	<b>Índice de plasticidad</b>	<b>0 - 3</b>	<b>10 - 15</b>	<b>10 - 100</b>

Tabla 1.3 Valores típicos de consistencia del suelo: Bañón Blázquez (2001), pág. 15-11

$$I_p = LL - LP$$

Juárez Badillo (2011) nos relata que Atterberg menciona también al *límite de contracción* como la frontera entre los estados de consistencia semisólido y sólido, definido con el contenido de agua con que el suelo ya no disminuye su volumen al seguirse secando y que en 1948 se definió en Noruega el *límite de firmeza*, correspondiéndole contenidos de agua bastantes mayores que el límite líquido.

Observando la carta de plasticidad (Fig. 1.7), se puede observar que hay 4 zonas claramente diferenciales. Estas zonas se encuentran delimitadas por dos líneas denominadas A y B. La línea A se define por la ecuación:  $IP = 0.73 * (LL - 20)$ . La línea B se encuentra paralela al eje de las abscisas en el punto 50%.

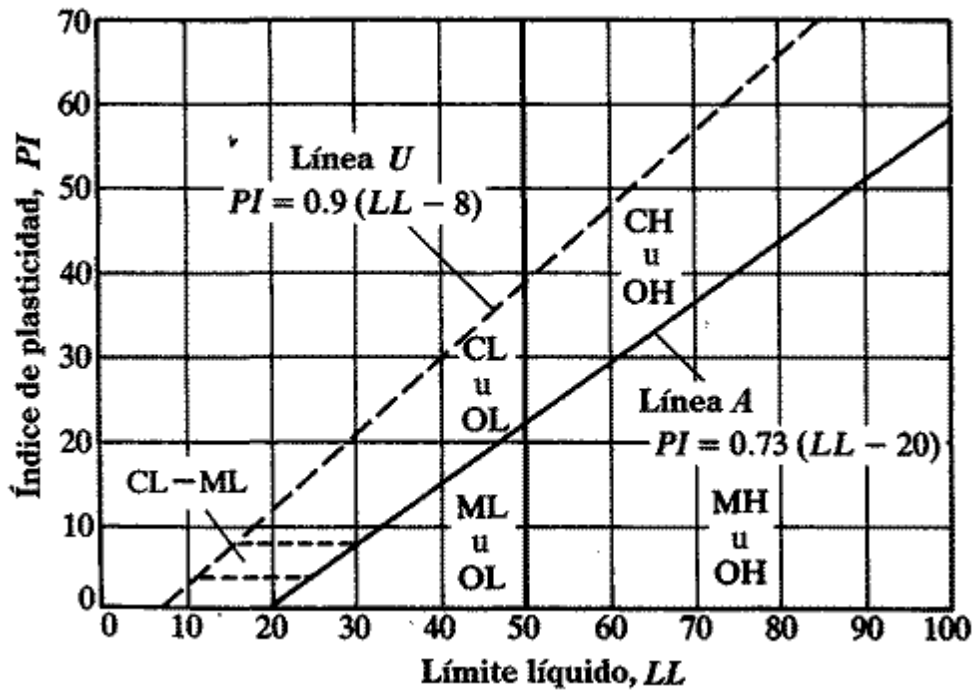


Fig. 1.7 Carta de plasticidad. ([http://www.ingenieriaciviltips.com/2011/05/sistema-de-clasificacion-de-suelos\\_13.html](http://www.ingenieriaciviltips.com/2011/05/sistema-de-clasificacion-de-suelos_13.html))

De igual manera Bañón Blazquez (2001) muestra la siguiente figura (Fig. 1.8), la explicación de los estados anteriormente mencionados.

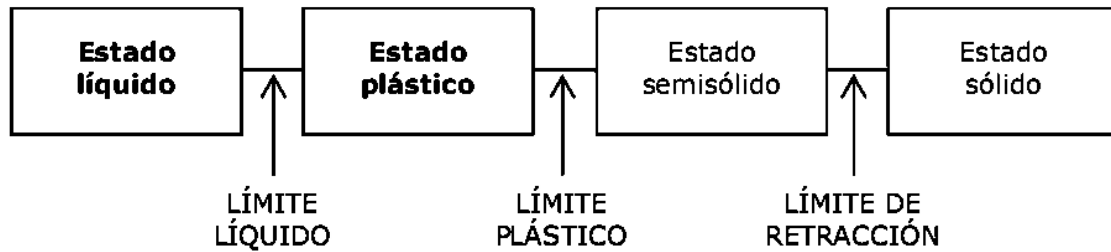


Fig. 1.8 Estados de consistencia de un suelo: Bañón Blazquez (2001), pág. 15-9

## 1.5 . Características generales.

Como se explicó anteriormente, los suelos cuentan con una clasificación, por su funcionalidad y por sus características físicas, por lo que es necesario para el ingeniero saber desde su origen hasta su composición química, no dejando de lado la granulometría de éste y su comportamiento mecánico.

### 1.5.1 Materia Orgánica e Inorgánica.

El suelo es una mezcla “compleja”, conformada por organismos vivos, materia orgánica, partículas minerales, agua y aire.

La materia orgánica que contiene el suelo procede tanto de la descomposición de los seres vivos que mueren sobre ella, así como la actividad biológica de los organismos vivos. Ahora la materia inorgánica se puede definir como todo material

mineralógico que lo compone, definiéndose más claramente como la materia que no cambia su estructura química en un periodo de tiempo corto en relación a su formación de forma natural, proviniendo de un proceso de meteorización del suelo.

### 1.5.2 Estructura.

Se define *estructura de un suelo* a la manera en que se agrupan las partículas individuales, como lo son las gravas, arenas y materiales finos (arcillas y limos) y la clasificación que se obtenga por medio de la granulometría.

Bañón Blazquez (2001) nos muestra en la tabla 1.4 la clasificación de los suelos atendiendo a su granulometría:

TIPO	DENOMINACIÓN		TAMAÑO (mm)
SUELOS GRANULARES	Bolos y bloques		> 60
	Grava	Gruesa	60 - 20
		Media	20 - 6
Fina		2 - 6	
Arena	Gruesa	0.6 - 2	
	Media	0.2 - 0.6	
	Fina	0.08 - 0.2	
SUELOS COHESIVOS	Limo	Grueso	0.02 - 0.08
		Medio	0.006 - 0.02
		Fino	0.002 - 0.006
	Arcilla		< 0.002

Tabla 1.4 Clasificación granulométrica de los suelos: Bañón Blazquez (2001), pág. 15-7.

### **1.5.3 Expansión y Contracción.**

La expansión de un suelo o suelos expansivos son identificados por ser constituidos en su totalidad de materiales finos con un alto porcentaje de partículas heterogéneas. Tienen como característica general el comportamiento mecánico de contracción por secado que éste presenta y la expansión al humedecerse, así como el desarrollo de presiones cuando en el proceso de expansión se confina, ocasionando esto último una disminución de la resistencia al corte.

## CAPÍTULO 2

### ESTABILIDAD CON CAL

En el presente capítulo, se hará énfasis en el funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de estabilización en especial de los pavimentos ya que llega a ser el soporte estructural del mencionado anteriormente, por lo que es importante tener una idea clara establecida de los conceptos fundamentales de lo que es la estabilización de suelos, esta tesis facilitara al lector con respecto a entender lo que se pretende economizar y optimizar con una correcta estabilización de suelos.

#### **2.1 Concepto de estabilización de suelos.**

La estabilización del suelo, respecto a la característica de dar resistencia a la deformación, añade al suelo aquello de lo que adolece; es decir, permite al suelo tener una mejor propiedad de resistencia a la deformación pro medio del impermeabilización de las partículas a absorber agua y deformarse. También se le llama *estabilización de suelos* al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que se pueda aprovechar sus mejores cualidades, obteniendo así un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima. Se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad.



A continuación se presentan los siguientes casos que pueden justificar una estabilización:

- a) Un suelo de subrasante desfavorable, muy arenoso, arcilloso o limoso muy plástico.
- b) Materiales para base o sub-base en el límite de especificaciones.
- c) Condiciones de humedad mayores a las necesarias.
- d) Cuando necesite una base de calidad superior, sin tener suelos a doc.
- e) En una repavimentación, aprovechando los materiales existentes.

El Manual de construcción para la estabilización con cal (1982) menciona que la estabilización aplicada en la construcción puede definirse como un medio de consolidación permanente de suelos y materiales bases, por el marcado incremento de su resistencia y su capacidad de apoyo, así como la disminución de su sensibilidad al agua y a cambios de volumen durante los ciclos humedad-sequía.

## **2.2 Tipos de estabilidad de suelo.**

La estabilidad de un suelo se puede realizar por las siguientes tres modalidades:

- a) **Estabilización Física:** se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Existen varios métodos como lo son:

- Mezclas de suelos: es de extenso uso, pero por si sola no logra producir los efectos deseados, necesitándose siempre de por lo menos la compactación como complemento.

La mezcla adecuada de los materiales como la arcilla y la grava-arena da como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

- Geotextiles.
- Vibroflotación (Mecánica de Suelos).
- Consolidación previa.

**b) Estabilización Química:** este se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

- Cal: es una manera económica y disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos.

- Cemento Portland: se usa principalmente en materiales como las arenas y gravas finas, la finalidad es aumentar la resistencia de los suelos.

- Productos asfálticos: es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.

- Polímeros y/o hule de neumáticos: su uso es común en carpetas asfálticas con el fin de darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

**c) Estabilización Mecánica:** es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

- Compactación: se realiza en las capas de sub-base, base y en carpetas asfálticas.

### **2.3 Definición de Cal.**

Se ha abusado demasiado de la palabra “cal”, implicando muchas veces cualquier material calcáreo. Sin embargo y de acuerdo con el Diccionario Webster (2004), en su precisa definición solo se le puede referir a cal “viva” (óxido de calcio –  $\text{CaO}$ ) y cal “hidratada” (hidróxido de calcio –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) o lechada de cal, siendo formas de piedra caliza calcinadas.

La cal viva se produce de la transformación química de calcio (piedra caliza –  $\text{CaCO}_3$ ) en óxido de calcio. La cal hidratada se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua. La cal hidratada (hidróxido de calcio) es la que reacciona con partículas arcillosas y las transforma permanentemente en una fuerte matriz cementante.

Ahora, la cal hidratada antes mencionada, es el agente estabilizador que se ha usado más profundamente a través de la historia, pero sólo en la actualidad es cuando se han realizado estudios científicos relacionados a su empleo como estabilizador.

Existen dos tipos fundamentales de cal: de alto contenido de calcio y la dolomítica (alta en magnesio).

La cal más utilizada para el tratamiento de suelos es la cal alta en calcio, que contiene un máximo de 5% de óxido o hidróxido de magnesio. Sin embargo, en algunas ocasiones se utiliza cal dolomítica (contiene 35 a 46% de óxido o hidróxido de magnesio). Con este tipo de cal se puede lograr la estabilización, aunque la fracción de magnesio reacciona más lentamente que la fracción de calcio. Cabe mencionar que la efectividad de esos dos tipos de cal es muy parecida, existiendo así poca diferencia en la efectividad.

Otras veces el término “cal” es utilizado para referirse a los subproductos de fabricación de cal (como el polvo de horno de cal) que, aunque contienen alguna cal reactiva, generalmente sólo posee una fracción del óxido o el contenido de hidróxido del producto fabricado.

La cal es particularmente efectiva con suelos de asentamientos de arcilla y agregados, con los cuales reacciona tanto química como físicamente para producir materiales de calidad para la construcción de carreteras, plataformas y apoyos de cimentación.

#### **2.4 Estabilización de suelos con cal.**

El uso de la cal en la estabilización de suelos sigue el propósito general de esta clase de trabajos, es decir, mejorar las características naturales del suelo de

modo que aumente su capacidad para resistir los efectos inducidos por el tránsito (esfuerzo de corte) y los cambios volumétricos en diferentes condiciones de clima.

La cal se adapta perfectamente en la mayoría de los casos para lograr resultados positivos, y su empleo suele ser conveniente por tratarse de un producto de costo moderado, fácil manejo, de producción fácil y abundante; así mismo elimina la susceptibilidad al agua de los suelos cohesivos reduciendo la tendencia al hinchamiento de los mismos.

La Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), dentro de La Normativa para la Infraestructura del Transporte en Carreteras, en su libro CMT. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES, Parte 4. Materiales para Pavimentos, Título 02. Materiales para Subbases y Bases en el Capítulo 003. Materiales para bases Tratadas, en la clasificación D, menciona que los materiales modificados o estabilizados con cal, cumplirán con los requisitos de calidad que son:

- La cal que se utilice para la modificación o estabilización, cumplirá con los requisitos de calidad que se establecen en las Normas N·CMT·2·02·001, *Cal para Estabilización de Suelos*.
- El Material por modificar o estabilizar con cal, cumplirá con los requisitos de granulometría que correspondan, entre los indicados en la Norma N·CMT·4·02·002, *Materiales para Bases Hidráulicas*.
- El material una vez modificado con cal, cumplirá con el límite líquido, el índice plástico, el Valor Relativo de Soporte (VRS) o Valor Soporte de California

(CBR), que correspondan entre los indicados en la Norma N-CMT-4-02-002, *Materiales para Bases Hidráulicas*.

- Deberá ser compactado dinámicamente al cien (100) por ciento respecto de la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, conforme a lo indicado en el Manual M-MMP-4-01-010, *Compactación AASHTO* o el grado de compactación que indique el proyecto o señale la Secretaria.

La estabilización con cal tiene una reacción química con los suelos arcillosos, teniendo así dos aspectos. El primero, el cual aglomera las partículas finas de arcilla en partículas gruesas desmenuzables siendo estos tamaños de arena y sedimentos, esto se realiza a través de un fenómeno llamado intercambio de Base.

El segundo produce una “cementación” llamado también endurecimiento, reaccionando la cal químicamente con la sílice disponible y alguna alúmina en el suelo raso, formando así silicatos de calcio y aluminatos.

El Manual de Construcción para la Estabilización con cal (1982) dice que, en general, las reacciones de cal se facilitan en la mayoría de los suelos plásticos que contienen arcilla, ya sean arcillas de grano fino o de arcillas tipo grava. El rango de índice de plasticidad de dichos suelo (I.P.) es de 10 a 50+. La única excepción son los suelos orgánicos. Los suelos con un I.P. menor a 10 no reaccionan fácilmente con la cal, si bien hay varias excepciones. En este tipo de suelos es imperativo que al menos esté presente el 15% del material menor a una malla No. 200.

Cabe mencionar que para los suelos no plásticos y bajos en I.P., que no responden a la cal, se requiere de un segundo aditivo puzolánico, para producir la

necesaria reacción cal-sílice. Asimismo, se han utilizado con éxito otros materiales como lo son cenizas de volcán y arcilla fina expandida. Bajo ciertas circunstancias algunas arcillas reactivas también pueden ser empleadas.

La incorporación previa de cal puede ser ventajosa en el tratamiento de suelos plásticos (arcillas pesadas) con cemento, reduciendo así la plasticidad y facilitando la posterior pulverización del suelo, teniendo por consiguiente el mezclado con el cemento Portland.

La mezcla húmeda de suelo-cal se mantiene mejor en ese estado bajo techo por uno o dos días, luego de los cuales la cal habrá roto los terrones de arcilla restantes. El suelo se mezcla nuevamente produciendo una masa homogénea, que puede ser empleada inmediatamente en la construcción (la proporción de cal: puzolana puede variar entre 1:1 y 1:3).

El curado del suelo estabilizado con cal tarda aproximadamente seis veces más que el curado del suelo estabilizado con cemento. Las altas temperaturas y la humedad ayudan a mejorar la resistencia a compresión final.

#### **2.4.1 Ventajas y desventajas de los diferentes métodos de estabilización con cal.**

La técnica de estabilización con cal utilizada en un proyecto debería estar basada en múltiples consideraciones, tales como la experiencia del constructor, la disponibilidad de equipo, la ubicación del proyecto (rural o urbano) y la disponibilidad de una fuente cercana y adecuada de agua.

Algunas ventajas y desventajas de los diferentes métodos de aplicación de cal son los siguientes:

**a) Cal hidratada:**

- **Ventajas:** puede ser aplicada más rápidamente que una lechada. La cal hidratada puede ser utilizada para disminuir la humedad de las arcillas y limos.
- **Desventajas:** las partículas hidratadas de cal son finas, de modo que el polvo puede ser un problema y este tipo de uso generalmente es inadecuado en áreas pobladas.

**b) Cal viva:**

- **Ventajas:** es económica ya que la cal viva es una forma más concentrada de cal que la cal hidratada, conteniendo de un 20 a un 40 por ciento más de óxido de calcio disponible, teniendo así como resultado que el 3 por ciento de la cal viva es equivalente al 4 por ciento de cal hidratada, esto cuando las condiciones permiten la hidratación completa de cal viva con suficiente humedad. Debido a su mayor densidad requiere menos instalaciones de almacenaje.

Otro punto más a su favor es que es excelente material para secar suelos mojados y partículas con tamaño grande que pueden reducir la producción de polvo.

- **Desventajas:** requiere del 32 por ciento de su peso en agua para convertirse en cal hidratada y por lo tanto puede existir pérdida por la evaporación significativa debido al calor de hidratación.



## **2.5 Determinación del porcentaje óptimo de cal.**

Es indudable que, desde el punto de vista técnico-económico, la cantidad óptima de cal para estabilizar un suelo es el menor porcentaje capaz de modificar las propiedades del suelo, hasta el extremo requerido por el destino que habrá de dársele en el proyecto. El objetivo buscado contempla por lo general dos casos:

- a) Aumentar la resistencia a los esfuerzos normales y tangenciales.
- b) Reducir el hinchamiento del suelo.

Para medir el primer caso, pueden utilizarse algunas pruebas siguientes: Valor Soporte California, compresión confinada y ensaye triaxial.

La comparación de los resultados debe hacerse entre los valores correspondientes al suelo solo mezclado con diferentes porcentajes de cal. La elección de la cantidad óptima recaerá en el menor porcentaje incorporado al suelo, capaz de conferirle las propiedades buscadas.

Una vez seleccionado dicho porcentaje, es recomendable, por razones prácticas adicionarle un 0.5% al 1% para tener en cuenta los desperdicios inevitables durante las operaciones constructivas.

## **2.6 Modificación y secado de suelos utilizando cal.**

Existen otros dos tipos importantes de tratamiento con cal utilizado en operaciones de construcción que a continuación se mencionan:

1. Debido a que la cal viva se combina químicamente con el agua, puede ser utilizada con eficacia para secar suelos mojados. El calor generado por esta reacción también contribuye a secar los suelos mojados. La reacción con el agua ocurre también si los suelos no contienen fracciones arcillosas significativas.

Cuando las arcillas se encuentran presentes, la reacción química de la cal, seca aún más de los suelos. El efecto neto es que el secado ocurre rápidamente, dentro de un lapso de horas, pudiendo así compactar mucho más rápidamente en comparación que si se esperara que el suelo se secase por la evaporación natural.

El Manual de Estabilización de suelo tratado con cal (2004) menciona que, la cal puede ser utilizada para uno o varios de los siguientes casos:

- Ayudar a la compactación.
- Secar las áreas húmedas.
- Mejorar la capacidad de soporte.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para la construcción subsiguiente.
- Acondicionar el suelo (hacerlo trabajable).

Generalmente, entre el 1 y 4 por ciento de cal secará un sitio mojado suficientemente para permitir que procedan las actividades de construcción.

2. El tratamiento de cal puede mejorar considerablemente la trabajabilidad y la resistencia a corto plazo del suelo, de tal forma que permite que los proyectos pueden ser ejecutados más fácilmente. Típicamente se utiliza del 1 a 4 por ciento de cal en peso con respecto al suelo para la modificación, que es generalmente una menor cantidad que se utilizaba para la estabilización permanente de los suelos. Los cambios hechos al suelo modificado con cal pueden o no ser permanentes.

“La diferencia principal entre la modificación y la estabilización es que, con la modificación, generalmente no se le conoce ningún crédito estructural a la capa modificada con cal en el diseño de pavimento. La modificación con cal trabaja mejor en suelos arcillosos.” (Manual de estabilización de suelo tratado con cal; 2004: 8).

## **2.7 La química del tratamiento de cal.**

Cuando la cal y el agua se incorporan con el suelo, comienzan a ocurrir reacciones químicas casi inmediatamente, teniendo así los siguientes pasos:

1. **Secado:** si se utiliza cal viva, ésta se hidrata inmediatamente (al combinarse químicamente con el agua) y libera calor. Los suelos se secan, porque el agua presente en el suelo participa en esta reacción y el calor generado puede evaporar la humedad adicional. La cal hidratada producida por estas reacciones iniciales, posteriormente reaccionará con las partículas de suelo. Estas reacciones

subsecuentes, lentamente producirán un secado adicional porque las mismas reducen la humedad, mejorando el soporte.

Si se utiliza la cal hidratada o la lechada de cal hidratada, en lugar de la cal viva, el secado ocurre sólo por los cambios químicos del suelo, que reducen su capacidad para retener agua y aumentan su estabilidad.

2. **Modificación:** después de la mezcla inicial, los iones de calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) de la cal hidratada emigran a la superficie de las partículas del suelo, desplazando el agua y otros iones. El suelo se hace friable y granular, haciéndolo más fácil para trabajar y compactar (imagen 2.1).

En esta etapa, el Índice de Plasticidad (I.P.) del suelo disminuye drásticamente, así como su tendencia a hincharse y contraerse. Este proceso es llamado “*floculación y aglomeración*”, generalmente ocurre en el transcurso de horas.



Imagen. 2.1 Suelo floculado con cal.

Fuente: Manual de estabilización de suelo tratado con cal (2004), pág. 9.

3. **Estabilización:** cuando se añaden las cantidades adecuadas de cal y agua, el pH del suelo aumenta rápidamente arriba de 10.5, lo que permite romper las partículas de suelo. La determinación de la cantidad de cal necesaria es parte del proceso de diseño y se estima por pruebas. Se liberan la sílice y la alúmina; reaccionando así con el calcio de la cal para formar hidratos de calcio-silicatos (CSH) e hidratos de calcio-aluminatos (CAH).

CSH Y CAH son cementantes similares a aquellos formados en el cemento portland. Cuando de forma esta matriz, el suelo se transforma de un material arenoso granular, a una capa dura relativamente impermeable, con una capacidad de carga significativa. El proceso se inicia en unas horas y puede continuar durante años en un sistema diseñado correctamente. La matriz formada anteriormente mencionada es permanente, duradera y significativamente impermeable, teniendo así como resultado una capa estructural tanto fuerte como flexible.

## **2.8 Precauciones de seguridad para el manejo de la cal.**

La cal hidratada (hidróxido de calcio), como la mayoría de los materiales químicos de uso común, no son peligrosos de trabajar si se ponen en práctica algunas simples precauciones. La cal viva llamada también cal "*caliente*" (óxido de calcio) es considerablemente más peligrosa de trabajar que la cal hidratada, siendo ésta mucho más caústica y puede producir rápidamente severas quemaduras con la humedad de la piel.

Por tanto, El Manual de Construcción para la Estabilización con cal (1982), aconseja prever el mayor uso posible de cal hidratada que va a estar en contacto con los trabajadores. Generalmente es remoto el peligro de quemaduras severas, pero el contacto prolongado de la cal hidratada con la transpiración de la piel de los trabajadores, donde ésta esté rosándose con ropa ceñida, ha producido graves quemaduras. Asimismo, otras personas con piel particularmente sensible han desarrollado formas de irritación llamada dermatitis a través de un contacto prolongado.

Aun cuando no existe la urgencia de remover la cal hidratada de la piel, sí se debe de limpiar con demasiada agua tan pronto como sea posible. Sin embargo, la cal viva debe lavarse o al menos sacudirse inmediatamente después de dicho contacto con la piel, por las razones anteriormente mencionadas. El clima caliente y húmedo tiende a aumentar el efecto cáustico de la cal hidratada en la piel de los trabajadores.

A continuación se mencionan algunas de las recomendaciones que se deben de tener en cuenta para realizar el manejo de la cal, ya sea hidratada o viva.

a) **Ropa:**

- Usar zapatos de media altura o botas de agujetas
- Usar al menos camisa de manga larga. Queda prohibido usar camisas de manga corta o en su caso enrollarse las mangas; y en tiempo de frío, una segunda camisa de manga larga se toma en cuenta como una protección adicional-

- Los pantalones serán largos y deben estar atados a la altura de los zapatos o botas. No usar pantalones cortos.
- Se debe usar casco para proteger el cuero cabelludo de la acumulación de polvo de cal.
- Usar guante de tipo guantelete.
- No usar ropa ceñida al cuello o muñecas, ya que el calentamiento por el roce con la cal puede irritar aún más la piel.

b) **Cremas protectoras:**

La crema a utilizarse, menciona El Manual de Construcción para la Estabilización con cal (1982), debe aplicarse en las partes del cuerpo, como lo son el cuello, la cara, las muñecas o tobillos. Una aplicación apropiada forma una película delgada protectora, siendo fácil de remover con agua y jabón.

c) **Protección de ojos:**

Se deben usar lentes de seguridad cubiertos a los lados, o herméticos (goggles) todo el tiempo mientras se trabaja con la cal.

d) **Protección de boca y nariz:**

Al ver las condiciones de la construcción y observar que son muy polvosas, debe usarse una máscara liviana con filtro, aun cuando la inhalación del polvo de la cal esta denominado en el rango de no ser perjudicial.

e) **Después del trabajo:**

Después de estar todo el día en contacto de alguna manera con la cal, se debe realizar un baño, esto con el fin de limpiar toda la cal del cuerpo y posteriormente aplicar una crema protectora.

### **2.8.1 Primeros auxilios.**

1) Quemaduras de piel: se debe lavar muy bien con jabón y agua tibia para quitar toda la cal. Posteriormente aplicar un ungüento común para quemaduras por calor o caústicas, cubriendo así la lesión con vendas previamente esterilizadas y mantener vendado mientras sana la quemadura, esto con el fin de prevenir infecciones.

2) Cal en los ojos: mantener los ojos abiertos y limpiarlos inmediatamente con una gran cantidad de agua.

3) Se deben reportar de inmediato todas las quemaduras de cal, cal en los ojos para así proporcionar la atención médica necesaria sin demora alguna.

Por último como lo menciona el Manual “prácticamente hablando, la cal hidratada o la lechada de cal no es más peligrosa a la piel que el cemento o lechada de cemento. La cal es simplemente más ligera y fina que el cemento y, por tanto, más propensa a hacer polvo.” (Manual de Construcción para estabilización con cal; 1982: 39).



## CAPÍTULO 3

### ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

En el presente capítulo, se hará énfasis en la descripción de los conceptos que influyen en el diseño de un pavimento rígido, ya que es importante tener una idea bien cimentada de los conceptos básicos de lo que es una estructura de pavimento de vías urbanas, esto ampliará la visión al lector, más allá del tema central de este proyecto de tesis.

#### 3.1 Definición de pavimento.

Se entiende como pavimento al conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento o nivel de la rasante. El pavimento tiene entre sus funciones, proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito y del clima, así como transmitir en forma adecuada a la subrasante los esfuerzos generados por las cargas del tránsito.

El Manual Centroamericano para diseño de pavimentos (2002), menciona que los pavimentos se dividen en flexibles, rígidos y mixtos. El comportamiento de los mismos al aplicarles cargas es muy diferente, tal como se ve en la figura 3.1. Algunos autores clasifican un tercer tipo de pavimento, llamado *semi-rígido* o *semi-flexible*, que es aquel, que conservando la estructura esencial de un pavimento flexible, tiene una o más capas rigidizadas artificialmente.

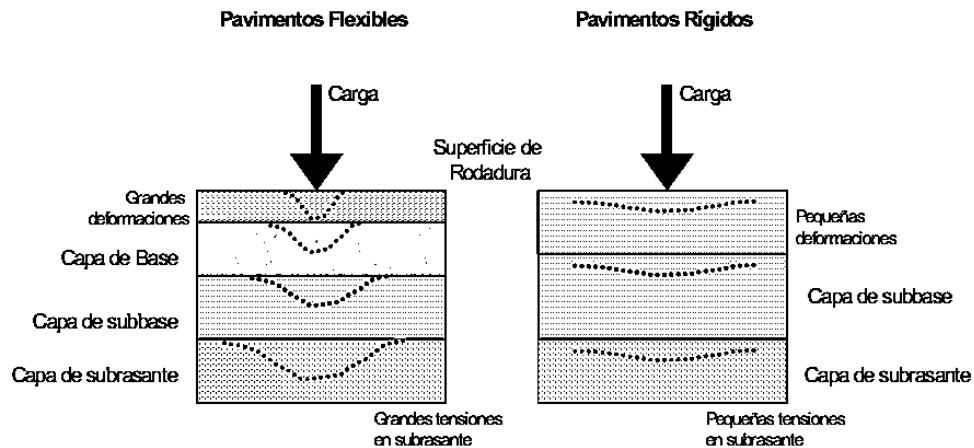


Fig. 3.1 Comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos

Manual Centroamericano para diseño de pavimentos (2002), cap.5 pág. 1.

### 3.2 Definición de pavimento rígido.

Como primera definición; un pavimento rígido se define como la estructura de una obra vial que hace posible la circulación de los vehículos, con la economía, estabilidad y seguridad requerida.

Otra definición dice; “es la superficie de rodamiento para los distintos tipos de vehículos, formada por el agrupamiento de capas de distintos materiales destinados a distribuir y transmitir las cargas aplicadas por el tránsito al cuerpo de terraplén.

El libro Pavimentos 1 (1993), apuntes de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, menciona que los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico, con recubrimiento bituminoso o sin él, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionada llamada

subbase (grava o arena). Los concretos usados son de resistencia relativamente grande, generalmente comprendida entre  $210 \text{ kg/cm}^2$  y  $350 \text{ kg/cm}^2$ .

### 3.2.1 Estructura de un pavimento rígido.

Los pavimentos rígidos se conforman por una subrasante, una subbase y por una losa de concreto hidráulico, la cual ofrece una alta resistencia a la flexión (figura 3.2). Además de los esfuerzos de flexión y de compresión, este tipo de pavimento se va a ver afectados en gran parte en los esfuerzos que tenga que resistir al expandirse contraerse por cambios de temperatura y por condiciones climáticas.

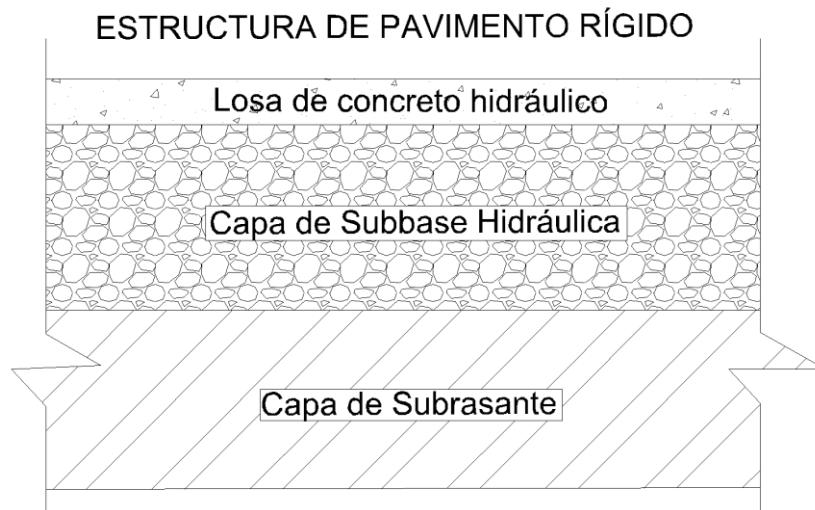


Fig. 3.2 Estructura de Pavimento Rígido.

Fuente: Propia.

Es por esto que su diseño toma como parámetros los siguientes conceptos (Crespo, 2002):

- Volumen, tipo y peso de los vehículos que transitarán por esa vialidad.

- Módulo de reacción de la subrasante.
- Resistencia del concreto que se va a utilizar.
- Condiciones climáticas.

### 3.2.1.1 Subrasante.

La *subrasante* es una de las capas que conforman la estructura de pavimento, “son suelos naturales, seleccionados o cribados, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa la cual se coloca inmediatamente encima de la cama de cortes, de la capa subyacente o del cuerpo de un terraplén cuando ésta última no se construya” (**SCT-N-CMT-1-03/02 “Materiales para terracerías” 03 Materiales para Subrasante; 2002: 1.**)

El material utilizado deberá cumplir con las características granulométricas y requisitos de calidad que se establecen en la tabla 3.1 que se presenta a continuación y se encuentra en la normativa anteriormente mencionada.

Característica	Valor
Tamaño máximo; mm	76
Límite líquido; %, máximo	40
Índice plástico; %, máximo	12
Valor Soporte de California (CBR) <sup>[1]</sup> ; %, mínimo	20
Expansión máxima; %	2
Grado de compactación <sup>[2]</sup> ; %	100 ± 2

Tabla 1.1 Requisitos de materiales para la capa de subrasante.

N-CMT-1-03/02 “Materiales para terracerías” 03 Materiales para Subrasante

### **3.2.1.2 Subbase.**

La *subbase* en un pavimento rígido “es aquella capa de materiales seleccionados que se encuentra comprendida entre la subrasante y la losa de concreto hidráulico” (Pavimentos; 1984: 7).

Las principales funciones de la subbase son:

- Proporcionar una superficie de apoyo uniforme a las losas.
- Construir una superficie adecuada para el paso del equipo de construcción.
- Disminuir los efectos perjudiciales producidos por los cambios volumétricos de los suelos.
- Evitar el fenómeno de “bombeo”.

Este último consiste principalmente en la fluencia de material fino con agua debido a la infiltración de ésta por entre las juntas de las losas.

### 3.2.1.3 Losa de concreto hidráulico.

Las *losas de concreto hidráulico* constituyen el elemento estructural más importante de un pavimento rígido; sus funciones principales son el proporcionar al tránsito una superficie estable, impermeable, uniforme y de textura apropiada. Asimismo, recibir las cargas impuestas por los vehículos, absorber la mayor parte de los esfuerzos y transmitirlos a la subbase en magnitudes acordes con su resistencia.

El concreto utilizado en la construcción de pavimentos rígidos deberá cumplir con las siguientes características para cumplir con un buen servicio:

- **Resistencia:** generalmente se mide por la resistencia a la compresión, realizándose pruebas las cuales siempre deben ejecutarse de manera cuidadosa.

Cabe mencionar que el pavimento rígido constituye la superestructura del camino, teniendo como función soportar y transmitir las cargas de los vehículos así como disipándolas para que las terracerías no sufran asentamientos perjudiciales para el camino.

### 3.3 Características de un pavimento rígido.

Para cumplir sus funciones, un pavimento rígido debe satisfacer dos condiciones básicas:

- a) Ofrecer una buena y resistente superficie de rodamiento, con la rugosidad necesaria para garantizar buena fricción con la llanta del vehículo y con el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos.

b) Debe tener la resistencia apropiada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas por el tránsito y con deformaciones que no sean permanentes.

Un pavimento como conjunto debe contar con las siguientes características:

- **Resistencia Estructural:** debe soportar las cargas impuestas por el tránsito. La metodología teórica para el análisis de la resistencia de los pavimentos es proporcionada por la Mecánica de Suelos, la cual considera que los esfuerzos cortantes son la principal causa de falla desde el punto de vista estructural. Los pavimentos son heterogéneos y anisótropos.

El problema de la resistencia de los pavimentos, se ve desde el punto de vista de la estructura de los materiales del pavimento, considerando a las terracerías en forma pasiva, sin embargo, muchas de las fallas en pavimentos se originan probablemente en las mencionadas terracerías. Otro factor que influye en la resistencia de los materiales es el tipo de carga que se aplica.

En la actualidad la resistencia de los pavimentos se determina considerando las cargas estáticas y con velocidad de aplicación lenta. El hecho de que las cargas actuantes sean repetitivas afecta a la larga en la resistencia de las capas de pavimento de relativa rigidez llamada fatiga, siendo causa de la rotura de los granos.

La resistencia de los materiales que forman los pavimentos interesa desde dos puntos de vista importantes mencionados a continuación:

1. La capacidad de carga que pueden desarrollar las capas constituyentes del pavimento para soportar de una manera adecuada las cargas del tránsito.

2. La capacidad de carga de la capa de subrasante, que constituye el nexo de unión entre el pavimento y la terracería, para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitirlos a la terracería a niveles convenientes.

De lo anteriormente dicho, cabe mencionar que una subrasante resistente será capaz de tolerar niveles de esfuerzo relativamente altos, por lo que podrán usarse sobre ella espesores de capa reducidos, obteniendo así importantes ahorros en la inversión.

- **Deformabilidad:** tiene un planteamiento opuesto al de la resistencia estructural. Suele crecer mucho hacia abajo y la terracería es más deformable que el pavimento propiamente dicho y dentro de éste, la subrasante, capa inferior, es mucho más deformable que las capas superiores.

Desde éste punto de vista, se observa que la Deformabilidad interesa sobre todo a niveles relativamente profundos, pues es fácil que las capas superiores tengan niveles de deformación tolerables, aún para los altos esfuerzos que en ellas actúan.

En el aspecto de la Ingeniería, las deformaciones encontradas en pavimentos interesan principalmente desde los siguientes dos puntos de vista:

1. Las deformaciones excesivas se encuentren asociadas en estados de falla.



2. Tomando en cuenta que el pavimento deformado dejará de cumplir sus funciones, independientemente de que las deformaciones no hayan conducido a un colapso estructural propiamente dicho, es decir, deber cumplir tanto la condición de FALLA como la de SERVICIO.

Las cargas del tránsito producen en el pavimento principalmente dos clases de deformaciones: *las elásticas* (de recuperación en el pavimento después de cesar la causa deformadora) y *las plásticas* (bajo la carga móvil y repetida tiende a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles).

La deformación máxima permisible puede fijarse bajo dos criterios, que son:

1. La que produce la falla del camino, entendiendo por esta la condición en la que el pavimento llega a perder las características de servicio para las que fue diseñada.

2. La deformación que obligue a una reconstrucción de determinada importancia.

- **Durabilidad:** Es difícil definir cuál es la durabilidad deseada. Evidentemente está ligada a una serie de factores económicos y sociales del propio camino. En una obra sencilla la duración del pavimento puede ser mucho mayor que la del camino; por lo contrario en obras de muy alto tránsito y gran importancia económica se requerirán pavimentos muy duraderos a fin de no tener que recurrir costosas interrupciones de un tránsito importante.

Para lograr la duración deseada una vez fijada, surgen muchas incertidumbres a fin de lograrla, ya que hay que analizar el efecto del clima y del tránsito cuya influencia en la vida del pavimento no puede definirse con exactitud.

- **Costo:** Como todas las estructuras en ingeniería, un pavimento representa un balance entre la resistencia y la estabilidad esto siendo por un lado y por el otro el costo de dicha estructura.

El diseño correcto de una estructura de pavimento es cuando se llega a satisfacer los requerimientos de servicio a un costo mínimo. Para lograr el equilibrio anteriormente mencionado, se pueden seguir varias líneas de conducta, surgiendo así uno de los aspectos más inciertos y de los que se requiere mayor criterio.

La primera decisión que se debe tomar en cuenta es el tipo de pavimento a emplear, es decir, si se empleará un pavimento rígido, flexible o semi-rígido, teniendo en cuenta que cada uno tanto tiene sus ventajas como desventajas.

Los pavimentos rígidos demandan poco gasto de conservación y se deterioran poco, pero su costo de construcción es elevado y están sujetos a la resistencia de los materiales necesarios y a un equipo de construcción especializado. Existe una mayor preferencia por parte de los Ingenieros hacia el uso de pavimentos rígidos, debido a la mayor suavidad de operación que con ellos puede lograrse cuando están bien construidos y a la durabilidad ya anteriormente mencionada.

Elegido el tipo de pavimento, posteriormente se deberán seleccionar los materiales que intervendrán en la estructura. Es posible que existan en abundancia, reduciendo así el problema para elegir su selección, pero también es posible que

escaseen a tal grado que obliguen al proyecto a adaptarse a los materiales que existan.

Como último factor que interviene en la forma decisiva de los costos de una estructura de pavimento es lo relativo a las Normas de Construcción a las que han de sujetarse los diferentes materiales para cumplir con los requerimientos de un proyecto determinado.

- **Requerimientos de Conservación:** Existe una gran incertidumbre por la cantidad de planteamientos que se ponen en práctica en la realización de los pavimentos.

Los factores climáticos influyen en gran parte en la vida de los pavimentos, por lo que el proyecto ha de tomarlos en cuenta para preservarlos, a fin de dejar a la conservación una razonable tarea; sin embargo, tales factores involucran muchos elementos de estimación difícil a pesar de lo cual, ésta debe intentarse siempre, conjugando de alguna manera también la experiencia precedente de la información de las condiciones locales.

Otro factor que se analiza es la intensidad del tránsito, sabiendo así que ahora se trata de prevenir el crecimiento futuro, tanto en el número como el tipo de vehículos circulantes, ya que de lo contrario, la tarea de conservar el pavimento sería muy difícil. También es importante tomar en cuenta el factor de futuro comportamiento de las terracerías, sus deformaciones así como sus derrumbes, pues de otra manera se llegarán a grandes problemas de conservación y de

reconstrucción. El comportamiento de las terracerías se refleja en forma decisiva en los pavimentos.

Como necesidad de conservación, también se mencionan las condiciones de drenaje y subdrenaje, siendo éstos uno de los puntos más importantes para definir la vida de un pavimento.

Frecuentemente los pavimentos sufren de la falta de conservación, por lo que da como resultado su corta vida, esto sucede sobre todo invocando escasez de recursos o urgentes necesidades sociales para la construcción de obras nuevas.

- **Comodidad:** Las deformaciones longitudinales de un pavimento, pueden llegar a ser una gran incomodidad para el transeúnte, aunque desde el punto de vista estructural, no se presenta ningún peligro de falla.

Parece muy difícil llegar a proyectar con éxito los pavimentos mientras se siga concentrando la atención sólo a las capas superiores, siendo que las capas inferiores influyen siempre y frecuentemente son determinantes.

### **3.4 Esfuerzos de un pavimento rígido.**

Los esfuerzos que se generan en los pavimentos rígidos pueden ser ocasionados por las siguientes causas:

- a) Por la aplicación de carga externa.
- b) Por los cambios de la temperatura ambiente, que ocasiona alabeo.

c) Por deficiencias en el contenido de humedad de la parte superior en inferior de la losa, ocasionando igual que el anteriormente mencionado alabeo.

d) Por la fricción que se desarrolla entre la losa y la capa de sedimentación cuando la primera cambia de volumen.

e) Por los cambios volumétricos de la subrasante debido a la humedad o heladas.

f) Por la falta de continuidad del material de la capa de cimentación a causa de las deformaciones permanentes de la subrasante o el fenómeno de bombeo.

### **3.5 Fallas en pavimentos rígidos.**

A continuación se hace una descripción de los diferentes tipos de falla que se presentan en el pavimento rígido y sus causas probables:

- **Descascarado de las orillas:** se debe a la presencia de partículas duras que se introducen en las juntas por insuficiente calafateo por lo que producen concentrados de esfuerzos muy grandes.

- **Grietas transversales:** surgen en las losas demasiado largas sin pasajuntas o sin armado continuo.

- **Grietas longitudinales o transversales:** aparecen principalmente en las orillas o en las esquinas de las losas. Se debe a que la losa se construye sobre

material fino, presentándose el fenómeno de bombeo, o sea que carece de subbase, o una mala compactación de las capas inferiores.

- **Falla estructural:** cuando se termina la vida útil del pavimento, pero solo cuando se presenta una falla después de 25 años de haberse construido. Esta situación se presenta frecuentemente en calles o avenidas, que sin haberse tomado en cuenta en el proyecto, se permite el paso de numerosos vehículos pesados.

- **Descarnado de la superficie de rodamiento:** se ocasiona cuando se le proporciona un fuerte vibrado al concreto fresco, propiciando así un ascenso de la lechada (mortero fluido), formando una película dura pero delgada, que en poco tiempo y con ayuda del tránsito, se agrieta y desgasta, dejando así sin protección superficial a los agregados. Este tipo de falla también se presenta cuando la resistencia de la arena es baja.

### **3.6 Actividades de conservación en pavimentos rígidos.**

El mantenimiento de un pavimento rígido es de manera general muy simple, si es que se está bien proyectado y ejecutado, es decir, si se han relacionado en forma conveniente todos los elementos involucrados como lo son el tránsito y las resistencias de concreto, entre otros.

Las principales actividades en el mantenimiento de pavimentos rígidos, menciona el manual de Pavimentos (1993), son:

1) *Limpieza en juntas*: se presentan debido a que los productos que se utilizan para sellar las juntas longitudinales y transversales, con el tiempo se endurecen y se agrietan, es necesario que esta actividad se realice cuando menos cada tres años, extrayendo de ellos tanto el sello anterior como cualquier material extraño que se encuentre; para después sellar de nuevo con material fresco.

2) *Fenómeno de Bombeo*: se ocasiona cuando la losa se fractura al quedar sin apoyo al salir hacia el exterior el material que la sustentaba, por lo que es necesario efectuar inyecciones de mortero fluido que ocupe los huecos que se tienen; si la losa está fracturada es conveniente renivelar la zona antes de la inyección.

3) *Agrietamientos*: va de la mano con el fenómeno anterior, por lo que se realiza otro calafateo para así evitar la introducción de materias extrañas o que no penetre el agua.

4) *Losa alabeada con la concavidad hacia arriba*: cuando el efecto del gradiente de temperatura, entre las partes superior e inferior de la losa se encuentra arqueada hacia arriba, es necesario hacer un rebaje de las orillas de las losas para así nivelarlas y evitar un tránsito defectuoso a través de ellas.

Cuando el pavimento rígido presenta un fuerte descarnado de la superficie de rodamiento se puede provocar la desintegración de la losa, por lo que es necesario en este caso la construcción de una carpeta asfáltica del orden de los tres a los cinco centímetros de espesor, para así evitar que el concreto se siga deteriorando.

Por último, si un pavimento rígido se ha comportado hasta el momento de una manera adecuada; pero se prevé que en los siguientes años el tránsito será más intenso de lo previsto o se requiere aumentar la vida útil, se puede construir una sobrelosa, para lo cual es necesario asegurar bien la unión entre el concreto antiguo y el nuevo, por lo que se realiza una corrugación de la actual superficie de rodamiento, esparciendo antes del nuevo colado un aditivo especial que suelda las dos losas.



## CAPÍTULO 4

### RESUMEN EJECUTIVO DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN

El presente capítulo muestra las características tanto geológicas, geográficas, topográficas, hidrográficas, etc., sobre la zona en estudio. En forma simplificada se muestran las características físicas, así como los factores climáticos que predominan, además de una recopilación acerca de las actividades comerciales presentes, sin dejar atrás la conveniente solución a las interrogantes en estudio.

#### 4.1 Generalidades.

El Estado de Michoacán se sitúa en la parte centro - oeste de la República Mexicana, limitado al norte con los estados de Jalisco y Guanajuato, al noroeste con el estado de Querétaro, al oeste con el Océano Pacífico y los estados de Colima y Jalisco, al sur con el Océano Pacífico y el estado de Guerrero, está entre las coordenadas 20°23'27" y 17°53'50" de la latitud norte y entre 100°03'32" y 103°44'49" la longitud oeste. Ocupa una extensión superficial de 58,836.95 kilómetros cuadrados, además cuenta con 213 km. de litoral y 1,490 km. cuadrados de aguas marítimas, es lo que menciona la página de internet [www.e-local.gob.mx](http://www.e-local.gob.mx).

De acuerdo al orden alfabético, se encuentra en la posición 16 de 32 estados de los que está conformado el país. Cuenta con 113 municipios dentro de los cuales se encuentra la ciudad de Uruapan del Progreso, la cual se cataloga la segunda

ciudad con mayor número de habitantes, presentando un reporte de 264,439 habitantes.

Existe cierta discrepancia acerca del origen del término Uruapan, se maneja entre las palabras Ulhuapani y Uruapani, pero la página de internet [www.urupanmich.com](http://www.urupanmich.com) menciona que el vocablo Uruapan viene de la lengua purhépecha *Ulhupani*, que significa lugar de la eterna formación y fecundidad de los botones florales. Cabe mencionar que se le cataloga como “La capital mundial del aguacate” gracias a la gran producción anual de aguacate de calidad de exportación, así también se le menciona como el sitio donde se venera al dios príncipe de las flores.

La ciudad de Uruapan del Progreso inicialmente se asentó donde actualmente se conoce como barrio de La Magdalena siendo en el año de 1522 y en el año de 1863 llegó a ser capital del estado por causas de la invasión Francesa. En la actualidad, la ciudad sigue poblándose y va cubriendo las necesidades de los habitantes para el desarrollo tanto social como cultural, como lo son la urbanización.

La zona en estudio se localiza en la zona oriente de la ciudad de Uruapan del Progreso, es donde apenas comienza el desarrollo ya antes mencionado, no existen vialidades totalmente definidas. Dichas vialidades se encuentran sin una estructura de pavimentación y pensando en un futuro la zona anteriormente mencionada será un punto importante tomando en cuenta que se encuentra el Hospital General Regional Dr. Pedro Daniel Martínez y la Clínica 81 del I.M.S.S.

## **4.2 Objetivo y alcance del proyecto.**

El objetivo de la investigación es gracias al uso de la cal, mejorar las condiciones del subsuelo en las colonias de la zona Oriente y así obtener un mejor diseño en las capas de la estructura de un pavimento. El diseño de la investigación es experimental, teniendo un alcance exploratorio y descriptivo en cuanto a un método matemático, por lo que los beneficiados en primer lugar serán los habitantes de la zona Oriente de la ciudad de Uruapan del Progreso ya anteriormente mencionada.

La parte estudiantil dentro del área de la Ingeniería Civil es otro de los principales beneficiarios con la investigación realizada, sirviendo ésta como base para las siguientes investigaciones que tengan relación dentro de las áreas de los suelos y vialidades principalmente; así como banco de información para la biblioteca correspondiente.

## **4.3 Resumen ejecutivo.**

La zona en estudio se visita en el orden que la investigación lo vaya solicitando; para la realización de este estudio, la zona es visitado en tres ocasiones. La primera se realiza con el fin de conocer el entorno físicamente, tomándose fotografías de la zona para posteriormente ubicar los PCA que se realizaran, en la segunda visita se ubican los PCA ya mencionados y, por tercera visita y siendo la última, se realizan los PCA con el fin de saber el tipo de estructura por el que está conformado el suelos. En esta visita se obtuvieron las muestras necesarias para

llevar a cabo el análisis correspondiente en el laboratorio en lo que respecta a la mecánica de suelos en el área de vías terrestres.

Después de concluir con las diferentes pruebas en cada uno de PCA y realizando el experimento que es la mezcla del material obtenido con cal hidratada, se obtienen los resultados requeridos para plantear así un diseño de pavimento rígido. Cabe mencionar que toda la información que se está recopilando, es cuerpo de la documentación que se utilizará para la presentación de las alternativas planteadas para cumplir con el objetivo de investigación ya mencionado.

La información que se requiere en la parte teórica, es extraída de diferentes fuentes de información, principalmente de libros, manuales, normas de las dependencias que interesan en ésta área y páginas web que tienen al final .gob, .org, etc., así como el de algunas tesis relacionadas con el área de la estabilización de suelos y diseño de pavimentos rígidos.

Al tener reunidos todos los elementos necesarios que una investigación de carácter profesional solicita, ahora si se especifica una solución para la incógnita que se planteó desde el principio y que da inicio a esta investigación, mejorando así las condiciones del subsuelo y teniendo como solución un mejor diseño de pavimento rígido para la zona elegida para la investigación. En la manifestación de la información se mencionan los diferentes medios utilizados para cumplir con el objetivo de la investigación y la manera en que se llega a una solución.

#### **4.4 Entorno geográfico.**

El entorno o medio geográfico es un espacio en el que se desenvuelven los grupos humanos en su interrelación con el medio ambiente, el cual ya fue transformado de una forma considerable dentro de la ciudad de Uruapan del Progreso, por lo que ahora se tiene la necesidad de la urbanización y construcción, se han modificado los diferentes ecosistemas como lo son la flora y la fauna, siendo los más importantes dentro de la flora los bosques, los pinos y los encinos, aunque la mayoría es destinada hacia el sector de la agricultura en el aspecto de la producción de aguacate; en lo que refiere a la fauna se encuentran los conejos, las tuzas, gato montés y zorro gris.

En la actualidad el entorno geográfico de la ciudad de Uruapan del Progreso se compone primordialmente de viviendas y negocios, así como de actividades dentro de los sectores tanto industrial y de salud, éste último aledaño al sitio en estudio, la cual tiene su acceso a unos cuantos metros de la zona ya mencionada y el cual ocupan la mayoría de la población de la ciudad.

#### **4.5 Macro y microlocalización.**

La investigación tiene lugar en la ciudad de Uruapan del Progreso, el municipio se localiza al oeste del Estado, en las coordenadas 19°25' de latitud norte y 102°03' de longitud oeste, se encuentra a 1, 620 metros sobre el nivel del mar. Su distancia a la capital del Estado es de 120 kilómetros. Cuenta con una extensión de 954.17 kilómetros cuadrados representando así un 1.2% del total del Estado. Como

ya se mencionó la ciudad de Uruapan del Progreso es la segunda ciudad más importante dentro del Estado de Michoacán y el estado se encuentra ubicado al sur de la República Mexicana.

En el siguiente mapa de la República Mexicana se observa la ubicación del estado de Michoacán y así se logra obtener una mejor apreciación de la zona en estudio.



Imagen 4.1. Ubicación de Michoacán dentro de la República Mexicana  
Fuente: [www.moreliamichoacanuphm.com](http://www.moreliamichoacanuphm.com) (2011)

Ya que se ubicó el estado de Michoacán dentro de la República y posteriormente la ciudad dentro del estado de Michoacán, se sigue con la ubicación geográfica de la ciudad de Uruapan, que por medio de la imagen 4.2 se da a conocer su ubicación y colindancia con los diferentes municipios.



Imagen 4.2. Ubicación de Uruapan dentro del estado de Michoacán.  
Fuente: [www.google.com](http://www.google.com) (2011)

#### 4.5.1 Microlocalización.

La imagen 4.3 muestra la Macrolocalización de la ciudad de Uruapan del Progreso, la cual está situada en la vertiente sur de la sierra de Uruapan, prolongación de la de Apatzingán, formando parte del eje volcánico.



Imagen 4.3. Macrolocalización del Municipio de Uruapan del Progreso.  
Fuente: Google Earth (2011).

#### **4.5.2 Microlocalización.**

El lugar en estudio se encuentra situado en la zona Oriente de la ciudad de Uruapan del Progreso, por la carretera Uruapan-Playa Azul. La ubicación geográfica de la zona en tesis queda comprendida en las coordenadas 19°23'11.98" de latitud Norte y 102°01'21.91" de longitud Oeste. Limita al norte con el Hospital General Regional Dr. Pedro Daniel Martínez y propiedades privadas, al oeste con el Fraccionamiento Valle Real, al este con la Planta de Tratamiento "Santa Bárbara" y al sur con propiedad privada. La imagen 4.4 muestra la ubicación de la zona en estudio.



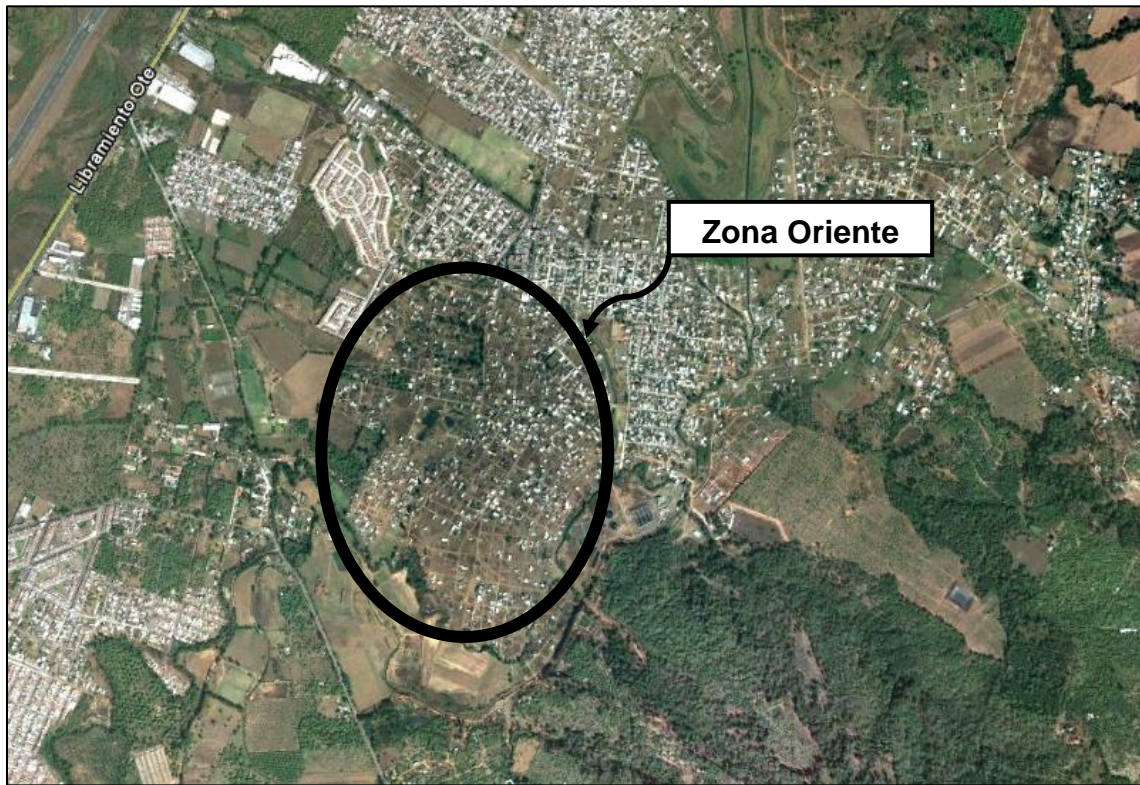


Imagen 4.4. Microlocalización de la zona oriente de la ciudad de Uruapan.  
Fuente: Google Earth (2011)

#### **4.6 Características del suelo de la zona de estudio.**

Los suelos del municipio datan principalmente del periodo cuaternario, aunque en algunas zonas pequeñas sobresalen del periodo cenozoico, terciario y eoceno, corresponden principalmente a los del tipo Podzólico. Su uso es primordialmente forestal y en menor proporción agrícola y ganadero.

#### 4.6.1 Topografía.

La topografía de la ciudad de Uruapan es muy inconstante, al norte de la ciudad se cuentan con unas pendientes muy pronunciadas, las conforman los cerros “De La Cruz” y el “De La Charanda” como se puede ver en la imagen 4.5, en la zona centro el terreno es más plano, así como en la zona sur-poniente, solamente que en esta zona existe el cerro de “Jicalán”; de la zona poniente solo se puede mencionar el cerro llamado “El Chino”, el cual ya se encuentra ubicado muy cerca de la población de San Juan Nuevo.

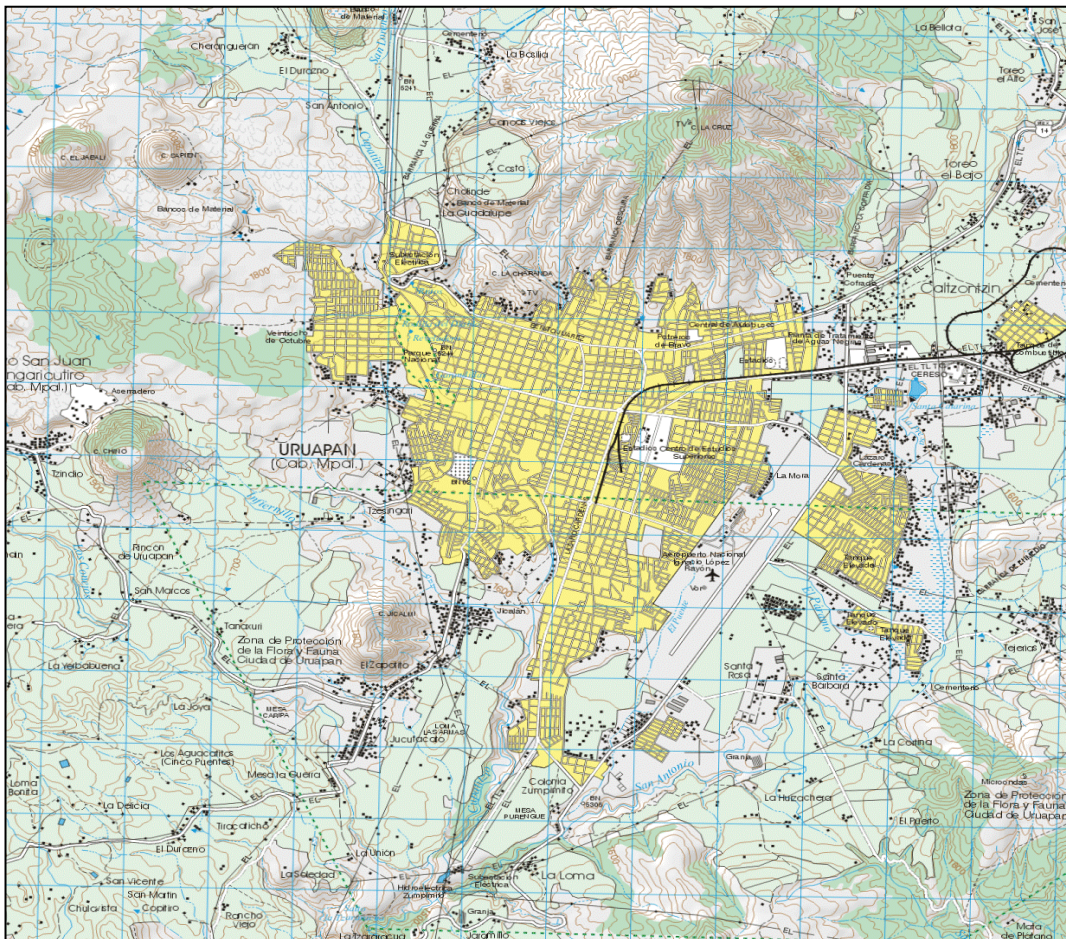


Imagen 4.5. Carta Topográfica de la ciudad de Uruapan esc. 1:50 000  
Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

#### 4.6.2 Hidrografía.

La página de internet [www.urupan.gob.mx](http://www.urupan.gob.mx) expone que, la hidrografía se constituye en primer lugar por el río Cupatitzio (río más importante del occidente del estado de Michoacán), que nace en el interior de la ciudad, dentro del Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, se considera una de las principales arterias ya que abastece a la mayoría de población, dando también un gran desarrollo agrícola y exuberante vegetación. Le sigue la presa Caltzontzin también llamada presa de Santa Catarina las cuales forman parte de la cuenca del río Tepalcatepec y éstas a su vez forman parte de la hidrografías del río Balsas.

Por último la cascada conocida como La Tzaráracua, ubicado al sur de Uruapan del Progreso, se le llama río abajo, es una extraordinaria cascada que está rodeada de frondosa vegetación. La imagen 4.6 muestra la zona hidrológica a la que pertenece la ciudad.



Imagen 4.6. Zona hidrológica a la que pertenece la ciudad de Uruapan. Fuente Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

### 4.6.3 Geotecnia.

La geotecnia es la rama de la geología que trata de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de los materiales naturales -como las rocas- que constituyen la corteza terrestre implicados en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería civil, como autopistas, vías férreas, puentes, presas, oleoductos, acueductos, unidades habitacionales, sitios de confinamiento y edificios en general.

La Ciudad de Uruapan, Michoacán está conformada por una cobertura volcánica, teniendo Andesita – Basalto de la época cuaternaria, teniendo como símbolo TplQpt – A – B como se muestra en la imagen 4.7.

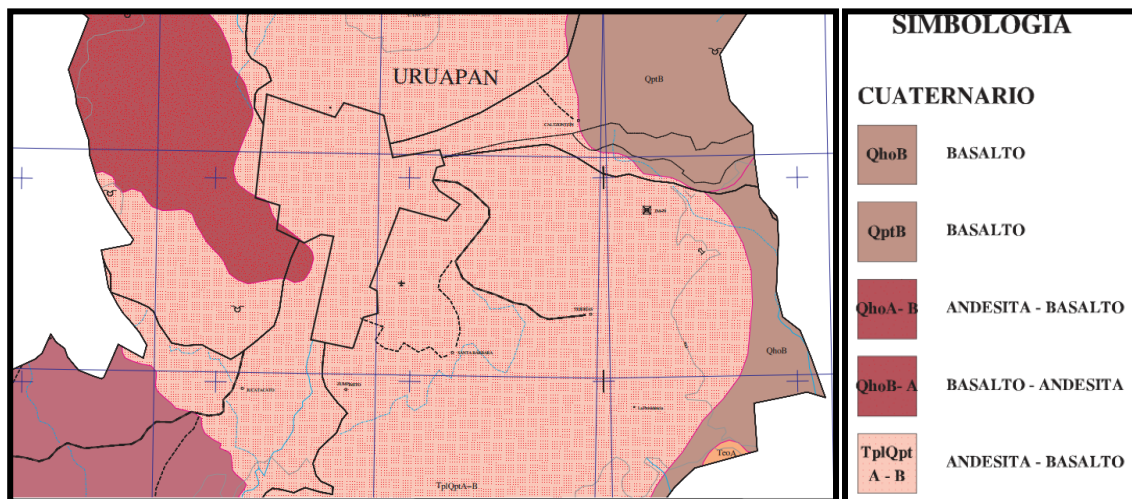


Imagen 4.7. Carta Geológica del Municipio de Uruapan, Michoacán.  
Fuente: Servicio Geológico Mexicano (SGM).

#### 4.6.4 Clima.

De la misma forma el sitio web [www.urupan.gob.mx](http://www.urupan.gob.mx) describe que el clima de la ciudad de Uruapan del Progreso es templado subhúmedo y tropical con lluvias en verano. En cuanto a la precipitación anual, tiene una presentación de 1,759.3 mm. La temperatura promedio anual de la zona en la parte norte va de 12 a 16°C, en la parte central de 20 a 24°C y en la parte sur de 24 a 28°C. En la imagen 4.8 se ve más claramente lo anteriormente mencionado.

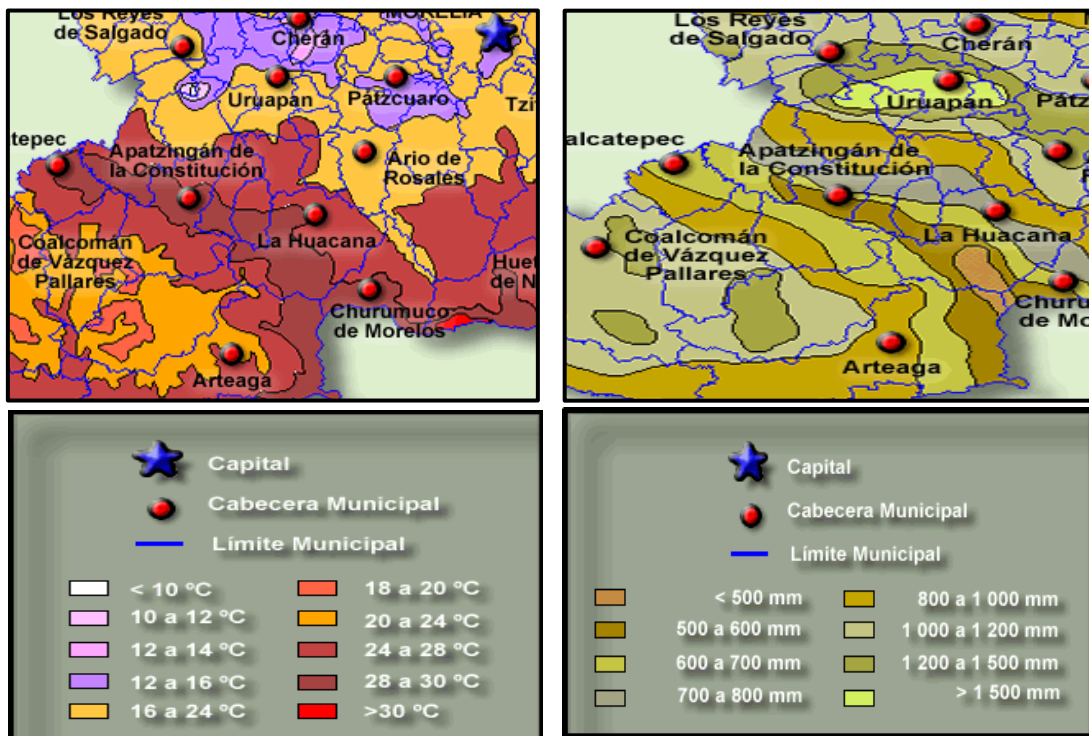


Imagen 4.8. Clasificación de las diferentes temperaturas e intensidades de lluvia anual respectivamente.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

## CAPÍTULO 5

### METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se explicará la organización que se empleó para realizar la presente investigación, de manera importante se deben definir bien los pasos que se emplearan, por lo que es fundamental para poder cumplir con los alcances y así expresar lo que se quiere lograr, investigando el método más apropiado para lograr el objetivo esperado.

#### 5.1 Método empleado.

La frase método de investigación se define como una especie de brújula en la que no se produce automáticamente el saber, pero que evita perdernos en el caos aparente de los fenómenos, aunque solo sea porque nos indica como no plantear los problemas y como no morir en el embrujo de nuestros prejuicios predilectos.

El método empleado en la presente investigación es el *método científico*; la página de internet [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) lo define como una secuencia estándar para formular y responder a una pregunta.

Esta investigación se basa en el *método matemático*, ya que en dicha investigación se comparan cantidades en todos los casos, los cuales hacemos comúnmente para darnos cuenta del valor de todos los fenómenos que nos afectan. Aquí se utilizará para poder darnos cuenta de las propiedades de cada tipo de suelo existente en la zona de estudio y así buscar la mejor solución de estabilización por

medio de la cal, pero para realizar lo anteriormente mencionado se requiere saber hacer experimentos para lograr el objetivo que se planteó al principio de esta tesis.

## 5.2 Enfoque de la investigación.

El enfoque de la presente investigación, para Hernández Sampieri (2006) es de carácter cuantitativo, ya que usa la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, así como las teorías, teniendo un proceso secuencial y probatorio, por lo que cada etapa precede a la siguiente y no se pueden brincar pasos, cumpliendo con el orden riguroso, como lo muestra la figura 5.1.

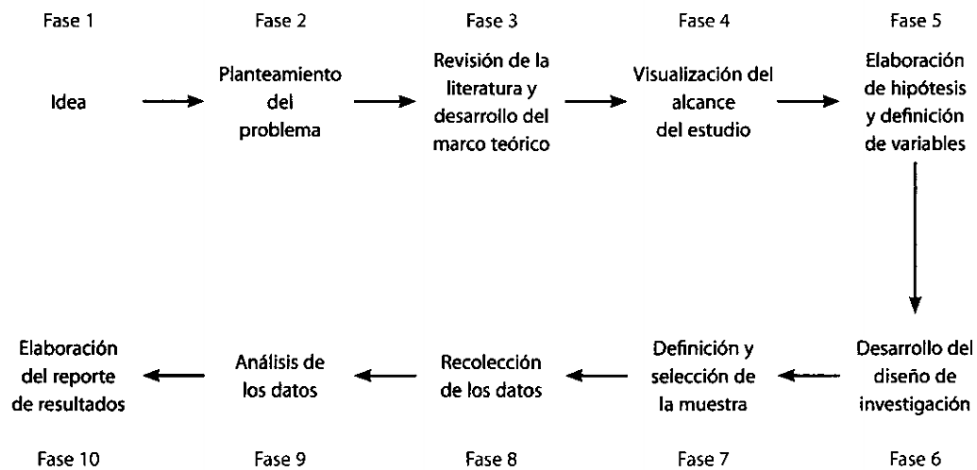


Fig. 5.1 El proceso cuantitativo: Hernández Sampieri, (2006), pág. 23.

De la misma forma Hernández Sampieri (2006) menciona que, la investigación cuantitativa debe ser lo más “objetiva” posible. Los fenómenos que se observan y/o miden no deben ser afectados de ninguna forma por el investigador. Éste debe evitar

que sus temores, creencias, deseos y tendencias influyan en los resultados del estudio o interfieran en los procesos.

La lógica o también llamado razonamiento deductivo se utiliza en este enfoque, por lo que se comienza con la teoría y de ésta se derivan expresiones lógicas nombradas hipótesis, las cuales el investigador busca someter a prueba.

Debido a que los datos son resultado de mediciones, éstos se representan mediante números y por consiguiente se deben analizar a través de métodos estadísticos, más claramente dicho, las mediciones se transforman en valores numéricos denominados datos cuantificables, los cuales se analizaran por medio de la estadística.

### **5.2.1 Alcance de la investigación.**

Una vez decidida la realización del trabajo de investigación, se deben visualizar el objetivo tanto general como secundario que se pretenden alcanzar con este estudio.

Para Hernández Sampieri (2006), al comienzo de cualquier investigación surge necesariamente la pregunta: ¿de qué depende que nuestro estudio se inicie como exploratorio, descriptivo, correccional o explicativo? La respuesta depende fundamentalmente de dos factores: el primero es el estado del conocimiento sobre el problema de investigación, mostrado por la revisión de la literatura, y el segundo es la perspectiva que se pretenda a estudiar.



Por lo que para esta investigación se realizan los estudios exploratorios y descriptivos; los *exploratorios* estos esencialmente se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación muy poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o definitivamente no se ha abordado con anterioridad. Los estudios exploratorios son como realizar un viaje a un sitio desconocido, donde no se ha visto ni conoce nada, simplemente alguien hizo un breve comentario sobre dicho lugar, por otro lado los *descriptivos* solo buscar especificar tanto las características, las propiedades y los perfiles de grupos procesos o cualquier otro fenómeno que tenga que ser sometido a un análisis, seleccionando así una serie de preguntas, recabando la información necesaria para poder describir lo que se investiga.

“Los estudios exploratorios sirven para familiarizarnos con fenómenos relativamente desconocidos, obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa respecto de un contexto particular, investigar nuevos problemas, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones futuras, o sugerir afirmaciones y postulados” (Hernández Sampieri, 2006, 101).

Ahora, “los estudios descriptivos únicamente pretenden medir o recoger la información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren” (Hernández Sampieri, 2006, 102).

### **5.3 Diseño de la investigación.**

El diseño de la presente investigación se encuentra encasillada con el nombre de experimental ya que la teoría no puede ser tratada como puramente teórica, la regla básica es observar y enfrentar el problema mediante la experimentación.

La página de internet [www.dieumsnh.qfb.umich.mx](http://www.dieumsnh.qfb.umich.mx) (2011) menciona que los estudios de una tesis basada en el diseño experimental, rara vez ha de realizarse en la casa, y nunca contar con metodologías improvisadas.

Hablar de “experimentar”, se refiere por ejemplo, al momento cuando mezclamos sustancias químicas y se ve claramente la reacción provocada. La esencia fundamentalmente de la experimentación, es que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados.

Creswell (2005), denomina a los experimentos como los estudios de intervención, porque un investigador genera una situación para tratar de explicar cómo afecta a quienes participan en ella en comparación con quienes no lo hacen, es decir, los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula.

Un experimento se lleva a cabo para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes y por qué lo hacen. Ahora, se simplificará el problema de estudio a una variable independiente y una dependiente. Christensen (2000), dice que la independiente resulta de interés para el investigador, ya que hipotéticamente será una de las causas que producen el efecto supuesto.

#### **5.4 Instrumentos de recopilación de información.**

Una vez explicado el diseño, alcance y enfoque de la investigación apropiados con el problema de estudio, la siguiente etapa consiste en la recopilación de datos pertinentes involucrados en la investigación.

Dicha recopilación de datos se define como el uso de técnicas e instrumentos para recopilar información acerca de un determinado tema que es objeto de investigación, siendo así una de las tareas más importantes. Para la elaboración de esta investigación, se realizan diferentes técnicas de recopilación, siendo estas la entrevista con especialistas en el tema, pruebas de laboratorio y la observación en campo.

La entrevista es una forma de obtener información de forma verbal, a través de preguntas; los entrevistados como ya se mencionó, deben ser personas que se encuentren relacionadas con el tema. El entrevistador debe preparar las preguntas a plantearse ya sean abiertas o cerradas, de acuerdo a su criterio solicita detalles y circunstancias de las experiencias.

Las pruebas de laboratorio se realizan con el fin de conocer la cantidad exacta de cal que se colocará en los diferentes tipos de suelo, determinados por su clasificación granulométrica, humedad, valor relativo de soporte, entre otras; se realizan tal y como lo indican las Normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), éstas se calculan y se entregan a las autoridades correspondientes.

La página de internet [www.mitecnologico.com](http://www.mitecnologico.com) define a la observación en campo como la observación *in situ*, ya que se realiza en el propio sitio donde se encuentra el material a estudiar. Este método permite que el investigador maneje los datos con más seguridad, soportándolos con exploraciones del lugar; para posteriormente realizar la descripción y los experimentos planeados, creando así una situación de control.

Los instrumentos que ya se dijeron son los más importantes dentro de esta investigación. Sin embargo, en la actualidad y con los avances tecnológicos seremos testigos de las nuevas técnicas o mejor dicho de las técnicas ya utilizadas con algún equipo moderno para la recolección de datos.

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

Este proyecto de investigación el cual es estabilizar los suelos con cal hidratada para uso en pavimentos rígidos de la zona Oriente de la Ciudad de Uruapan del Progreso, se tiene el terreno natural como elemento principal, el cual se mezclará con cal en el laboratorio y realizar las pruebas correspondientes marcadas en la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), en éste proyecto se realiza uno o dos PCA por colonia afectada llevándose posteriormente al laboratorio como ya se mencionó y así obtener los valores correspondientes para posteriormente realizar un diseño de pavimento adecuado y poco costoso.

El procedimiento que a continuación se menciona fue de la manera en que se elaboró la investigación:

En primer lugar se llevó a cabo la recopilación de datos, en base a la observación, esto con el fin de registrar las características físicas de la zona en estudio, tomando en cuenta los componentes de suelo existentes principalmente, así como las distribuciones y ubicación de las calles con mayor afectación en lo que representa a las inundaciones por lo que se obtuvo un gran archivo fotográfico.

A continuación se realizó la exploración de los PCA a una profundidad de 1.50 metros, con el objetivo de extraer el material necesario para posteriormente llevarlo al laboratorio. Encontrándose ya el material en el laboratorio, se llevaron a cabo las pruebas de laboratorio, de las cuales se obtuvo tanto su identificación y clasificación del suelo con las pruebas de granulometría y límites de consistencia o de Atterberg, así como su peso volumétrico seco máximo (PVSM) y valor relativo de soporte (VRS), esto con la finalidad de tener ese valor para comenzar con las mezclas con diferentes porcentajes de cal.

Al realizar la mezcla de los diferentes materiales con la cal, se realiza de nuevo la prueba del valor relativo de soporte (VRS), teniendo como resultado un valor más alto, el cual se compara con las Normas que establece la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y se verifica que cumpla con lo especificado.

A la par con lo anteriormente descrito, se realiza la entrevista con el M en I. Esteban Brito Chávez, siendo el administrador único de la empresa que lleva su nombre y que es conocida como “Ingeniería de Suelos, Diseño Estructural,

Control de Calidad y Construcciones” (ISDECON), respondió cada una de las preguntas establecidas en los objetivos que se procuran realizar en el proceso del experimento; así mismo dio su punto de vista y comentó los diferentes alcances de la investigación.

Por último, al tener ya recopilada la información, se procede al diseño de una estructura de pavimento con la ayuda de los resultados obtenidos en laboratorio, unas hojas de cálculo y de un software para la elaboración de planos.

El diseño de pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores como lo son: tráfico, drenaje, clima, características de suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera se realiza mediante el Método AASTHO, donde considera todos estos factores para predecir un comportamiento confiable de la estructura de pavimento y así evitar que el daño de pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

## **CAPÍTULO 6**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS Y**

### **DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO**

El presente capítulo se refiere al proyecto de estabilización de suelos ya sea arcilloso o limoso, en este caso ubicado en la zona Oriente de la ciudad de Uruapan del Progreso, dentro del estado de Michoacán.

El desarrollo de este trabajo de investigación tiene como objetivo mejorar las condiciones del subsuelo de las colonias mencionadas de la zona Oriente para construir en un futuro estructuras de pavimento con la optimización de materiales y con costos adecuados, además de asegurar la vida útil de los mismos.

#### **6.1 Exploración y muestreo.**

Los trabajos de exploración y muestreo en la zona Oriente, se realizaron empleando una retroexcavadora mecánica, pala, hachazuela y costales. Se hicieron dieciséis pozos a cielo abierto (PCA) de 1.50 m. x 1.50 m. y una profundidad de 0.00 a 1.80 – 2.00 m.

Cabe mencionar que la retroexcavadora así como los consumibles de ésta fue proporcionada por el H. Ayuntamiento de Uruapan, Michoacán (2008-2011) mediante una solicitud de apoyo para investigación realizada por el Colegio Michoacano de Ingenieros Civiles A. C. teniendo como Presidente CMIC. (2010-2012) al M. en I. Esteban Brito Chávez, dicha solicitud se encuentra en el Anexo 1 de este proyecto.

En las tablas que a continuación se muestran se presentan las diferentes profundidades y estratigrafías encontradas en los PCA:

Sondeo	Calle:	Guanajuato	Capa de:	Ensaye: 1		Sondeo	Calle:	Ahuehuate	Capa de:	Ensaye: 2	
				Color:	Espesor (cm):					Color:	Espesor (cm):
1	Colonia:	Popular La Laguna	Material Vegetal	-	-	2	Colonia:	Bosques del Oriente	Vegetal	-	-
			Material Fino	Café Oscuro	100.0				Material Fino	Café Oscuro	110.0
			Material Fino	Café	80.0				Material Fino	Café	80.0
Sondeo	Calle:	Neptuno	Capa de:	Ensaye: 3		Sondeo	Calle:	Lago de Pátzcuaro	Capa de:	Ensaye: 4	
				Color:	Espesor (cm):					Color:	Espesor (cm):
3	Colonia:	Amp. Planetario	Vegetal	-	-	4	Colonia:	Laguna del Ahogado	Vegetal	-	-
			Material Fino	Café Oscuro	110.0				Material Fino	Café Oscuro	100.0
			Material Fino	Café	80.0				Material Fino	Café	70.0
Sondeo	Calle:	-	Capa de:	Ensaye: 5		Sondeo	Calle:	Jupiter	Capa de:	Ensaye: 6	
				Color:	Espesor (cm):					Color:	Espesor (cm):
5	Colonia:	Laguna del Ahogado		-	-	6	Colonia:	Planetario	Vegetal	-	-
				-	-				Material Fino	Café Oscuro	100.0
				-	-				Material Fino	Café	70.0
Sondeo	Calle:	Venus	Capa de:	Ensaye: 7		Sondeo	Calle:	Venustiano Carranza	Capa de:	Ensaye: 8	
				Color:	Espesor (cm):					Color:	Espesor (cm):
7	Colonia:	Planetario	Vegetal	-	-	8	Colonia:	Predio Calderón	Material Fino	Café Oscuro	80.0
			Material Fino	Café Oscuro	160.0				Material Fino	Café	100.0

Tabla 6.1. Estratigrafías y profundidades de los PCA.

Fuente: Propia.



Sondeo	Calle:	Colonia:	Capa de:	Ensaye:		Sondeo	Calle:	Colonia:	Capa de:	Ensaye:	
				Color:	Espesor (cm):					Color:	Espesor (cm):
9	Francisco Villa	10 de Abril	Vegetal	-	-	10	S/N	Las Casuarinas	Vegetal	-	-
			Arena	Negro	50.0				Material Fino	Café Oscuro	110.0
			Material Fino	Café Oscuro	100.0				Material Fino	Café	50.0
11	C. Viejo a Sta. Rosa	Laguna del Ahogad	Vegetal	-	-	12	Gabriel Zapata	Zapatista	Vegetal	-	-
			Material Fino	Café Oscuro	150.0				Material Fino	Gris Oscuro	45.0
13	Tulipan	Amp. Zapatista	Vegetal	-	-	14	Lago de Moreno	Laguna del Ahogad	Vegetal	-	-
			Material Fino	Café Oscuro	110.0				Material Fino	Café Oscuro	80.0
			Material Fino	Café	80.0				Material Fino	Café	60.0
15	J. Guadalupe Mtz.	Clara Córdoba	Vegetal	-	-	16	Lago de Zirahuen	San Luis	Vegetal	-	-
			Material Fino	Café Oscuro	100.0				Material Fino	Café Oscuro	90.0

Tabla 6.2. Estratigrafías y profundidades de los PCA.

Fuente: Propia.

### 6.1.1 Programa de trabajos de campo

Para realizar los trabajos establecidos como los son el reconocimiento y la exploración y muestreo se estipula un programa de actividades, esto con el fin de planificar y realizar en un periodo establecido dichos trabajos, a continuación se presenta el programa (tabla 6.3) que se ejecuta con esta.

FECHA DE ELABORACIÓN: AGOSTO DEL 2011			<b>ZONA ORIENTE DE URUAPAN</b>					
ACTIVIDADES			SEPTIEMBRE 2011					
			19	20	21	22	23	24
1	<b>RECONOCIMIENTO Y UBICACIÓN DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO</b>	reconocimiento						
		ubicación						
		permisos						
2	<b>MUESTREO DE POZOS A CIELO ABIERTO (PCA)</b>	PCA del 1 al 6						
		PCA del 7 al 11						
		PCA del 8 al 16						

Tabla 6.3. Programa de trabajos de campo.

Fuente: Propia.

## 6.1.2 Reporte fotográfico.



Fotografía 6.1. Ubicación de sondeos.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.2. Elaboración de PCA  
con maquinaria.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.3. Ubicación de sondeos  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.4. Estratos encontrados.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.5. Medición de estratos  
encontrados en los PCA.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.6. Muestreo del material  
encontrado en un PCA.  
Fuente: Propia.

## 6.2 Programa de ensayos de laboratorio.

Para realizar el estudio de la zona Oriente de los diferentes tipos de suelos, el programa de ensayos contempla las siguientes pruebas de laboratorio (tabla 6.4):

- Contenido de Agua: esta prueba se realiza con el fin de obtener una idea cualitativa de su consistencia o de su probable comportamiento. Consiste en secar una muestra del material en el horno y determinar el porcentaje de la masa del agua, con relación a la masa de los sólidos.
- Análisis granulométrico: permite determinar la composición por tamaños de las partículas que integran los materiales empleados, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas. El paso del material se hace primero a través de las mallas con la abertura más grande, hasta llegar a las más cerradas, de tal forma que los tamaños mayores se van reteniendo, para así obtener la masa que se retiene en cada malla, calcular su porcentaje respecto al total y determinar el porcentaje de la masa que pasa.
- Límites de Atterberg o de consistencia: estas pruebas permiten conocer las características de plasticidad de la porción de los materiales que pasan por la malla N° 40 (0.425 mm), cuyos resultados se utilizan principalmente para la identificación y clasificación de los suelos. Consisten en determinar, el límite líquido, el límite plástico y el índice plástico.
- Peso volumétrico seco suelto (PVSS): consiste en obtener la relación entre la masa de los sólidos del material y el volumen total del mismo.

- Peso volumétrico seco máximo (PVSM) y contenido de agua óptimo: permiten determinar la curva de compactación de los materiales y a partir de ésta inferir su masa volumétrica seca máxima y su contenido de agua óptimo. Consisten en determinar las masas volumétricas secas de un material compactado con diferentes contenidos de agua, mediante la aplicación de una misma energía de compactación en prueba dinámica y, graficando los puntos correspondientes a cada determinación, trazar la curva de compactación del material.
- Valor Relativo de Soporte (VRS): consiste en compactar dinámicamente tres especímenes del material bajo estudio, con diferentes energías de compactación y un contenido de agua igual al del material en el banco a 1.5 m de profundidad; someter a cada espécimen a un proceso de saturación para obtener su cambio volumétrico, y una vez saturado, introducir en él un pisón de penetración de acero, con el propósito de cuantificar las cargas necesarias para lograr magnitudes de penetración específicas.
- Valor Cementante: la prueba consiste en tamizar el material a través de la malla no. 4 para obtener una muestra de unos 3 kg., posteriormente se adiciona agua hasta alcanzar su humedad óptima de compactación y se manipula hasta lograr una repartición uniforme. Se divide en tres porciones el material preparado. Se toman muestras para hacer la prueba por triplicado. Se compacta el material en tres capas aplicando a cada capa 15 golpes con la varilla dejándola caer de una altura de 50 cm. con esto se formara un espécimen cubica. Después los moldes se colocan en el horno a una temperatura de 40 °C durante 12 horas. Se sacan los especímenes del



## 6.2.1 Reporte fotográfico.



Fotografía 6.7. Acomodo del material extraído de los PCA.

Fuente: Propia.



Fotografía 6.8. Preparación del material para inicio de análisis.

Fuente: Propia.



Fotografía 6.9. Disgregación del material muestreado.

Fuente: Propia.



Fotografía 6.10. Material obtenido del cuarteo.

Fuente: Propia.



Fotografía 6.11. Equipo y realización de prueba Proctor.

Fuente: Propia.



Fotografía 6.12 Distribución de agua al material para proporcionarle la humedad óptima.

Fuente: Propia.



Fotografía 6.13. Obtención del material necesario para realizar el análisis.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.14. Colocación de moldes para la realización de Prueba Porter.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.15. Realización de la prueba Porter.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.16. Prueba Valor Relativo de Soporte.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.17. Colocación de equipo para determinar la Expansión el material.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.18. Determinación de la Expansión del material.  
Fuente: Propia.





Fotografía 6.19. Inmersión de material después de la prueba Valor Relativo de Soporte (VRS).  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.20. Equipo de Valor Cementante.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.21. Desmoldado de cubos de material en condición natural.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.22. Colocación y tronado de cubos en la prensa.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.23. Supervisión por parte de la empresa Esteban Brito Chávez.  
Fuente: Propia.



Fotografía 6.24. Suministro del 2% de cal hidratada al material y tronado de cubo ya estabilizado.  
Fuente: Propia.

### 6.3 Resultados geotécnicos de la investigación.

Los resultados obtenidos y la ubicación de los PCA realizados en la zona Oriente son los que se muestran a continuación en las tablas de concentrado de resultados así como en la imagen 6.25.



Imagen 6.25. Ubicación de los pozos a cielo abierto.  
Fuente: Google Earth (2011).

SONDEO		UNO	DOS	TRES						
ESTRATO		UNO	UNO	UNO						
Datos	Prof.(m):	0.00 a 1.00	0.00 a 1.10	0.00 a 1.10						
	Descripción visual del suelo:	Material fino de tipo limoso color café oscuro	Material fino de tipo limoso color café oscuro	Material fino de tipo limoso color café oscuro						
	N.A.F.	-	-	-						
<b>PRUEBAS REALIZADAS</b>										
<b>Granulometría</b>										
Peso Volumétrico Seco Suelto (ton/m³)		0.731	0.647	0.725						
% Sobretamaños > 3" (7.5 cm)		0.00	0.00	0.00						
% Gravas	Pasa 2" y retenido en malla No. 4	0.00	0.00	0.00						
% Arenas	Pasa malla No. 4 y retenido en malla No. 200	6.70	9.00	9.10						
% Finos	Pasa malla No. 200	93.30	91.00	90.90						
<b>CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA</b>		Material Fino	Material Fino	Material Fino						
<b>Límites de Atterberg o de Consistencia</b>										
Humedad natural (%)		76.21	100	95.69						
Límite Líquido (%)		53.00	51.50	70.50						
Límite Plástico (%)		37.56	41.77	42.34						
Índice Plástico (%)		15.44	9.73	28.16						
Contracción Lineal (%)		1.80	1.89	1.40						
Clasificación Límites		MH	MH	MH						
<b>DESCRIPCIÓN SUCS</b>		Limo inorgánico de alta compresibilidad	Limo inorgánico de alta compresibilidad	Limo inorgánico de alta compresibilidad						
<b>Peso Volumétrico Seco Máximo (Aastho Estándar)</b>										
Peso Volumétrico Seco Máximo (kg/m³)		835.00	805.00	845.00						
Humedad Óptima (%)		61.00	57.00	64.00						
<b>Valor Relativo de Soporte (V.R.S.)</b>										
Valor Relativo de Soporte (%)		27.41	21.75	40.09						
Valor Relativo de Soporte (Saturado por 24 hr.) (%)		5.45	5.00	7.71						
Expansión (Saturado por 24, 48 y 72 hr.) (%)		2.02	3.93	4.13	1.68	2.87	4.06	1.67	3.26	4.05
<b>Valor Cementante</b>										
Valor cementante (kg/cm²)		3.02	2.11	3.91						

<b>SONDEO</b>		<b>CUATRO</b>			<b>SEIS</b>			<b>SIETE</b>		
<b>ESTRATO</b>		<b>UNO</b>			<b>UNO</b>			<b>UNO</b>		
<b>Datos</b>	Prof.(m):	0.00 a 1.00			0.00 a 1.00			0.00 a 1.60		
	Descripción visual del suelo:	Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro		
	N.A.F.	-			-			-		
<b>PRUEBAS REALIZADAS</b>										
<b>Granulometría</b>										
Peso Volumétrico Seco Suelto (ton/m³)		0.716			0.716			0.645		
% Sobretamaños > 3" (7.5 cm)		0.00			0.00			0.00		
% Gravas	Pasa 2" y retenido en malla No. 4	0.00			0.00			0.00		
% Arenas	Pasa malla No. 4 y retenido en malla No. 200	7.20			7.60			10.40		
% Finos	Pasa malla No. 200	92.80			92.40			89.60		
<b>CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA</b>		Material Fino			Material Fino			Material Fino		
<b>Límites de Atterberg o de Consistencia</b>										
Humedad natural (%)		74.98			81.16			102.87		
Límite Líquido (%)		52.50			51.00			76.00		
Límite Plástico (%)		42.37			41.61			40.69		
Índice Plástico (%)		10.13			9.39			35.31		
Contracción Lineal (%)		1.20			1.20			2.80		
Clasificación Límites		MH			MH			MH		
<b>DESCRIPCIÓN SUCS</b>		Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad		
<b>Peso Volumétrico Seco Máximo (Aastho Estándar)</b>										
Peso Volumétrico Seco Máximo (kg/m³)		826.00			800.00			845.00		
Humedad Óptima (%)		63.00			54.50			56.50		
<b>Valor Relativo de Soporte (V.R.S.)</b>										
Valor Relativo de Soporte (%)		21.63			19.64			30.58		
Valor Relativo de Soporte (Saturado por 24 hr.) (%)		4.92			4.79			6.13		
Expansión (Saturado por 24, 48 y 72 hr.) (%)		1.67	3.11	4.04	1.66	2.69	4.04	2.55	5.59	5.69
<b>Valor Cementante</b>										
Valor cementante (kg/cm²)		2.28			1.97			3.66		

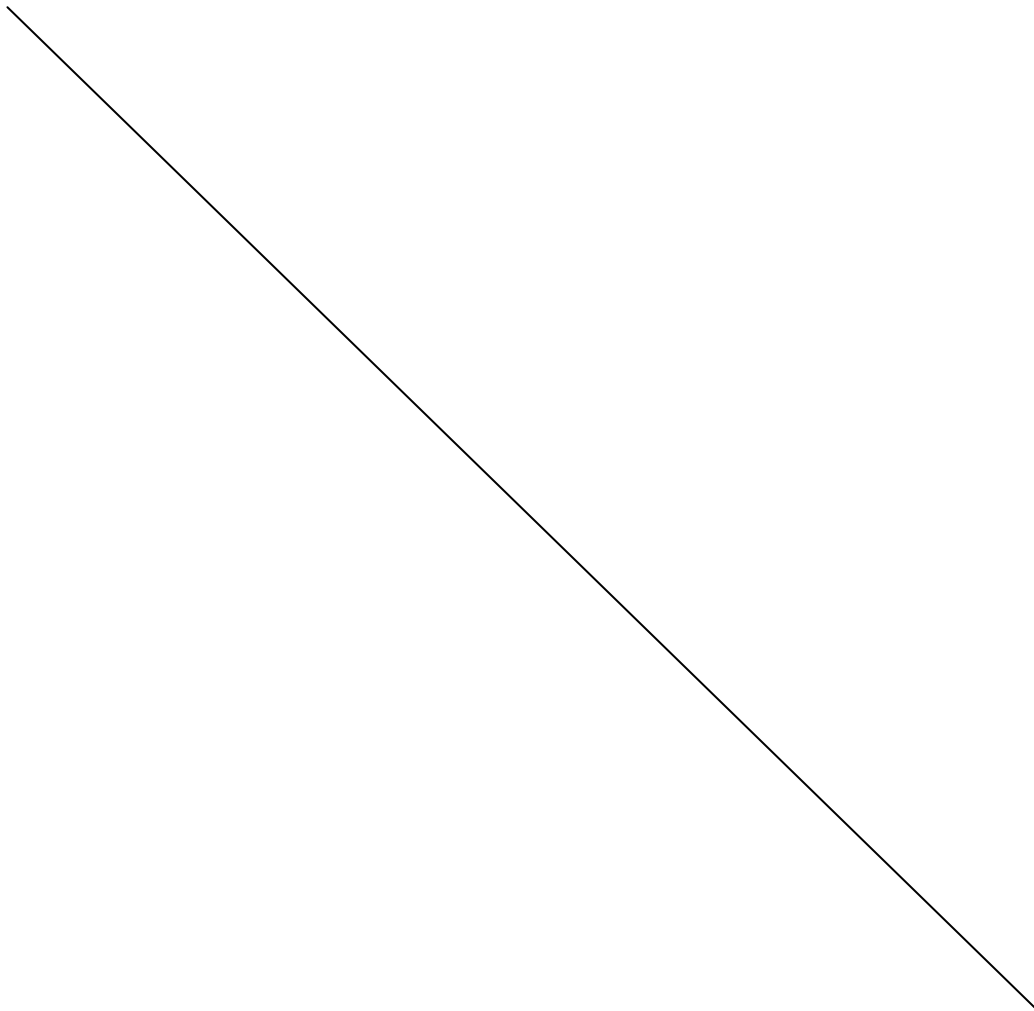
<b>SONDEO</b>		<b>OCHO</b>			<b>NUEVE</b>			<b>DIEZ</b>		
<b>ESTRATO</b>		<b>UNO</b>			<b>DOS</b>			<b>UNO</b>		
<b>Datos</b>	Prof.(m):	0.00 a 0.80			0.50 a 1.00			0.00 a 1.10		
	Descripción visual del suelo:	Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro		
	N.A.F.	-			SI			-		
<b>PRUEBAS REALIZADAS</b>										
<b>Granulometría</b>										
Peso Volumétrico Seco Suelto (ton/m³)		0.721			0.673			0.689		
% Sobretamaños > 3" (7.5 cm)		0.00			0.00			0.00		
% Gravas	Pasa 2" y retenido en malla No. 4	0.00			0.00			0.00		
% Arenas	Pasa malla No. 4 y retenido en malla No. 200	9.70			29.50			13.30		
% Finos	Pasa malla No. 200	90.30			70.50			86.70		
<b>CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA</b>		Material Fino			Material Fino			Material Fino		
<b>Límites de Atterberg o de Consistencia</b>										
Humedad natural (%)		98.41			108.55			85.87		
Límite Líquido (%)		79.00			69.00			59.50		
Límite Plástico (%)		38.34			54.10			39.80		
Índice Plástico (%)		40.66			14.90			19.70		
Contracción Lineal (%)		3.73			1.21			1.50		
Clasificación Límites		MH			MH			MH		
<b>DESCRIPCIÓN SUCS</b>		Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad		
<b>Peso Volumétrico Seco Máximo (Aastho Estándar)</b>										
Peso Volumétrico Seco Máximo (kg/m³)		843.00			831.00			828.00		
Humedad Óptima (%)		54.50			63.00			63.00		
<b>Valor Relativo de Soporte (V.R.S.)</b>										
Valor Relativo de Soporte (%)		32.42			25.7			28.13		
Valor Relativo de Soporte (Saturado por 24 hr.) (%)		6.52			4.96			5.62		
Expansión (Saturado por 24, 48 y 72 hr.) (%)		2.47	4.97	5.32	1.96	3.25	3.97	1.99	3.49	4.01
<b>Valor Cementante</b>										
Valor cementante (kg/cm2)		3.71			3.16			2.10		

<b>SONDEO</b>		<b>ONCE</b>			<b>DOCE</b>			<b>TRECE</b>		
<b>ESTRATO</b>		<b>UNO</b>			<b>DOS</b>			<b>UNO</b>		
<b>Datos</b>	Prof.(m):	0.00 a 1.50			0.00 a 0.45			0.00 a 1.10		
	Descripción visual del suelo:	Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro		
	N.A.F.	-			-			-		
<b>PRUEBAS REALIZADAS</b>										
<b>Granulometría</b>										
Peso Volumétrico Seco Suelto (ton/m³)		0.642			0.719			0.657		
% Sobretamaños > 3" (7.5 cm)		0.00			0.00			0.00		
% Gravas	Pasa 2" y retenido en malla No. 4	0.00			0.00			0.00		
% Arenas	Pasa malla No. 4 y retenido en malla No. 200	10.10			3.50			8.60		
% Finos	Pasa malla No. 200	89.90			96.50			91.40		
<b>CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA</b>		Material Fino			Material Fino			Material Fino		
<b>Límites de Atterberg o de Consistencia</b>										
Humedad natural (%)		107.56			92.49			78.89		
Límite Líquido (%)		79.50			89.50			55.00		
Límite Plástico (%)		36.33			39.72			41.07		
Índice Plástico (%)		43.17			49.78			13.93		
Contracción Lineal (%)		2.89			4.20			1.90		
Clasificación Límites		MH			MH			MH		
<b>DESCRIPCIÓN SUCS</b>		<b>Limo inorgánico de alta compresibilidad</b>			<b>Limo inorgánico de alta compresibilidad</b>			<b>Limo inorgánico de alta compresibilidad</b>		
<b>Peso Volumétrico Seco Máximo (Aastho Estándar)</b>										
Peso Volumétrico Seco Máximo (kg/m³)		848.00			845.00			832.00		
Humedad Óptima (%)		56.00			52.50			64.00		
<b>Valor Relativo de Soporte (V.R.S.)</b>										
Valor Relativo de Soporte (%)		33.07			30.42			23.30		
Valor Relativo de Soporte (Saturado por 24 hr.) (%)		6.35			6.02			5.98		
Expansión (Saturado por 24, 48 y 72 hr.) (%)		2.60	5.01	5.50	2.45	3.86	5.24	1.79	3.09	4.12
<b>Valor Cementante</b>										
Valor cementante (kg/cm2)		3.89			3.71			3.09		

SONDEO		CATORCE			QUINCE			DIECISEIS		
ESTRATO		UNO			UNO			UNO		
Datos	Prof.(m):	0.00 a 0.80			0.00 a 1.00			0.00 a 1.10		
	Descripción visual del suelo:	Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro		
	N.A.F.	-			-			-		
<b>PRUEBAS REALIZADAS</b>										
<b>Granulometría</b>										
Peso Volumétrico Seco Suelto (ton/m³)		0.692			0.675			0.669		
% Sobretamaños > 3" (7.5 cm)		0.00			0.00			0.00		
% Gravas	Pasa 2" y retenido en malla No. 4	0.00			0.00			0.00		
% Arenas	Pasa malla No. 4 y retenido en malla No. 200	11.10			5.10			11.80		
% Finos	Pasa malla No. 200	88.90			94.90			88.20		
<b>CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA</b>		Material Fino			Material Fino			Material Fino		
<b>Límites de Atterberg o de Consistencia</b>										
Humedad natural (%)		87.09			85.19			107.47		
Límite Líquido (%)		59.00			57.50			72.00		
Límite Plástico (%)		49.31			45.91			46.25		
Índice Plástico (%)		9.69			11.59			25.75		
Contracción Lineal (%)		1.30			1.70			1.60		
Clasificación Límites		MH			MH			MH		
<b>DESCRIPCIÓN SUCS</b>		Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad		
<b>Peso Volumétrico Seco Máximo (Aastho Estándar)</b>										
Peso Volumétrico Seco Máximo (kg/m³)		802.00			835.00			841.00		
Humedad Óptima (%)		55.00			67.00			63.50		
<b>Valor Relativo de Soporte (V.R.S.)</b>										
Valor Relativo de Soporte (%)		20.83			24.24			38.52		
Valor Relativo de Soporte (Saturado por 24 hr.) (%)		4.84			5.90			6.92		
Expansión (Saturado por 24, 48 y 72 hr.) (%)		1.67	2.68	4.09	1.82	3.17	4.03	1.56	3.14	3.98
<b>Valor Cementante</b>										
Valor cementante (kg/cm2)		2.03			3.08			3.80		

Los resultados a las pruebas realizadas con el material tal y como se encuentra en su estado natural indican que estos materiales son suelos finos, con clasificación en los límites de Atterberg de limos inorgánicos de alta compresibilidad (MH) y arcilla inorgánica de alta compresibilidad (CH). Los formatos utilizados para realizar los cálculos de las pruebas anteriormente mencionadas se muestran en el Anexo 2.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas realizadas ahora con la incorporación de la cal hidratada al suelo natural.





<b>SONDEO</b>		<b>UNO</b>			<b>DOS</b>			<b>TRES</b>		
<b>ESTRATO</b>		<b>UNO</b>			<b>UNO</b>			<b>UNO</b>		
<b>Datos</b>	Prof.(m):	0.00 a 1.00			0.00 a 1.10			0.00 a 1.10		
	Descripción visual del suelo:	Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro		
	N.A.F.	-			-			-		
<b>PRUEBAS REALIZADAS</b>										
<b>Granulometría</b>										
Peso Volumétrico Seco Suelto (ton/m³)		0.731			0.647			0.725		
% Sobretamaños > 3" (7.5 cm)		0.00			0.00			0.00		
% Gravas	Pasa 2" y retenido en malla No. 4	0.00			0.00			0.00		
% Arenas	Pasa malla No. 4 y retenido en malla No. 200	6.70			9.00			9.10		
% Finos	Pasa malla No. 200	93.30			91.00			90.90		
<b>CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA</b>		Material Fino			Material Fino			Material Fino		
<b>Límites de Atterberg o de Consistencia</b>										
Humedad natural (%)		76.21			100			95.69		
Límite Líquido (%)		53.00			51.50			70.50		
Límite Plástico (%)		37.56			41.77			42.34		
Índice Plástico (%)		15.44			9.73			28.16		
Contracción Lineal (%)		1.80			1.89			1.40		
Clasificación Límites		MH			MH			MH		
<b>DESCRIPCIÓN SUCS</b>		Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad		
<b>Peso Volumétrico Seco Máximo (Aastho Estándar)</b>										
Peso Volumétrico Seco Máximo (kg/m³)		860.00			830.00			897.00		
Humedad Óptima (%)		58.00			55.50			59.00		
<b>Valor Relativo de Soporte (V.R.S.)</b>										
Valor Relativo de Soporte (%)		44.62			46.20			53.90		
Valor Relativo de Soporte (Saturado por 24 hr.) (%)		22.20			22.88			26.50		
Expansión (Saturado por 24, 48 y 72 hr.) (%)		0.57	0.95	1.24	0.53	1.16	1.48	0.73	1.14	1.25
<b>Valor Cementante</b>										
Valor cementante (kg/cm²)		14.02			13.16			19.06		

<b>SONDEO</b>		<b>CUATRO</b>			<b>SEIS</b>			<b>SIETE</b>		
<b>ESTRATO</b>		<b>UNO</b>			<b>UNO</b>			<b>UNO</b>		
<b>Datos</b>	Prof.(m):	0.00 a 1.00			0.00 a 1.00			0.00 a 1.60		
	Descripción visual del suelo:	Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro		
	N.A.F.	-			-			-		
<b>PRUEBAS REALIZADAS</b>										
<b>Granulometría</b>										
Peso Volumétrico Seco Suelto (ton/m³)		0.716			0.716			0.645		
% Sobretamaños > 3" (7.5 cm)		0.00			0.00			0.00		
% Gravas	Pasa 2" y retenido en malla No. 4	0.00			0.00			0.00		
% Arenas	Pasa malla No. 4 y retenido en malla No. 200	7.20			7.60			10.40		
% Finos	Pasa malla No. 200	92.80			92.40			89.60		
<b>CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA</b>		Material Fino			Material Fino			Material Fino		
<b>Límites de Atterberg o de Consistencia</b>										
Humedad natural (%)		74.98			81.16			102.87		
Límite Líquido (%)		52.50			51.00			76.00		
Límite Plástico (%)		42.37			41.61			40.69		
Índice Plástico (%)		10.13			9.39			35.31		
Contracción Lineal (%)		1.20			1.20			2.80		
Clasificación Límites		MH			MH			MH		
<b>DESCRIPCIÓN SUCS</b>		Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad		
<b>Peso Volumétrico Seco Máximo (Aastho Estándar)</b>										
Peso Volumétrico Seco Máximo (kg/m³)		852.00			805.00			875.00		
Humedad Óptima (%)		60.00			52.00			53.50		
<b>Valor Relativo de Soporte (V.R.S.)</b>										
Valor Relativo de Soporte (%)		44.13			43.86			53.31		
Valor Relativo de Soporte (Saturado por 24 hr.) (%)		21.25			22.47			24.92		
Expansión (Saturado por 24, 48 y 72 hr.) (%)		0.42	0.91	1.27	0.51	1.02	1.29	0.68	0.97	1.07
<b>Valor Cementante</b>										
Valor cementante (kg/cm²)		13.82			12.76			17.82		

<b>SONDEO</b>		<b>OCHO</b>			<b>NUEVE</b>			<b>DIEZ</b>		
<b>ESTRATO</b>		<b>UNO</b>			<b>DOS</b>			<b>UNO</b>		
<b>Datos</b>	Prof.(m):	0.00 a 0.80			0.50 a 1.00			0.00 a 1.10		
	Descripción visual del suelo:	Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro		
	N.A.F.	-			SI			-		
<b>PRUEBAS REALIZADAS</b>										
<b>Granulometría</b>										
Peso Volumétrico Seco Suelto (ton/m³)		0.721			0.673			0.689		
% Sobretamaños > 3" (7.5 cm)		0.00			0.00			0.00		
% Gravas	Pasa 2" y retenido en malla No. 4	0.00			0.00			0.00		
% Arenas	Pasa malla No. 4 y retenido en malla No. 200	9.70			29.50			13.30		
% Finos	Pasa malla No. 200	90.30			70.50			86.70		
<b>CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA</b>		Material Fino			Material Fino			Material Fino		
<b>Límites de Atterberg o de Consistencia</b>										
Humedad natural (%)		98.41			108.55			85.87		
Límite Líquido (%)		79.00			69.00			59.50		
Límite Plástico (%)		38.34			54.10			39.80		
Índice Plástico (%)		40.66			14.90			19.70		
Contracción Lineal (%)		3.73			1.21			1.50		
Clasificación Límites		MH			MH			MH		
<b>DESCRIPCIÓN SUCS</b>		Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad		
<b>Peso Volumétrico Seco Máximo (Aastho Estándar)</b>										
Peso Volumétrico Seco Máximo (kg/m³)		880.00			868.00			859.00		
Humedad Óptima (%)		51.50			60.50			61.00		
<b>Valor Relativo de Soporte (V.R.S.)</b>										
Valor Relativo de Soporte (%)		51.84			46.04			42.60		
Valor Relativo de Soporte (Saturado por 24 hr.) (%)		25.80			23.13			21.70		
Expansión (Saturado por 24, 48 y 72 hr.) (%)		0.64	1.03	1.15	0.63	0.99	1.32	0.56	0.92	1.19
<b>Valor Cementante</b>										
Valor cementante (kg/cm2)		18.01			15.26			13.91		

<b>SONDEO</b>		<b>ONCE</b>			<b>DOCE</b>			<b>TRECE</b>		
<b>ESTRATO</b>		<b>UNO</b>			<b>DOS</b>			<b>UNO</b>		
<b>Datos</b>	Prof.(m):	0.00 a 1.50			0.00 a 0.45			0.00 a 1.10		
	Descripción visual del suelo:	Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro		
	N.A.F.	-			-			-		
<b>PRUEBAS REALIZADAS</b>										
<b>Granulometría</b>										
Peso Volumétrico Seco Suelto (ton/m³)		0.642			0.719			0.657		
% Sobretamaños > 3" (7.5 cm)		0.00			0.00			0.00		
% Gravas	Pasa 2" y retenido en malla No. 4	0.00			0.00			0.00		
% Arenas	Pasa malla No. 4 y retenido en malla No. 200	10.10			3.50			8.60		
% Finos	Pasa malla No. 200	89.90			96.50			91.40		
<b>CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA</b>		Material Fino			Material Fino			Material Fino		
<b>Límites de Atterberg o de Consistencia</b>										
Humedad natural (%)		107.56			92.49			78.89		
Límite Líquido (%)		79.50			89.50			55.00		
Límite Plástico (%)		36.33			39.72			41.07		
Índice Plástico (%)		43.17			49.78			13.93		
Contracción Lineal (%)		2.89			4.20			1.90		
Clasificación Límites		MH			MH			MH		
<b>DESCRIPCIÓN SUCS</b>		Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad		
<b>Peso Volumétrico Seco Máximo (Aastho Estándar)</b>										
Peso Volumétrico Seco Máximo (kg/m³)		897.00			895.00			870.00		
Humedad Óptima (%)		53.00			50.00			61.00		
<b>Valor Relativo de Soporte (V.R.S.)</b>										
Valor Relativo de Soporte (%)		53.90			54.85			46.90		
Valor Relativo de Soporte (Saturado por 24 hr.) (%)		24.47			23.86			21.45		
Expansión (Saturado por 24, 48 y 72 hr.) (%)		0.61	0.99	1.17	0.57	0.96	1.15	0.56	0.97	1.23
<b>Valor Cementante</b>										
Valor cementante (kg/cm²)		18.87			18.53			15.61		

SONDEO		CATORCE			QUINCE			DIECISEIS		
ESTRATO		UNO			UNO			UNO		
Datos	Prof.(m):	0.00 a 0.80			0.00 a 1.00			0.00 a 1.10		
	Descripción visual del suelo:	Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro			Material fino de tipo limoso color café oscuro		
	N.A.F.	-			-			-		
<b>PRUEBAS REALIZADAS</b>										
<b>Granulometría</b>										
Peso Volumétrico Seco Suelto (ton/m³)		0.692			0.675			0.669		
% Sobretamaños > 3" (7.5 cm)		0.00			0.00			0.00		
% Gravas	Pasa 2" y retenido en malla No. 4	0.00			0.00			0.00		
% Arenas	Pasa malla No. 4 y retenido en malla No. 200	11.10			5.10			11.80		
% Finos	Pasa malla No. 200	88.90			94.90			88.20		
<b>CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA</b>		Material Fino			Material Fino			Material Fino		
<b>Límites de Atterberg o de Consistencia</b>										
Humedad natural (%)		87.09			85.19			107.47		
Límite Líquido (%)		59.00			57.50			72.00		
Límite Plástico (%)		49.31			45.91			46.25		
Índice Plástico (%)		9.69			11.59			25.75		
Contracción Lineal (%)		1.30			1.70			1.60		
Clasificación Límites		MH			MH			MH		
<b>DESCRIPCIÓN SUCS</b>		Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad			Limo inorgánico de alta compresibilidad		
<b>Peso Volumétrico Seco Máximo (Aastho Estándar)</b>										
Peso Volumétrico Seco Máximo (kg/m³)		832.00			865.00			890.00		
Humedad Óptima (%)		51.00			58.00			61.00		
<b>Valor Relativo de Soporte (V.R.S.)</b>										
Valor Relativo de Soporte (%)		42.00			45.52			50.14		
Valor Relativo de Soporte (Saturado por 24 hr.) (%)		21.64			22.66			25.20		
Expansión (Saturado por 24, 48 y 72 hr.) (%)		0.48	1.12	1.25	0.47	0.85	1.32	0.84	1.17	1.32
<b>Valor Cementante</b>										
Valor cementante (kg/cm2)		12.95			15.03			18.77		

#### **6.4 Diseño de pavimento rígido.**

Una vez obtenidos los resultados del material natural estudiado (subrasante) así como el mezclado con cal, se realizará el diseño de la estructura de pavimento comparando de esta manera los espesores de las diferentes capas que esta lo compone. A continuación se muestran los pasos que se siguieron para realizar dichos diseños.

#### **DISEÑO DE PAVIMENTO PARA LAS VIALIDADES, UTILIZANDO PARA LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO CONCRETO HIDRAÚLICO.**

Datos de la Subrasante:

El material de la capa de Subrasante debe presentar como mínimo el 75% de roca triturada sana así como un espesor de 20 cm. ésto cuando los ESAL´S sean menores a 1 millón de ejes equivalentes. De acuerdo a la Norma N-CMT-1-03/02 de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) dicha capa debe cumplir con los siguientes requisitos de calidad en los materiales:

- Tamaño máximo (mm) : 76
- Límite Líquido (%): 40 como máximo
- Índice Plástico (%): 12 como máximo
- VRS: 20 % como mínimo
- Expansión máxima (%): 2

Con los resultados obtenidos anteriormente se realizó la siguiente zonificación del lugar como se puede ver en la imagen 6.26, estableciendo la zona 1 con color verde siendo la menos afectada, la zona 2 con color rosa estando en medio de la menos y más afectada que está marcada con color naranja (zona 3).

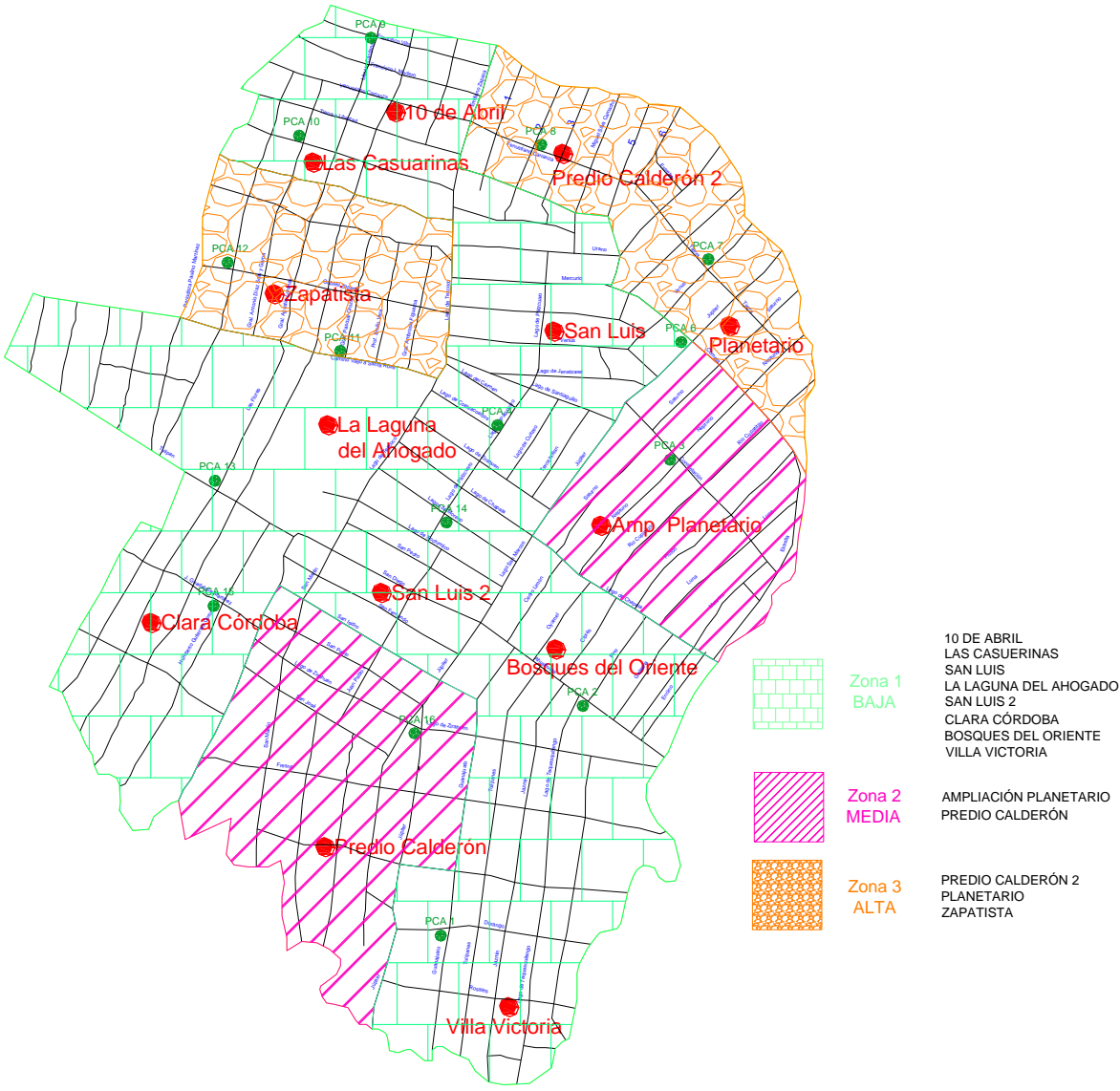





Imagen 6.26. Zonificación del lugar en estudio.  
Fuente: Propia (2012).

## MÉTODO AASHTO CEMEX

### CARATULAS DEL MÓDULO DE CADA UNA EVALUADAS

Datos del Proyecto		Método AASHTO
	Proyecto:	Estabilización de Suelos con Cal Hidratada
	Dirección:	(Zona 1) Zona Oriente en Uruapan, Michoacán
	Fecha:	26 de Febrero del 2012
	Responsable:	Olivia Vianney Martínez Najar

Datos del Proyecto		Método AASHTO
	Proyecto:	Estabilización de Suelos con Cal Hidratada
	Dirección:	(Zona 2) Zona Oriente en Uruapan, Michoacán
	Fecha:	26 de Febrero del 2012
	Responsable:	Olivia Vianney Martínez Najar


Datos del Proyecto		Método AASHTO
	Proyecto:	Estabilización de Suelos con Cal Hidratada
	Dirección:	(Zona 3) Zona Oriente en Uruapan, Michoacán
	Fecha:	26 de Febrero del 2012
	Responsable:	Olivia Vianney Martínez Najar




### 6.4.1 Estructura de pavimento sin capa estabilizada.

El pavimento se considera que no contará con barras pasajuntas, esto ya que no existe mucho tránsito vehicular por lo que no existe transferencia de carga, además de considerar también que cuenta con soporte lateral en la zona más drástica.

- Datos Generales para la estructura de pavimento:

Datos del Pavimento		Método AASHTO	Valor
	Confiability (R):		50 %
	Desviación Estandar (So):		0.35
	Módulo de Ruptura del Concreto (MR):		597.4 Psi
	Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec):		4032450 Psi
	Coefficiente de Transferencia de Carga (J):		2.7
	Módulo de Subreacción del Suelo de Apoyo (k):		150 Pci
	Coefficiente de Drenaje (Cd):		1
	Índice de Servicio Inicial (Po):		4.5
	Índice de Servicio Final (Pt):		1.5

- Datos del Tránsito:

Datos del Tránsito		Método AASHTO	Valor	
	Factor de Sentido (FS):		0.5	
	Factor de Carril (FC):		0.8	
	Tránsito Promedio Diario Anual (TDPA):		126	
	Periodo de Aforo:	Inicio: 22 de Agosto del 2011 Fin: 30 de Agosto del 2011		
	Tasa de Crecimiento Anual:		3 %	
	Periodo de Diseño:		20 años	

Tipo de Vehículo	Total Diario	%	% Cargados	% Vacíos
A2	80.34	63.75	100	0
A'2	29.69	23.56	79	21
B2	11.27	8.94	62	38
C2	3.72	2.95	53	47
C4	1	0.79	61	39


EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 18 KIPS: **111876** ESALS

No.	Tipo de Eje	Peso del Eje	Repeticiones al año	Repeticiones en la Vida Útil	ESALS
1	Sencillo	2.2	23459	630352	168
2	Sencillo	2.64	1734	46593	23
3	Sencillo	2.86	1734	46593	30
4	Sencillo	3.74	2600	69863	114
5	Sencillo	6.6	217	5831	85
6	Sencillo	7.7	876	23538	638
7	Sencillo	8.36	2600	69863	2653
8	Sencillo	9.9	58	1558	120
9	Sencillo	12.1	1401	37645	6755
10	Sencillo	15.4	659	17708	8972
11	Sencillo	22	1313	35281	85287
12	Tandem	17.6	58	1558	62
13	Tandem	49.5	87	2338	6969

**6.4.2 Estructura de pavimento, capa estabilizada con cal.**

Aquí se muestra el diseño ya con la estructura de pavimento estabilizada con cal que al igual que en el punto anterior se considera que es la más drástica y que no cuenta con barras pasajuntas así como con soporte lateral.

- Datos Generales para la estructura de pavimento:

Datos del Pavimento		Método AASHTO	Valor
	Confiability (R):		50 %
	Desviación Estandar (So):		0.35
	Módulo de Ruptura del Concreto (MR):		597.4 Psi
	Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec):		4032450 Psi
	Coefficiente de Transferencia de Carga (J):		2.7
	Módulo de Subreacción del Suelo de Apoyo (k):		150 Pci
	Coefficiente de Drenaje (Cd):		1
	Índice de Servicio Inicial (Po):		4.5
	Índice de Servicio Final (Pt):		1.5

➤ Datos del Tránsito:

Datos del Tránsito		Método AASHTO	Valor
	Factor de Sentido (FS):		0.5
	Factor de Carril (FC):		0.8
	Tránsito Promedio Diario Anual (TDPA):		126
	Periodo de Aforo:	Inicio: 22 de Agosto del 2011 Fin: 30 de Agosto del 2011	
	Tasa de Crecimiento Anual:		3 %
	Periodo de Diseño:		20 años

Tipo de Vehículo	Total Diario	%	% Cargados	% Vacíos
A2	80.34	63.75	100	0
A'2	29.69	23.56	79	21
B2	11.27	8.94	62	38
C2	3.72	2.95	53	47
C4	1	0.79	61	39

EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 18 KIPS: **111876** ESALS

No.	Tipo de Eje	Peso del Eje	Repeticiones al año	Repeticiones en la Vida Útil	ESALS
1	Sencillo	2.2	23459	630352	168
2	Sencillo	2.64	1734	46593	23
3	Sencillo	2.86	1734	46593	30
4	Sencillo	3.74	2600	69863	114
5	Sencillo	6.6	217	5831	85
6	Sencillo	7.7	876	23538	638
7	Sencillo	8.36	2600	69863	2653
8	Sencillo	9.9	58	1558	120
9	Sencillo	12.1	1401	37645	6755
10	Sencillo	15.4	659	17708	8972
11	Sencillo	22	1313	35281	85287
12	Tandem	17.6	58	1558	62
13	Tandem	49.5	87	2338	6969

#### 6.4.2.1 Modulación de la losa de concreto hidráulico.

La modulación de la losa de concreto es realizada de acuerdo al espesor encontrado y siguiendo el diseño por el método AASHTO de Cemex.

Para la estructura de pavimento sin capa estabilizada es la siguiente y como se muestra en la imagen 6.27:

- Espesor de La losa de Concreto H Pavimento: 6.15 in (15.62 cm) ≈ **16 cm. práctico.**
- Separación máxima de juntas transversales: 3.44 m ≈ **3.5m. práctico**
- Rango de separación en juntas longitudinales: **3.0 a 4.5 m.**

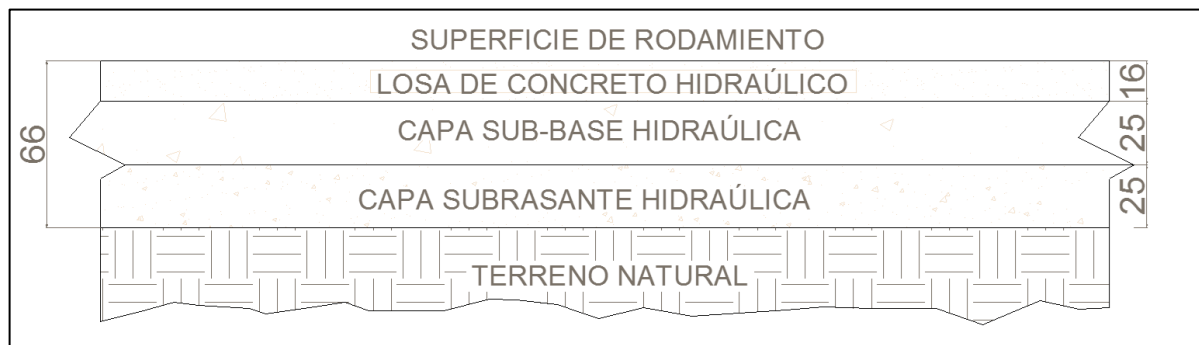


Imagen 6.27. Estructura de Pavimento sin capa estabilizada.

Fuente: Propia (2012).

Ahora para la estructura de pavimento con la capa estabilizada con cal quedó de la siguiente manera, así mismo como la anterior se muestra en la imagen 6.28:

- Espesor de La losa de Concreto H Pavimento: 4.82 in (12.26 cm) ≈ **12 cm. práctico.**
- Separación máxima de juntas transversales: 2.82 m ≈ **2.8m. práctico**
- Rango de separación en juntas longitudinales: **3.0 a 4.5 m.**

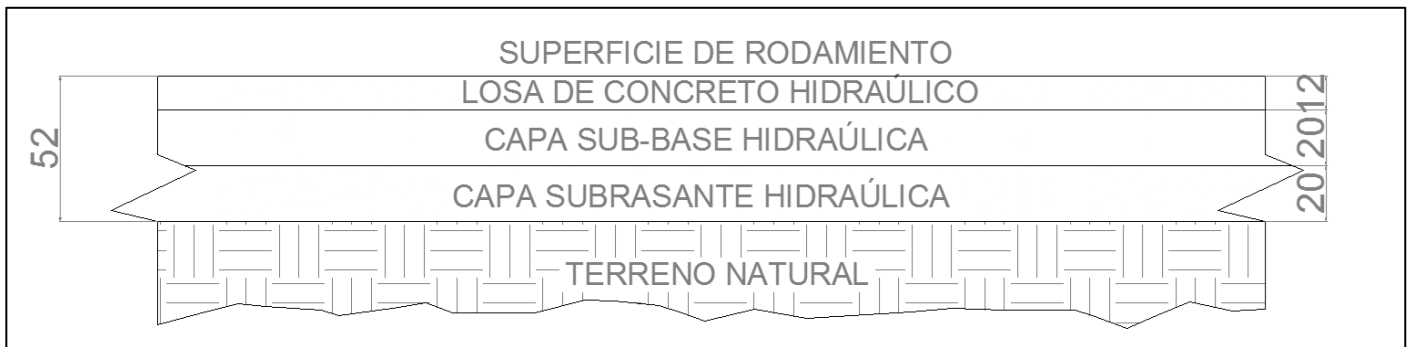


Imagen 6.28. Estructura de Pavimento con capa estabilizada con cal.  
Fuente: Propia (2012).

## 6.5 Resultados Finales.

Una vez que se cuenta con los resultados obtenidos de la investigación realizada, tanto de las pruebas realizadas en laboratorio como en gabinete se puede concluir que en el presente proyecto se logró cumplir con los objetivos de una manera placentera. Como objetivo principal se tiene: mejorar las condiciones del subsuelo de las colonias de la zona Oriente, para construir en un futuro estructuras de pavimento con la optimización de materiales y costos, además de asegurar la vida útil de los mismos; y para verificar esto se realizó la exploración a cielo abierto con

dimensiones de 1.50 m. x 1.50 m. y una profundidad de -1.80 m. en promedio en las colonias que pertenecen a esta zona, extrayendo material y llevándolo al laboratorio para ser analizado; consecutivamente se obtuvieron como datos el tipo de suelo siendo este material fino de tipo limoso color café oscuro.

Al tener los datos anteriores se dio consulta a los objetivos particulares siendo establecer una técnica de estabilización para que al momento que se desee construir un pavimento, el tipo de suelo sea seguro y práctico; así como conocer si la cal tiene reacción importante con el suelo y la humedad que en él existe, esto con el fin de lograr una estabilización, por lo que se realizaron varias mezclas del material encontrado en cada pozo a cielo abierto con cal hidratada demostrando que si se tiene reacción importante con el suelo y la humedad y a su vez es una excelente técnica de estabilización para la construcción de la estructura de pavimento.

De esta manera, al contar con los resultados de cada uno de los sondeos se decidió trabajar con lo más desfavorable para dar un mayor margen de trabajo. Por lo que al trabajar a la par con el programa de CEMEX por el Método AASHTO nos arroja los espesores de las capas que conforman la estructura de pavimento los cuales son con la capa sin estabilizar en las capas de subrasante y Subbase de 25 cm. cada una y en la estructura con la capa estabilizada los espesores son de 20 cm en capas mencionadas.

La superficie de rodamiento con el que contará el pavimento con la capa estabilizada será de concreto hidráulico con una resistencia  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , teniendo un espesor de 16 cm., mientras que con la capa estabilizada el espesor

será de 12 cm.; no contará con refuerzo de acero (barras pasajuntas) ya que no cuenta con el tránsito suficiente.

El espesor de la estructura de pavimento con la capa sin estabilizar es de 50 cm., teniendo que la capa de subrasante y Subbase son de 25 cm. cada una, mientras que con la capa estabilizada la estructura de pavimento es de 40 cm.

## CONCLUSIONES

La estabilización de suelos se realiza con la finalidad de mejorar la calidad del suelo y obtener un material que sea capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas. Así también, para que el espesor de la capa de pavimento rígido o flexible sea menor.

Los resultados obtenidos en las pruebas Contenido de Agua, Análisis granulométrico, Límites de Atterberg o de consistencia, Peso volumétrico seco suelto (PVSS), Peso volumétrico seco máximo (PVSM) y contenido de agua óptimo, Valor Relativo de Soporte (VRS) y Valor cementante que se realizaron al material analizado sin estabilizar dentro de la presente tesis no cumplen con las normativas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, siendo esto uno de los primeros puntos a favor para realizar la estabilización con cal.

Al realizar las pruebas mencionadas ahora con el material ya estabilizado con cal se obtuvieron resultados que ya cumplen con las normativas como la del Valor Relativo de Soporte por mencionar alguna, en la que el material sin estabilizar nos da en el S-1 5.45% cuando la Norma N-CMT-4-1-03/02 Materiales para Subrasante dice que su valor mínimo será de 20% y en la capa estabilizada da como valor 22.20%, haciendo de esta manera una comparativa de los resultados que se muestra en la tabla C.1 concluyendo así que el objetivo general por la que se inició esta investigación ha sido aprobado satisfactoriamente.



Num. de Sondeo	Peso Volumétrico Seco Máximo (kg/m³)		Valor Relativo de Soporte (%)		Valor cementante (kg/cm²)	
	Natural	2% de cal	Natural	2% de cal	Natural	2% de cal
1	835.00	860.00	5.45	22.20	3.02	14.02
2	805.00	830.00	5.00	22.88	2.11	13.16
3	845.00	897.00	7.71	26.50	3.91	19.06
4	826.00	852.00	4.92	21.45	2.28	13.82
5	-	-	-	-	-	-
6	800.00	805.00	4.79	22.47	1.97	12.76
7	845.00	875.00	6.13	24.92	3.66	17.82
8	843.00	880.00	6.52	25.80	3.71	18.01
9	831.00	868.00	4.96	23.13	3.16	15.26
10	828.00	859.00	5.62	21.70	2.10	13.91
11	848.00	897.00	6.35	24.47	3.89	18.87
12	845.00	895.00	6.02	23.86	3.71	18.53
13	832.00	870.00	5.98	21.45	3.09	15.61
14	802.00	832.00	4.84	21.64	2.03	12.95
15	835.00	865.00	5.90	22.66	3.08	15.03
16	841.00	890.00	6.92	25.20	3.80	18.77

Tabla C.1. Comparativa de Resultados.  
Fuente: Propia (2012).

Por otra parte, al realizar el diseño de pavimentos introduciendo los datos del suelo sin la capa estabilizada y después con la capa estabilizada, se comprobó que es mucha la diferencia entre uno y otro, ya que el espesor de la capa de sub-base con los datos sin estabilizar es de 25 cm. mientras que en la estabilizada se tiene el espesor de 20 cm.

En lo que se refiere a la losa de concreto hidráulico, en el primer caso el espesor obtenido es de 16 cm. y en el segundo el espesor es de 12 cm., demostrando de esta manera que es mejor el diseño de pavimentos con el material estabilizado con cal; así con esto se da grata respuesta a la preguntas principales de

investigación ¿se verá beneficiada la zona oriente? y ¿es la cal un elemento importante para mejorar el suelo de la zona oriente en función de optimizar la inversión de un pavimento? estando convencidos que será de mucha ayuda a los habitantes de la zona oriente ya que los espesores de las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento son menores a las del diseño con el material en estado natural.

Así pues de las pruebas realizadas con la cal hidratada de respuesta clara una de las preguntas que dice ¿es adecuado el material utilizado en la estabilización?

## BIBLIOGRAFÍA.

Juárez Badillo, Eulalio. (2011)  
Mecánica de Suelos, Tomo I.  
Ed. Limusa, México.

Juárez Badillo, Eulalio. (2011)  
Mecánica de Suelos, Tomo II.  
Ed. Limusa, México.

Rico Rodríguez, Alonso. (2001)  
La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Vol. I.  
Ed. Limusa, México.

Hernández Sampieri, Roberto y colaboradores. (2006)  
Metodología de la Investigación.  
Ed. Mc. Graw Hill, México.

Jurado Rojas, Yolanda. (2005)  
Técnicas de investigación documental.  
Ed. Thompson, México.

Asociación Americana de Constructores de Carreteras. (1982)  
Manual de Construcción para la Estabilización con cal.  
National Lime Association.

Horcalsa (2004)  
Manual de Estabilización de suelo tratado con cal.  
National Lime Association.

## OTRAS FUENTES.

- **Páginas Electrónicas.**

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT).

<http://normas.imt.mx/>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Libro: MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales.

Parte: 01. Suelos y Materiales para Terracerías.

Título: 01. Muestreo de materiales para Terracerías. (M-MMP-1-01/03)

<http://normas.imt.mx/NORMATIVA/I%20MMP/1%20Suelos%20y%20Terracerias/M-MMP-1-01-03.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Libro: MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales.

Parte: 01. Suelos y Materiales para Terracerías.

Título: 02. Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos. (M-MMP-1-02/03)

<http://normas.imt.mx/NORMATIVA/I%20MMP/1%20Suelos%20y%20Terracerias/M-MMP-1-02-03.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Libro: MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales.

Parte: 01. Suelos y Materiales para Terracerías.

Título: 03. Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras. (M-MMP-1-03/03)

<http://normas.imt.mx/NORMATIVA/I%20MMP/1%20Suelos%20y%20Terracerias/M-MMP-1-03-03.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Libro: MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales.

Parte: 01. Suelos y Materiales para Terracerías.

Título: 04. Contenido de Agua. (M-MMP-1-04/03)

<http://normas.imt.mx/NORMATIVA/I%20MMP/1%20Suelos%20y%20Terracerias/M-MMP-1-04-03.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Libro: MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales.

Parte: 01. Suelos y Materiales para Terracerías.

Título: 07. Límites de Consistencia. (M-MMP-1-07/07)

<http://normas.imt.mx/NORMATIVA/I%20MMP/1%20Suelos%20y%20Terracerias/M-MMP-1-07-07.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Libro: MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales.

Parte: 01. Suelos y Materiales para Terracerías.

Título: 09. Compactación AASHTO. (M-MMP-1-09/06)

<http://normas.imt.mx/NORMATIVA/I%20MMP/1%20Suelos%20y%20Terracerias/M-MMP-1-09-06.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Libro: MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales.

Parte: 01. Suelos y Materiales para Terracerías.

Título: 11. Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp) en Laboratorio. (M-MMP-1-11/08)

<http://normas.imt.mx/NORMATIVA/I%20MMP/1%20Suelos%20y%20Terracerias/M-MMP-1-11-08.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Libro: CTM. Características de los materiales.

Parte: 04. Materiales para Pavimentos.

Título: 02. Materiales para Subbases y Bases. (-)

Capítulo: 003. Materiales para bases tratadas. (N-CMT-4-02-003/04)

<http://normas.imt.mx/NORMATIVA/j%20CMT/4%20Pavimentos/02%20Mat%20Subbases/N-CMT-4-02-003-04.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Libro: CTM. Características de los materiales.

Parte: 04. Materiales para Pavimentos.

Título: 03. Materiales para estabilizaciones. (-)

Capítulo: 001. Materiales para estabilizaciones. (N-CMT-4-03-001/02)

<http://normas.imt.mx/NORMATIVA/j%20CMT/4%20Pavimentos/03%20Mat%20Estabilizaciones/N-CMT-4-03-001-02.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Libro: CTM. Características de los materiales.

Parte: 01. Materiales para Terracerías.

Título: 03. Materiales para Subrasante. (N-CMT-4-1-03/02)

<http://normas.imt.mx/NORMATIVA/j%20CMT/1%20Terracerias/03%20Mat%20Subrasante/N-CMT-4-1-03-02.pdf>

Zea Constantino, M. I. Carmelino y colaboradores. (2004)

Notas sobre los fundamentos de la mecánica de suelos.

<http://www.ingenieria.unam.mx/~posgradoingcivil/DocsGeotecnia/PropeFunMecSue2005V1.pdf>

Bañón Blázquez, Luis (2001)

Manual de carreteras.

<http://www.ua.es/personal/banon/docs/mc2.pdf>

Enciclopedia de los Municipios de México.

Estado: Michoacán.

Medio Físico.

<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/michoacan/medi.htm>

Enciclopedia de los Municipios de México.

Estado: Michoacán.

Uruapan.

<http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/michoacan/mpios/16102a.htm>

Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática (INEGI).

<http://www.inegi.org.mx/default.aspx>

# **ANEXOS**



## **ANEXO 1**



# COLEGIO MICHOACANO DE INGENIEROS CIVILES A.C.

Prol. Paseo L. Cárdenas # 149-1 Fracc. Residencial Cupatitzio C.P. 60183, Uruapan, Michoacán.

AT'N. ING. J. GASPAR ALEJANDRO RANGEL PÉREZ.  
Director de Desarrollo Urbano y Obras Públicas.  
H. Ayuntamiento de Uruapan, Michoacán.  
PRESENTE.

Oficio 022-2011.  
Exp. CMIC-Investigación.  
22 AGOSTO 2011.  
Uruapan, Mich. EBC.

ASUNTO: SOLICITUD DE APOYO PARA INVESTIGACIÓN.

Por medio del presente y antecediendo un cordial y afectuoso saludo y en función del proyecto de investigación con fines académicos y de apoyo para la Dirección de Desarrollo Urbano y Obras Públicas de nuestro Municipio, que lleva por nombre "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL HIDRATADA PARA USO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA ZONA ORIENTE DE LA CIUDAD DE URUAPAN, MICHOACAN", solicitamos su valioso apoyo a través del H. Ayuntamiento para la realización de los sondeos de exploración a cielo abierto durante tres sábados a partir del día 27 de Agosto del 2011 en las siguientes colonias: La Laguna del Ahogado, 10 de Abril, Zapatista, San Luis 1 y 2, Bosques el Oriente, Planetario, Predio Calderón y Las Casuaninas, todas en la Zona Oriente de esta Ciudad de Uruapan, Michoacán.

El desarrollo de este trabajo de investigación tiene como objetivo mejorar las condiciones del subsuelo de las colonias mencionadas de la zona Oriente para construir en un futuro estructuras de pavimento con la optimización de materiales y con costos adecuados además de asegurar la vida útil de los mismos. Así también la investigación mencionada, soportará el desarrollo de la Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil de la PIC. Olivia Vianney Martínez Najar, alumna de la Universidad Don Vasco A.C., incorporada a la UNAM.

Se planea realizar 16 exploraciones a cielo abierto en total en las colonias ya anteriormente mencionadas a una profundidad de -1.50 m para así conocer la estratigrafía del terreno y obtener las muestras necesarias para la investigación correspondiente; para poder realizar esto se le solicita de la manera más atenta el apoyo con una retroexcavadora así como los consumibles de la misma y gastos que este equipo genere, durante los tres días de exploración.

- Se anexa croquis de ubicación donde se planea realizar los PCA.

Sin más por el momento me despido de usted, quedando a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto del presente.

URUAPAN, MICHOACAN. 22 DE AGOSTO DEL 2011.

ATENTAMENTE.

M en I. ESTEBAN BRITO CHÁVEZ.  
Presidente CMIC. 2010-2012.



Original. Interesado.  
c.c.p. Archivo CMIC.

Tel. contacto. (452) 5192404. Email: cmicac@yahoo.com

## **ANEXO 2**



# UNIVERSIDAD DON VASCO, A. C.

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

## ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Proyecto: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL HIDRATADA PARA USO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS**

No. Ensaye: \_\_\_\_\_ Sondeo No.: \_\_\_\_\_ Método empleado: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

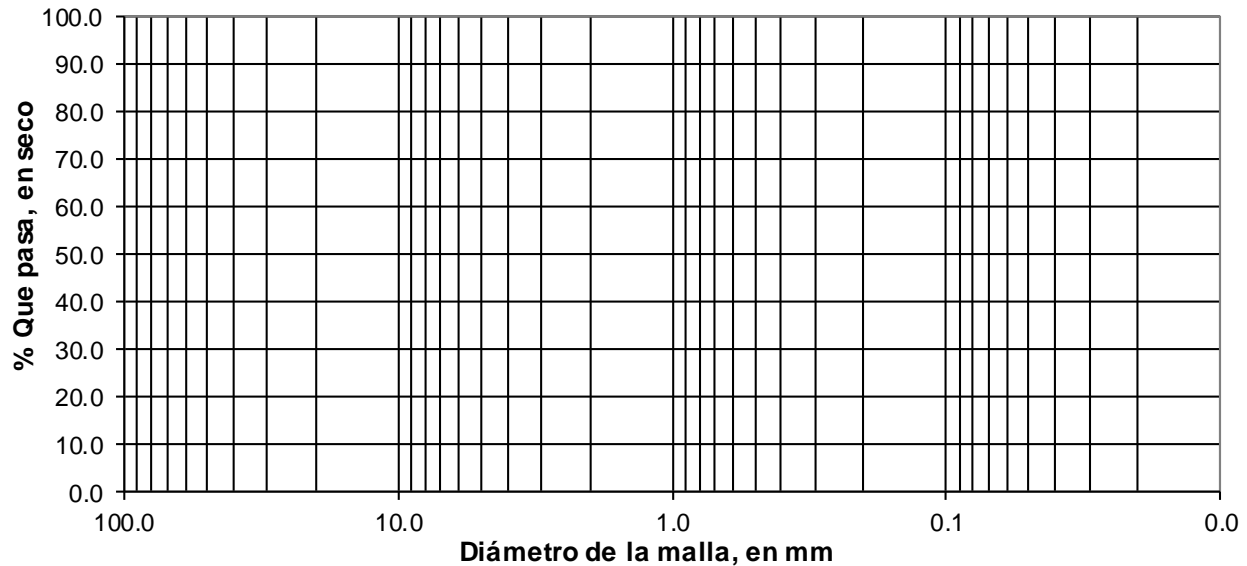
Muestra No.: \_\_\_\_\_ Prof. (m): \_\_\_\_\_ Peso seco (gr): \_\_\_\_\_ Peso Neto (kg): \_\_\_\_\_ Vol. Molde: \_\_\_\_\_

Operador: \_\_\_\_\_ Calculista: \_\_\_\_\_ Peso volumétrico (ton/m<sup>3</sup>): \_\_\_\_\_ Humedad Natural (%): \_\_\_\_\_

Descripción visual del material: \_\_\_\_\_

GRANULOMETRIA GRUESA HASTA MALLA No. 4					GRANULOMETRIA FINA POR LAVADO HASTA MALLA No. 200				
Abertura malla (mm)	Malla (pulg)	Peso retenido (kgs)	% Retenido Parcial	% parcial pasa malla	Abertura malla (mm)	Malla (núm.)	Peso retenido (kgs)	% Retenido Parcial	% parcial pasa malla
76.2	3"								
50.8	2"				2	10			
36.1	1 1/2"				0.84	20			
25.4	1"				0.42	40			
19.05	3/4"				0.25	60			
12.7	1/2"				0.149	100			
9.52	3/8"				0.074	200			
4.76	No. 4					Pasa 200			
	Pasa No. 4					Suma:			
	Suma:	0.000							

### CURVA GRANULOMETRICA



D<sub>10</sub> = \_\_\_\_\_

D<sub>30</sub> = \_\_\_\_\_

D<sub>60</sub> = \_\_\_\_\_

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{\quad}{\quad}$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = \frac{\quad}{\quad}$$

Gravas Cu > 4  
Arenas Cu > 6

En gravas y arenas Cc = 1 a 3

Resultados (%)	
> a 3" =	0.0%
G (gravas) =	0.0%
S (arena) =	0.0%
F (fino) =	0.0%

Clasificación granulométrica : \_\_\_\_\_



# UNIVERSIDAD DON VASCO, A. C.

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



## LÍMITES DE ATTERBERG O DE CONSISTENCIA

Proyecto.: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL HIDRATADA PARA USO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS**

No. Ensaye: \_\_\_\_\_ Sondeo No.: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Muestra No.: \_\_\_\_\_ Prof. (m): \_\_\_\_\_ Descripción visual del material: \_\_\_\_\_  
 Operador: \_\_\_\_\_ Calculista: \_\_\_\_\_

### PRUEBA DE LÍMITE LÍQUIDO

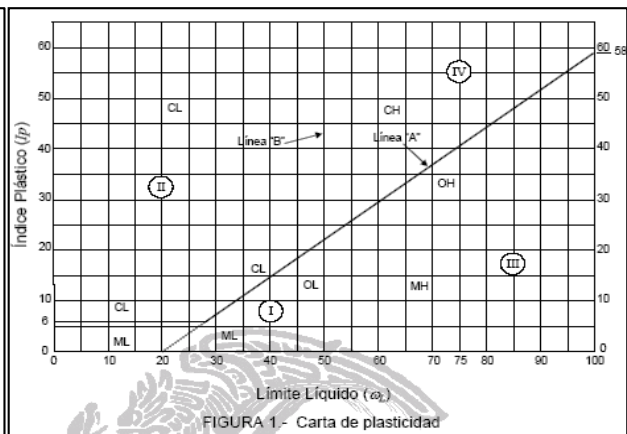
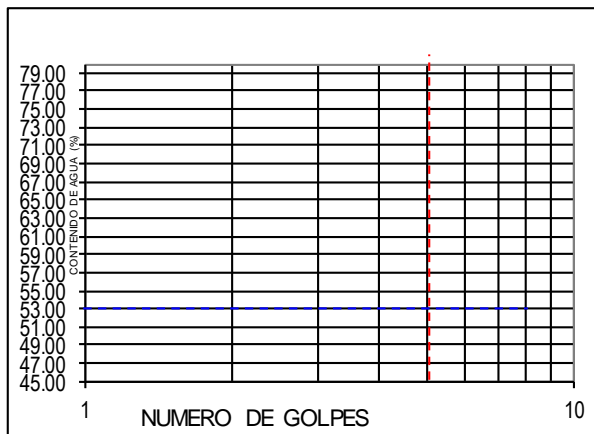
# Prueba	# de Cápsula	# de Golpes	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso de Agua (gr)	Peso de Cápsula (gr)	Peso de Suelo Seco (gr)	W Contenido de Agua (%)

### PRUEBA DE LÍMITE PLÁSTICO

# Prueba	# de Cápsula	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso de Agua (gr)	Peso de Cápsula (gr)	Peso de Suelo Seco (gr)	W Contenido de Agua (%)

### PRUEBA DE LÍMITE DE CONTRACCIÓN

# de Cápsula	Tipo de Equipo	Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso de Agua (gr)	Peso de Cápsula (gr)	Peso de Suelo Seco (gr)	W Contenido de Agua (%)
Longitud Inicial (cm) :				Contracción Lineal (%)			
Long. Final (cm) :							



## RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO LL (%) = _____	ÍNDICE FLUIDEZ Fw (%) = _____	CLASIFICACIÓN (SUCS)
LÍMITE PLÁSTICO LP (%) = _____	ÍNDICE TENACIDAD Tw = _____	
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%) = _____	CONSISTENCIA RELATIVA = _____	



# UNIVERSIDAD DON VASCO, A. C.

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

## ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



### DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO SECO ( PRUEBA AASHTO ESTANDAR)

Proyecto: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL HIDRATADA PARA USO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS**

No. Ensaye: \_\_\_\_\_ Sondeo No.: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Muestra No.: \_\_\_\_\_ Prof. (m): \_\_\_\_\_ Descripción visual del material: \_\_\_\_\_  
 Operador: \_\_\_\_\_ Calculista: \_\_\_\_\_

Tipo de Prueba: **AASHTO ESTANDAR**

#### DATOS DEL MOLDE:

Número:	1	Peso (gr):	3700.00	Volumen (cm³):	944.06	Peso martillo	2500.00
No. de Capa:	3	Collarin Inferior+placa		No. Golpes por Capa:	25	(gr):	

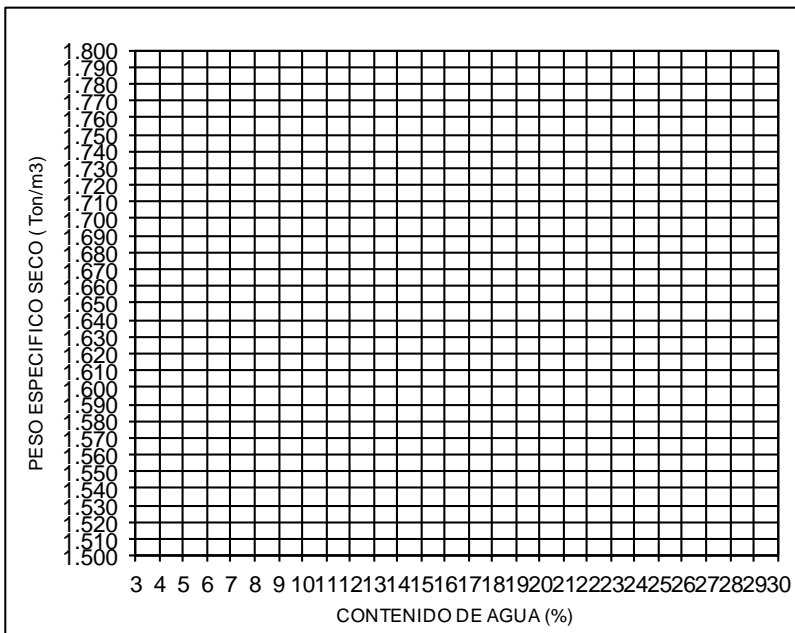
PRUEBA No.	1	2	3	4	5	6
------------	---	---	---	---	---	---

#### PESO ESPECÍFICO

Peso molde+suelo húmedo (grs):						
Peso molde (gr):						
Peso suelo húmedo (gr):						
Peso específico húmedo (ton/m³):						

#### HUMEDADES

Peso suelo húmedo (gr):						
Peso suelo seco (gr):						
Peso del agua (gr):						
Contenido de agua (gr):						
Peso específico seco (ton/m³):						
Relación de vacíos:						



$$\gamma_d = \frac{S_s * \gamma_o}{1 + e}$$

#### RESULTADO

PVSM (kg/m³)= 0.00  
 Wopt. (%)= 0.00



# UNIVERSIDAD DON VASCO, A. C.

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

## ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

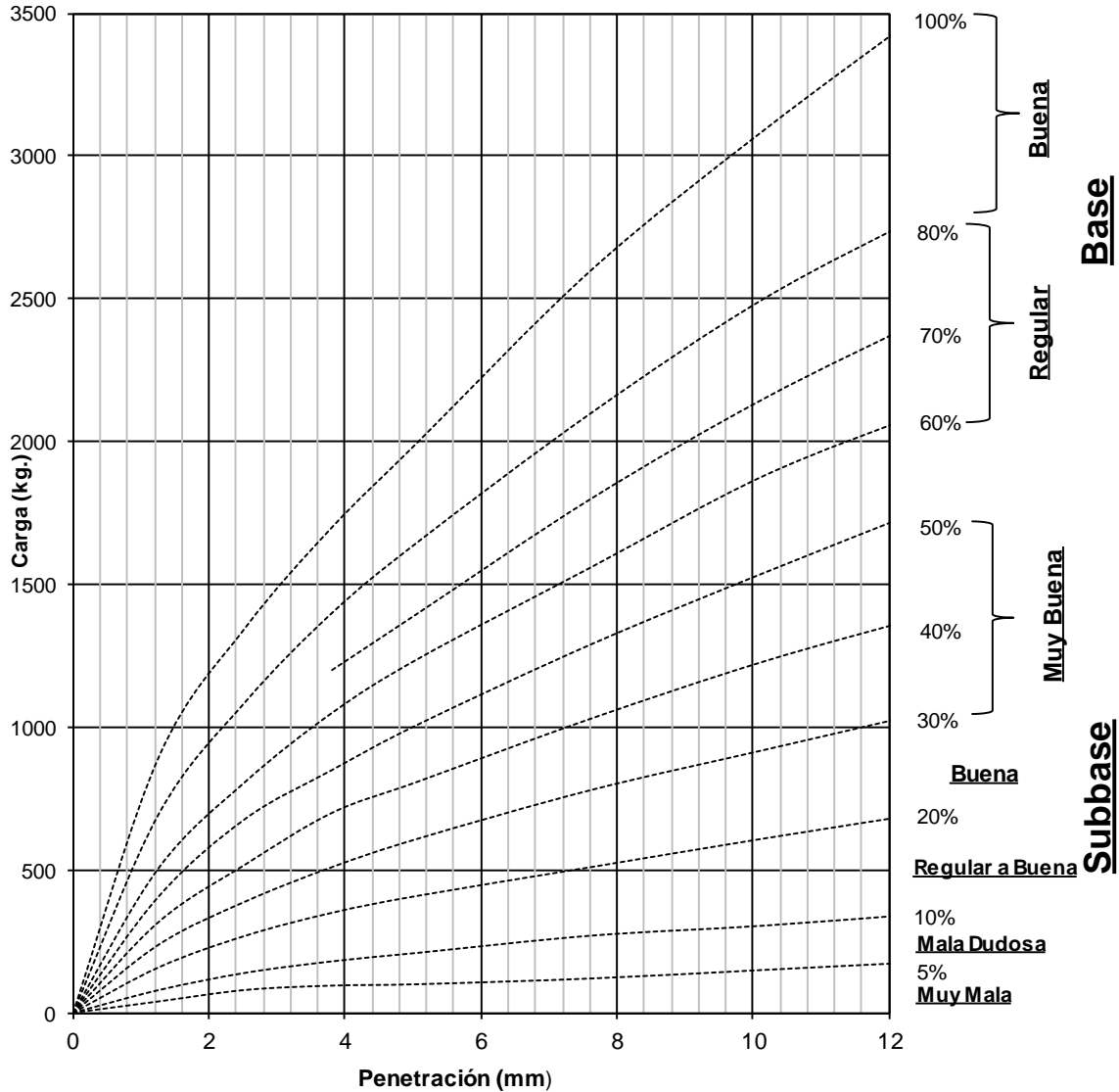
### PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE Y EXPANSIÓN



Proyecto: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL HIDRATADA PARA USO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS.**

No. Ensaye: _____	Sondeo No.: _____	Fecha: _____
Muestra No.: _____	Prof. (m): _____	Material para: _____
Operador: _____	Calculista: _____	

### PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



#### INFORMACIÓN

# Lectura	Def. (mm)	Lectura. (mm.)	Carga (kg).
1	0.00		
2	2.00		
3	4.00		
4	6.00		
5	8.00		
6	10.00		
7	12.00		
8	14.00		

#### VALOR RELATIVO DE SOPORTE

VRS (%) 2a lectura	
--------------------	--

#### EXPANSIÓN

# Molde	ALTURAS		Expansión (%)
	Inicial	Final	
1			



**UNIVERSIDAD DON VASCO, A. C.**

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PRUEBA DE VALOR CEMENTANTE**



Proyecto: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL HIDRATADA PARA USO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS.**

No. Ensaye: \_\_\_\_\_ Sondeo No.: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
Muestra No.: \_\_\_\_\_ Prof. (m): \_\_\_\_\_ Material para: \_\_\_\_\_  
Operador: \_\_\_\_\_ Calculista: \_\_\_\_\_

Num. de Prueba	Dimensiones			Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)		

**Valor Cementante  
(kg/cm<sup>2</sup>) =**

--